



Horst Gömann
Johanna Fick *Hrsg.*

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

OPEN ACCESS



Springer Spektrum

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

Horst Gömann · Johanna Fick
(Hrsg.)

Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

 Springer Spektrum

Hrsg.
Horst Gömann
Thünen-Institut für Ländliche Räume
Braunschweig, Deutschland

Johanna Fick
Thünen-Institut für Ländliche Räume
Braunschweig, Deutschland



ISBN 978-3-658-18670-8 ISBN 978-3-658-18671-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-18671-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en) 2021 Dieses Buch ist eine Open-Access-Publikation.

Open Access Dieses Buch wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Buch enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf

Springer Spektrum ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Der Klimawandel wird ganz konkrete Auswirkungen auf unser tägliches Leben haben. Einerseits gilt es den Auswirkungen des Klimawandels (Adaption) zu begegnen, andererseits sind Maßnahmen zum Schutz des Klimas (Mitigation) zu ergreifen. Der Klimaschutz ist eine komplexe, gesellschaftliche Herausforderung von hoher Bedeutung. Ob und inwieweit es uns heute und in den nächsten Jahren gelingt, die Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) zu reduzieren, wird starke Auswirkungen darauf haben, unter welchen Bedingungen wir in absehbarer Zeit in Deutschland leben können. Im Jahr 2010 hat sich Deutschland verpflichtet, bis 2030 die THG-Emissionen um 55 % im Vergleich zu 1990 zu senken. Im Klimaabkommen von Paris wurden 2015 die Klimaziele weiter verschärft. Die über 170 unterzeichnenden Länder verpflichteten sich, zwischen 2050 und 2100 klimaneutral zu werden. Nach aktuellem Wissensstand sind die bisherigen Anstrengungen bei weitem nicht ausreichend, um die nationalen Verpflichtungen zu erfüllen. Es bedarf verstärkter Handlungsanstrengungen und konkreter Maßnahmen, um die gesetzten Ziele zu erreichen.

Die nationalen Ziele zur Minderung von THG-Emissionen wurden 2016 im Klimaschutzplan 2050 bestätigt und durch sektorspezifische Transformationspfade spezifiziert. Einer der benannten Sektoren ist die Landwirtschaft, die jedoch nicht losgelöst von der Landnutzung sowie der Forstwirtschaft betrachtet werden kann. Bei einer Untersuchung des Beitrags der Landnutzung zum Klimaschutz sind vielfältige Aspekte zu berücksichtigen, nicht zuletzt notwendige Anpassungen der Landnutzung, die sich aus dem Klimawandel selbst ergeben. Aufgrund der Begrenztheit der Fläche und den Wechselwirkungen zwischen den Landnutzungen haben Flächennutzungsentscheidungen in einem Landnutzungssektor Rückwirkungen auf die jeweils anderen Sektoren. Daher ist eine Analyse über die wichtigsten Landnutzungen – Siedlung und Verkehr sowie Land- und Forstwirtschaft – erforderlich. Bei Wirkungsanalysen von THG-Minderungsmaßnahmen sind zahlreiche natürliche sowie ökonomische Faktoren zu berücksichtigen. Die gesellschaftliche Akzeptanz sowie die Integration der Maßnahmen in das vielschichtige Regelwerk der Landnutzung spielen darüber hinaus eine wichtige Rolle.

Das vorliegende Buch präsentiert Ergebnisse des Verbundforschungsvorhabens CC-LandStraD („Climate Change – Land Use Strategies“) und zeigt die komplexen Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel in Deutschland. Die Analyse schätzt den Beitrag unterschiedlicher Landnutzungsstrategien zum Klimaschutz, d. h. konkret zur Erreichung des 2-Grad-Zieles sektorübergreifend und flächendeckend für Deutschland. Ferner werden die Auswirkungen der Landnutzungsstrategien unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Umsetzbarkeit integrativ bewertet. Dafür werden natur-, gesellschafts- und sozialwissenschaftliche Ansätze genutzt. Damit trägt das Buch zu einem Verständigungsprozess über Disziplingrenzen hinaus bei und bietet für Entscheidungen sowohl relevantes Hintergrundwissen als auch konkrete Lösungsansätze. Es richtet sich an eine breite Fachöffentlichkeit, die sich im Kontext von Klimawandel mit der Minderung von THG-Emissionen durch die Landnutzung auseinandersetzt sowie an alle, die sich mit Landnutzung und Klimawandel in einer disziplinübergreifenden Betrachtungsweise beschäftigen. Das Buch bedient sowohl die sektorale Herangehensweise als auch die sektorübergreifende, integrative Betrachtung der Thematik.

Die Analysen wurden zum Projektende Ende 2015 bzw. zum April 2016 abgeschlossen. Nicht alle der später publizierten Daten und Erkenntnisse konnten für dieses Buch berücksichtigt werden. Im Rahmen des internen Reviewprozesses empfohlene Anpassungen von Maßnahmewirkungsanalysen ließen sich teilweise umsetzen und wurden bestmöglich auf andere involvierte Bereiche übertragen. Dadurch konnte die Qualität der Ergebnisse verbessert und Aussagen geschärft werden. Eine abschließende vollumfängliche Plausibilitätskontrolle über alle Teilbereiche war allerdings nicht mehr möglich. Die Untersuchungsergebnisse werden abschließend diskutiert und eingeordnet, auch im Kontext von Entwicklungen und Studien, die nach Abschluss des Forschungsvorhabens erschienen sind. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen greifen somit seitdem geänderte Rahmenbedingungen, beispielsweise das novellierte Düngerecht, sowie aktuellere Erkenntnisse auf.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beiderlei Geschlecht.

Für die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) in der Fördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“, die Teil des BMBF-Rahmenprogramms „Forschung für nachhaltige Entwicklung (FONA)“ ist, danken wir dem BMBF und dem DLR Projektträger für die finanzielle Unterstützung sowie die Projektbetreuung herzlich.

Horst Gömann
Johanna Fick

Danksagung

Nach fünfjähriger Forschungstätigkeit in einem inter- und transdisziplinären Projektverbund liegen die Ergebnisse zur Landnutzung in Deutschland und den Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel jetzt in diesem Buch gebündelt vor. Der Weg dahin war geprägt durch disziplinenübergreifende Gespräche mit Kolleginnen und Kollegen im Forschungsverbund und darüber hinaus durch intensiven Austausch mit vielen Akteurinnen und Akteuren der Landnutzung auf kommunaler, regionaler und Bundesebene sowie durch Diskussionen in verschiedenen Expertenrunden. Die Erfahrungen und Einschätzungen sowie die gemeinsame Weiterentwicklung des Wissensstandes aller Beteiligten haben die vorliegenden Ergebnisse zur Landnutzung bereichert und befördert. Für das entgegengebrachte Vertrauen, die Offenheit aller Beteiligten, sich in den Prozess einzubringen, und für alle kritischen Auseinandersetzungen möchten wir uns bei allen Mitwirkenden herzlich bedanken.

Unser besonderer Dank für Unterstützung im Themenfeld landwirtschaftliche Landnutzung gilt Peter Weingarten, zum Thema Siedlungs- und Verkehrswesen Gisela Beckmann, Martin Distelkamp, Fabian Dosch, Maarten Hilferink, Raphael Knevels, Eric Koomen, Ronnie Lassche, Stefan Siedentop und Janina Wölfel. Für Anregungen zu Fragen der Raum- und Fachplanung sind wir Susanne Grotefels zu Dank verpflichtet. Jürgen Meyerhoff, Henry Wüstemann und Sandra Rajmis danken wir für konstruktive Diskussionen und viele fruchtbare Anregungen bei der gemeinsamen Entwicklung des Bewertungskonzeptes, Johanna Schliemann für die Erstellung der Landschaftsbilder im Fragebogen, David Bausch für die anschaulichen Piktogramme im Choice-Experiment und Helen Lauff für die Unterstützung bei der Umsetzung des Fragebogens. Wibke Crewett und Nataly Jürges gilt unser Dank für die engagierte Mitarbeit bei den Beteiligungsprozessen in der ersten Projektphase.

Dass dieses Buch entstehen konnte, verdanken wir der Forschungsförderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, welches das Projekt in der Fördermaßnahme „Nachhaltiges Landmanagement“ finanziell unterstützte.

Wir hoffen, mit diesem Buch zu einer systematischen, sektorübergreifenden Auseinandersetzung mit der Landnutzung in Deutschland beizutragen, die sich Herausforderungen wie dem Klimawandel stellt. Darüber hinaus sollen die Ergebnisse den gesellschaftlichen Diskurs zur nachhaltigen Landnutzung anregen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
Horst Gömann und Johanna Fick	
1.1 Hintergrund und Problemstellung	1
1.2 Untersuchungsgegenstand	6
1.3 Überblick über den methodischen Ansatz und die Vorgehensweise	14
Literatur	17
2 Ist-Situation der Landnutzung in Deutschland	21
Jana Hoymann, Sarah Baum, Peter Elsasser, Rene Dechow, Martin Gutsch und Johanna Fick	
2.1 Rahmenbedingungen	22
2.1.1 Politische Rahmenbedingungen	22
2.1.2 Agrarökonomische Rahmenbedingungen	30
2.1.3 Forstökonomische Rahmenbedingungen	32
2.1.4 Gesellschaftliche Rahmenbedingungen	34
2.2 Landnutzung in Deutschland	35
2.2.1 Sektorübergreifende Flächennutzung	36
2.2.2 Siedlungs- und Verkehrsfläche	39
2.2.3 Landwirtschaftliche Flächennutzung	41
2.2.4 Forstliche Flächennutzung	45
2.3 Einordnung landnutzungsinduzierter THG-Emissionen	47
2.3.1 Allgemeiner Überblick über THG-Emissionen in Deutschland	48
2.3.2 Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen	50
2.3.3 Landnutzung und THG-Emissionen in den Fokusregionen	60
Literatur	66
3 Handlungsfelder der Landnutzung	71
Sarah Baum, Peter Elsasser, Roland Goetzke, Martin Henseler, Jana Hoymann und Peter Kreins	
3.1 Handlungsfelder im Siedlungswesen	72

3.1.1	Stärkung der Innenentwicklung	73
3.1.2	Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr	78
3.1.3	Rückzug aus der Fläche (mit dezentraler Konzentration)	80
3.1.4	Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen	81
3.1.5	Stärkung des Öffentlichen Personennahverkehrs.	84
3.1.6	Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten	85
3.1.7	Stärkung des Hochwasserschutzes.	88
3.1.8	Restriktiverer Freiraumschutz	89
3.1.9	Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen	91
3.1.10	Nutzung von Biomasse der Landschaftspflege	92
3.2	Handlungsfelder in der landwirtschaftlichen Landnutzung	93
3.2.1	Überblick über mögliche landwirtschaftliche Maßnahmen	93
3.2.2	Nutzung organischer Böden.	95
3.2.3	Anpassung des Düngemanagements	101
3.2.4	Substitution fossiler Energie durch Bioenergie	109
3.2.5	Notwendige Anpassungen an den Klimawandel	118
3.3	Forstliche Handlungsoptionen für den Klimaschutz	119
3.3.1	Überblick über mögliche forstliche Maßnahmen.	119
3.3.2	Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald	121
3.3.3	Vergroößerung der Waldfläche.	127
3.3.4	Ausweitung des Holzproduktespeichers und von Substitutionen.	128
3.3.5	Vermeidung von Kohlenstoffverlusten.	130
3.3.6	Zusammenfassung zu Maßnahmenbündeln (Strategien)	133
	Literatur.	134
4	Modellgestützte Wirkungsanalysen ausgewählter Maßnahmen und Strategien	143
	Sarah Baum, Tobias Conradt, René Dechow, Peter Elsasser, Hermann Englert, Nils Ermisch, Horst Gömann, Roland Goetzke, Pia Gottschalk, Martin Gutsch, Martin Henseler, Jana Hoymann, Margret Köthke, Peter Kreins, Petra Lasch-Born, Felicitas Suckow und Frank Wechsung	
4.1	Konzept der Wirkungsanalysen	145
4.2	Interdisziplinärer Modellverbund	148
4.2.1	Aufbau des Modellverbunds	148
4.2.2	Modellentwicklungen und Simulationskonzepte.	150
4.3	Einordnung der verwendeten Klimaszenarien	165
4.4	Ergebnisse der Siedlungs- und Verkehrsflächenmodellierung	172
4.4.1	Referenzprojektion Flächennutzung	173
4.4.2	Analyse ausgewählter Maßnahmen „Siedlung und Verkehr“	174
4.4.3	Strategien „Siedlung und Verkehr“	202

4.5	Ergebnisse der landwirtschaftlichen Flächennutzungsmodellierung	216
4.5.1	Landwirtschaftliche Referenzprojektion	217
4.5.2	Analyse ausgewählter landwirtschaftlicher Maßnahmen.	220
4.5.3	Strategien „Landwirtschaft“.	244
4.5.4	Vergleichende Beurteilung der landwirtschaftlichen Strategien	258
4.6	Analyse der forstlichen Landnutzung	262
4.6.1	Forstliche Referenzprojektion	263
4.6.2	Strategien im Bereich „Forstwirtschaft“	267
4.7	Ergebnisse der Modellierung von Stoffflüssen im Forst	279
4.7.1	Ergebnisse der Referenzprojektion	280
4.7.2	Ergebnisse der Landnutzungsstrategien.	283
4.7.3	Vergleichende Beurteilung der Auswirkungen der Strategien	288
	Literatur	290
5	Gesellschaftliche Bewertung der Landnutzungsstrategien.	299
	Peter Elsasser, Ulrike Grabski-Kieron, Meike Hellmich, Jesko Hirschfeld, Mathias Raabe, Sandra Rajmis, Julian Sagebiel, Rosemaire Siebert, Annett Steinführer, Reimund Steinhäuber und Priska Weller	
5.1	Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung . . .	301
5.1.1	Überblick über Daten und Methoden zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen	302
5.1.2	Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen	309
5.1.3	Ökonomische Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen des Waldes	321
5.1.4	Diskussion und Ausblick zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung	338
5.2	Institutionelle Gestaltungsoptionen für eine nachhaltige Landnutzung. . . .	341
5.2.1	Einführung, Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	342
5.2.2	Ergebnisse der planungswissenschaftlichen Evaluierung	345
5.2.3	Übergeordnete Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement.	346
5.2.4	Institutionelle Gestaltungsoptionen im Siedlungswesen	353
5.2.5	Institutionelle Gestaltungsoptionen bei der landwirtschaftlichen Landnutzung.	362
5.2.6	Institutionelle Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft . . .	370
5.2.7	Fazit	374
5.3	Landnutzung und Klimawandel im transdisziplinären Diskurs: Wissenschaft und Stakeholder in Interaktion.	375
5.3.1	Stakeholder-Beteiligung in der Umweltforschung.	376
5.3.2	Ziele des transdisziplinären Diskurses.	378

5.3.3	Wissenschaft und Praxis in Interaktion: der Prozess	381
5.3.4	Stakeholder-Interventionen	390
5.3.5	Wissenschaft und Praxis in Interaktion: Prozessreflexionen	398
5.3.6	Der transdisziplinäre Diskurs: Was hat er gebracht?	405
5.3.7	Schlussfolgerungen	411
	Literatur.	411
6	Zusammenfassende Schlussbetrachtung	421
	Horst Gömann und Johanna Fick	
6.1	Änderung von Rahmenbedingungen nach Abschluss der Studie.	422
6.2	Ergebnisse für den Sektor Siedlung und Verkehr.	424
6.3	Ergebnisse und Empfehlungen für die Landwirtschaft	427
	Literatur.	433
7	Anhang	435
	Sarah Baum, Peter Elsasser, Nils Ermisch, Roland Goetzke, Martin Henseler, Jana Hoymann, Peter Kreins und Priska Weller	
7.1	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Siedlung und Verkehr.	435
7.2	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Landwirtschaft.	445
7.3	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Forstwirtschaft.	451
7.3.1	Maßnahmenvarianten – Sektor: Forstwirtschaft	456
	Autorenliste: Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel	459
	Stichwortverzeichnis.	461

Abkürzungsverzeichnis

4C	FORESEE: FORESt Ecosystems in a Changing Environment
a. a. O.	am angeführten Ort(e) / am angegebenen Ort
AEE	Agentur für Erneuerbare Energien
AFS	Agroforstsystem
ARGEBAU	Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren
Art.	Artikel
AS	Anpassungsstrategie
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
AUKM	Agrarumwelt- und Klimamaßnahme
BauGB	Baugesetzbuch
BauNVO	Baunutzungsverordnung
BB	Brandenburg
BBodSchG	Bundes-Bodenschutzgesetz
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Benelux	Belgien, Niederlande, Luxemburg
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BHD	Brusthöhendurchmesser
BHKW	Blockheizkraftwerk
BImA	Bundesanstalt für Immobilienaufgaben
BioKraftQuG	Biokraftstoffquotengesetz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (seit 2013: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, BMVI)
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BS	Bioenergiestrategie
BU	Buche
BÜK	Bodenübersichtskarte
BÜK 1000	Bodenübersichtskarte 1:1.000.000
BVWP	Bundesverkehrswegeplan
BW	Baden-Württemberg
BWaldG	Bundeswaldgesetz
BWI	Bundeswaldinventur
BWI ²	Zweite Bundeswaldinventur
BWI ³	Dritte Bundeswaldinventur
BY	Bayern
BZE	Bodenzustandserhebung
BZE II	Zweite Bodenzustandserhebung
C	Kohlenstoff
CAPRI	Common Agricultural Policy Regionalized Impact Modelling System
CBD	Convention on Biological Diversity (Übereinkommen über die biologische Vielfalt)
CC	Cross Compliance
CC-LandStraD	Climate Change – Land Use Strategies / Strategien für eine nachhaltige Landnutzung im Zeichen des Klimawandels für Deutschland
CH ₄	Methan
CLC	CORINE (s. u.) Land Cover
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äquiv.	CO ₂ -Äquivalent
CORINE	Coordination of Information on the Environment (Koordinierung von Informationen über die Umwelt)
C-Speicherung	Kohlenstoffspeicherung
CULTAN	Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition
DART	Dynamic Applied Regional Trade Model
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DBI	Deckungsbeitrag I
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
ders.	derselbe
Df	Durchforstung

DGL	Douglasie (<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco)
d. h.	das heißt
DLM	Digitales Landschaftsmodell
dLUC	Direct Land Use Change (direkte Landnutzungsänderung)
DüV	Düngeverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
ebd	ebendiese/r
ed	Editor/Autor
eds	Editors/Autoren
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
Efm	Erntefestmeter
EFRE	Europäischer Fonds für regionale Entwicklung
EI	Eiche (<i>Quercus robur</i> L., und <i>Quercus petraea</i> Liebl.)
EIP Agri	European Innovation Partnership 'Agricultural Productivity and Sustainability' (Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“)
EKF	Energie- und Klimafonds
ELaN	Entwicklung eines integrierten Landmanagements durch nachhaltige Wasser- und Stoffnutzung in Nordostdeutschland
ELER	Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums
EN	Endnutzung
ETS	European Emission Trading System (Europäisches Emissionshandelssystem)
EU	Europäische Union
EW	Einwohner
exkl.	exklusive
F+E	Forschung und Entwicklung
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FFH	Flora-Fauna-Habitat
Fi	Fichte
FKW	Vollfluorierte Kohlenwasserstoffe
FM	Frischmasse
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FOBESIMO	Forstbetriebliches Simulationsmodell
FONA	Forschung für nachhaltige Entwicklung
GAK	Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik der Europäischen Union
GAS-EM	GASeous EMissions
GFI	Gemeine Fichte (<i>Picea abies</i> L. Karst.)

Gg	Gigagramm = 1000 t (1 Kilotonne)
GG	Grundgesetz
GIS	Geographisches Informationssystem
GKI	Gemeine Kiefer (<i>Pinus sylvestris L.</i>)
GLÖZ	Standards zur Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in „gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand“ im Rahmen der Cross Compliance der GAP
GLUES	Global Assessment of Land Use Dynamics, GHG emissions and ecosystem services
GPS	Global Positioning System
GV/GVE	Großvieheinheit/en
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
HE	Hessen
HFKW	Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe
HNV	High Nature Value (Hoher Naturwert)
HQ	Hochwasserabfluss
Hrsg	Herausgeber
HWP	Harvested Wood Products / Holzprodukte
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaschutzprogramm
IEP	Innenentwicklungspotenziale
IfW	Institut für Weltwirtschaft
iLUC	Indirect Land Use Change (indirekte Landnutzungsänderung)
IÖR	Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaveränderung)
Ki	Kiefer
KLU	Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt
KP	Kyoto-Protokoll
KS	Klimaschutzstrategie
kt	Kilotonne = 1000 t
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V.
KUP	Kurzumtriebsplantage
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
LBM DE	Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland
LEADER	ELER-Fördermaßnahmen (Liaison entre actions de développement de l'économie rurale = Verbindung zwischen Aktionen zur Entwicklung der ländlichen Wirtschaft)
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LN	Katastermäßig erfasste Landwirtschaftsfläche

LSG	Landschaftsschutzgebiet
LULUCF	Land Use, Land Use Change and Forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forst)
LUS	Land Use Scanner
LUWG Rheinland Pfalz	Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz
MA	Millennium Assessment Report
Max.	Maximum
MBWSV	Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen
Med.	Median
Min.	Minimum
Mio.	Million/en
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MJ	Megajoule
MJN	Mittlere Jahresniederschlagssumme
MJT	Mittlere Jahrestemperatur
MKRO	Ministerkonferenz für Raumordnung
MKULNV	Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
MODE	Model Ensemble of fuzzy inference schemes
MONERIS	Modelling Nutrient Emissions in River Systems
MORO	Aktionsprogramm „Modellvorhaben der Raumordnung“ des BMVI
Mt	Megatonne (= 1.000.000 t)
MV	Mecklenburg-Vorpommern
MW	Mittelwert/e
N	Stickstoff
N.N.	Normal-Null (Höhe über dem Meer)
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NaLaMa-nt	Nachhaltiges Landmanagement im Norddeutschen Tiefland unter sich ändernden ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NBS	Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt
NH ₃	Ammoniak
NHWSP	Nationales Hochwasserschutzprogramm
NI	Niedersachsen
NIR	National Inventory Report (Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar)
NKA	Nutzen-Kosten-Analyse
NO	Stickstoffoxid

NO ₃	Nitrat
NUS	Natur- und Umweltschutzstrategie
NVD	nicht verwertetes Derbholz
NW	Nordrhein-Westfalen
NWE	natürliche Waldentwicklung
NWFS	Nettowertschöpfung zu Faktorpreisen
NW-FVA	Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
O	Sauerstoff
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖSL	Ökosystemleistung
ÖV	Öffentlicher Verkehr
P	Phosphor
P _E	Baumartspezifische durchschnittliche Erlebenswahrscheinlichkeit
PIK	Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
PMP	Positive Mathematische Programmierung
PNV	Potenzielle Natürliche Vegetation
PRR	Panta Rhei Regio (umweltökonomisches Modell)
R	Referenzprojektion
RAUMIS	Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem
RB	Rheinisch-Bergischer Kreis
RBU	Buche (<i>Fagus sylvatica</i> L.)
RCP 8.5	Representative Concentration Pathway 8.5
RGV	Raufutterfressende Großvieheinheiten
RMD	Report on methods and data
ROG	Raumordnungsgesetz
RP	Rheinland-Pfalz
RS	Rhein-Sieg-Kreis
SAUL	Sustainable and Accessible Urban Landscapes
Seveso-RL	Richtlinie zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SH	Schleswig-Holstein
SL	Saarland
SN	Sachsen
SPA	Special Protection Area (Vogelschutzgebiet)
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
ST	Sachsen-Anhalt
Stabw	Standardabweichung
STAR	Statistical Regional Climate Model (Statistisches Regionalisierungsmodell)
SUP	Strategische Umweltprüfung

SuV	Siedlung und Verkehr
SWIM	Soil and Water Integrated Model
TAC	Theoretical and Applied Climatology
TBN-Forst	Testbetriebsnetz-Forst
TEEB-Initiative	The Economics of Ecosystems and Biodiversity-Initiative
Tg	Teragramm
TH	Thüringen
THG	Treibhausgas
TM	Trockenmasse
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen)
URE	Umweltrisikoeinschätzung
UVPg	Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz
Uz	Umtriebszeit(en)
Va	Ausscheidender Vorrat
Verd.	Verdunstung
Vers.	Versickerung
Vfm	Vorratsfestmeter
VV	Verbleibender Vorrat
WBA	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik
WBRL	Waldbaurichtlinie
WEHAM	WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
WWU	Westfälische Wilhelms-Universität Münster
ZB	Zahlungsbereitschaft(en)
ZS	Zielstärke(n)



Einführung

1

Horst Gömann und Johanna Fick

Inhaltsverzeichnis

1.1 Hintergrund und Problemstellung	1
1.2 Untersuchungsgegenstand	6
1.3 Überblick über den methodischen Ansatz und die Vorgehensweise	14
Literatur	17

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Horst Gömann und Johanna Fick

Landnutzung wird wie kaum ein anderer Wirtschaftsektor vom Klimawandel beeinflusst. Das Klima ist ein entscheidender Standortfaktor beispielsweise für den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen und deren Erträge, das Wachstum von Bäumen oder für die Entwicklung von Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen. Die auf regional unterschiedliche Klimata ausgerichteten Landnutzungsstrukturen werden sich im Zuge des Klimawandels anpassen (müssen). Landnutzung und Landnutzungsänderungen tragen aber auch zum Klimawandel bei. Neben Änderungen regionaler Kleinklimata beeinflussen durch

H. Gömann (✉) · J. Fick
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

Landnutzung und Landnutzungsänderungen verursachte Emissionen von Treibhausgasen (THG) den globalen Klimawandel. Beispielsweise entstehen THG-Emissionen durch den landnutzungsbedingten Abbau organischer Substanz im Boden, bei der Düngung oder (Brand-)Rodung von Urwald.

Die Verringerung der THG-Emissionen ist das erklärte Ziel der Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC). Die THG-Konzentrationen sollen auf einem Niveau stabilisiert werden, sodass der vom Menschen verursachte Treibhauseffekt möglichst zu keiner gefährlichen Störung des Klimasystems führt. Im Pariser Abkommen vom Dezember 2015 einigten sich die Vertragsstaaten auf eine erforderliche Begrenzung des Anstiegs der globalen Mitteltemperatur auf unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Temperaturniveau. Dazu müssen laut dem fünften Sachstandsbericht des Panel on Climate Change (IPCC) die weltweiten anthropogenen THG-Emissionen bis 2050 gegenüber 2010 um 40 bis 70 % reduziert werden und im Jahr 2100 nahe oder unter Null liegen (IPCC 2014a, b).

Mit dem auf Basis der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UN 1992) verabschiedeten Kyoto-Protokoll (UNFCCC 1998) haben sich die EU und ihre Mitgliedstaaten verpflichtet, THG-Emissionen zu begrenzen und/oder zu vermeiden. Um die Erreichung festgelegter Einsparungsziele zu überprüfen, wurde beginnend mit der Ratsentscheidung 1993/389/EWG eine europäische Rechtsgrundlage geschaffen, die mehrfach revidiert wurde. Aktuell verbindlich ist die Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2013, die mit der Verordnung (EU) Nr. 662/2014 auch bereits einmal nachjustiert wurde. Die Berichterstattung schließt die jährlichen Änderungen in den Bereichen der Landnutzung und Forstwirtschaft (LULUCF – Land use, land use change and forestry) mit ein. Die Mitgliedstaaten und die Kommission sollen nationale Programme bzw. ein Gemeinschaftsprogramm aufstellen und durchführen, um die THG-Reduktionsziele zu erreichen. Ein zentrales Instrument zur Reduktion von THG-Emissionen ist das Europäische Emissionshandelsystem (ETS) (Emissionshandels-Richtlinie 2003/87/EG). Ferner können die nationalen Programme den LULUCF-Bereich einschließen, der derzeit in der EU und den Mitgliedstaaten noch nicht berücksichtigt wird.

Deutschland war gemäß den Vereinbarungen des Kyoto-Protokolls und der EU-Lastenteilung zu einer Reduktion seiner THG-Emissionen um 21 % im Jahr 2012 bezogen auf die THG-Emissionen im Jahr 1990 verpflichtet (KOM 2007). Die Emissionsminderung lag nach dem National Inventory Report (NIR) (UBA 2016) im Jahr 2013 gegenüber 1990 bei 24 %. Rund 85 % der THG-Emissionen entstanden 2013 bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Aus diesem Grund fokussieren die Anstrengungen, die klimapolitischen Ziele zu erreichen, auf den Energiesektor. Im „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ ist eine stufenweise Minderung der THG-Emissionen beschlossen worden. Die geplanten Minderungen betragen, bezogen auf das Referenzjahr 1990, mindestens 40 % im Jahr 2020, 55 % im Jahr 2030, 70 % im Jahr 2040 und 80 bis 95 % im Jahr 2050 (BMWi 2010).

Auf die Landnutzung und Landnutzungsänderungen entfielen 2013 rund 10 % der gesamten THG-Emissionen in Deutschland. Zwar wurden für diese Sektoren keine Reduktionsziele konkretisiert, dennoch sollten angesichts der ambitionierten nationalen Minderungsziele THG-Einsparpotenziale in diesem Bereich in Betracht gezogen werden. Im nationalen Klimaschutzplan 2050 wurden Leitbilder, Meilensteine sowie Maßnahmen zur THG-Minderung festgelegt (BMUB 2016). Im Rahmen der Energiewende soll Biomasse als erneuerbare Energiequelle eine zunehmend wichtigere Rolle spielen. Die THG-Emissionen der Landwirtschaft, die sich 2014 auf ca. 8 % der gesamten THG-Emissionen beliefen, sollen bis zum Jahr 2030 um 18 bis 22 % reduziert werden (BMUB 2016).

Deutschland liegt in der gemäßigten Klimazone Nordwesteuropas und zählt mit einer Fläche von rund 357.000 km² und etwa 82 Mio. Einwohnern zu den am dichtesten besiedelten Flächenländern der Welt. Angesichts der knappen Flächenverfügbarkeit wird das Land für vielfältige gesellschaftliche Anforderungen intensiv genutzt, vor allem für die Erzeugung von Nahrungsmitteln, Rohstoffen und Biomasse sowie als Lebens- und Wirtschaftsraum. Im Jahr 2015 waren 52 % Landwirtschaftsfläche, knapp ein Drittel Wald und etwa 14 % Siedlungs- und Verkehrsflächen. Durch die Integration zusätzlicher Ansprüche an die Landnutzung, und zwar des Klimaschutzes sowie der Anpassung an den Klimawandel, nimmt die Konkurrenz um die begrenzte Fläche zu. Dabei ist Klimaschutz nur ein Aspekt der gesellschaftlichen Anforderungen an Landnutzung, die so nachhaltig wie möglich erfolgen soll, damit die Ökosysteme insgesamt intakt bleiben.

Neben dem Klima wird die Landnutzung durch zahlreiche weitere Faktoren wie die Wirtschaft, Demographie, Agrarmärkte, politische Rahmenbedingungen aber auch natürliche Standortfaktoren wie den Boden geprägt. Da die Entwicklungen dieser Faktoren den Landnutzungswandel beeinflussen, spielen sie für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Landmanagementsystemen eine wichtige Rolle. Die folgende Beschreibung der zentralen Herausforderungen in den landnutzenden Sektoren Siedlung und Verkehr, Landwirtschaft und Forstwirtschaft vermittelt einen Überblick über die komplexen Zusammenhänge.

Für die Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung spannt vor allem die wirtschaftliche und demographische Entwicklung den Rahmen auf. Ein zentrales Ziel ist die Verringerung der täglichen Flächeninanspruchnahme von 69 ha/Tag im Jahr 2014 auf 30 ha/Tag bis zum Jahr 2020 (Goetzke et al. 2014). Durch diese Inanspruchnahme gehen produktive Landwirtschaftsfläche und Wald und damit CO₂-Speicher kontinuierlich verloren. Ferner wird die Fauna beispielsweise durch Zerschneidung natürlicher Lebensräume stark beeinträchtigt. Bei derartigen Eingriffen in die Natur ist nach dem Bundesnaturschutzgesetz auf anderen Flächen ein Ausgleich zu schaffen. Diese Kompensationsflächen gehen vorrangig zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Flächen und schmälern zusätzlich zum direkten Flächenverlust für Siedlungen und Verkehr das Produktionspotenzial, vor allem in der Landwirtschaft. Angesichts der langfristigen Planungshorizonte im Sektor Siedlung und Verkehr und der hohen Vulnerabilität gegenüber dem Klimawandel spielen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in diesem Bereich eine wichtige Rolle. Dazu gehören z. B. Infrastrukturen

der Daseinsvorsorge, flächenwirksame Anpassungen von Siedlungsstrukturen oder Maßnahmen des vorsorgenden Hochwasserschutzes.

Die landwirtschaftliche Landnutzung in Deutschland wird in starkem Maße von der EU bzw. nationalen Agrar-, Umwelt-, Handels- und Energiepolitik beeinflusst. Sie ist durch eine duale Entwicklung gekennzeichnet. Während in Gunstregionen eine Konzentration und Intensivierung des Ackerbaus, Gartenbaus oder der Viehhaltung stattfindet, erfolgt in weniger wettbewerbsfähigen Regionen eine Extensivierung der Produktion. Die ab Anfang der 2000er-Jahre zunehmende Förderung der Biogas- sowie Biokraftstoffproduktion verstärkte die Intensivierung der landwirtschaftlichen Landnutzung. Die von der Landwirtschaft emittierten Treibhausgase beliefen sich im Jahr 2012 auf 7,4 % der deutschen Gesamt-Emissionen (NIR 2014). Ein Drittel davon entfiel auf die in der Nutztierhaltung durch Fermentation und Verdauung entstehenden Methan-Emissionen. Weitere etwa 11 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen traten bei der Lagerung und beim Transport von Wirtschaftsdünger auf. Der verbleibende Großteil waren landnutzungsbedingte THG-Emissionen, vor allem durch die Entwässerung und Nutzung organischer Böden, den Umbruch von Grünland, die Ausbringung von Wirtschaftsdünger sowie den Einsatz mineralischer Düngemittel.

Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Landnutzung wirkt sich darüber hinaus auf die Umwelt und Natur aus. Nach der im Zuge der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie durchzuführenden Bestandsaufnahme der Gewässer weisen rund 60 % der Oberflächengewässer in Deutschland einen unbefriedigenden bis schlechten ökologischen und etwa 12 % einen nicht guten chemischen Zustand auf. Rund ein Drittel der Grundwasserkörper erreichte keinen guten chemischen Zustand. Ein häufiger Grund für die Zielverfehlung sind übermäßige Nährstoffeinträge, vor allem aus intensiver landwirtschaftlicher Nutzung (BMU 2010). Die Intensivierung der landwirtschaftlichen Landnutzung wirkt sich ebenfalls negativ auf die Artenvielfalt aus (BfN 2015). Da die Düngung sowohl für den Klimaschutz als auch für den Gewässerschutz relevant ist, spielen Landnutzungsstrategien in diesem Bereich eine zentrale Rolle.

Die landwirtschaftliche Landnutzung ist wie kaum ein anderer Sektor vom Wetter, der Witterung und dem Klimawandel betroffen. Allerdings verfügt sie aufgrund der überwiegend annuellen Produktionszyklen über eine hohe Anpassungskapazität an den langfristigen Klimawandel. Anpassungen erfolgen kontinuierlich zumeist durch technischen und züchterischen Fortschritt. Hier besteht ein grundlegender Unterschied zu den langfristig angelegten Infrastrukturen im Siedlungs- und Verkehrsbereich oder den langen Produktionszyklen im Wald. Eine besondere Herausforderung für die landwirtschaftliche Landnutzung stellen extreme Wetterlagen dar, die im Zuge des Klimawandels zunehmen können. So können extreme Trockenheit, extreme Hitze, Starkregen, Hagel oder extremer Frost binnen Tagen oder Wochen den landwirtschaftlichen Betrieben erhebliche Schäden zufügen (Gömann et al. 2015). Die zur Anpassung an extreme Wetterlagen relevanten agronomischen sowie betrieblichen Maßnahmen sind auf das Risikomanagement fokussiert.

Der Wald genießt in Deutschland durch das Bundeswald- und Bundesnaturschutzgesetz einen besonderen Schutz. Waldflächenverluste z. B. durch Siedlungs- und Verkehrsprojekte werden durch gezielte Aufforstung wie auch („natürliche“) Wiederbewaldung an anderen Stellen kompensiert. Land- und Forstwirtschaft sind dabei unterschiedlichen politischen Steuerungsregimen unterworfen. Flächenumwandlungen zwischen beiden bedürfen nach dem Bundeswaldgesetz jeweils der Genehmigung. Daher weist die Waldflächenbilanz im Unterschied zur Landwirtschaftsfläche einen leicht positiven Saldo auf. Aufgrund der langen Produktionszyklen beeinflussen heutige Bewirtschaftungsentscheidungen in der Forstwirtschaft die weitere Zielausrichtung eines Betriebes über mehrere Jahrzehnte. Eine rasche und flexible Anpassung an Umweltänderungen ist daher kaum möglich. Neben marktbedingten Risiken sind naturale Produktionsrisiken (etwa durch Stürme, Trockenheiten oder biotische Schädlinge) längerfristig nur schwierig abzuschätzen – insbesondere, wenn sich diese Produktionsrisiken im Zeitablauf ändern, wie es aufgrund des Klimawandels vorhergesagt wird (Gömann et al. 2015).

Die Forstwirtschaft ist wie die Landwirtschaft durch Kuppelproduktion zwischen privaten und öffentlichen Gütern (z. B. Leistungsfähigkeit der Ökosysteme erhalten, bewahren, wiederherstellen) gekennzeichnet. Änderungen der Waldbewirtschaftung wirken sich daher in der Regel unmittelbar auf die Bereitstellung öffentlicher Güter aus. Während nahezu unstrittig ist, dass der Wald neben der Holzproduktion etliche weitere gesellschaftlich erwünschte Leistungen erbringt und erbringen soll (Leitbild der multifunktionalen Forstwirtschaft), ist es durchaus umstritten, wie das erwünschte Leistungsbündel aus Holzproduktion zur stofflichen und/oder energetischen Nutzung und als wirtschaftliche Basis für Arbeitsplätze, insbesondere im ländlichen Raum, aus Klima-, Wasser- und Naturschutz, aus Jagd- und Erholungsmöglichkeiten räumlich konkret zusammengesetzt sein soll und welche dieser Leistungen ggf. zu Lasten anderer eingeschränkt werden sollen. In diese Auseinandersetzung um solche schwer zu vereinbarenden Anforderungen an die Waldwirtschaft spielen darüber hinaus zunehmend internationale Umweltvereinbarungen auf europäischer Ebene (FFH- und Vogelschutzrichtlinie, Wasserrahmenrichtlinie) wie auch auf UN-Ebene (Klimarahmenkonvention und Kyoto-Protokoll, Biodiversitätskonvention) hinein.

Die genannten Konflikte um die Konkretisierung dessen, was letztlich unter „Multifunktionalität der Waldbewirtschaftung“ verstanden werden soll, prägen auch die Diskussion über geeignete Wege zur Stärkung des Klimaschutzes, zugespitzt in der Frage „höhere Vorratshaltung zugunsten verstärkter Kohlenstoffspeicherung“ versus „vermehrte Holznutzung zugunsten verstärkter Material- und Energiesubstitution“. Fokussiert man allein auf die Kohlenstoffspeicherung im bestehenden Wald, so lassen sich damit politische Forderungen nach Einschlagsverzicht begründen; geht es um die Bindung zusätzlichen Kohlenstoffs durch die Senkenleistung von Wäldern (und Holzprodukten), so rückt die Steigerung und Abschöpfung eines möglichst hohen Zuwachses ins Zentrum. Diese Diskussion wird zusätzlich durch die Forderung verkompliziert, neben Mitigationsmaßnahmen auch Maßnahmen zur Adaptation wie „Anbau trockenresistenter Baumarten“ oder „Risikominimierung durch Baumartenmischung“ durch-

zuführen, um die bestehenden Wälder an die erwarteten künftigen Klimaänderungen anzupassen.

Es wird deutlich, dass bei einer Untersuchung des Beitrags der Landnutzung zum Klimaschutz vielfältige Aspekte zu berücksichtigen sind, nicht zuletzt notwendige Anpassungen der Landnutzung, die sich aus dem Klimawandel selbst ergeben. Aufgrund der Begrenztheit der Fläche und der ökosystemaren Verbundenheit der Landnutzung haben Flächennutzungsentscheidungen in einem Sektor Rückwirkungen auf die jeweils anderen Landnutzungssektoren. Daher ist eine sektorübergreifende Analyse über die wichtigsten Landnutzer Siedlung und Verkehr sowie Land- und Forstwirtschaft erforderlich. Bei Wirkungsanalysen von THG-Minderungsmaßnahmen sind zahlreiche natürliche sowie ökonomische Faktoren zu berücksichtigen. Die gesellschaftliche Akzeptanz sowie die Integration der Maßnahmen in das vielschichtige Regelwerk der Landnutzung spielen eine wichtige Rolle. Auch hierbei bewertet die Gesellschaft die Landnutzung bzw. Landnutzungsänderungen in der Regel nicht sektoral, sondern als Landschaftsensemble.

Vor diesem Hintergrund wurden in dieser Studie die komplexen Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel in Deutschland betrachtet und analysiert, um den Beitrag unterschiedlicher Landnutzungsstrategien zum Klimaschutz, d. h. zur Erreichung des 2-Grad-Zieles, sektorübergreifend und flächendeckend für Deutschland abzuschätzen und die Auswirkungen der Landnutzungsstrategien unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen Umsetzbarkeit integrativ zu bewerten. Dazu wurden Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Anbau- und Bewirtschaftungssystemen sowohl im Hinblick auf den Klimaschutz als auch hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel untersucht und darüber hinaus ihr Beitrag zur Energieversorgung eingeschätzt. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen dazu beitragen, nachhaltige Landnutzungssysteme für Deutschland zu identifizieren, die sich angesichts bestehender Spannungsfelder der Landnutzung in die Praxis des Landmanagements umsetzen lassen. Hierbei ist das vielschichtige Regelwerk der Landnutzung auf den unterschiedlichen Ebenen EU, national, regional und lokal zu berücksichtigen.

1.2 Untersuchungsgegenstand

Johanna Fick und Horst Gömann

Nach Gömann und Weingarten (2017) wird unter Landnutzung die Nutzung der Erdoberfläche durch den Menschen verstanden, die durch die Art, die Intensität und den Zweck der Nutzung beschrieben werden kann. Der anthropozentrische Begriff „Landnutzung“ unterscheidet sich damit von dem naturwissenschaftlich geprägten Begriff „Landbedeckung“, der auf die biophysikalischen Eigenschaften der Erdoberfläche abzielt. Landnutzung und Landbedeckung stehen in engen Wechselwirkungen. Landnutzungswandel umfasst sämtliche Änderungen der Landnutzung. Diese Änderungen können sowohl in einem Wechsel der die Fläche sichtbar belegenden Art der Landnutzung als auch in

einer Änderung der Intensität der Landnutzung innerhalb einer Nutzungsart bestehen. Sie können zudem schleichend oder abrupt auftreten. Die Nutzung von Land und ihre Änderungen sind wichtige Faktoren für Ökosystemänderungen (Schininger 2008).

Aufgrund der Beschäftigung verschiedener Fachbereiche mit der Thematik des Nachhaltigen Landmanagements fehlt eine allgemein gültige Definition, ebenso wie eine einheitliche Verwendung des Begriffs, der in breitem Kontext zur Beschreibung des Schutzes von Ressourcen, dem Erhalt der Ökosysteme und der Gewinnung von Mineralien – auch in Bezug zu regionalen räumlichen Planungen und dem Landflächenschutz – gebraucht wird. Nachhaltiges Landmanagement geht natürlich über den Fokus der Studie Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel hinaus und umschließt sowohl die Erhaltung bzw. Regeneration von Böden, Landflächen, natürlichen Ressourcen und Gewässern als auch den Schutz und die Förderung der biologischen Vielfalt zum Erhalt des Lebens (Haber und Bückmann 2013). „Sinn, Ziel und Zweck des nachhaltigen Landmanagements besteht darin, die Auswirkungen der zunehmenden Umweltzerstörung und des Klimawandels durch einen nachhaltigkeitsgerechten Umgang mit den ‚raumbezogenen Ressourcen‘, abzumildern oder abzuwenden“ (Haber und Bückmann 2013, S. 12). Damit stimmen die Ziele des Nachhaltigen Landmanagements mit den Vorgaben des Raumordnungsgesetzes (§ 2 Abs. 2, Ziff. 6), den „Raum in seiner Bedeutung für die Funktionsfähigkeit der Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen zu entwickeln, zu sichern oder [...] wiederherzustellen“, überein (Haber und Bückmann 2013). Der Fokus der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie liegt, was das Land- bzw. Flächenmanagement betrifft, auf der Notwendigkeit einer sparsamen Flächennutzung in Bezug zur Siedlungsentwicklung (Bundesregierung 2002, zit. nach Haber und Bückmann 2013).

In dem sehr komplexen sozioökonomischen und ökologischen System Landnutzung und Klimawandel fokussiert der konzeptionelle und methodische Rahmen der Studie auf quantitativen Analysen flächenwirksamer Landnutzungsstrategien, die auf produktiven Flächen in der Land- und Forstwirtschaft in erster Linie einen Beitrag zum Klimaschutz leisten sollen. Auf die möglichen Handlungsfelder in den flächennutzenden Sektoren wird im Kap. 3 ausführlich eingegangen. Das heißt, es werden nur die THG-relevanten Prozesse betrachtet, die direkt mit Landnutzung oder Landnutzungsänderungen verbunden sind. Damit Landnutzungsstrategien zu einem Nachhaltigen Landmanagement beitragen können, gilt es, vielschichtige Aspekte zu berücksichtigen, u. a. auch die Resilienz gegenüber dem Klimawandel. Der Klimawandel und seine Auswirkungen bzw. Anpassungsmöglichkeiten werden in den Analysen zur Landnutzung im Bereich Siedlung und Verkehr sowie im Wald berücksichtigt; die Rückwirkungen veränderter Landnutzung auf den Klimawandel jedoch nicht.

In diesem Kontext spannt die Entwicklung von Siedlungs- und Verkehrsflächen für die für Land- und Forstwirtschaft zur Verfügung stehende Fläche einen Rahmen auf. Von Siedlungs- und Verkehrsflächen, die 14 % der Landesfläche bedecken, geht ein großer Teil der anthropogen verursachten Treibhausgase aus. Diese entstehen durch die Verbrennung fossiler Energie, z. B. beim Heizen (Klimatisieren) von Wohnraum oder beim

Verkehr. Diese Prozesse sowie Maßnahmen zur Minderung der durch sie entstehenden THG-Emissionen, wie die Dämmung von Gebäuden, Kraftstoffeinsparung, aber auch die Erzeugung regenerativer Energien durch Wind- und Photovoltaik, stehen in der Regel in keinem unmittelbaren Zusammenhang zur Landnutzung und werden daher nicht betrachtet. Die für die regenerative Energieerzeugung wie Windkraft oder Freiflächenphotovoltaik benötigten Flächen werden insofern betrachtet, als dass sie für die Land- und Forstwirtschaft nicht mehr zur Verfügung stehen und ggf. versiegelt sind. Der Beitrag dieser Anlagen zur THG-Emissionsminderung hängt jedoch entscheidend von Faktoren ab, die in dieser Studie nicht analysiert werden.

Analog zum Bereich Siedlung und Verkehr gibt der in dieser Studie verwendete konzeptionelle und methodische Rahmen auch für die Land- und Forstwirtschaft ein Portfolio der analysierbaren flächenwirksamen Landnutzungsstrategien vor. So handelt es sich bei den oben angesprochenen THG-Emissionen, die bei der Tierhaltung sowie bei der Lagerung und Transport von Wirtschaftsdüngern entstehen, nicht um landnutzungsbedingte Emissionen. THG-emissionsmindernde Maßnahmen aus diesem Bereich werden aus diesem Grund in der Studie nicht explizit berücksichtigt.

Untersuchungsregion

Der Beitrag unterschiedlicher Landnutzungsstrategien und -systeme zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel wurde flächendeckend und regional differenziert für Deutschland analysiert. Zusätzlich wurden mögliche regionalspezifische Hemmnisse bei der Umsetzung von Landnutzungsmaßnahmen und -strategien in zwei unterschiedlichen Fokusregionen untersucht, zum einen die ländliche, durch Land- und Forstwirtschaft geprägte Altmark im Norden Sachsen-Anhalts mit den Landkreisen Altmarkkreis Salzwedel und Stendal und zum anderen die durch die Ballungszentren Köln und Bonn geprägte meist suburbane Rhein-Region mit dem Rhein-Sieg-Kreis und dem Rheinisch-Bergischen Kreis. Im Folgenden wird ein Überblick über die geographische, klimatische, demographische und wirtschaftliche Ausgangssituation in Deutschland gegeben und die Besonderheiten der Fokusregionen herausgearbeitet.

Deutschland liegt zwischen $47^{\circ}16'15''$ und $55^{\circ}03'33''$ nördlicher Breite und $5^{\circ}52'01''$ und $15^{\circ}02'37''$ östlicher Länge. Es ist geprägt von einem Nord-Süd-Gradienten der Höhenlagen. Dieser wird durch die Mittelgebirge unterbrochen (vgl. Abb. 1.1) und durch Großlandschaften charakterisiert. Die naturräumlichen Großlandschaften sind von Nord nach Süd Nord- und Ostsee, Norddeutsches Tiefland, Mittelgebirgszone und Alpenvorland mit den Alpen. Das Norddeutsche Tiefland gliedert sich in Marschland, das Mecklenburgisch-Vorpommersche Küstengebiet, die Norddeutsche Seenplatte, das zentrale Norddeutsche Tiefland sowie die Lössbörden. Als Mittelgebirge sind zu nennen das Rheinische Schiefergebirge, Niedersächsisch-Hessisches Bergland, der Harz, das Thüringer Becken, die östlichen Mittelgebirge, das Pfälzisch-Saarländische Schichtstufenland, das oberrheinische Tiefland sowie das südwestdeutsche Stufenland. Bereits aus der Nennung der einzelnen naturräumlichen Großregionen wird deutlich, dass für Deutschland eine Vielfalt an Landschaften charakteristisch ist.

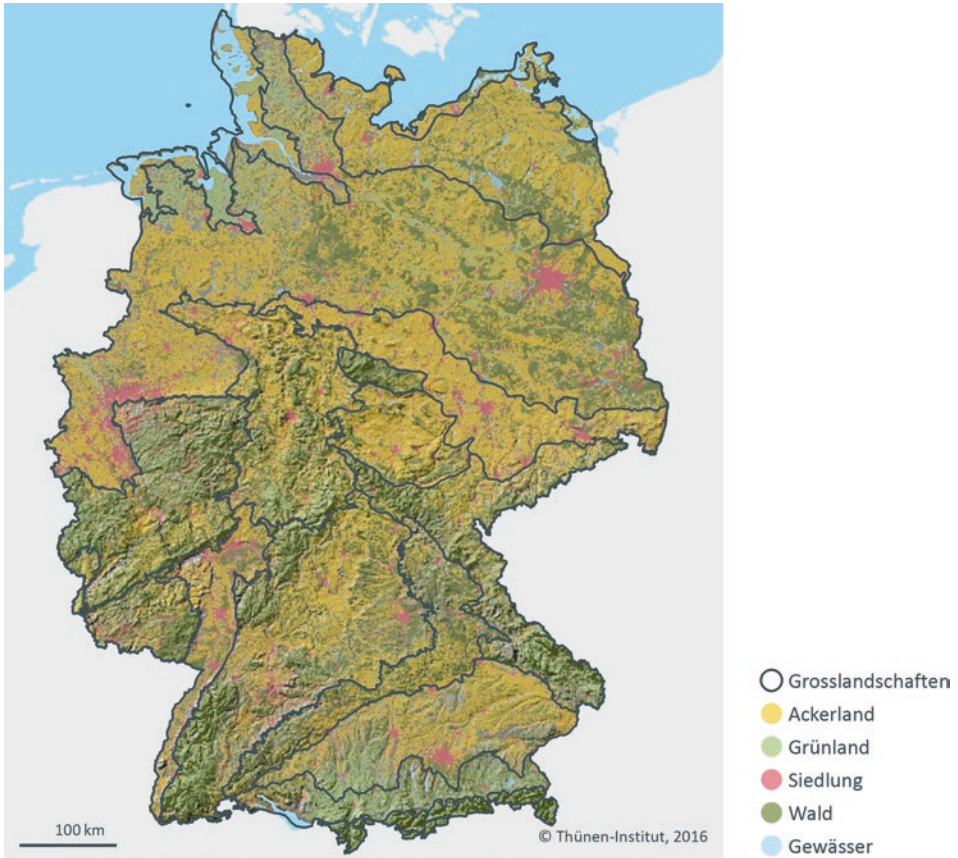


Abb. 1.1 Deutschland nach Höhe über N.N. (Quelle: © GeoBasis-DE/BKG 2016)

Das Klima in Deutschland gehört vollständig zum warmgemäßigten Regenklima der mittleren Breiten. Die vorherrschenden westlichen Winde führen das ganze Jahr über feuchte Luftmassen vom Atlantik heran, die zu Niederschlägen führen. Der Einfluss des ozeanischen und des kontinentalen Klimas nimmt von Nordwest nach Südost ab bzw. zu (DWD 2011), sodass Deutschland genau in der Übergangszone dieser beiden Klimazonen liegt. Der Einfluss des Golfstroms führt zu einem relativ hohen Temperaturniveau für die geographische Breitenlage (Minobe et al. 2008). Der ozeanische Einfluss bedingt relativ milde Winter und nicht zu heiße Sommer. Allerdings können sich gelegentlich stabile Hochdruckgebiete bilden, die die Westströmung nachhaltig blockieren und zu sehr kalten Wintern sowie trocknen und heißen Sommern führen (DWD 2011).

Die jährliche Durchschnittstemperatur bezogen auf die Normalperiode 1961–1990 Deutschlands liegt bei 8,2 °C und die entsprechenden Niederschläge liegen bei 789 l m⁻² (DWD 2011). Der kälteste Monat des Jahres ist der Januar, mit Durchschnittstemperaturen von +1,6 bis -0,5 °C im Tiefland und bis zu unter -6 °C in den

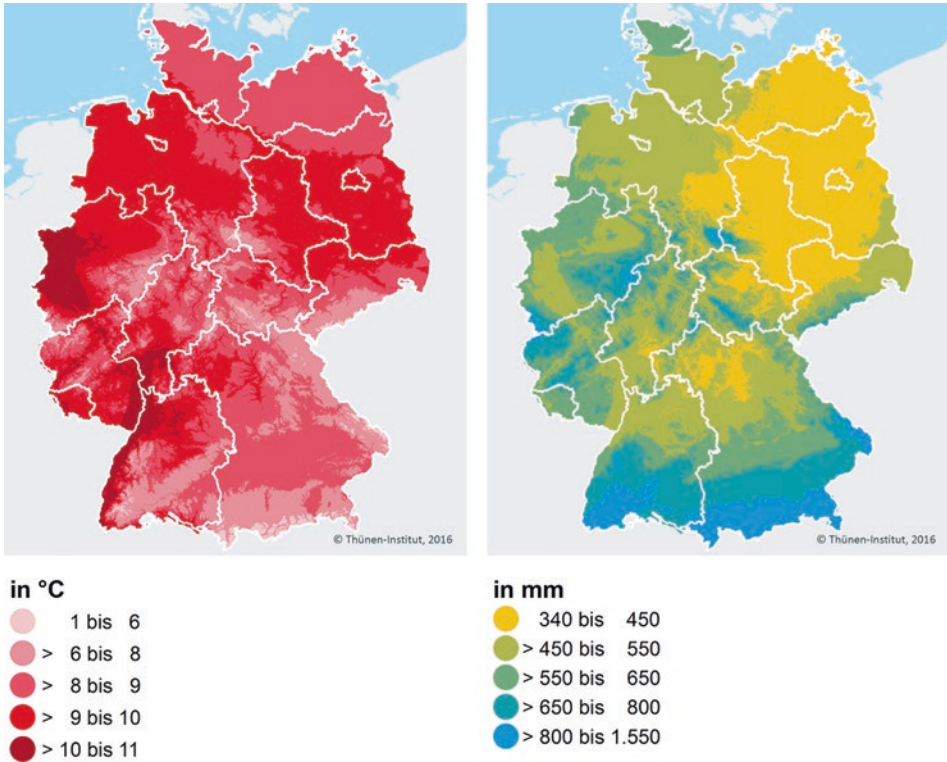


Abb. 1.2 Jahresmitteltemperatur und Jahresniederschlag 1981 bis 2010. (Quelle: DWD 2011)

Höhenlagen der Gebirge. Der Juli als der wärmste Monat erreicht im Norddeutschen Tiefland +17 bis +18 °C, im Oberrheingraben sogar +20 °C (Statistisches Bundesamt Deutschland 2011). Die Temperatur- und Niederschlagsverteilung innerhalb Deutschlands ist von der Topographie und der Entfernung vom Meer abhängig und durch die Mittelgebirgszüge und weitreichenden flachen Landschaften stark strukturiert (vgl. Abb. 1.2).

Der Oberrheingraben zwischen Basel und Frankfurt/Main weist aufgrund typischer Südwest-Wetterlagen mit Luftmassen aus dem westlichen Mittelmeerraum und niedriger Geländehöhen die vergleichsweise wärmsten Sommer- und Wintertemperaturen auf. Besonders warm und trocken sind auch die Täler der Saale und Elbe, die sich im Lee (windabgewandte Seite) von den Mittelgebirgszügen Harz und Thüringer Wald befinden, da Feuchtigkeit schon auf der Luv-Seite durch die erzwungene Hebung der Luftmassen und anschließender Wolkenbildung als Niederschlag der Luft entzogen wird. Insgesamt ist der Osten Deutschlands aufgrund seiner größeren Entfernung zum Atlantik relativ trocken und durch den zunehmenden kontinentalen Einfluss im Sommer relativ warm, sodass die Niederungen im südlichen Ostdeutschland genauso warm sind wie der Südwesten. Der Niederrhein kann hingegen wegen seiner geringen Höhe und seiner Nähe

zum Meer die mildesten Winter verzeichnen. Die Küstenregionen weisen wegen der wärmenden Wirkung des Wassers relativ milde, wenn auch windreiche Winter auf. Die Sommer hingegen sind aufgrund der nördlichen Lage, starker Winde und der kühlenden Wirkung des Wassers an der Nordsee vergleichsweise rau. Die Ostseeküste profitiert im Sommer von dem stärkeren Einfluss des Kontinentalklimas, was zu relativ warmen Sommern führt. Das Klima der höheren Lagen der Mittelgebirge ist von niedrigen Temperaturen, hohen Niederschlägen und starken Winden dominiert, wobei dies besonders im Harz, Schwarzwald und Bayrischen Wald ausgeprägt ist (DWD 2011).

Bei unterschiedlichen klimatischen, naturräumlichen und standörtlichen Gegebenheiten bilden sich typische Kulturlandschaften und typische Landnutzungen heraus, deren Wandel unterschiedlich verläuft. Neben Metropolregionen gibt es beispielsweise landwirtschaftlich sehr intensiv genutzte Regionen, aber auch sehr dünn besiedelte agrar- und forstwirtschaftlich geprägte Regionen mit extensiver Nutzung. Darüber hinaus wirkt sich Klima in unterschiedlichen Kulturlandschaften unterschiedlich aus und auch der Klimawandel zeigt sich regional differenziert (vgl. Abschn. 2.2). Während in den fruchtbaren Bördelandschaften die Ackerfläche dominiert, wird in Nordseeküstenregionen, den Mittelgebirgslagen sowie auf den sandigen Böden Ostdeutschlands ein hoher Anteil der Fläche als Grünland oder Wald genutzt. Wettervariabilität und der immer sicherer projizierte Klimawandel in den kommenden Jahrzehnten stehen in vielfältigen Wechselwirkungen zur Landnutzung (Schaller und Weigel 2007; Zebisch 2005).

Einen Überblick über die regionale Landnutzung bzw. Landbedeckung in Deutschland gibt Abb. 1.3. Deutlich erkennbar sind die Metropolregionen mit ihren verdichteten Siedlungs- und Verkehrsflächen. Im Jahr 2015 betrug die Bevölkerung in Deutschland 82,2 Mio. Menschen. Davon lebten rund 31 % in Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern. Innerhalb Deutschlands wurden zwei Fokusregionen ausgewählt, die sich bezüglich der Landnutzung und des Landnutzungswandels stark unterscheiden. Die *Altmark* ist eine ländlich und agrarisch geprägte Region, die die beiden Landkreise Altmarkkreis Salzwedel und den Landkreis Stendal im Norden Sachsen-Anhalts umfasst. Als *Fokusregion Rhein* wird die durch die Ballungszentren Köln und Bonn geprägten Landkreise Rhein-Sieg und Rheinisch-Bergischer Kreis in Nordrhein-Westfalen untersucht (vgl. Abb. 1.3).

Die **Fokusregion Altmark** ist mit einer Fläche von 471.588 ha dem größeren Strukturraum „Norddeutsches Tiefland“ zuzuordnen. Sie grenzt im Westen an die Lüneburger Heide und das Wendland, im Norden an die Prignitz. Richtung Osten erfolgt die Abgrenzung mit der Flusslandschaft Elbe und dem Jerichower Land und im Süden grenzt die Altmark an die Magdeburger Börde. Klimatisch herrscht in der Altmark eine mittlere Jahrestemperatur von etwa 9 °C und eine mittlere Niederschlagsmenge von unter 600 mm pro Jahr (vgl. Tab. 1.1).

Im Jahr 2010 lebten circa 211.000 Einwohner in der Altmark. Das entspricht einer Einwohnerdichte von 45 Einwohnern pro km². In den Jahren von 1990 bis 2010 nahm die Bevölkerung um 19 % ab. Bis 2030 wird ein weiterer Rückgang um 19 % erwartet. Knapp 70 % der Beschäftigten waren im Dienstleistungssektor und etwa 25 % im produzierenden

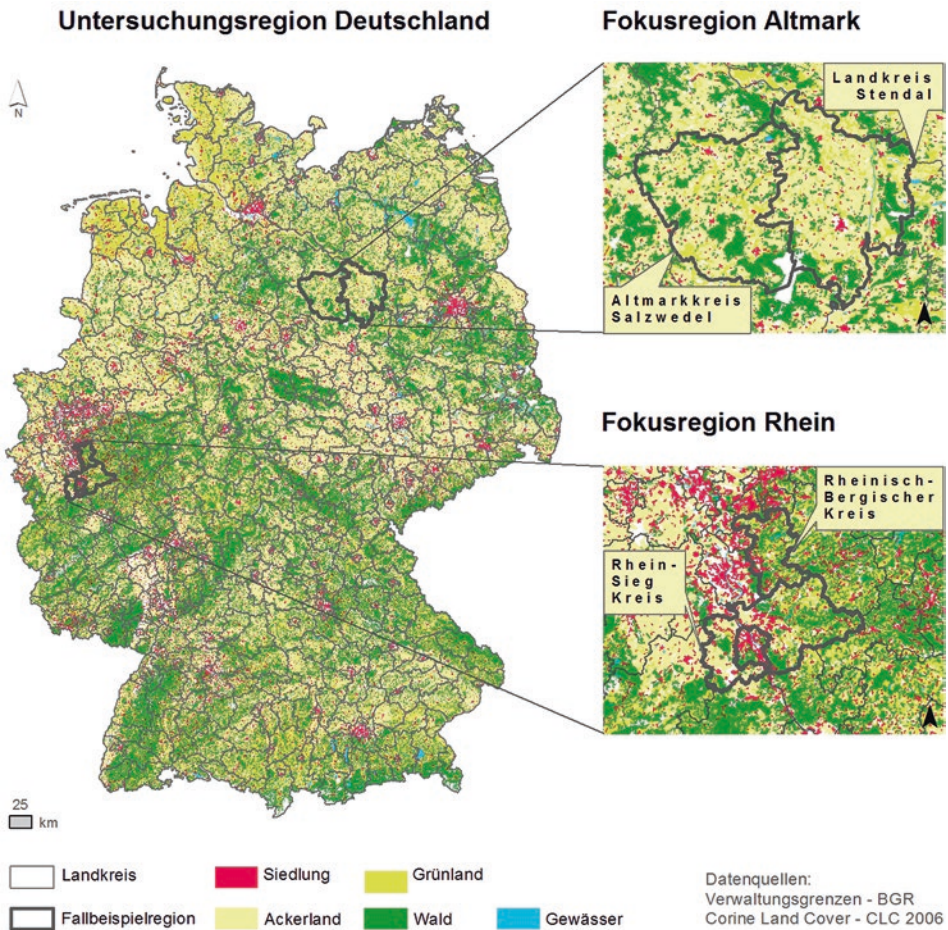


Abb. 1.3 Landnutzung in Deutschland und Fokusregionen Altmark und Rhein

Gewerbe beschäftigt. In der Land- und Forstwirtschaft waren rund 5 % der Beschäftigten tätig. Damit lag der Anteil der in der Land- und Forstwirtschaft Erwerbstätigen höher als der bundesweite Anteil von 2,2 %. Die Arbeitslosigkeit lag bei 14 % (Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt). Die Altmark verzeichnet ein Pendlerdefizit und ist mit einem Anschluss an den ICE-Hochgeschwindigkeitsverkehr (Stendal) ausgestattet. Der Ausbau der Bundesautobahn 14 Magdeburg – Schwerin ist in der Umsetzung.

Im Jahr 2010 betrug die Landwirtschaftfläche rund 65 %, Wald rund 25 % und Siedlungs- und Verkehrsfläche etwa 7,6 % der Gesamtfläche der Altmark (Wasser- und sonstige Flächen 2,4 %). Landwirtschaftliche Betriebe gaben an, rund 58 % der Gesamtfläche zu nutzen. Etwa 12 % der Fläche ist durch streng geschützte Flächennutzung eingeschränkt. Hierzu zählt beispielsweise der Naturpark Drömling (27.800 ha) im Süden der Altmark. Als Wassereinzugsgebiet ist insbesondere das Einzugsgebiet Elbe hervorzuheben.

Tab. 1.1 Tabelle mit Indikatoren zur Charakterisierung. (Quelle: DWD, Statistisches Bundesamt, Destatis, Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen)

	Deutschland	Fokusregion Altmark	Fokusregion Rhein
Klima			
Temperatur in °C	9,0	9,2	9,7
Niederschlag in mm	671	379	552
Bevölkerung			
Einwohner je km ² 2015	230	43	582
Änderung 1995 bis 2015	+0,4 %	-20 %	+7,7 %
Flächen			
Siedlung und Verkehr	13,7 %	7,4 %	24,2 %
Landwirtschaftsfläche	51,6 %	64,9 %	39,8 %
Waldfläche	30,6 %	26,3 %	33,6 %
Gesamtfläche in km ²	357.408	4716	1590

In der Fokusregion Altmark liegen Flächennutzungskonflikte vor allem zwischen Naturschutz und Landwirtschaft vor. Die Ausweitung von Flächen zur Biomasseproduktion sowie die Etablierung von Schutzgebieten stehen hier im Vordergrund der Diskussion. Im Verkehrsbereich liegen Konflikte um den Ausbau der Bundesautobahn 14 und den erforderlichen Ausgleichsmaßnahmen vor (Abschn. 5.3).

Die **Fokusregion Rhein** umfasst die Landkreise Rhein-Sieg-Kreis und Rheinisch-Bergischer Kreis. Diese gehören administrativ zum Regierungsbezirk Köln und dort zur Planungsregion Bonn/Rhein-Sieg bzw. Köln. Naturräumlich befindet sich die Region mit 159.077 ha Fläche im Übergangsbereich von der Niederrheinischen Bucht zum Rheinischen Schiefergebirge und ist durch Mittelgebirgs-, Hügel- und Flachlandschaft geprägt. Im Norden grenzt die Region an die Kölner Bucht, im Süden an den Niederwesterwald und das Mittelrheingebiet. In West-Ost-Richtung reicht die Region vom Eifelabhang bis in das Bergische Land. Die mittlere Jahrestemperatur (9,7°C) und der durchschnittliche mittlere Niederschlag (552 mm) liegen höher als in der Altmark.

Im Jahr 2010 lebten in der Fokusregion Rhein 875.663 Menschen, davon entfallen zwei Drittel auf den Rhein-Sieg-Kreis. Im Durchschnitt entspricht das einer Einwohnerdichte von 634 Einwohnern pro km², 14-fach höher als in der Altmark. Die Prognose zur Bevölkerungsentwicklung bis 2030 zeigt kaum Veränderungen. Über 75 % der Beschäftigten sind im Dienstleistungssektor, etwa 22 % im verarbeitenden Gewerbe und nur knapp 1 % in der Land- und Forstwirtschaft. Die Arbeitslosenquote lag im Jahr 2010 bei 7 % (Statistisches Landesamt Nordrhein-Westfalen). Die Region verfügt über eine sehr gute Verkehrsinfrastruktur mit Anschluss an den ICE-Hochgeschwindigkeitsverkehr (Köln), schnellen Anbindungen an die Flughäfen Köln/Bonn, Düsseldorf und Frankfurt sowie den Anschlüssen zu den Bundesautobahnen 1, 3 und 4.

Deutlich sind die Unterschiede zur Fokusregion Altmark auch bei der Flächennutzung. Im Jahr 2010 wurden in der Fokusregion Rhein 24 % der Bodenfläche als Siedlungs- und Verkehrsfläche, 33 % als Wald und 41 % als Agrarfläche genutzt (Wasser- und sonstige Flächen 2 %). Wobei die landwirtschaftliche Flächennutzung im Rhein-Sieg-Kreis, die forstliche im Rheinisch-Bergischen-Kreis deutlich ausgeprägter ist.

Der Anteil der streng geschützten Gebiete lag 2010 bei knapp 14 % der Fläche. Hierzu zählt beispielsweise der Naturpark Bergisches Land. Insbesondere im Rheinisch-Bergischen Kreis sind unter anderem aufgrund einer Vielzahl von Talsperren 16.700 ha als Trinkwassereinzugs- bzw. Wasserschutzgebiete ausgewiesen. Landnutzungskonflikte entstehen hier im Gegensatz zur Altmark aus einer stark ausgeprägten Flächennutzungskonkurrenz. Die hohe Bevölkerungsdichte führt insbesondere zu einer hohen Nachfrage nach Flächen zur Siedlungs- und Verkehrsentwicklung, die den Interessen der Landwirtschaft und des Naturschutzes entgegensteht.

1.3 Überblick über den methodischen Ansatz und die Vorgehensweise

Johanna Fick und Horst Gömann

Die Analyse und Bewertung nachhaltiger Landnutzungsstrategien, die substanziell zur Minderung von THG-Emissionen beitragen, basiert auf den nachstehenden fünf Säulen:

1. sozioökonomische und bio-physikalische Modellierung,
2. Wirkungsanalyse von Maßnahmen und Strategien,
3. Transdisziplinarität: Einbeziehung von Akteuren,
4. Umsetzungshemmnisse in Fokusregionen,
5. Integrierte Bewertung.

Die erste Säule bildet eine integrierte sozioökonomische und bio-physikalische Modellierung, durch die sektorübergreifend die Wechselwirkungen zwischen Landnutzung, THG-Emissionen, Anreicherung bzw. Freisetzung von Kohlenstoff aus den Böden, Nährstoffemissionen, Wasserhaushalt, Gewässerqualität und Ökosystemfunktionen unter Klimawandel abgebildet werden. Der Modellverbund wurde nach einem für die integrierte Modellierung typischen Ansatz konzipiert, wonach Modellsysteme aus einer oder mehreren wissenschaftlichen Disziplinen miteinander in einem Modellverbund gekoppelt werden (Soos 2010).

Der Modellverbund umfasst sowohl etablierte Modelle, die teilweise zu anderen Fragestellungen bereits zusammengearbeitet haben, als auch neu entwickelte Modelle, die in den Verbund eingefügt wurden. Die Modelle wurden isoliert voneinander entwickelt bzw. weiterentwickelt und können daher für sich allein stehend genutzt

werden. Im Verbund generieren sie umfassendere und komplementäre Informationen (Geoffrion 1989), die es ermöglichen, Vorgänge in komplexen Systemen zu analysieren. Die Kopplung erfolgt über Schnittstellen, über die ein Datenaustausch zwischen den Modellen stattfindet. Die ausgetauschten Daten sind harmonisiert, sodass die Informationen für die austauschenden Modelle verwertbar sind. Auch werden die zur Kalibrierung dienenden Basisdaten der Modelle weitgehend harmonisiert, um vergleichbare Basisperioden und Simulationsperioden zu gewährleisten. Da ganz Deutschland regional differenziert abgebildet wird, können vertiefende Analysen auch in anderen Regionen innerhalb Deutschlands durchgeführt werden. Der Modellverbund wird ausführlicher im Abschn. 4.2 erläutert.

Mit Hilfe des interdisziplinären Modellverbundes wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen und Strategien der Landnutzung, die die zweite Säule des methodischen Ansatzes bilden, ermittelt und die jeweiligen Ergebnisse der Wirkungsanalysen anhand einer Indikatorenmatrix komparativ-statisch gegenüber einer Referenzprojektion miteinander verglichen und bewertet. Als Referenzprojektion zur Quantifizierung und Bewertung der Auswirkungen von Maßnahmen und Strategien wurden die zu erwartenden Entwicklungen bis zum Jahr 2030 unter Beibehaltung der derzeit geltenden Rahmenbedingungen sowie bereits beschlossener und im Projektionszeitraum noch umzusetzender Politiken projiziert.

Die Ebene der Maßnahmen umfasst konkrete flächenwirksame Landnutzungsmaßnahmen, die im Wesentlichen einen Beitrag zum Klimaschutz bzw. zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Da in der Praxis verschiedene Maßnahmen gleichzeitig umgesetzt werden, die mehr oder minder überlappende Wirkungen haben, werden Einzelmaßnahmen zu Maßnahmenbündeln zusammengefasst, die unterschiedliche Schwerpunkte gesellschaftlicher Ansprüche an Landnutzung aufgreifen. In der Studie repräsentieren die Maßnahmenbündel **Strategien der Landnutzung**. Da der Fokus der Studie auf der Analyse eines größtmöglichen, effizienten Beitrags der Landnutzung zur Minderung von THG-Emissionen liegt, spielt die **Strategie „Klimaschutz“** eine zentrale Rolle. Darüber hinaus wurden drei weitere Maßnahmenbündel als Strategien der Landnutzung untersucht: eine auf verstärkte Biomasseproduktion zur **Bioenergiebereitstellung**, eine auf **Natur- und Umweltschutz** sowie eine auf **Anpassung an den Klimawandel** ausgerichtete Landnutzung. Die in den Modellen jeweils operationalisierten Maßnahmen und Strategien werden im Abschn. 4.1 erläutert.

Die dritte Säule stellt die Beteiligung von Akteuren dar. Als Akteure wurden im Rahmen dieser Studie sowohl Vertreter relevanter gesellschaftlicher Gruppen bezeichnet, die professionell mit Flächennutzung, Flächennutzungswandel und -konflikten befasst sind, als auch von Landnutzungsentscheidungen betroffene, auch individuelle, nicht-organisierte sowie selbst solche Entscheidungen treffende Personen. Die Akteure wurden von Anfang an in Beteiligungsprozessen einbezogen, um die praktische Relevanz der Forschung und der avisierten Ergebnisse sicherzustellen. Einerseits stehen Landnutzer in der Praxis vor der Frage, in welcher Weise sie ihre Nutzungen zukünftig entwickeln sollen, andererseits arbeiten Planungsinstitutionen und politische Akteure an Rahmen-

setzungen, die die Landnutzung gezielt in klimaschutzfreundlichere und an den Klimawandel besser angepasste Formen lenken sollen. Dieser transdisziplinäre Ansatz ging über die Grenzen disziplinärer und interdisziplinärer Forschung hinaus und integrierte lebensweltliche Fragestellungen und Praxisbezug, um von der Wissenschaft sowie Praxis geteilte Problemdefinitionen neues Wissen zu generieren. Lösungsansätze und -wege wurden im Dialog zwischen Wissenschaftlern und Akteuren entwickelt, beispielsweise die Identifizierung effizienter Landnutzungsmaßnahmen, die Entwicklung und Bewertung von Landmanagementstrategien.

In einer vierten Säule wurden konkrete regionale und lokale Umsetzungshemmnisse von Landmanagementstrategien in den beiden oben genannten Fokusregionen Altmark und Rhein untersucht. Hier galt es innerhalb eines transdisziplinären Diskurses, die gesellschaftliche Tragfähigkeit, Effektivität und Umsetzbarkeit von Handlungsoptionen exemplarisch in Regionen mit unterschiedlichen Herausforderungen durch demographische Veränderungen, wirtschaftlichen Strukturwandel oder Klimawandel zu überprüfen.

Die fünfte Säule bildete eine integrierte Bewertung der untersuchten Landnutzungsmaßnahmen und Landmanagementstrategien. In die Bewertung fließen die Ergebnisse der Modellierung, des transdisziplinären Diskurses sowie der Analyse von Handlungsoptionen der Landnutzung einschließlich der institutionellen Gestaltungsoptionen ein. Ein Großteil der für die Bewertung verwendeten Indikatoren basiert auf dem sogenannten Ökosystemleistungsansatz (Ecosystem Services Approach). Dieser Ansatz – und seine weltweite Verbreitung – geht maßgeblich auf den im Auftrag der Vereinten Nationen erstellten Millennium Assessment Report (MA 2005) zurück, in dem Ökosysteme als „ein dynamischer Komplex aus Pflanzen-, Tier- und Mikroorganismengemeinschaften und nichtlebendiger Umwelt, die zusammen als eine funktionsfähige Einheit interagieren“ definiert wurden.¹ Ökosystemleistungen beschreiben alle für die Menschen relevanten Produkte eines Ökosystems. Leistungen der Agrar- und Forstökosysteme umfassen beispielsweise u. a. die Bereitstellung von Nahrungsmitteln, Holz, die Bindung von Kohlenstoff, die Regulation des Wasserhaushaltes, die Gewährleistung von Lebensraum für zahlreiche Tier- und Pflanzenarten, Erholungsraum für den Menschen sowie Beiträge zu einem als ästhetisch oder inspirierend empfundenem Landschaftsbild. Die Anwendung des Ökosystemleistungsansatzes in dieser Studie ist in Abschn. 5.1 ausführlich beschrieben.

Im folgenden Kap. 2 wird die aktuelle Situation der Landnutzung in Deutschland und den beiden Fokusregionen dargestellt. Die Wirkungen wesentlicher sozioökonomischer und politischer Treiber auf den Wandel der Landnutzung und Bewirtschaftungsformen werden erläutert und die jeweiligen Herausforderungen mit Blick auf den Klimaschutz und Klimawandel in den landnutzenden Sektoren Siedlung und Verkehr sowie Land- und Forstwirtschaft herausgearbeitet. Ein Fokus liegt auf den landnutzungsbedingten THG-Emissionen.

¹„A dynamic complex of plant, animal, and microorganism communities and the nonliving environment interacting as a functional unit.“ (MA 2005).

Handlungsfelder und mögliche Maßnahmen zur Minderung von THG-Emissionen und zur ressourcenschonenden Landnutzung werden im Kap. 3 beschrieben. Diese wurden im Diskurs mit den Akteuren erarbeitet. Nicht alle der in Kap. 3 adressierten Handlungsfelder und Maßnahmen ließen sich in den modellgestützten Wirkungsanalysen umsetzen. Im Kap. 4 erfolgt eine umfassende Beschreibung der Ergebnisse der Wirkungsanalysen von klimaschutzorientierten Maßnahmen und Strategien der Landnutzung und deren Anpassungsmöglichkeiten an den Klimawandel.

Das Kap. 5 beinhaltet die Bewertung der klimatischen, ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen von Landnutzungsstrategien und ihrer Konsequenzen für andere gesellschaftliche Ansprüche. Die Bewertung umfasst eine erweiterte Nutzen-Kosten-Analyse von Ökosystemleistungen, eine Prüfung der Umsetzbarkeit von Maßnahmen in das bestehende rechtliche Regel- und Steuerungsinstrumentarium sowie eine exemplarische Überprüfung der gesellschaftlichen Tragfähigkeit, Effektivität und Umsetzbarkeit in Fokusregionen. Auf dieser Basis erfolgt im Kap. 6 eine Schlussbetrachtung mit Empfehlungen nachhaltiger Landnutzungsstrategien im Hinblick auf die Erreichung von Klimaschutzzielen.

Literatur

- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2015) Artenschutz-Report 2015. Tiere und Pflanzen in Deutschland. Bonn. www.bfn.de. Zugegriffen: 19. März 2019
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016) Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. <https://www.bmu.de/>. Zugegriffen: 19. März 2019
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2010) Die Wasserrahmenrichtlinie. Auf dem Weg zu guten Gewässern. Berlin. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4012.pdf>. Zugegriffen: 19. März 2019
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2010) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, S 32. Zugegriffen: 28. Sept. 2010
- Bundesregierung (2002) (Erster) Bodenschutzbericht der Bundesregierung für die 14. Legislaturperiode, verabschiedet vom Bundeskabinett am 19.06.2002. <https://www.bmu.de/publikation/erster-bodenschutzbericht-der-bundesregierung/>. Zugegriffen: 19. März 2019
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2011) Jahresbericht 2011. https://www.dwd.de/DE/leistungen/jahresberichte_dwd/jahresberichte_pdf/jahresbericht_2011.pdf?__blob=publicationFile&v=2. Zugegriffen: 19. März 2019
- Europäische Union (EU) (2003) Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates
- Europäische Union (EU) (2013) Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2013 über ein System für die Überwachung von Treibhausgasemissionen sowie für die Berichterstattung über diese Emissionen und über andere klimaschutzrelevante Informationen auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 280/2004/EG

- Europäische Union (EU) (2014) Verordnung (EU) Nr 662/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 in Bezug auf die technische Umsetzung des Kyoto-Protokolls zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
- Geoffrion AM (1989) Computer-based modeling environments. *Eur J Op Res* 41(1989):33–43
- Goetzke R, Schlump C, Hoymann J, Beckmann G, Dosch F (2014) Flächenverbrauch, Flächenpotenziale und Trends 2030. BBSR-Analysen Kompakt 07/2014. Bonn
- Gömann H, Weingarten P (2017) Landnutzungswandel [Vorabveröffentlichung]. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg) Handwörterbuch der Stadt- und Raumentwicklung. ARL, Hannover. https://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn059218.pdf. Zugegriffen: 19. März 2019
- Gömann H, Bender A, Bolte A, Dirksmeyer W, Englert H, Feil J-H, Frühauf C, Hauschild M, Kregel S, Lilienthal H, Löpmeier F-J, Müller J, Mußhoff O, Natkhin M, Offermann F, Seidel P, Schmidt M, Seintsch B, Steidl J, Strohm K, Zimmer Y (2015) Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); Abschlussbericht: Stand 03.06.2015. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, S 312, Thünen Rep 30
- Haber W, Bückmann W (2013) Nachhaltiges Landmanagement, differenzierte Landnutzung und Klimaschutz, Bd 16. FAGUS-Schriften, Berlin, S 407
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR Klimaänderungen) (2014a) KLIMAÄNDERUNG 2014 Synthesebericht. https://www.de-ipcc.de/media/content/IPCC-AR5_SYR_barrierefrei.pdf. Zugegriffen: 12. März 2019
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014b) Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y, Farahani E, Kadner S, Seyboth K, Adler A, Baum I, Brunner S, Eickemeier P, Kriemann B, Savolainen J, Schlömer S, von Stechow C, Zwickel T, Minx JC (Hrsg)]. Cambridge University Press, New York
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (KOM) (2007) Begrenzung des globalen Klimawandels auf 2 Grad Celsius – Der Weg in die Zukunft bis 2020 und darüber hinaus. KOM (2007) 2 endgültig, Brüssel
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington
- Minobe S, Kuwano-Yoshida A, Komori N, Xie S-P, Small RJ (2008) Influence of the Gulf Stream on the troposphere. *Nature* 452:206–209
- National Inventory Report (NIR) (2014) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto Protokoll, 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2012. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Schaller M, Weigel H-J (2007) Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. *Landbauforsch Völkenrode SH* 316. FAL, Braunschweig, S 248
- Schinninger I (2008) Globale Landnutzung. In: Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“. Berlin. https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu.de/templates/dateien/veroeffentlichungen/hauptgutachten/jg2008/wbgu_jg2008_ex09.pdf. Zugegriffen: 12. März 2019
- Soos A (2010) Integrated modeling. Environmental News Network (ENN), Published July 9, 2010 02:17 PM. <http://www.enn.com/sci-tech/article/41525>. Zugegriffen: 2. Jan. 2012

- Umweltbundesamt (UBA) (2016) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2015 Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2013. Dessau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_02_2016_berichterstattung_unter_der_klimarahmenkonvention_der_vereinten_nationen_2015.pdf. Zugegriffen: 12. März 2019
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1998) Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2019
- Vereinte Nationen (UN) (1992) Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2019
- Zebisch M, Grothmann T, Schröter D, Haße C, Fritsch U, Cramer W (2005) Climate change in Germany – vulnerability and adaptation of climate sensitive sectors (Klimawandel in Deutschland – Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme). Report commissioned by the Federal Environmental Agency, Germany (UFOPLAN 201 41 253). Potsdam Institute of Climate Impact Research, Potsdam, S 205

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Ist-Situation der Landnutzung in Deutschland

2

Jana Hoymann, Sarah Baum, Peter Elsasser, Rene Dechow,
Martin Gutsch und Johanna Fick

Inhaltsverzeichnis

2.1	Rahmenbedingungen	22
2.1.1	Politische Rahmenbedingungen	22
2.1.1.1	Raumordnungspolitik	22
2.1.1.2	Agrarpolitik	23
2.1.1.3	Förderung erneuerbarer Energien	24
2.1.1.4	Naturschutz- und Umweltpolitik	26
2.1.1.5	Forstpolitik	29
2.1.2	Agrarökonomische Rahmenbedingungen	30
2.1.3	Forstökonomische Rahmenbedingungen	32
2.1.4	Gesellschaftliche Rahmenbedingungen	34

J. Hoymann (✉)

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung, Bonn, Deutschland

E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

S. Baum · J. Fick

Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland

R. Dechow

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, Deutschland

P. Elsasser

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie,
Hamburg-Bergedorf, Deutschland

M. Gutsch

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V., Potsdam, Deutschland

© Der/die Autor(en) 2021

H. Gömann und J. Fick (Hrsg.), *Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und
Klimawandel*, https://doi.org/10.1007/978-3-658-18671-5_2

21

2.2	Landnutzung in Deutschland	35
2.2.1	Sektorübergreifende Flächennutzung	36
2.2.2	Siedlungs- und Verkehrsfläche	39
2.2.3	Landwirtschaftliche Flächennutzung	41
2.2.4	Forstliche Flächennutzung	45
2.3	Einordnung landnutzungsinduzierter THG-Emissionen	47
2.3.1	Allgemeiner Überblick über THG-Emissionen in Deutschland	48
2.3.2	Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen	50
2.3.2.1	Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen in der Landwirtschaft	53
2.3.2.2	Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen der Forstwirtschaft	58
2.3.2.3	Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen der Siedlungs- und Verkehrsflächen	60
2.3.3	Landnutzung und THG-Emissionen in den Fokusregionen	60
	Fokusregionen: Struktur der landwirtschaftlichen Landnutzung	60
	Fokusregion Altmark (Landkreise Stendal und Altmarkkreis Salzwedel)	61
	Fokusregion Rhein (Landkreise Rheinisch-Bergischer Kreis und Rhein-Sieg-Kreis)	64
	Literatur	66

2.1 Rahmenbedingungen

Jana Hoymann, Sarah Baum, Peter Elsasser und Johanna Fick

2.1.1 Politische Rahmenbedingungen

2.1.1.1 Raumordnungspolitik

Unter Raumordnungspolitik werden alle Maßnahmen verstanden, die der Raumordnung dienen. Deren Aufgabe ist es, auf überörtlicher Ebene die raumbedeutsamen Fachplanungen sektorübergreifend zu koordinieren und aufeinander abzustimmen sowie zur Ordnung, Sicherung und Entwicklung der Raumnutzungen und Raumfunktionen beizutragen (vgl. Fürst und Scholles 2008, S. 70). Den rechtlichen Rahmen hierfür bildet das Raumordnungsgesetz (ROG). Nach der darin festgelegten Leitvorstellung der Raumordnung sind der Gesamttraum sowie die Teilräume der Bundesrepublik Deutschland nachhaltig zu entwickeln (§ 1 (2) ROG). Dies beinhaltet die Zielsetzung, die sozialen und wirtschaftlichen Ansprüche an den Raum mit seinen ökologischen Funktionen in Einklang zu bringen, sodass eine dauerhafte, großräumig ausgewogene Ordnung mit gleichwertigen Lebensverhältnissen in den Teilräumen gewährleistet ist. Dies soll im Rahmen zusammenfassender, überörtlicher und fachübergreifender Raumordnungspläne, durch raumordnerische Zusammenarbeit und durch Abstimmung raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen erfolgen.

Die Ziele, Grundsätze und sonstigen Erfordernisse der Raumordnung sind bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen öffentlicher Stellen zu berücksichtigen. Mit Blick auf die gesellschaftlichen Ansprüche an die Landnutzung sind ausgeglichene soziale, infrastrukturelle, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle Verhältnisse im

Gesamtraum und in den Teilräumen anzustreben. Hierbei ist ein komplexes System unterschiedlicher, teilweise gegenläufiger Ziele und Anforderungen auszutarieren. Neben der Versorgung mit Dienstleistungen und Infrastrukturen der Daseinsvorsorge ist der Raum im Hinblick auf eine langfristig wettbewerbsfähige und räumlich ausgewogene Wirtschaftsstruktur und wirtschaftsnahe Infrastruktur sowie auf ein ausreichendes und vielfältiges Angebot an Arbeits- und Ausbildungsplätzen zu entwickeln. Gleichzeitig ist die Siedlungstätigkeit räumlich zu konzentrieren und die Zerschneidung der freien Landschaft und von Waldflächen sowie die Flächeninanspruchnahme im Freiraum zu vermeiden bzw. zu minimieren. Für die Land- und Forstwirtschaft sind die räumlichen Voraussetzungen zu erhalten oder zu schaffen, sodass sie ihre Funktion für die Nahrungs- und Rohstoffproduktion erfüllen können. Historisch geprägte und gewachsene Kulturlandschaften sind in ihren prägenden Merkmalen und mit ihren Kultur- und Naturdenkmälern zu erhalten und die Funktionsfähigkeit der Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas einschließlich der jeweiligen Wechselwirkungen zu entwickeln. Belange des Klimawandels werden im Grundsatz Nr. 6 des § 2 (2) ROG explizit aufgegriffen, wonach den räumlichen Erfordernissen des Klimaschutzes Rechnung zu tragen ist, sowohl durch Maßnahmen, die dem Klimawandel entgegenwirken, als auch durch solche, die der Strategie „Klimaanpassung“ dienen.

Auf der Ebene der Raumordnung in den einzelnen Bundesländern werden die Vorgaben des ROG aufgegriffen und in Landesplanungsgesetzen umgesetzt und angepasst. In den Ländern sind Raumordnungspläne für das Landesgebiet (landesweiter Raumordnungsplan) und Raumordnungspläne für die Teilräume der Länder (Regionalpläne) aufzustellen. Die Regionalpläne sind aus dem jeweiligen Raumordnungsplan für das Landesgebiet zu entwickeln und dienen der Umsetzung der Ziele und Grundsätze der Landesplanung und deren räumlicher Konkretisierung. Die nachgelagerte kommunale Bauleitplanung hat sich bei der Aufstellung von Bauleitplänen an die Ziele der Raumordnung anzupassen (§ 1 (4) BauGB).

Die Raumordnung auf Bundesebene nimmt zudem Einfluss auf die räumliche Entwicklung durch die Verabschiedung von Leitbildern der Raumordnung, die sich an raumplanerische Entscheidungsträger in Bund und Ländern richten und über empfohlene Handlungsansätze Eingang in die Praxis finden sollen. Die aktuell gültigen Leitbilder stammen aus dem Jahr 2016. Der Klimawandel findet in einem eigenen Leitbild nun deutlich mehr Gewicht als noch in den alten Leitbildern aus dem Jahr 2006, indem ein eigenes Teilziel „Räumliche Strukturen an den Klimawandel anpassen“ verankert wird.

2.1.1.2 Agrarpolitik

Prägend für die landwirtschaftliche Landnutzung ist die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union. Sie wurde in mehreren Schritten beginnend mit der Reform im Jahr 1992 von einem auf Preisstützung ausgerichteten Marktordnungssystem in ein marktorientiertes System mit Direktzahlungen überführt. Im Rahmen dieser Reform wurden die gestützten Preise für wichtige Produkte wie Getreide, Rindfleisch, Milch und Zucker sukzessive gesenkt und Einkommenseinbußen in der Landwirtschaft

durch Ausgleichszahlungen kompensiert, die in späteren Reformschritten in von der Produktion entkoppelten Direktzahlungen umgewandelt wurden.

Produktionsmengenregulierende Maßnahmen wie Flächenstilllegungen wurden auch vor dem Hintergrund steigender Nachfrage nach Agrarrohstoffen im Jahr 2007 aufgehoben. Verbleibende Regelungen, wie die Quotierung der Produktion von Milch und Zucker, liefen im Jahr 2015 bzw. 2017 aus. Zur Förderung einer umweltverträglichen landwirtschaftlichen Produktion wurden im Rahmen der Entwicklung ländlicher Räume Agrarumweltmaßnahmen eingeführt und darüber hinaus die Gewährung eines Teils der entkoppelten Direktzahlungen an die Einhaltung von Produktionsauflagen geknüpft (Cross Compliance).

Im Zuge der GAP-Reform 2015 wurden die Direktzahlungen stärker auf die Entlohnung von für die Gesellschaft erbrachten Leistungen orientiert. Das sogenannte Greening verpflichtet Landwirte, Höchstanteile bei den Anbaukulturen einzuhalten, Dauergrünland zu erhalten und mindestens 5 % ihrer Ackerflächen als ökologische Vorrangflächen bereitzustellen und auf diesen dem Klima- und Umweltschutz besonders förderliche Landbewirtschaftungsmethoden anzuwenden (BMEL 2015a). Darüber hinaus können Landwirte wie bisher Agrarumweltmaßnahmen umsetzen, die über die sogenannte zweite Säule der Agrarpolitik gefördert werden und beispielsweise zur Erreichung der Ziele der Wasserrahmenrichtlinie beitragen. Beispielsweise dient die Förderung emissionsmindernder Ausbringungstechnik für flüssige Wirtschaftsdünger sowohl der Reduzierung von Nährstoffeinträgen in Gewässer als auch der Minderung von THG-Emissionen (MKULNV 2016).

2.1.1.3 Förderung erneuerbarer Energien

Seit Anfang der 2000er-Jahre hat die Energiepolitik durch die Förderung erneuerbarer Energien, mit der neben Energiesicherheit auch Klimaschutzziele verfolgt werden sollten, für die Landwirtschaft spürbar an Bedeutung gewonnen. Dabei sind die Förderung der energetischen Verwendung von Biomasse sowie die Förderung des Einsatzes von Biokraftstoffen von besonderem Interesse. Im Strombereich schafft das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das im Jahr 2000 in Kraft trat und 2004, 2009, 2012 und 2016 novelliert wurde, über festgesetzte Stromeinspeisepreise Anreize, Biomasse in Strom umzuwandeln. Insbesondere die Einführung eines Bonus für nachwachsende Rohstoffe im Zuge der Novellierung 2004 sowie eines sogenannten Güllebonus mit der Novellierung 2009 lösten einen Boom in der Biogasbranche und der Nachfrage nach Gärsubstraten zur Produktion von Biogas aus (Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik 2007), und wirkten sich auf die landwirtschaftliche Landnutzung aus (Gömann et al. 2013). Ferner kann der Förderung von Windkraft sowie Solarenergie ebenfalls eine gewisse Bedeutung für die Flächennutzung bzw. das Landschaftsbild beigemessen werden.

Die Steigerung der Verwendung regenerativ erzeugten Stroms bzw. von Biokraftstoffen wurde durch die EU-Richtlinien 2001/77/EG bzw. 2003/30/EG vorangetrieben. Demnach sollten in den Mitgliedstaaten der EU bis zum Jahr 2010 ein Stromanteil aus erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in der EU-15 von 22 % sowie ein Biokraftstoffanteil von 5,75 % an sämtlichen Kraftstoffen erreicht werden. Die Förderung

erneuerbarer Energien wurde durch die Richtlinie 2009/28/EG weiterentwickelt. Demnach wird in der Europäischen Union ein Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch von 20 % im Jahr 2020 angestrebt, darunter mindestens 10 % im Verkehrssektor. Für die Mitgliedstaaten wurden unterschiedliche Zielwerte festgelegt; der für Deutschland liegt bei 18 %, wovon 10,9 % aus Bioenergie stammen sollen (BMELV/BMU 2010).

In nationalen Aktionsplänen veröffentlichten die Mitgliedstaaten Informationen zu den sektorspezifischen Zielen für erneuerbare Energie und nationalen Maßnahmen zu deren Verwirklichung. In Deutschland wurden die genannten Richtlinien zur Förderung der erneuerbaren Energien u. a. durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), die Biomasseverordnung und das Biokraftstoffquotengesetz (BioKraftQuG 2006) umgesetzt. Während im EEG die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien wie der Biomasse durch Anreizmechanismen gefördert wird, sollten die Ziele im Biokraftstoffbereich zunächst auch durch eine Mineralölsteuerbefreiung erreicht werden. Der Anreizmechanismus wurde durch die Einführung von Beimischungsquoten ersetzt. Das BioKraftQuG wurde 2009 geändert, um den Einsatz von Biokraftstoffen stärker auf die Reduzierung von THG auszurichten. So wird der Anteil der ab dem Jahr 2015 durch Biokraftstoffe vermiedenen THG-Emissionen stufenweise erhöht, und zwar von 3 % im Jahr 2015 auf 4,5 % bis zum Jahr 2017 und 7 % bis zum Jahr 2020 an der Gesamtmenge Otto- und Dieselmotorkraftstoffs. Zur Erfüllung der Biokraftstoffquoten bzw. THG-Reduktionsquoten können nur nachhaltig erzeugte Biokraftstoffe anerkannt werden (BLE 2010). Neben den nationalen legislativen Maßnahmen werden auf Bundesland- und Regionalebene Informationskampagnen durchgeführt sowie regionale Programme initiiert (z. B. Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe – 3N, Landeswettbewerb „100-Prozent-Erneuerbare-Energien-Kommune“ in Schleswig-Holstein) (vgl. Bundesregierung 2010).

Für den Verkehrsbereich wird das Mindestziel von 10 % erneuerbarer Energie definiert. Für den Stromverbrauch ist ein Gesamtanteil von mindestens 30 % vorgesehen, aus denen 8 % aus Bioenergie stammen sollen (vgl. Tab. 2.1).

Tab. 2.1 Nationale Ziele des Anteils erneuerbarer Energien (EE) und Bioenergien am Gesamtenergieverbrauch. (Quelle: BMELV/BMU 2010)

Anteil EE am gesamten...	2007		2020	
	EE insgesamt	drunter Bioenergie	EE insgesamt	darunter Bioenergie
Primärenergieverbrauch	6,7 %	4,9 %	16 %	11 %
Endenergieverbrauch	8,6 %	6,2 %	18 %	10,9 %
Kraftstoffverbrauch [1]	n. a.	n. a.	12 %	12 %
Stromverbrauch/Stromversorgung	14,2 %	3,9 %	≥30 %	8 %
Endenergieverbrauch für Wärme	6,6 %	6,1 %	14 %	9,7 %

n. a. = nicht ausgewiesen in BMELV/BMU (2010), EE: erneuerbare Energien

2.1.1.4 Naturschutz- und Umweltpolitik

Neben dem Klimaschutz bestehen im Bereich des Natur-, Umwelt- und Ressourcenschutzes vielfältige sektorübergreifende Rahmenbedingungen, die für die Landnutzung von Bedeutung sind. Im Folgenden werden die wichtigsten Regelungen dargestellt.

- Boden

Für den Bodenschutz auf EU-Ebene liegt ein Vorschlag der EU-Kommission für eine Richtlinie vor (EU-KOM 2006), der die in der Richtlinie 2004/35/EG geregelte Umwelthaftung zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden aufgreift. Darüber hinaus besteht kein gemeinschaftlicher Rahmen für den Bodenschutz in den Mitgliedstaaten.

In Deutschland steht für den Schutz des Bodens sowie für Altlastenbewertung und -sanierung mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und der dazugehörigen Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) seit Ende der 1990er-Jahre eine bundeseinheitliche Rechtsgrundlage zur Verfügung. Das BBodSchG dient dazu, nachhaltig die Funktionen des Bodens zu sichern oder wiederherzustellen. Es sind schädliche Bodenveränderungen abzuwehren, der Boden und Altlasten sowie hierdurch verursachte Gewässerunreinigungen zu sanieren und Vorsorge gegen nachteilige Einwirkungen auf den Boden zu treffen. Die auf dem BBodSchG basierenden Bodenschutzgesetze in den Bundesländern sind teilweise um explizite Regelungen bezüglich der Bodenplanungsgebiete im Sinne der Bodensanierung und gebietsbezogenen Bodenschutzes erweitert.

- Wasser

Mit der im Dezember 2000 in Kraft getretenen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL¹) wurde der Schutz der Binnenoberflächengewässer, der Übergangsgewässer, der Küstengewässer und des Grundwassers in der Europäischen Gemeinschaft harmonisiert. Das Ziel der Richtlinie ist es, den guten Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial und den guten chemischen Zustand aller Oberflächengewässer sowie den guten mengenmäßigen und chemischen Zustand des Grundwassers bis zum Jahr 2015 zu erreichen. Zugleich wurden auch der integrierte Gewässerschutz sowie die koordinierte Bewirtschaftung der Gewässer innerhalb von Flusseinzugsgebieten, auch über die Staats- und Landesgrenzen hinweg, initiiert. Die vorab innerhalb der politischen Grenzen realisierte Bewirtschaftung der Gewässer wird nun entsprechend der Flusseinzugsgebiete koordiniert. Auch für das Grundwasser wird der gute quantitative und chemische Zustand bis 2015 angestrebt, die relevanten Ziele, Qualitätsnormen und Maßnahmen sind in der Grundwasserrichtlinie (Richtlinie 2006/118/EG) formuliert. Es wurden und werden prioritäre Stoffe definiert, wobei sowohl

¹Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

Emissionen und Immissionen sowie Einzelstoffe und Gruppenparameter berücksichtigt werden.

Mit Blick auf die Umsetzung der WRRL und das Erreichen der festgelegten Ziele werden unter anderen auch landnutzungsrelevante Maßnahmen eingesetzt. So fordert die WRRL die Umsetzung und Erfüllung aller Normen und Ziele in den für die Bewirtschaftung der Gewässer relevanten Schutzgebieten, insbesondere in den Natura 2000-Gebieten. Ebenso wird u. a. die Wiederherstellung und Neuschaffung von Feuchtgebieten angestrebt. Zur Vermeidung von Nährstoffeinträgen in Gewässer werden beispielsweise in der Landwirtschaft vielfältige Maßnahmen gefördert und die Einhaltung von Auflagen gefordert, beispielsweise Gewässerrandstreifen zur Verminderung diffuser Nährstoffeinträge.

In Deutschland wurden die wesentlichen Grundsätze der WRRL mit der Novellierung des Wasserhaushaltgesetzes, das 2002 in Kraft getreten ist, umgesetzt und mittels Reglungsaufträgen in die Landeswassergesetze übertragen. Nach Umsetzung der Föderalismusreform 2006 wurde 2009 das deutsche Wasserrecht im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) neu geregelt. Nach dem Inkrafttreten des WHG 2010 und der neuen Grundwasserverordnung wurden die Ziele und Vorgaben der WRRL im deutschen Wasserrecht verankert. Die Übertragung in das jeweilige Landesrecht ist teilweise bereits erfolgt oder aktuell in Bearbeitung. Die Qualitätsnormen für Nitrat und Pflanzenschutzmittel sowie die Kriterien zur Ermittlung signifikanter und anhaltend steigender Schadstoffbelastungstrends wurden in die Grundwasserverordnung, die Düngeverordnung, die Pflanzenschutzmittelverordnung und das Wasserhaushaltsgesetz übernommen.

Ein weiteres wichtiges Instrument zum Schutz der Gewässer ist die Nitrat-Richtlinie (Richtlinie 91/676/EWG). Sie soll verhindern, dass Grund- und Oberflächengewässer durch Nitrateinträge aus der Landwirtschaft verunreinigt werden. Die Richtlinie trat in Deutschland 1996 durch die Düngeverordnung in Kraft, welche 2012 sowie 2017 novelliert wurde.

Die Düngeverordnung ist eine Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Wesentlicher Kernpunkt ist hierbei, dass das Ausbringen von Düngemitteln zeitlich und mengenmäßig so erfolgt, dass die Nährstoffe von den Pflanzen größtenteils aufgenommen werden können und Einträge in Gewässer und die Atmosphäre minimiert werden. Neben dem geeigneten Zeitpunkt spielt auch die zur Ausbringung verwendete Technik eine wesentliche Rolle bei der Reduzierung von Austrägen. Des Weiteren muss eine Düngebedarfs-ermittlung erfolgen, welche die Obergrenze für den Stickstoffbedarf standort- und ertragsbezogen für die angebaute Kultur festlegt. Sperrfristen der Ausbringung sind ein weiterer Bestandteil der Düngeverordnung.

Aus Sicht des Europäischen Gerichtshofes reichen die Vorgaben der novellierten Düngeverordnung allerdings nach wie vor nicht aus, um den Vorgaben der Nitrat-Richtlinie auf nationaler Ebene gerecht zu werden, sodass die Bundesrepublik Deutschland hier nachbessern muss, um die Nitratbelastungen zu reduzieren.

- Naturschutz und Biodiversität

Die Erhaltung und der Schutz der biologischen Vielfalt liegen im Fokus des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD), das 1992 in Rio De Janeiro durch die UNCED beschlossen und 2000 durch das Cartagena-Protokoll und das Nagoya-Protokoll überarbeitet wurde. In der EU bilden die FFH-Richtlinie² und die Vogelschutzrichtlinie³ den gemeinschaftlichen Rahmen des Naturschutzes und der Biodiversität. Dabei ist für die Landnutzung von Bedeutung, dass zur Wiederherstellung oder Wahrung eines günstigen Erhaltungszustandes der natürlichen Lebensräume und der Arten von gemeinschaftlichem Interesse besondere Schutzgebiete auszuweisen, Lebensräume zu pflegen, zerstörte Lebensstätten wiederherzustellen und neue Biotope zu schaffen sind. Die Schutzgebiete sollen ein kohärentes Netzwerk (Natura 2000) ergeben und bilden zusammen mit den Artenschutzbestimmungen für den Naturschutz ein umfassendes rechtliches Instrumentarium zum Lebensraum- und Artenschutz.

Die initiale Umsetzung der Biodiversitätskonvention in deutsches Recht erfolgte 2002 durch die Formulierung des Vorsatzes der Erhaltung und Entwicklung der biologischen Vielfalt in § 1 als Ziel des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG). Im Jahr 1999 wurden die Konzeption zu den genetischen Ressourcen für Ernährung, Land- und Forstwirtschaft sowie die Strategie „Forstwirtschaft und biologische Vielfalt“ veröffentlicht. Basierend auf dem Cartagena-Protokoll wurde 2007 die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) erarbeitet und vom Bundeskabinett beschlossen. Übergeordnetes Ziel der NBS ist es, mit einem Zeithorizont bis zum Jahr 2020 den Rückgang der biologischen Vielfalt aufzuhalten und den Trend umzukehren. Mit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes 2009 wurden die Ziele der WRRL auch im deutschen Naturschutzrecht verankert.

Grundsätzlich fällt der Naturschutz in Deutschland in den Kompetenzbereich der Bundesländer, die beispielsweise für die Ausweisung von Natura 2000-Schutzgebieten zuständig sind. Die Bedeutung für die Landnutzung resultiert aus den besonderen Bewirtschaftungsaufgaben für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung in den Schutzgebieten sowie in deren Nähe. Auch außerhalb der besonderen Schutzgebiete soll die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes erhalten werden. Lassen sich Eingriffe in Natur und Landschaft, z. B. durch Siedlungs- und Verkehrswegebauten, nicht vermeiden, sind sie nach den §§ 13 ff des BNatSchG durch landschaftspflegerische Maßnahmen (sogenannte Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen) zu kompensieren. Mit diesem Vorgehen wird ein auf alle Schutzgüter des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes bezogener flächendeckender Ansatz verfolgt.

²Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen.

³Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten.

Der Maßnahmenkatalog der europäischen Biodiversitätskommission wurde 2006 veröffentlicht. Des Weiteren wurde 2007 durch das Waldforum der Vereinten Nationen das Übereinkommen zur nachhaltigen Bewirtschaftung und Entwicklung der Wälder verabschiedet, das durch ein begleitendes Arbeitsprogramm zur Umsetzung bis 2015 ergänzt wird. Rechtlich sind diese Regelungen jedoch nicht verbindlich.

2.1.1.5 Forstpolitik

Die rechtliche Basis der Forstpolitik in Deutschland ist das Forstrecht, das einen eigenen Rechtsbereich darstellt (*lex specialis*). Das Recht zur Gesetzgebung (wie auch deren Vollzug) steht hier nach dem Grundgesetz (GG) grundsätzlich den Ländern zu (Art. 70 (1) GG); Teilbereiche fallen jedoch unter die konkurrierende Gesetzgebung, insbesondere die Förderung der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung (Art. 74 (1) Nr. 17 sowie Art. 91a GG). Entsprechend sind neben dem Bundeswaldgesetz die jeweiligen Landeswaldgesetze forstpolitisch relevant, welche ähnliche, aber nicht identische Regeln aufweisen. Ziele des Bundeswaldgesetzes sind, den Wald zu erhalten, ggf. zu mehren und seine ordnungsgemäße Bewirtschaftung nachhaltig zu sichern, die Forstwirtschaft zu fördern und einen Interessenausgleich zwischen Allgemeinheit und Waldbesitzern herzustellen (BWaldG, § 1). Die EU hat, anders als in der Gemeinsamen Agrarpolitik, keine speziellen forstpolitischen Kompetenzen. Auch auf internationaler Ebene existiert keine rechtsverbindliche „Waldkonvention“, wie sie etwa mit der Klimarahmenkonvention UNFCCC 1992 oder der Biodiversitätskonvention UN-CBD 1992 für die Klimapolitik bzw. den Schutz der biologischen Vielfalt verabschiedet worden sind; vielmehr verteilen sich Elemente einer europäischen und internationalen Forstpolitik fragmentiert über etliche andere Politikbereiche (vgl. u. a. Schwoerer 2015).

Die forstliche Förderung in Deutschland erfolgt auf Basis der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ (GAK) gemeinsam durch Bund und Länder, unter finanzieller Beteiligung der EU. Im Rahmen der GAK entfällt auf den Förderbereich „Forsten“ nur ein relativ geringer Teil der gesamten Fördermittel. So umfasst der derzeit aktuelle GAK-Rahmenplan 2015–2018 insgesamt ein Mittelvolumen von ca. 935 Mio. € für das Jahr 2015, von denen lediglich ca. 49 Mio. € (5,2 %) für Forsten vorgesehen sind (BMEL 2015b). Gefördert werden können Maßnahmen aus vier Bereichen: naturnahe Waldbewirtschaftung (u. a. Waldumbau, Jungbestandspflege), forstwirtschaftliche Infrastruktur (Wegebau, Holzkonservierungsanlagen), forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse (Waldpflege, Mitgliederinformation und Zusammenfassung des Holzangebotes) sowie Erstaufforstung. Bezogen auf die Fläche der Privatwaldbetriebe betragen die tatsächlich ausgeschütteten Fördermittel knapp 15 €/a/ha (Möhring und Mestemacher 2009; vgl. auch Elsasser et al. 2016). Die forstpolitischen Möglichkeiten, über finanzielle Anreize aus der GAK Einfluss auf die Waldbewirtschaftung zu nehmen, sind derzeit also recht begrenzt.

Ähnliches gilt für den Waldklimafonds, aus dem Fördermittel (seit 2013) speziell zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel sowie zur besseren Erschließung des Kohlenstoff-Minderungspotenzials von Wald und Holz zur Verfügung stehen. Der Wald-

klimatefonds ist ein Programmbestandteil des Sondervermögens Energie- und Klimatefonds der Bundesregierung. Die Finanzierung erfolgt aus Erlösen der Zertifikatversteigerungen im Europäischen Emissionshandelssystem. Das jährliche Mittelvolumen des Waldklimatefonds betrug seither jeweils um 15 Mio. €/a, also etwa ein Drittel der GAK-Förderung (Haushaltsgesetze 2014, S. 3197; 2015, S. 2828; 2016, S. 3032). Aktuell werden daraus überwiegend Forschungs- und Demonstrationsvorhaben gefördert.⁴

Forstpolitisch erwähnenswert sind ferner einige Regeln der internationalen Klimapolitik (ausführlicher dazu Hartje et al. 2015, insb. Kapitel 6). Nach den derzeit gültigen Anrechnungsregeln des Kyoto-Protokolls (KP) müssen Emissionsquellen und -senken auf die Emissionsbilanzen der beteiligten Staaten angerechnet werden, die aus Entwaldung und Aufforstung (KP, Art. 3.3), aus Veränderungen in den bestehenden Wäldern (KP, Art. 3.4) sowie aus Veränderungen in den Holzproduktespeichern stammen (decision 2/CMP.7, UNFCCC 2011). Unter derzeitigen Bedingungen entlastet dies die deutsche Emissionsbilanz. Der finanzielle Gegenwert dieser Entlastung wurde für die erste Verpflichtungsperiode des KP unter den damaligen Bedingungen auf etwa 90 Mio. €/a beziffert (Elsasser 2008). Da das Kyoto-Protokoll ausschließlich Rechtsverhältnisse zwischen Staaten regelt, können die dadurch ermöglichten Erträge forst- und holzwirtschaftlicher Klimaschutzmaßnahmen allerdings nur von den beteiligten Staaten realisiert werden, nicht aber von einzelnen Betrieben. Schließlich bietet auch die Emissionshandelsrichtlinie der Europäischen Union (EU 2003) keinen Hebel zur politischen Lenkung forstbetrieblicher Klimaschutzmaßnahmen, da sie zumindest bis 2020 keine Integration forstlicher Senkenzertifikate in das Europäische Emissionshandelssystem vorsieht (EU 2004, 2009; vgl. auch Ciccarese et al. 2011).

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass der bundesdeutschen Forstpolitik nur relativ schwache rechtliche und finanzielle Instrumente zur Verfügung stehen, welche als Gegengewicht zu Marktentwicklungen und zu Politikmaßnahmen außerhalb des Forstsektors geeignet wären und Ansatzpunkte dafür böten, die Bewirtschaftung der Wälder stärker auf klimapolitische Ziele auszurichten (Hartje et al. 2015, S. 155 f.).

2.1.2 Agrarökonomische Rahmenbedingungen

Die Reformen der GAP hin zu einer stärkeren Ausrichtung der Produktion am Markt schlagen sich in der Entwicklung der Agrarpreise nieder. Bis Mitte des Jahres 2006 sind beispielsweise die Erzeugerpreise für Weizen in Deutschland kontinuierlich gesunken. Seitdem ist ein Anstieg der Preisschwankungen bei einem insgesamt leicht ansteigenden Preisniveau erkennbar. Der Preisanstieg bei Ölsaaten hat im Vergleich zum Getreide einige Jahre früher eingesetzt, sodass sich die relative Wettbewerbskraft zwischen Getreide und Ölsaaten zugunsten von Ölsaaten verschoben hat (Abb. 2.1).

⁴Siehe dazu www.waldklimatefonds.de/projekte (zitiert am 12.03.2018).

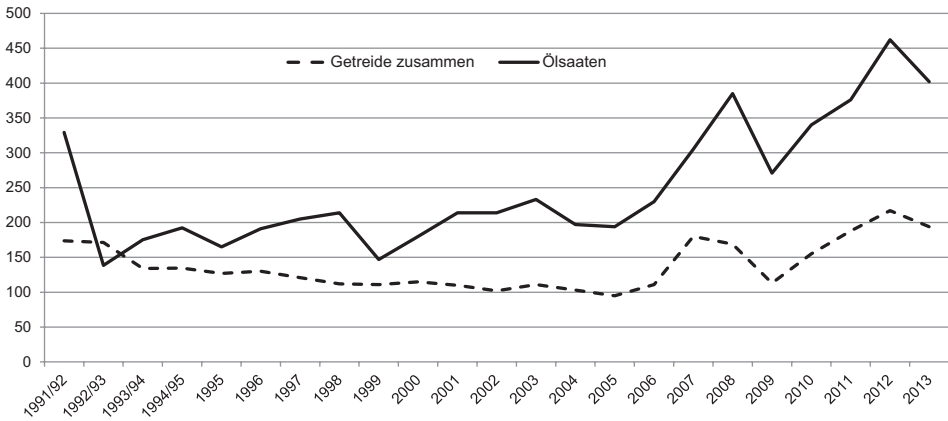


Abb. 2.1 Entwicklung der Erzeugerpreise für Getreide und Ölsaaten in Deutschland (1991 bis 2013). (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Die Produktivitätsentwicklung gemessen an den Flächenerträgen landwirtschaftlicher Kulturen hat sich sehr unterschiedlich entwickelt. Grundsätzlich ist ein langfristiger Anstieg der Flächenerträge bei allen Kulturen erkennbar. Im Zeitraum von 1950 bis 1995 hat sich beispielsweise der Getreideertrag verdreifacht, wobei der stärkste Zuwachs bei Körnermais und Weizen erzielt wurde. Ab Mitte der 1990er-Jahre ist eine Abflachung des Ertragsanstiegs und Zunahme der mittelfristigen Schwankungen zu beobachten (vgl. Abb. 2.2). Demgegenüber weist der Flächenertrag für Zuckerrüben einen kontinuierlichen Ertragszuwachs bei höheren jährlichen Schwankungen auf.

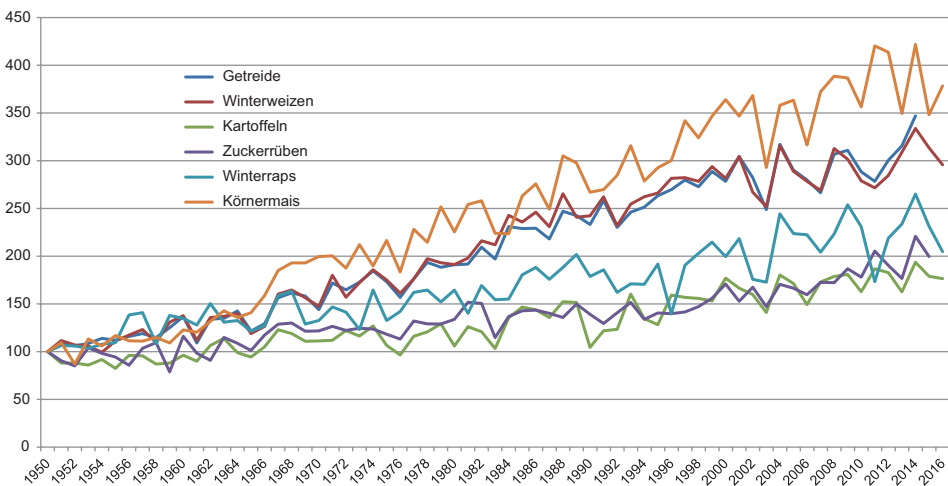


Abb. 2.2 Entwicklung der Flächenerträge in Deutschland. (Quelle: Stat.Jb. BMELV versch. Jgg.)

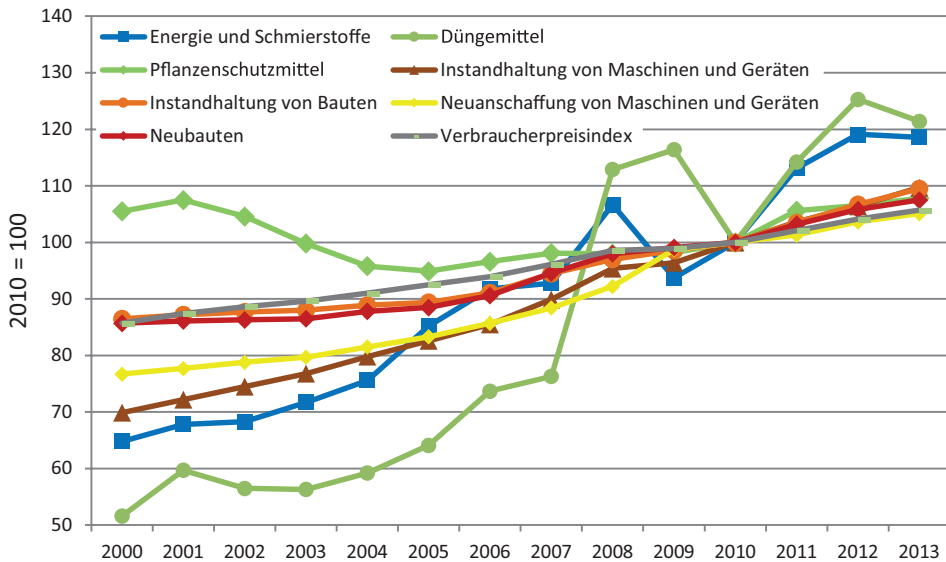


Abb. 2.3 Index der Einkaufspreise landwirtschaftlicher Betriebsmittel. (Quelle: Statistisches Bundesamt, versch. Jgg.)

Die Preisentwicklung für landwirtschaftliche Vorleistungen verlief in den letzten 20 Jahren sehr unterschiedlich für einzelne Produktgruppen (vgl. Abb. 2.3). Seit Längerem sind im Bereich Energie überproportionale Preissteigerungen zu beobachten, welche sich auch auf die Preise von anderen Produktionsfaktoren (z. B. Düngemitteln) ausgewirkt haben. Der Anstieg der Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Produkte hat darüber hinaus zu einer Erhöhung der Nachfrage für landwirtschaftliche Produktionsmittel geführt und dadurch deren Preisniveau angehoben (Offermann et al. 2014).

Die Energiepolitik wirkt sich über den Energiemarkt auf den Produktionssektor der erneuerbaren Energien sowie auf die Produktionskosten (z. B. Treibstoffpreis) aus. Die regionalen Produktionsbedingungen bestimmen die Erträge und Produktionskosten und hängen von Standortbedingungen, von technischen Entwicklungen und den Marktentwicklungen der Produktionsfaktoren ab.

2.1.3 Forstökonomische Rahmenbedingungen

Die bisherige Entwicklung der naturalen Produktion der deutschen Forstwirtschaft kann grob in zwei Phasen eingeteilt werden (Küppers et al. 2009). Bis zum Anfang der 1990er-Jahre blieb der Jahreinschlag (mit Ausnahme von Kalamitätsjahren) mit unter 30 Mio. m³ Rohholzäquivalenten fast konstant; demgegenüber ist der Verbrauch von Holz seit Ende des Zweiten Weltkrieges kontinuierlich angestiegen. Während der Verbrauch um 1950 noch etwa die gleiche Größenordnung aufwies wie der inländische

Jahreseinschlag, lag er Anfang der 1990er-Jahre bei etwa dem zweieinhalbfachen des Jahreseinschlags. Die dadurch entstehende Lücke wurde zum Teil über (Netto-)Einfuhren sowie auch über das steigende Altpapieraufkommen geschlossen. Seit etwa Mitte der 1990er-Jahre wurde der nachhaltige Jahreseinschlag, aufgrund der bestehenden Altersklassenstruktur und begünstigt durch steigende Holzpreise, deutlich gesteigert.⁵ Seit 2004 ist Deutschland nunmehr Nettoexporteur von Holz und holzbasierten Produkten. Da der inländische Holzverbrauch keine ähnlich starke Steigerung aufwies, ist die Lücke zwischen Einschlag und inländischem Verbrauch damit wieder kleiner geworden.

In monetärer Hinsicht lässt sich der Wert der Produktionsleistungen der Forstwirtschaft der Forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung entnehmen, welche sich des Testbetriebsnetzes des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft als wesentliche Datenquelle bedient. Die zur Zeit der Manuskripterstellung aktuellsten Daten beziehen sich auf die Jahre bis einschließlich 2009 (Dieter 2011). Die Erzeugung des Wirtschaftsbereiches Forstwirtschaft (Bruttowertschöpfung plus Vorleistungen) betrug danach 2009 3,3 Mrd. €. Im Vergleich zum Zeitraum zwischen 1991 und 2001, in dem die Ergebnisse um etwa 2,5 Mrd. € schwankten, ist der Produktionswert bis 2007 stetig auf ein bisheriges Maximum von 4,4 Mrd. € gestiegen (der darauf folgende Rückgang ist u. a. durch die globale Wirtschaftskrise bedingt). Mehr als die Hälfte des Produktionswertes (56 % bzw. 1,9 Mrd. €) entfällt auf Nadelholz (Stamm- und Faserholz), welches auch wesentlich für die zurückliegende Steigerung des Produktionswertes verantwortlich ist. An zweiter Stelle stehen forstliche Dienstleistungen (21 % bzw. 0,7 Mrd. €). Laubholz (Stamm- und Faserholz) trägt lediglich 7 % bei (0,2 Mrd. €). Die Nachfrage nach Brennholz ist, entgegen der in jüngster Zeit wieder sinkenden Tendenz der Gesamtnachfrage, angestiegen; der Anteil von Brennholz am gesamten Produktionswert des Wirtschaftsbereiches macht inzwischen 10 % aus.

Die Nettounternehmensgewinne⁶ ergeben sich, wenn man vom Wert der Erzeugung Vorleistungen, Abschreibungen, Arbeitnehmerentgelte und sonstige Produktionsabgaben abzieht und Subventions-, Pacht- und Zinszahlungen berücksichtigt. Sie sind – nach einer langen defizitären Phase in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts – erst seit 2004 ausnahmslos positiv, allerdings ebenfalls seit 2007 rückgängig. Im Jahr 2009 betrugen die Nettounternehmensgewinne des Wirtschaftsbereiches Forstwirtschaft 192 Mio. €; das sind knapp 6 % des Produktionswertes bzw. durchschnittlich 19 €/ha Holzbodenfläche.

⁵Aufgrund der Reparationshiebe war die Altersstruktur des deutschen Waldes stark abgesenkt worden. Erst nach ca. 50 Jahren wuchsen diese Bestände wieder langsam ins hiebsreife Alter, was in Folge den Jahreseinschlag erhöhte. Holzpreissteigerungen steigerten den Jahreseinschlag zusätzlich. Durch Variation der Baumartenwahl bei der Neubegründung der ehemaligen Reparationsaufforstungen entsteht zukünftig, aufgrund der unterschiedlichen Hiebsreife der neubegründeten Baumarten, ein kontinuierlich höherer Jahreseinschlag als noch in den Jahren vor 1990, wobei das aktuell hohe Niveau mit der Endnutzung der letzten Reparationsaufforstungen nicht ganz gehalten werden kann.

⁶Ohne nicht genutzten Zuwachs.

Die Verbesserung der Wirtschaftsergebnisse ist nicht allein auf eine günstige Holzpreisentwicklung zurückzuführen. Sie ist auch Ergebnis gezielter Kosteneinsparungen, die zu erheblichen strukturellen Änderungen in der Forstwirtschaft geführt haben. So werden seit etwa 1990 zunehmend Anteile der forstlichen Arbeiten nicht mehr in Eigenregie, sondern von Dienstleistern ausgeführt. Korrespondierend dazu ist der verwendungsseitige Anteil der Arbeitnehmerentgelte an der Erzeugung des Wirtschaftsbereiches seit den 1990er-Jahren von etwa 70 % auf etwa ein Fünftel gefallen. Insbesondere etliche staatliche Forstverwaltungen sind in jüngerer Zeit betrieblich und organisatorisch neu ausgerichtet worden, indem sie aus der traditionellen Verwaltungsstruktur herausgelöst und zu mehr oder weniger eigenständigen Unternehmen umgestaltet wurden, welche oft wesentlich stärker erwerbswirtschaftlich orientiert sind (Küppers et al. 2009). Dies ist mit einer signifikanten Reduktion der Anzahl von Forstämtern, -revieren und des entsprechenden Fachpersonals verbunden, womit gleichzeitig ein entsprechender Rückgang der forstfachlichen Flächenpräsenz einherging.

2.1.4 Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Die sozioökonomische Entwicklung spannt einerseits den Rahmen für die Entwicklung der Siedlungsflächennutzung auf, beeinflusst diese allerdings nur in begrenztem Umfang. Ein Zusammenhang zwischen demographischer Entwicklung und der Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche ist statistisch kaum nachweisbar, vor allem dann, wenn die Bevölkerungszahl rückläufig ist. Infolge einer Verkleinerung der Haushaltsgrößen stieg die Anzahl der Haushalte in den letzten 20 Jahren kontinuierlich an und führte – ebenso wie steigende Haushaltseinkommen – zur Zunahme der pro-Kopf-Inanspruchnahme von Wohnfläche. Seit den 1990er-Jahren überstieg zunächst in Ostdeutschland, später auch in strukturschwachen ländlichen Regionen Westdeutschlands das Wohnungsangebot die Nachfrage (BBSR 2012). Diese hängt in der Regel ursächlich mit dem nicht mehr marktfähigen Ausstattungsstandard von Wohnungen und Wohngebäuden zusammen und führt zu deren Leerstand bei gleichzeitigem Neubau von Wohnungen meist am Siedlungsrand (Dosch 2008, S. 44). Demgegenüber haben Veränderungen ökonomischer Größen wie wirtschaftliche Wertschöpfung und Haushaltseinkommen oder die Beschäftigungsentwicklung entweder keine oder nur eine untergeordnete Bedeutung für die Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung.

In BMVBS und BBSR (2009) wurden die Einflussfaktoren der Neuinanspruchnahme von Flächen detailliert untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Flächeninanspruchnahme „nicht alleine mit der Nachfrage nach Siedlungsflächen aus Bevölkerung und Wirtschaft erklärt werden kann“. So konnten keine signifikant positiven Zusammenhänge zwischen Flächeninanspruchnahme und Beschäftigtenzahl, BIP oder Beschäftigtendichte gefunden werden. Vielmehr weisen die Ergebnisse darauf hin, dass sich Beschäftigungswachstum und Flächeninanspruchnahme nicht zwingend bedingen. Die Bereitstellung von Gewerbeflächen zieht also nicht unbedingt Beschäftigungseffekte

nach sich, wenn es sich z. B. um die Verlagerung eines Betriebsstandortes handelt. Ein weiterer Erklärungsansatz ist der massive Beschäftigungszuwachs der letzten zehn Jahre in den Kernstädten, vor allem im Dienstleistungssektor, der ohne eine weitere Flächeninanspruchnahme vonstatten ging. Dieser Ansatz wird durch die Analyse der Beschäftigtendichte bestätigt. Die Flächenausweisung für Gewerbe-/Industrieentwicklung wird den Untersuchungen zufolge u. a. durch die Bereitstellung von Mitteln aus der Gemeinschaftsaufgabe zur Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur gefördert. Hohe Bodenpreise und der Trend zur höheren Flächenproduktivität bremsen demgegenüber den gewerblichen Flächenverbrauch.

Andererseits bestimmt die Angebotsplanung, d. h. die Baulandausweisung, durch die Kommunen den Flächenverbrauch maßgeblich mit. Üppige Baulandangebote werden in der Regel mit stadtentwicklungspolitischen und fiskalischen Interessen begründet und solange sich das kommunale Einnahmesystem in Deutschland stark an den Bevölkerungszahlen der Gemeinden orientiert, sehen sich Kommunen gezwungen, untereinander um neue Einwohner und insbesondere um junge Familien zu konkurrieren. Daher weisen entsprechende Untersuchungen auf einen Zusammenhang zwischen der Zuwanderung von Personen im für den Eigenheimerwerb relevanten Alter und der Intensität des Flächenverbrauchs hin (Einig 2011).

Bezogen auf die Entwicklung der THG-Emissionen aufgrund von Landnutzungsänderungen im Bereich Siedlung und Verkehr lassen sich bisher keine belastbaren Aussagen ableiten. Durch die Flächeninanspruchnahme werden einerseits Böden versiegelt und andererseits bei der Entwicklung von urbanen Grünflächen auch THG-Senken geschaffen.

Für die Entwicklung der THG-Emissionen sind vor allem wirtschaftliche Entwicklungen relevant, die nicht unmittelbar und zwingend mit einer Änderung von natürlicher oder landwirtschaftlicher Landnutzung hin zu Siedlungs- und Verkehrsfläche einhergehen müssen. So steigen die Emissionen mit stärkerer wirtschaftlicher Entwicklung auch auf bereits bebauten Flächen (BMUB 2013). Eine weitere Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsfläche für wirtschaftliche Nutzungen kann darüber hinaus ebenfalls die THG-Emissionen erhöhen.

2.2 Landnutzung in Deutschland

Jana Hoymann, Sarah Baum, Peter Elsasser und Johanna Fick

Zusammenfassung

Der Definition von Landnutzung folgend wird zunächst die Landnutzung in Deutschland in ihrer flächenhaften Ausprägung dargestellt. Anschließend wird auf die Bewirtschaftung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen eingegangen, die unter Berücksichtigung der Herausforderungen des fortschreitenden Klimawandels einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann.

2.2.1 Sektorübergreifende Flächennutzung

Auf die Gesamtfläche Deutschlands mit rund 35,7 Mio. ha verteilen sich die Hauptnutzungsarten Landwirtschaft, Wald sowie Siedlung und Verkehr wie folgt: Im Jahr 2013 beanspruchte Siedlungs- und Verkehrsfläche 13,7 % der Gesamtfläche Deutschlands. 52,5 % entfielen auf landwirtschaftliche Fläche und 30,5 % auf Waldflächen. Auf Gewässer und sonstige Nutzungen entfielen rund 3 % der Fläche. Die Waldfläche verzeichnete seit 1992 einen Zuwachs von ca. 0,26 Mio. ha auf 10,8 Mio. ha im Jahr 2013. Während die Waldfläche somit seit dem Jahr 1992 um rund 0,7 Prozentpunkte der Gesamtfläche zunahm, wurden die Flächen für Siedlung und Verkehr kontinuierlich vor allem zu Lasten der Landwirtschaftsfläche ausgedehnt. So stieg der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Zeitraum von 1992 bis 2013 von 4,1 Mio. ha auf knapp 4,9 Mio. ha um gut 2,2 Prozentpunkte an der Gesamtfläche. Demgegenüber nahm die Landwirtschaftsfläche im gleichen Zeitraum von 19,9 Mio. ha auf 18,7 Mio. ha um 3,2 Prozentpunkte an der Gesamtfläche ab (vgl. Abb. 2.4).

Die Entwicklung der Flächennutzung vollzieht sich regional differenziert. Dies gilt für die gesamtdeutsche Entwicklung und für die Entwicklung innerhalb der Nutzungsarten (Siedlungsstruktur, Acker- und Grünlandnutzung, Baumartenzusammensetzung) (Abb. 2.5).

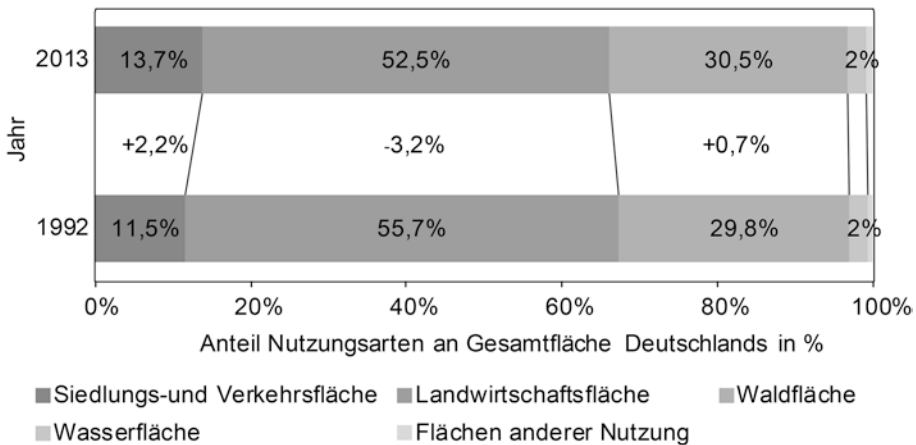


Abb. 2.4 Bodenfläche nach Nutzungsarten in Deutschland 1992 und 2013. (Quelle: Statistisches Bundesamt 2015)

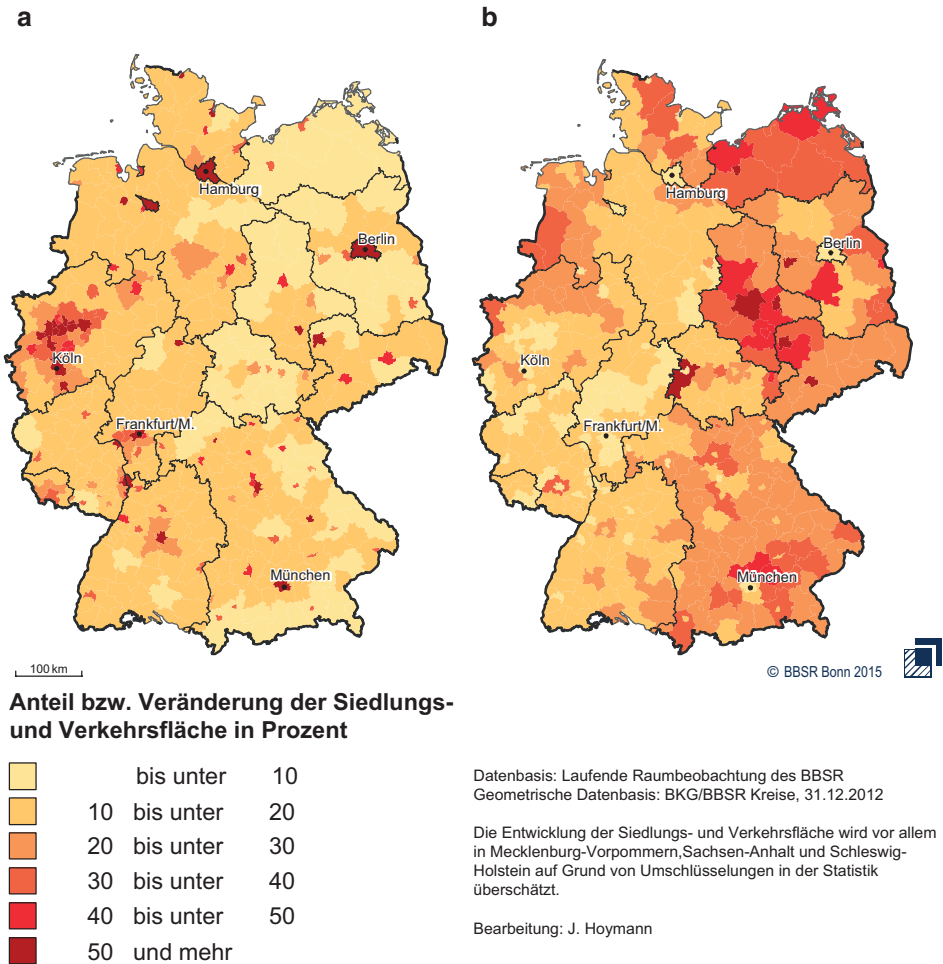
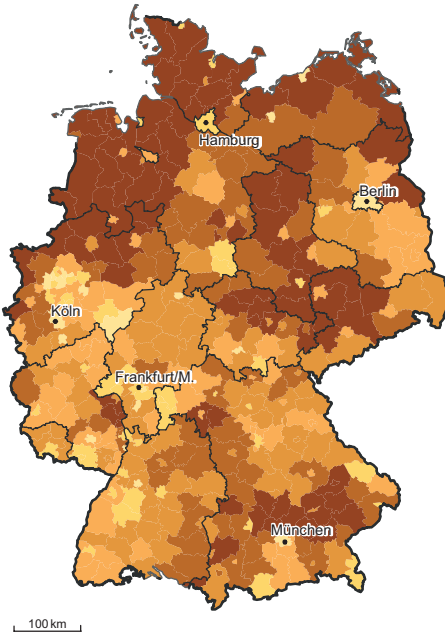
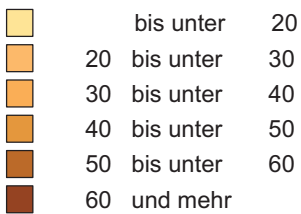


Abb. 2.5 Flächennutzung in den Kreisen Deutschlands **a** Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche an der Katasterfläche 2012, **b** Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche 1992 bis 2012 in %, **c** Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Katasterfläche 2012, **d** Veränderung der Landwirtschaftsfläche 1992 bis 2012 in %, **e** Anteil der Waldfläche an der Katasterfläche 2012, **f** Veränderung der Waldfläche 1992 bis 2012 in %

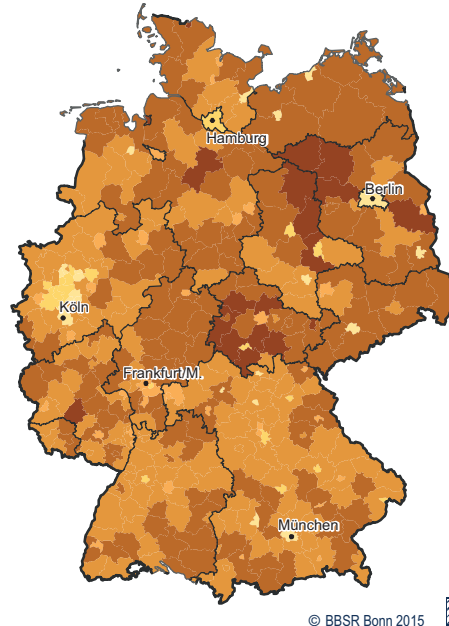
c



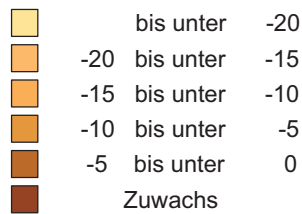
Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Katasterfläche 2012 in Prozent



d

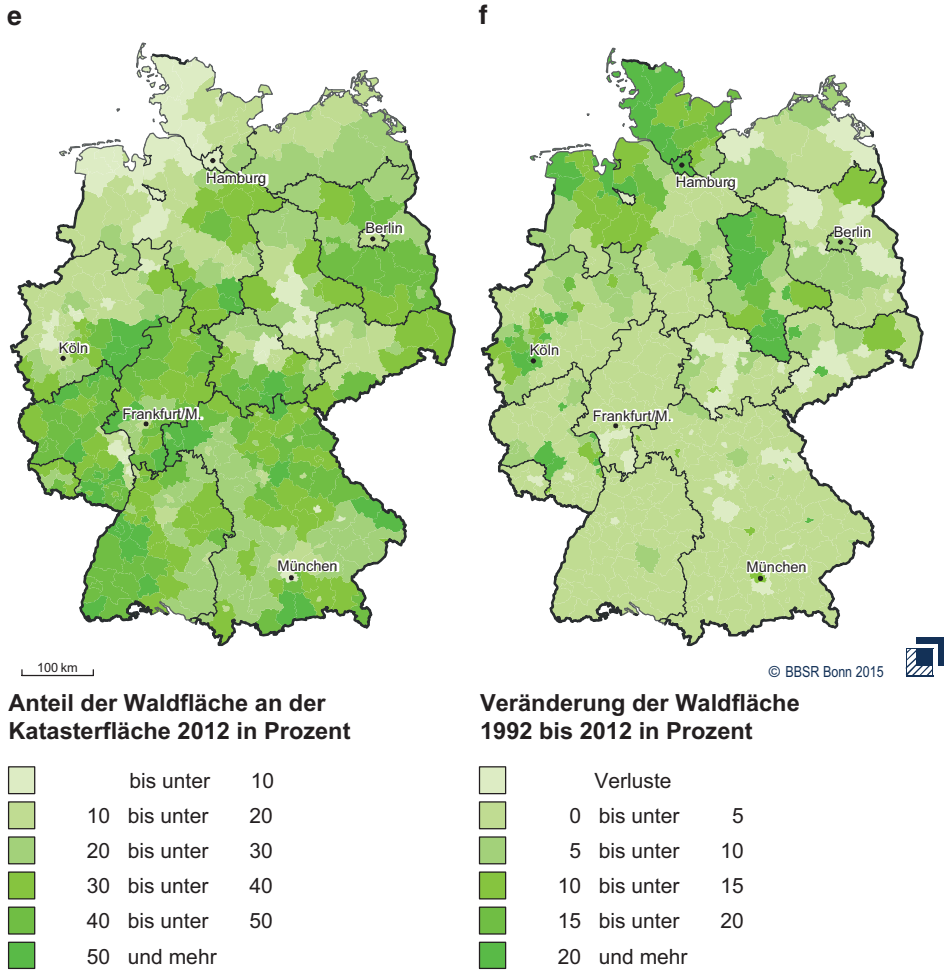


Veränderung der Landwirtschaftsfläche 1992 bis 2012 in Prozent



Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR
 Geometrische Datenbasis: BKG/BBSR Kreise, 31.12.2012
 Bearbeitung: J. Hoymann

Abb. 2.5 (Fortsetzung)



Datenbasis: Laufende Raumbeobachtung des BBSR
 Geometrische Datenbasis: BKG/BBSR Kreise, 31.12.2012
 Bearbeitung: J. Hoymann

Abb. 2.5 (Fortsetzung)

2.2.2 Siedlungs- und Verkehrsfläche

Die Siedlungs- und Verkehrsfläche teilt sich auf die Nutzungsarten Gebäude- und Freiflächen (51 %), Erholungsflächen (einschließlich Friedhöfe, 9,5 %), Betriebsflächen (ohne Abbauand, 1,9 %) und Verkehrsflächen (37,3 %) auf (Statistisches Bundesamt 2014). Die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche hat sich seit Jahren verlangsamt. Im Mittel der Jahre 2009 bis 2013 betrug der Zuwachs 73 ha/Tag, während im Erhebungszeitraum 1997 bis 2000 noch ein Zuwachs von 129 ha/Tag verzeichnet

wurde. Die jeweiligen Zuwächse der einzelnen Nutzungsarten haben sich allerdings unterschiedlich entwickelt. Die Flächenneuinanspruchnahme für Gebäude und Freiflächen ging von rund 78 ha/Tag im Zeitraum 1997 bis 2000 auf gut 26 ha/Tag im Zeitraum 2009 bis 2013 zurück. Nach vielen Jahren auf einem stabilen Niveau von rund 22 ha/Tag sank die Zunahme der Verkehrsflächen zuletzt deutlich auf knapp 17 ha/Tag. Die Flächeninanspruchnahme für Erholungsflächen nahm – bedingt durch statistische Umstellungen – zunächst von 20 ha auf über 40 ha zu, um nun wieder auf rund 22 ha am Tag zu sinken (Statistisches Bundesamt 2014).⁷

Die Entwicklungen der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen Ost- und Westdeutschland verlaufen entgegengesetzt. Während in Ostdeutschland die Agglomerationsräume die stärksten prozentualen Zuwächse der Siedlungs- und Verkehrsfläche verzeichnen, trifft dies in Westdeutschland für die ländlichen Räume zu. Allerdings schrumpft in den ländlichen Räumen die Bevölkerung in beiden Landesteilen am stärksten, wobei es erhebliche Unterschiede im Umfang des Bevölkerungsrückgangs gibt. Einhergehend mit dieser Entwicklung nimmt die einwohnerbezogene Flächeninanspruchnahme in Regionen mit Bevölkerungsrückgang besonders stark zu, denn durch den Rückgang verteilen sich die geringeren Einwohnerzahlen auf eine weitgehend gleichbleibende SuV-Fläche. Dies trifft beispielsweise auf die ländlichen Kreise in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg zu. In wirtschaftlich und demographisch wachsenden Regionen stabilisieren sich die Siedlungsdichten, oder die pro-Kopf-Flächeninanspruchnahmen nehmen sogar leicht ab. Zu diesen Regionen zählen z. B. Berlin, Hamburg, Düsseldorf, Köln, Bonn, Mainz, Wiesbaden und München (Dosch und Beckmann 2011, S. 6 f.).

Auch innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsflächen spielen sich strukturelle Veränderungen ab. Während einerseits neu gebaut wird, kann in vielen Regionen eine Zunahme des Wohnungs- und Gewerbeleerstands beobachtet werden. Vor allem in ländlichen Räumen sind Leerstände, die deutlich über die Fluktuationsreserven hinausgehen, zu verzeichnen. In ländlich-peripheren Räumen besteht eine geringe Aussicht auf Nachnutzung, sodass ein Trend zu Siedlungs-Perforation zu beobachten ist. Ost- und Westdeutschland sind von dieser Entwicklung gleichermaßen betroffen, wobei der Umfang der Brachflächenentwicklung sowie des Leerstandes in Ostdeutschland deutlich höher liegt.

Andererseits konnte Ostdeutschland im Gegensatz zu Westdeutschland die Leerstandsquoten in den vergangenen Jahren deutlich reduzieren. Dies ist vor allem auf die im Rahmen des Programms „Stadtumbau Ost“ durchgeführten Rückbaumaßnahmen zurückzuführen. Ursachen für Leerstände sind sinkende Nachfragen im Segment des

⁷Die massiven Zunahmen der Erholungsflächen sind nicht allein auf tatsächliche Nutzungsänderungen zurückzuführen. Aufgrund einer mehrjährigen Umstellungsphase der Flächenstatistik kommt es zu Umschlüsselungen und einer beeinträchtigten Auswertbarkeit der Datensätze. Nach Schätzungen des BBSR wird die Flächeninanspruchnahme durch Erholungsflächen um fast 20 ha überschätzt (Dosch und Beckmann 2011, S. 4).

Mietgeschosswohnungsbaus aufgrund abnehmender Bevölkerung, sich verändernder Wohnpräferenzen oder schlechter Bausubstanz (BBSR 2012).

Während die meisten Regionen Deutschlands bereits seit einigen Jahren Bevölkerungsrückgänge verzeichnen, werden in einigen Kernstädten aktuell noch deutliche Bevölkerungszuwächse verzeichnet. Einflussfaktoren, die diese „Renaissance der Großstädte“ begünstigen, sind die doppelten Abiturjahrgänge, die zum Studieren in die Stadt wandern, sind ältere Menschen, die in einer Stadt der kurzen Wege wichtige Einrichtungen fußläufig erreichen wollen und ist der Besatz mit Beschäftigten sogenannter Kreativberufe. Die Erschließung innerstädtischer Lagen mit der Entwicklung neuer Stadtquartiere begünstigt die Entwicklungen weiter. Dafür werden vor allem innerstädtische Brachflächen wieder der Nutzung zugeführt (Göddecke-Stellmann 2011, S. 5). Während somit in einigen Städten Konzentrationsprozesse zu beobachten sind, findet in den meisten Räumen Deutschlands nach wie vor eine disperse Siedlungsentwicklung statt.

Obwohl die Siedlungs- und Verkehrsfläche im Vergleich zu anderen Landnutzungen nur knapp 14 % der Landesfläche bedeckt, wird aber der überwiegende Teil der anthropogen verursachten Treibhausgase von diesen Flächen emittiert.⁸ Darüber hinaus geht der Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsfläche vornehmlich zu Lasten qualitativ hochwertiger landwirtschaftlicher und naturnaher Flächenanteile, die in ihrer Funktion oft unwiderrufflich verloren gehen. Ursache für diesen Trend ist, dass sich Siedlungsgebiete historisch oft in landwirtschaftlich ertragreichen Gebieten entwickelt haben. Zusätzlich führt der Flächenverbrauch zu Zerschneidungen der Landschaft, zu Einschränkungen der biologischen Vielfalt und der Erholungsfunktion (Dosch und Beckmann 2011). Das wichtigste Ziel für den Bereich Siedlung und Verkehr ist hiernach die nachhaltige Entwicklung, mit einer Begrenzung der täglichen Flächeninanspruchnahme auf 30 ha bis zum Jahr 2020. Das bedeutet, dass die räumliche Planung von Maßnahmen geprägt ist, die zu diesem Nachhaltigkeitsziel beitragen.

2.2.3 Landwirtschaftliche Flächennutzung

Die landwirtschaftliche Flächennutzung gliedert sich in Ackerflächen, Grünland und Dauerkulturen. Dabei sind die Landwirtschaftsfläche laut Katasterangaben (vgl. Abschn. 2.2.1) und die landwirtschaftlich genutzte Fläche laut Erhebung bei den landwirtschaftlichen Betrieben zu unterscheiden. Im Jahr 2013 umfasste die Landwirtschaftsfläche 18,6 Mio. ha, die landwirtschaftlich genutzte Fläche 16,7 Mio. ha (BMEL 2015a). Die durch die unterschiedlichen Erfassungsmethoden resultierende Differenz von etwa

⁸Dazu zählen Emissionen aus den Bereichen Energie, Industrieprozesse sowie Abfall und Abwasser, die im Jahr 2014 einen Anteil an den THG-Emissionen von über 90 % haben (BMUB 2014).

2 Mio. ha ist vor allem auf nicht-landwirtschaftliche Nutzungen wie beispielsweise Flächen für den Hobby- und Leistungsreitsport zurückzuführen.

Nachfolgend wird für die landwirtschaftliche Flächennutzung von der landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) ausgegangen, die im Jahr 2013 zu 71 % als Ackerfläche, 28 % als Grünland und zu 1 % für Dauerkulturen genutzt wurde (BMEL 2015a). Der oben beschriebene Rückgang der Landwirtschaftsfläche zeigt sich auch in der landwirtschaftlich genutzten Fläche. Seit Mitte der 1990er-Jahre bis 2013 nahm diese Fläche insgesamt um rund 600.000 ha (3,5 %) ab. Der Rückgang erfolgte vor allem zu Lasten des Grünlandes, das trotz besonderem Schutz (Grünlandumbruchverbot) im gleichen Zeitraum um etwa 630.000 ha abnahm. Der Anteil von Grünland an der landwirtschaftlich genutzten Fläche ging damit von 31 % um 3 Prozentpunkte zurück. Demgegenüber blieb die Ackerfläche im gleichen Zeitraum ebenso wie die Flächen für Dauerkulturen nahezu konstant bei knapp 12 Mio. ha bzw. rund 200.000 ha (BMEL 2015a). Bei der Interpretation der Entwicklung sind die Anhebungen der statistischen Erfassungsgrenzen für landwirtschaftliche Betriebe in den Jahren 1999 und 2010 auf 2 bzw. 5 ha zu beachten. Dadurch wurden jeweils rund 180.000 ha nicht mehr erfasst, wobei davon auszugehen ist, dass diese Kleinbetriebe überwiegend Grünland bewirtschaften.

Die regionale landwirtschaftliche Nutzung hängt in erster Linie von den jeweiligen natürlichen Standortbedingungen ab. In der Regel werden Flächen in der Landwirtschaft als Dauergrünland genutzt, wenn aufgrund der natürlichen Voraussetzungen eine Ackernutzung nicht sinnvoll (nicht wirtschaftlich) ist (vgl. Abb. 2.6). Bei einem durchschnittlichen Grünlandanteil von rund 30 % sind weit überdurchschnittliche Grünlandanteile von mehr als 40 % für Küstenregionen, Mittelgebirge und das Voralpenland charakteristisch. Die Änderungen des Grünlandanteils sind im Zeitraum von 1999 bis 2010 regional sehr unterschiedlich. Während in den Küstenregionen, in Schleswig-Holstein, Nordwest-Niedersachsen, am Niederrhein, Teilen der Eifel sowie den Voralpenregionen der Grünlandanteil teilweise um mehr als 10 Prozentpunkte der LF zurückging, wurde er in einigen Mittelgebirgsregionen und Teilen Brandenburgs ausgedehnt. Die ausgewiesenen Anteilsänderungen können sehr unterschiedliche Gründe haben. Beispielsweise wurde in dem Zeitraum Grünland in die Entkopplung der Direktzahlungen als zahlungsberechtigte Fläche einbezogen, sodass ein Anreiz bestand, bisher nicht erfasstes Grünland wieder in Bewirtschaftung zu nehmen. Ein weiterer Grund ist die Umwandlung von Grünland in Ackerland im Zuge steigender Nachfrage nach Agrarrohstoffen.

Die Änderungen der Rahmenbedingungen in der Landwirtschaft schlagen sich in der Struktur der Ackernutzung nieder. Infolge der GAP-Reform von 1992 belief sich die eingeführte Flächenstilllegung in den drei darauffolgenden Jahren auf durchschnittlich rund 11 % der Ackerfläche (vgl. Abb. 2.7). Seit Mitte der 1990er-Jahre trat der Charakter der Flächenstilllegung in dem Maße in den Hintergrund wie der Anbau nachwachsender Rohstoffe auf der stillzulegenden Fläche an Bedeutung gewann. Infolge des Aussetzens

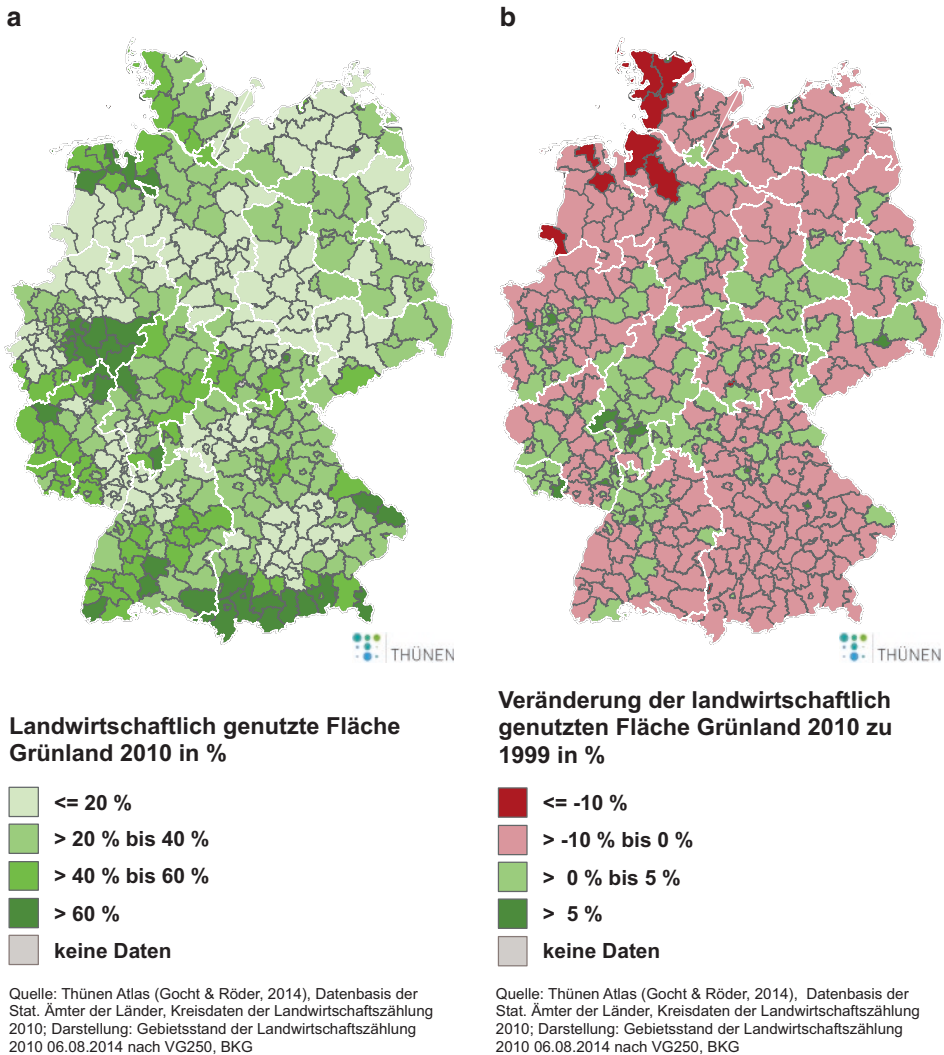


Abb. 2.6 Regionale Grünlandanteile (in % der LF) in 2010 (a) und deren Änderung 1999 bis 2010 (in Prozentpunkten der LF) (b)

der obligatorischen Flächenstilllegung im Jahr 2007 umfasst die Stilllegungsfläche lediglich freiwillig stillgelegte Flächen.

Die im Vergleich zu Getreide günstigere Preisentwicklung bei Ölsaaten führte in den letzten 20 Jahren zu einer Ausdehnung des Ölsaatenbaus um etwa ein Drittel, und zwar von rund 1 Mio. ha auf etwa 1,5 Mio. ha (vgl. Abb. 2.7). Dieser Zuwachs ist nicht zuletzt auf die steigende Nachfrage nach Ölsaaten für die Biodieselerzeugung zurückzuführen.

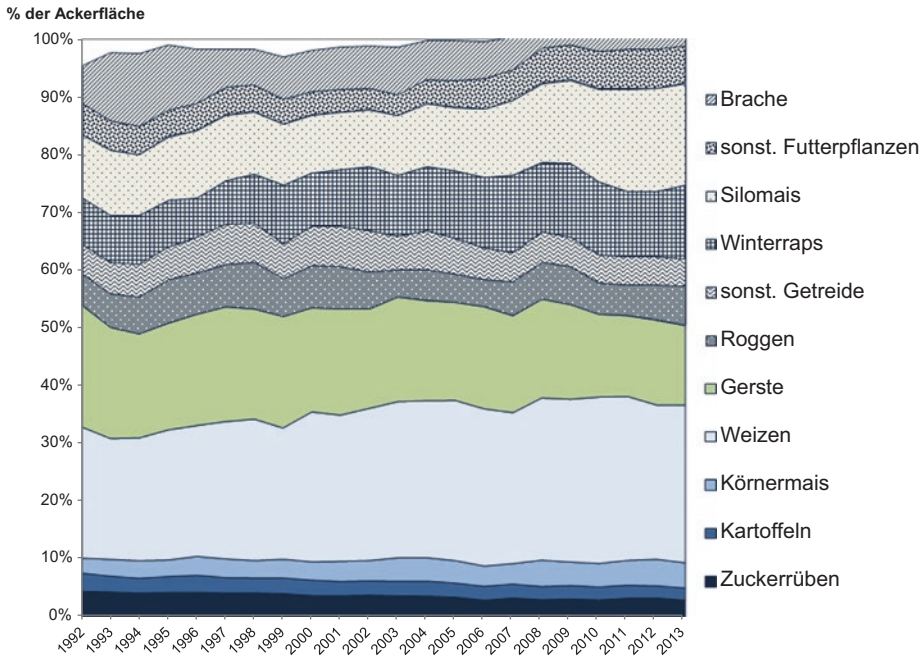


Abb. 2.7 Entwicklung der Ackernutzung in Deutschland nach Fruchtarten. (Quelle: Statistisches Bundesamt, Berechnungen des Thünen-Instituts)

Eine weitere markante Änderung der Ackerflächennutzung ergab sich durch die Förderung des Biomasseanbaus zur Biogaserzeugung, insbesondere infolge der Einführung des NawaRo-Bonus im Rahmen der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2004. Dieses löste einen starken Anstieg des Ackerfutteranbaus aus, insbesondere von Silomais um rund 1 Mio. ha, sodass der Ackerfutteranbau von 2000 bis 2013 von gut 13 auf knapp 22 % der Ackerfläche zunahm.

In Deutschland ist ein anhaltender Trend einer dualen Entwicklung der Landnutzung zu beobachten. Während auf Gunststandorten eine Intensivierung stattfindet, wird die Produktion in weniger wettbewerbsfähigen Regionen extensiviert. Diese Entwicklung geht einher mit einer regionalen Spezialisierung der Produktion, beispielsweise bei Sonderkulturen wie Gemüse und Kartoffeln, aber auch bei der Milch- und Fleischproduktion.

Als Nutzer natürlicher Ressourcen hat die landwirtschaftliche Produktion verschiedene Umweltwirkungen. Auf der einen Seite trägt sie zur Offenhaltung der Landschaften bei und gewährleistet den Erhalt der Agrobiodiversität. Auf der anderen Seite erhöht sie durch Konzentration des Anbaus auf weniger Kulturen und der Intensivierung der Produktion den Druck auf Natur und Umwelt, wobei die Düngung mit Stickstoff (N) und Phosphor (P) eine wichtige Rolle spielt. Über die Prozesse der Nitrifizierung

und Denitrifizierung im Stickstoffkreislauf bekommt Stickstoff eine relevante Funktion als Treibhausgas und als Gewässer belastender Einflussfaktor. Weitere Einflüsse auf das Klima gehen von Methan-Emissionen aus der Haltung von Wiederkäuern (Rinder) sowie Freisetzung von Kohlendioxid bei der landwirtschaftlichen Nutzung von organischen Böden (Moore) aus. Die insgesamt 5,1 % der deutschen Gesamtfläche umfassenden Moore sind zu ca. 62 % Niedermoor-, 25 % Anmoor- und 14 % Hochmoorböden. Bedeutende Anteile der Moorflächen befinden sich vor allem in Niedersachsen (38 %), Mecklenburg-Vorpommern (20 %) und Brandenburg (16 %) (Flessa et al. 2012). Etwa 69 % der Moorflächen werden landwirtschaftlich genutzt, wobei rund 33 % auf Acker- und 67 % auf Grünlandnutzung entfallen (Berechnung: S. Baum 2015).

2.2.4 Forstliche Flächennutzung

Umfassende, überwiegend naturale Informationen über Stand und Entwicklungspotenzial der Wälder in Deutschland gehen aus den Bundeswaldinventuren (BWI) hervor (vgl. Abb. 2.8). Aufgrund der erst gegen Ende der Studie veröffentlichten Vorabergebnisse der dritten Bundeswaldinventur (Oktober 2014) basieren die meisten Zahlenangaben für dieses Projekt auf Ergebnissen der zweiten Bundeswaldinventur aus dem Stichjahr 2002 (BMELV 2004, 2005; ergänzende, allerdings weniger umfassende Informationen bot die „Inventurstudie 2008“, Oehmichen et al. 2011). Daher wird im Folgenden der dieser Studie zugrundeliegende Stand nach der zweiten BWI (BWI²) (Stichjahr 2002) festgehalten [wo sich nach der neueren BWI³ (Stichjahr 2012) wesentliche Änderungen ergeben, wird jeweils in eckigen Klammern hingewiesen].

- Der Holzboden⁹ ist im Stichjahr 2002 zu etwa 58 % mit Nadel- und zu 40 % mit Laubbäumen bestockt; der Rest sind Lücken und Blößen [2012 hat sich dieses Verhältnis auf 54:43 angenähert]. Der größte Flächenanteil entfällt auf die Baumartengruppen Fichte (28 %) und Kiefer (23 %), gefolgt von Buche (15 %) und Eiche (10 %). Aufgrund unterschiedlicher standörtlicher, naturräumlicher und historischer Voraussetzungen variieren diese Anteile regional erheblich. So sind fast drei Viertel der brandenburgischen Waldfläche mit Kiefer bestockt. Die Fichtenanteile sind v. a. in den südlichen Bundesländern hoch (Bayern: 45 %, Thüringen: 42 %; Baden-Württemberg: 38 %; Sachsen: 35 %). Laubbaumreich mit jeweils über 50 % der Waldfläche sind die Länder Saarland, Rheinland-Pfalz, Hessen und Nordrhein-Westfalen sowie Schleswig-Holstein.

⁹Der Nichtholzboden (ca. 300.000 ha) ist ebenfalls ein Teil der Waldfläche und erfüllt wichtige Funktionen für den Forstbetrieb (z. B. als Holzlagerplätze), für die Erholung (z. B. Waldwege) und als Lebensraum für licht- und wärmebedürftige Tier- und Pflanzenarten.

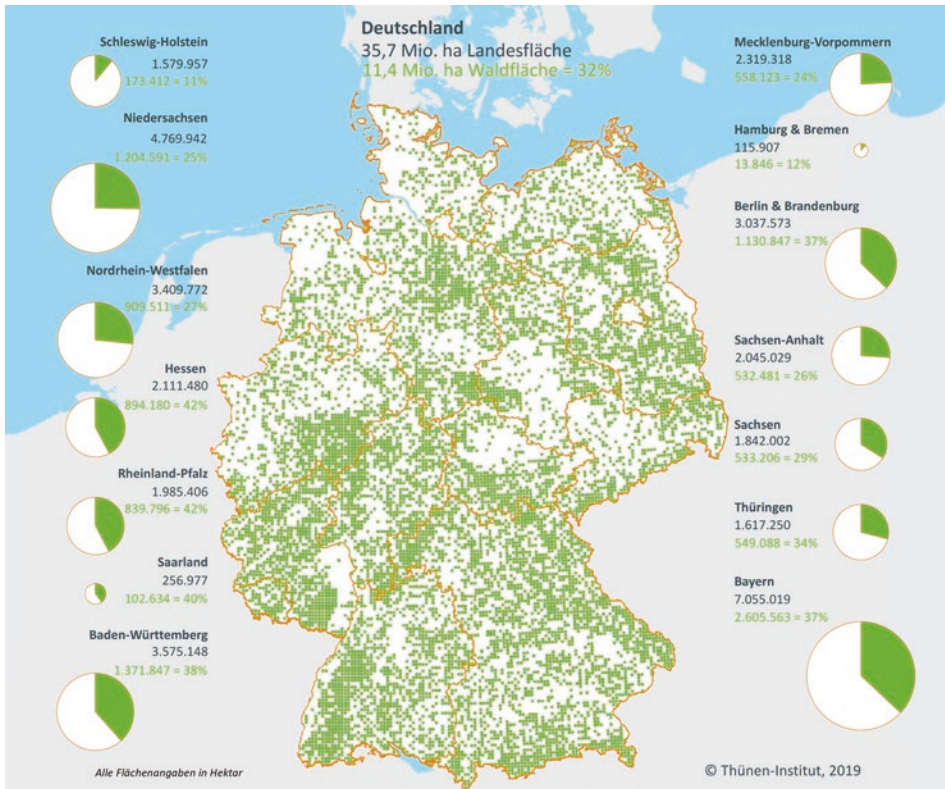


Abb. 2.8 Die Waldverteilung in Deutschland. (Datenquelle: Bundeswaldinventur)

- Die Altersstruktur der Wälder ist immer noch von den Folgen des Zweiten Weltkrieges (Zerstörungen, Reparationshiebe und nachfolgende Wiederaufforstungen) geprägt. Entsprechend finden sich überproportional viele Wälder im Alter um etwa 50 Jahre (21 % der Fläche entfallen auf die dritte Altersklasse von 41 bis 60 Jahren). Aufgrund dieser ungleichmäßigen Altersstruktur sind für die Zukunft Schwankungen der Holzvorräte vorprogrammiert, welche sich entsprechend auf Nutzungspotenziale und Kohlenstoffspeicherung auswirken und indirekt das Angebot weiterer Ökosystemleistungen des Waldes beeinflussen.
- Die Holzvorräte sind im Stichjahr 2002 auf durchschnittlich 320 m³/ha angewachsen [2012: 336 m³/ha], mit leicht überdurchschnittlichen Werten im Privatwald (338 [352] m³/ha) und leicht unterdurchschnittlichen im Landes- und Bundeswald (311 bzw. 227 [327 bzw. 251] m³/ha). Insgesamt stockten in Deutschland im Jahr 2002 Holzvorräte in Höhe von 3,4 Mrd. m³, die zu etwa zwei Dritteln auf Nadel- und zu einem Drittel auf Laubbäume entfielen [im Jahr 2012 waren sie weiter auf 3,7 Mrd. m³ angestiegen]. Über ein Drittel des gesamten Vorrates besteht allein aus Fichte (36 %),

gefolgt von Kiefer (21 %). Buche folgt mit 17 % an dritter Stelle. Der hohe Vorrat der Fichte, verglichen mit den prozentualen Flächenanteilen, resultiert aus dem historisch bedingten Schwerpunkt der Altersklassenverteilung der Fichte (u. a. Reparationsaufforstungen, s. o.) in den besonders vorratsreichen Jahrgängen zwischen 40 bis 100 Jahren.

- Der Zuwachs der Bäume ist für die zusätzliche Kohlenstoffspeicherung und damit für die Senkenleistung des Waldes entscheidend. Dieser konnte im Stichjahr 2002 nur für die alten Bundesländer bestimmt werden [2012 betrug er für alle Bundesländer und über alle Baumarten und Altersklassen hinweg durchschnittlich $11,2 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$]. Den höchsten Zuwachs erzielte die Altersklasse von 41 bis 60 Jahren ($16,6 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$). Besonders zuwachsstark sind die Nadelbäume Douglasie, Tanne und Fichte; über alle Altersklassen hinweg sind hier durchschnittlich 19,4, 16,4 bzw. $16,0 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$ zugewachsen. Laubbäume, bei denen die Zuwachskurve allerdings mit dem Alter weniger stark abfällt, folgen mit erheblichem Abstand (angeführt von Buche mit durchschnittlich $11,7 \text{ m}^3/\text{ha}^*\text{a}$).

Die Altersstruktur in Verbindung mit Vorräten bzw. Zuwachs haben wesentlichen Einfluss auf den Holzeinschlag. Dieser geht aus der BWI² wiederum nur für die alten Bundesländer hervor. Hier betrug er durchschnittlich $8,3 \text{ m}^3/\text{ha}$ [2012 über alle Bundesländer: $8,9 \text{ m}^3/\text{ha}$] (jeweils gemessen in Vorratsfestmetern); beide Zahlen liegen deutlich unter dem Zuwachs, mit der Folge eines entsprechenden Vorratsaufbaus. Besonders im Laubholz kommt es aufgrund höherer Umtriebszeiten (Uz), vielfach fehlender Verarbeitungs- und Verwendungsmöglichkeiten und dem Mangel an innovativen Technologien sowie zukunftssträchtigen Absatzmärkten zu einer Kumulation der Vorräte in den höheren Altersklassen. Derzeit werden über alle Baumarten hinweg 93 % des Zuwachses geerntet; nur bei der Fichte, deren Flächenanteile im Zuge des Waldumbaus abgesenkt werden soll, übersteigt die Nutzung den Zuwachs um etwa 30 % (Oehmichen et al. 2011).

2.3 Einordnung landnutzungsinduzierter THG-Emissionen

Rene Dechow, Sarah Baum, Martin Gutsch und Johanna Fick

Zusammenfassung

Nach einem Überblick zu den THG-Emissionen in Deutschland werden die landnutzungsinduzierten THG-Emissionen der Landwirtschaft und der Forstwirtschaft sowie von Siedlungs- und Verkehrsflächen beschrieben. Abschließend werden detailliert die landnutzungsinduzierten THG-Emissionen in den Fokusregion Altmark und Rhein erläutert.

2.3.1 Allgemeiner Überblick über THG-Emissionen in Deutschland

In den letzten Dekaden ist ein paralleler Anstieg der globalen Temperatur und der atmosphärischen THG-Emissionen zu verzeichnen. Beobachtungen, Klimamodelle und Prozessverständnis deuten darauf hin, dass ein Großteil der Temperaturerhöhung auf den Anstieg der atmosphärischen THG-Konzentration zurückzuführen ist, die wiederum aus dem Ungleichgewicht von THG-Entstehung und -abbau resultiert. Seit Anfang des letzten Jahrhunderts tragen die stetig wachsenden anthropogenen Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger, industrieller und landwirtschaftlicher Produktion zum Anstieg der atmosphärischen THG-Konzentration bei. Des Weiteren werden natürliche Klimagasenken wie Wälder, Moore und Ozeane durch konkurrierende Landnutzungsansprüche und globale Klimaänderungen zunehmend in ihrer Wirkung beeinträchtigt. Im Rahmen internationaler Abkommen (UNFCCC, Kyoto-Protokoll) werden die anthropogenen Emissionen der aufgrund ihrer Abundanz und Klimawirksamkeit wesentlichen Treibhausgase durch die teilnehmenden Nationen dokumentiert.

Natürlich vorkommende Treibhausgase, die in den nationalen Emissionsinventaren erfasst werden, sind Kohlendioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4). Hinzu kommen neuartige Treibhausgase wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), Halone, vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) und Schwefelhexafluorid (SF_6). Die Klimawirksamkeit eines Treibhausgases (Treibhauspotenzial: Global Warming Potential (GWP)) ergibt sich aus der Verweilzeit in der Atmosphäre und der Fähigkeit, Infrarotstrahlung in einem bestimmten Wellenlängenbereich zu absorbieren. Dieser relative Beitrag zum THG-Effekt wird in Abhängigkeit des betrachteten Zeitraums in Kohlendioxid-Äquivalenten (CO_2 -Äqu.) angegeben und beschreibt die Menge an CO_2 -Emissionen, die nötig ist, um die Klimawirksamkeit einer Gewichtseinheit des entsprechenden Gases zu substituieren. Bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren wären dies 310 kg CO_2 für 1 kg Lachgas und 21 kg CO_2 /kg Methan (Tab. 2.2).

Tab. 2.2 Nationale THG-Emissionen (936 Mio. t CO_2 -Äqu.) und Hauptverursacher. (Quelle: NIR 2014)

Treibhausgase	%-Anteil	Hauptverursacher	Relatives THG-potenzial
CO_2	87,4	Verbrennung fossiler Energieträger (82,1 %), industrielle Prozesse (5,6 %), Moordegradierung (4,2 %)	1
N_2O	6,0	Landwirtschaft, industrielle Prozesse, Verbrennung fossiler Brennstoffe	310
CH_4	5,2	Tierhaltung, Brennstoffverteilung, Deponiewirtschaft	21
Fluorierte Treibhausgase	1,4	Industrieprozesse	140–23.900

Trotz des relativ geringen THG-Potenzials ist der Beitrag von Kohlendioxidemissionen zu den deutschen Gesamt-Emissionen nach dem jährlich erstellten deutschen THG-Inventar am höchsten (NIR 2014) (Tab. 2.2). Dies ist vor allem auf die Verbrennung fossiler Energieträger zurückzuführen. Daneben entstehen relevante Kohlendioxidemissionen in Zusammenhang mit industriellen Prozessen (Metall- und Chemieindustrie) und der Degradierung organischer Böden. Die Landwirtschaft ist die Hauptquellgruppe für Lachgas und Methan. Neuartige Treibhausgase wie fluorierte Treibhausgase aus der industriellen Produktion machen trotz der hohen bis sehr hohen THG-Potenziale nur einen geringen Anteil an der nationalen Gesamt-Emission aus.

Bei der Klimaberichterstattung werden sechs Sektoren unterschieden (Abb. 2.9), wobei der Sektor Energie mit rund 84 % der größte THG-Verursacher ist. Zweitgrößter Emittent ist mit 7,4 % bzw. 69.490 kt CO₂-Äqu. der Sektor Landwirtschaft. Der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) ist trotz der hohen Emissionen von rund 48.500 kt CO₂-Äqu. insgesamt eine THG-Senke, da den Emissionen CO₂-Sequestrierung von etwa 52.000 kt CO₂-Äqu. entgegensteht, die überwiegend aus Bodenumus- und Biomasseaufbau des Waldes stammt (NIR 2014).

Die deutschen THG-Emissionen sind rückläufig (Abb. 2.10) und weisen für das Jahr 2012 eine Einsparung von 23,8 % gegenüber dem Jahr 1990 auf. Dies ist vor allem auf Einsparungen von CO₂-Emissionen im Energiesektor zurückzuführen. Die

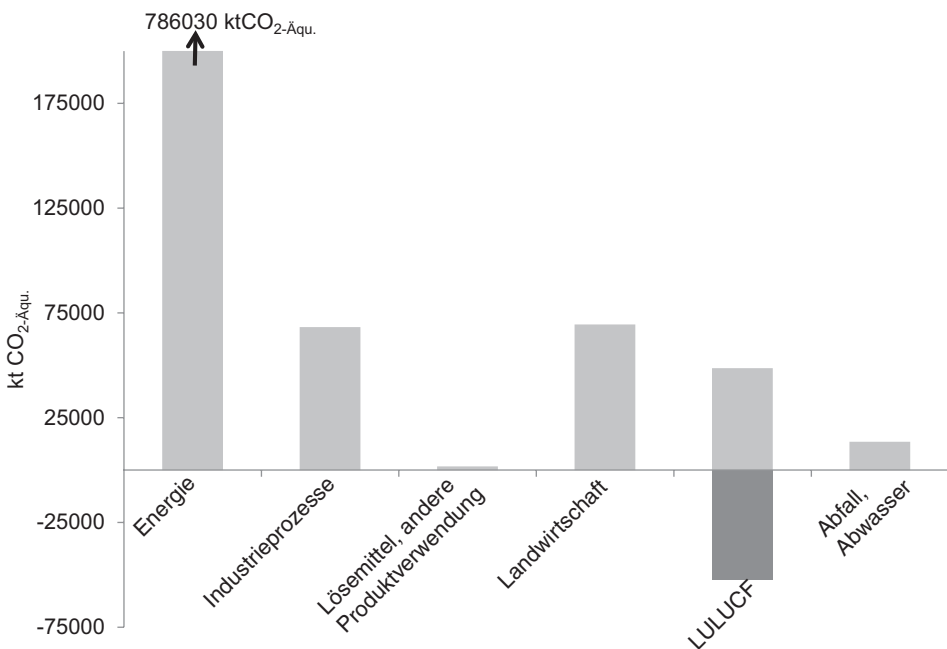


Abb. 2.9 THG-Emissionen nach Sektoren im Jahr 2012 in Deutschland. (Quelle: R. Dechow nach Angaben des NIR 2014)

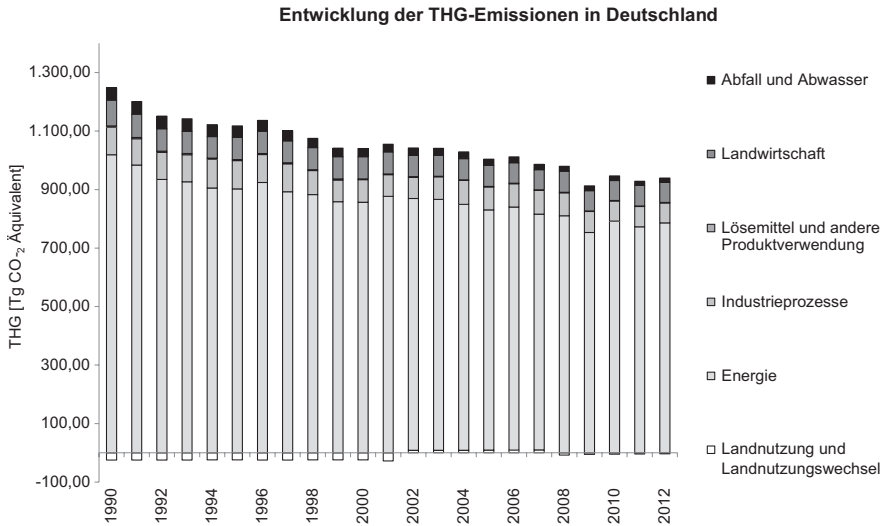


Abb. 2.10 Entwicklung der THG-Emissionen in Deutschland (LULUCF: Landnutzung und Landnutzungsänderung). (Quelle: NIR 2014)

Hauptursachen für den negativen Trend der Kohlendioxidemissionen sind die Folgen von Umstrukturierungsprozessen im östlichen Teil Deutschlands, die Umstellung auf emissionsärmere Energieträger und die Substitution von Benzin durch Diesel und Biokraftstoffe. Die Minderung von Methan-Emissionen um 55,2 % wurde hauptsächlich durch eine bessere Abfalltrennung und den Rückgang der Tierbestände insbesondere in Ostdeutschland im Zuge der Wiedervereinigung erzielt, während eine Einsparung von Lachgas-Emissionen um 34,3 % vorwiegend auf technische Minderungsmaßnahmen im Industriesektor zurückzuführen ist. Der Anteil der landnutzungsbedingten Emissionen an den Gesamt-Emissionen, auf die im Folgenden eingegangen wird, erhöhte sich von 5,1 % im Jahr 1990 auf 7 % im Jahr 2012, bedingt durch eine verstärkte Nutzung forstwirtschaftlicher Produkte und die relativ geringere THG-Minderung der Sektoren Landwirtschaft und Landnutzung/Landnutzungsänderung im Vergleich zu den Gesamt-Emissionen.

2.3.2 Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen

Als landnutzungsinduzierte THG-Emissionen werden hier alle THG-Quellen und -Senken verstanden, die sich direkt aus der Landnutzung ergeben, während THG-Emissionen und -Einsparungen aus vor- und nachgelagerten Produktionsschritten nicht betrachtet werden. Unter Voraussetzung dieser Systemgrenzen ergeben sich THG-Emissionen als Komponenten der Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe anthropogen beeinflusster Ökosysteme. Kohlenstoff und Stickstoff werden über natürliche

und anthropogene Pfade sowohl zugeführt (natürlich: Photosynthese, symbiotische Fixierung; anthropogen: Düngung) als auch abgeführt (natürlich: Auswaschung, gasförmige Emissionen; anthropogen: Ernte, Holzeinschlag). Ob ein System eine THG-Quelle oder -Senke ist, ergibt sich aus der Bilanz von THG-Aufnahme und -Abgabe. Die am THG-Austausch beteiligten Stoffflüsse werden maßgeblich durch die Biozönose, insbesondere die Vegetation und Mikroorganismen, reguliert. Ökosysteme haben ein begrenztes Potenzial, als Klimagassenken zu fungieren. Das hat zwei Ursachen: limitierte THG-Aufnahmeraten und begrenzte Speicherung von abbaubaren Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen im Ökosystem. Die Aufnahmerate von Treibhausgasen wird durch die geringen bis sehr geringen atmosphärischen Konzentrationen dieser Gase eingeschränkt. Dies gilt insbesondere für die Treibhausgase Methan und Lachgas. Atmosphärisches Methan und Lachgas können durch Mikroorganismen im Boden aufgenommen und in die weniger klimarelevanten Gase Kohlendioxid und Stickstoff umgewandelt werden. Allein die Nachlieferung der Treibhausgase über diffusiven Transport aus der Atmosphäre in den Boden ist der Flaschenhals dieser Reaktionspfade, der einen relevanten Beitrag zur THG-Minderung verhindert. Atmosphärisches Kohlendioxid hingegen liegt in Konzentrationen vor, die im Rahmen der Photosynthese relevante Aufnahmeraten durch Ökosysteme ermöglichen. Schätzungen von LeQuere et al. (2009) gehen davon aus, dass die durch terrestrische Ökosysteme aufgenommene Menge atmosphärischen Kohlendioxids etwa einem Drittel der globalen anthropogenen Kohlendioxid-Emissionen entspricht.

Die Speicherfähigkeit von THG-Vorläufern ist ein weiterer wesentlicher Aspekt, der über die Effizienz eines Ökosystems, als THG-Senke zu fungieren, entscheidet. Anthropogene Ökosysteme wie Äcker, Grünland und Wälder speichern über Photosynthese und N-Fixierung gewonnenen Kohlenstoff und Stickstoff hauptsächlich in der Biomasse und in den Bodenumusvorräten. Diese C- und N-Vorräte sind selbst Ausgangspunkt mikrobiell induzierter Abbauprozesse, die oft auf die Produktion von CO₂ und zuweilen auf die Produktion von Lachgas und Methan hinauslaufen. Dabei entscheiden die Konzentration und die Vulnerabilität der C- und N-Ressourcen gegenüber mikrobiellem Abbau über die THG-Produktionsraten von Ökosystemen. Ökosysteme im Gleichgewichtszustand zeichnen sich dadurch aus, dass C- und N-Importe den C- und N-Exporten entsprechen. Das heißt, bezogen auf CO₂-Emissionen sind diese Systeme klimaneutral. Unter den im nationalen THG-Inventar getroffenen Annahmen (NIR 2014) gilt dies annähernd für alle landwirtschaftlich genutzten mineralischen Böden, die keinen Landnutzungswechseln unterliegen. Ungleichgewichte zwischen Importen und Exporten treten bei mineralischen Böden im Zuge von Landnutzungsänderungen auf (z. B. Umwandlung von Grünland zu Ackerland), was etwa 4 % der THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Bodennutzung hervorruft (vgl. Tab. 2.3). Demgegenüber sind genutzte organische Böden starke CO₂-Quellen, da hier im Zuge der Bewirtschaftung durchgeführte Wasserstandsregulierungen Bedingungen für einen beschleunigten Abbau des über Jahrtausende gespeicherten Bodenkohlenstoffs schaffen, der durch Kohlenstoffimporte nicht kompensiert werden kann. Obgleich der Anteil der genutzten organischen

Böden nur 7 % der Landwirtschaftsfläche beträgt, sind diese Flächen für rund 50 % der THG-Emissionen aus dem Bereich landwirtschaftliche Bodennutzung verantwortlich (vgl. Tab. 2.3).

Neben CO₂-Emissionen organischer Böden sind Lachgas-Emissionen die zweite wesentliche THG-Quelle im Sektor Landwirtschaft und machen etwa 70 % der nationalen Lachgas-Emissionen aus. Sie entstehen bei der landwirtschaftlichen Nutzung durch Überschüsse leicht verfügbaren Stickstoffs, der über die Düngung, Humus-mineralisierung insbesondere drainierter organischer Böden, symbiotische N-Fixierung oder durch atmosphärische Deposition in den Boden gelangt. Hohe Stickstoffverluste (Ammoniak, NO_x-Auswaschung) und auch Lachgas-Emissionen treten in solchen Systemen auf, in denen große Mengen verfügbaren Stickstoffs als Stickstoffüberschüsse vorliegen. Für die Lachgasproduktion relevante Stickstoffüberschüsse finden sich in erster Linie in landwirtschaftlich genutzten Böden. Landwirtschaftlich genutzte Böden sind auch meist Ausgangspunkt lateraler Stickstoffflüsse, die natürliche und naturnahe Ökosysteme kontaminieren und auch dort zur Lachgasbildung beitragen. Demgegenüber sind natürliche Ökosysteme meist stickstofflimitiert, d. h., es sind nur geringe

Tab. 2.3 THG-Emissionen der landwirtschaftlichen Bodennutzung in Deutschland 2012. (Quelle: Eigene Darstellung von Thünen-Institut/R. Dechow, Daten aus dem NIR 2014)

Quellgruppe	CO ₂ (kt)	N ₂ O (kt CO ₂ -Äqu.)	Anteil an Emissionen landwirtschaftliche Bodennutzung (%)
Mineraldüngerausbringung		9540	11,37
Wirtschaftsdüngerausbringung		4693	5,59
Weidegang		1315	1,57
Ernterückstände		6171	7,36
Auswaschung		11.596	13,82
Deposition		2214	2,64
Kalkung	1844		2,20
Ackerland (org. Böden)	22.617	2352	29,76
Grünland (org. Böden)	10.178	2399	14,99
LUC zu Ackerland (Mineralboden)	3368	444	4,54
LUC zu Ackerland (org. Boden)	3360		4,00
LUC zu Grünland (Mineralboden)	-727		-0,87
Biomasse aus LUC	1293		1,54
weitere Quellgruppen	610	636	1,48
GESAMT	42.544	41.360	100,00

Auswaschungsverluste und Emissionen gasförmiger Stickstoffverbindungen zu verzeichnen. Die einzige Quelle, um Stickstoffverluste eines Ökosystems auszugleichen, wäre bei Vernachlässigung lateraler Flüsse die biologische Stickstofffixierung durch mit Leguminosen vergesellschafteten Knöllchenbakterien, bei der atmosphärischer Stickstoff zu biologisch verfügbarem Stickstoff transformiert wird. Da es sich hier um eher geringe Bildungsraten handelt und Mikroorganismen und Pflanzengesellschaften um diese knappen Ressourcen konkurrieren, sind Stickstoffkreisläufe natürlicher Ökosysteme relativ effizient.

Methanflüsse zwischen Atmosphäre und Ökosystemen sind, verglichen mit dem THG-Potenzial des CO_2 - und N_2O -Austauschs, weniger relevant. Forstlich und landwirtschaftlich genutzte mineralische Böden sind in der Regel leichte Methansenken, während überstaute organische Böden oft größere Mengen Methan emittieren.

Die Landnutzungskategorien Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Siedlung und Verkehr differieren bezüglich ihrer Klimawirksamkeit, was auf die Landnutzungsintensität, beteiligte Prozesse und Flächen zurückzuführen ist. Während die THG-Emissionen des Sektors Landwirtschaft vor allem durch anthropogen gesteuerte bodenbürtige Lachgas-Emissionen und THG-Emissionen organischer Böden bestimmt werden, sind forstwirtschaftlich genutzte Böden aufgrund der Bilanz aus photosynthetisch gebundenem Kohlenstoff und dem Kohlenstoffexport relevante Senken. Emissionen aus organischen Waldböden und Lachgas-Emissionen fallen weniger ins Gewicht. Die jüngsten nationalen Waldinventuren und Bodenzustandserhebungen zeigen, dass die forstwirtschaftlich genutzten Flächen mehr Kohlenstoff binden als über Respiration und Holzabfuhr aufgezehrt wird. Daher kompensierten die Wälder Deutschlands im Jahr 2012 etwa 5,5 % der anthropogenen Gesamt-Emissionen. Die Umwandlung von landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzten Flächen in Siedlungs- und Verkehrsfläche verursacht nur geringfügige THG-Emissionen (Abb. 2.11).

2.3.2.1 Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen in der Landwirtschaft

Die Emissionen des Sektors Landwirtschaft machen 7,4 % der deutschen Gesamt-Emissionen aus – bezogen auf das Jahr 2012 (NIR 2014) – und werden bei der Nationalen Klimaberichterstattung drei Quellgruppen zugeordnet: THG-Emissionen aus der Fermentation und Verdauung bei der Nutztierhaltung sind in erster Linie Methan-Emissionen und mit etwa einem Drittel an den THG-Emissionen des Sektors Landwirtschaft beteiligt. Etwa 11 % der landwirtschaftlichen THG-Emissionen entstehen durch Lagerung und Transport von Wirtschaftsdünger. Bei beiden vorab genannten Quellen handelt es sich nicht um landnutzungsbedingte Emissionen, weshalb sie hier nicht weiter berücksichtigt werden. Bei der dritten Quellgruppe handelt es sich um bodenbürtige Lachgas-Emissionen (59 % des Sektors Landwirtschaft; 4,4 % der deutschen Gesamt-Emissionen). Daneben sind der Landwirtschaft die Emissionen der Kategorie Landnutzung und Landnutzungsänderung zuzuordnen, an denen landwirtschaftlich genutzte Böden beteiligt sind. In der Summe emittieren landwirtschaftliche Böden unter Berücksichtigung der in Tab. 2.3 aufgeführten Kategorien aus den Quellgruppen

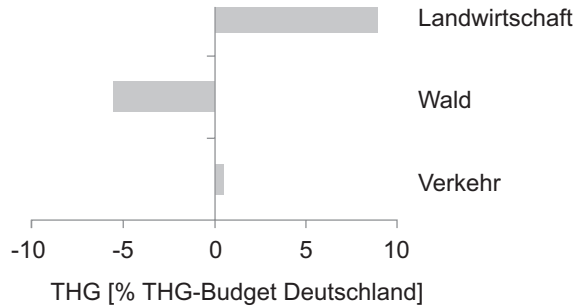


Abb. 2.11 Anteil landnutzungsbedingter THG-Emissionen am nationalen THG-Gesamtbudget („Verkehr“ repräsentiert Landnutzungswechsel zu Siedlungs- und Verkehrsflächen; negative Werte sind Senken). (Quelle: NIR 2014, Berechnung R. Dechow)

„Landwirtschaftliche Böden“ und „Landnutzung und Landnutzungsänderung“ ca. 9 % (83.904 kt CO₂-Äqu.) der gesamten THG-Emissionen, die im NIR für Deutschland berichtet werden. Etwa die Hälfte landnutzungsbedingter THG-Emissionen in der Landwirtschaft stammt aus der Nutzung organischer Böden (Tab. 2.3). Sie unterliegen einer hohen räumlichen Heterogenität, die im Wesentlichen der Verteilung von Nieder- und Hochmooren und der jeweiligen Nutzungsintensität folgt (Abb. 2.12).

In ungestörten organischen Böden (Niedermoore, Hochmoore, Anmoore) verhindern oder verzögern konstant oder periodisch hohe Bodenwassergehalte den mikrobiellen Abbau von Pflanzenresiduen, sodass beständig organische Substanz akkumuliert wird. Je nach Dauer dieses Prozesses und den hydrologischen Gegebenheiten entstehen C-reiche Torfhorizonte mit Mächtigkeiten von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Metern. Die land- und forstwirtschaftliche Nutzung dieser Standorte geht meist mit einer künstlichen Absenkung des Grundwasserstandes einher, um Bewirtschaftung zu gewährleisten und optimale Erträge zu erzielen (Befahrbarkeit, Weidenutzung). Da mit der Absenkung des Grundwasserstandes nunmehr die bisher limitierende Sauerstoffverfügbarkeit gegeben ist, werden die unter diesen Bedingungen leicht abbaubaren Torfe mikrobiell zersetzt. Die damit verbundene Respiration führt zur Bildung von CO₂. Die CO₂-Emission genutzter organischer Böden hängt deshalb in erster Linie von den hydrologischen Verhältnissen ab (Jahreswasserstände als Indikator). Die Manipulation dieses Umweltfaktors bewirkt, dass über Jahrtausende angereicherte C-Speicher aufgezehrt werden. Die heterotrophe Respiration wird daneben auch über andere Systemfaktoren beeinflusst. Zu nennen sind hier die Abbaubarkeit des Ausgangssubstrats und die Bodentemperatur.

Die durch abgesenkte Wasserstände hohen Torfmineralisierungsraten führen zur Freisetzung von Ammonium und Nitrat. Dies sind Ausgangsstoffe der Lachgas-bildenden

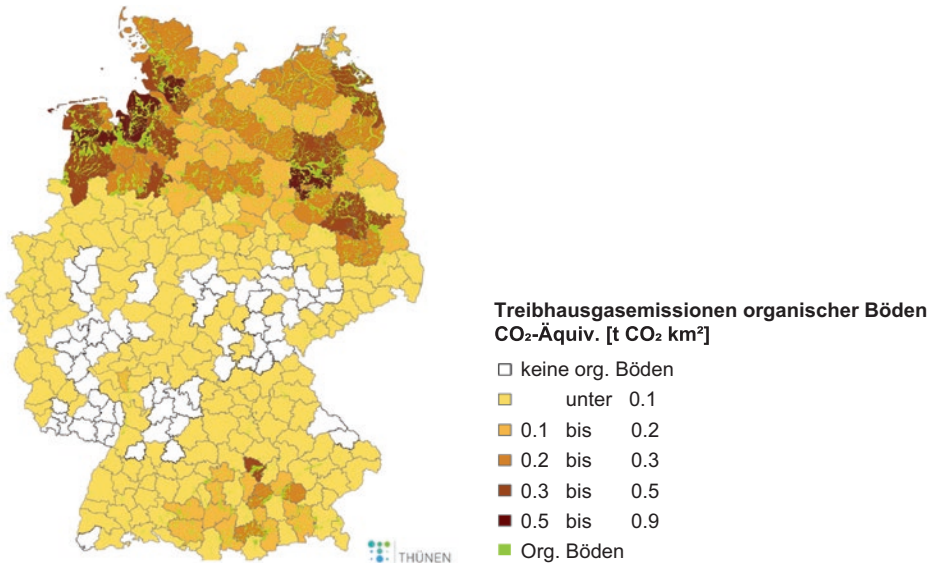


Abb. 2.12 Verteilung modellierter THG-Emissionsraten organischer Böden pro Jahr und km², bezogen auf die Landkreisfläche

Prozesse Nitrifikation und Denitrifikation. Während in mineralischen Böden die niedrigen Bodenwassergehalte limitierend für die Denitrifikation sind, stellen sich in dränierten organischen Böden oft optimale Wassergehalte ein. Aus diesen Gründen können dränierte organische Böden hohe Lachgasquellen sein. Dem wird bei der Klimaberichterstattung durch die Annahme einer einheitlichen Emissionsrate von 8 kg N₂O-N ha/a für genutzte (und damit meist drainierte) organische Böden Rechnung getragen. Zum Vergleich: Es gibt nur wenige Messungen auf landwirtschaftlich genutzten mineralischen Böden, auf denen ähnlich hohe Jahresraten gemessen wurden (Jungkunst et al. 2006). Naturnahe Moore emittieren kaum N₂O, da hier die Bodenwassergehalte meist zu hoch für die N-Mineralisierung sind und aufgrund des meist hohen O₂-Defizits die Denitrifikationskette bis zum N₂ durchlaufen wird. Methan entsteht bei der Umsetzung verfügbarer Biomasse durch methanogene Bakterien, vorzugsweise unter sauerstofflimitierten Bedingungen. Von entscheidender Bedeutung für die Methan-Emission ist die Aufenthaltszeit des produzierten Methans in der ungesättigten Bodenschicht beim Aufstieg in die Atmosphäre. Unter ungesättigten Bedingungen wird Methan durch methanotrophe Bakterien äußerst effektiv zu CO₂ oxidiert. Die Qualität des abbaubaren Materials prägt in entscheidender Weise die Methanproduktion.

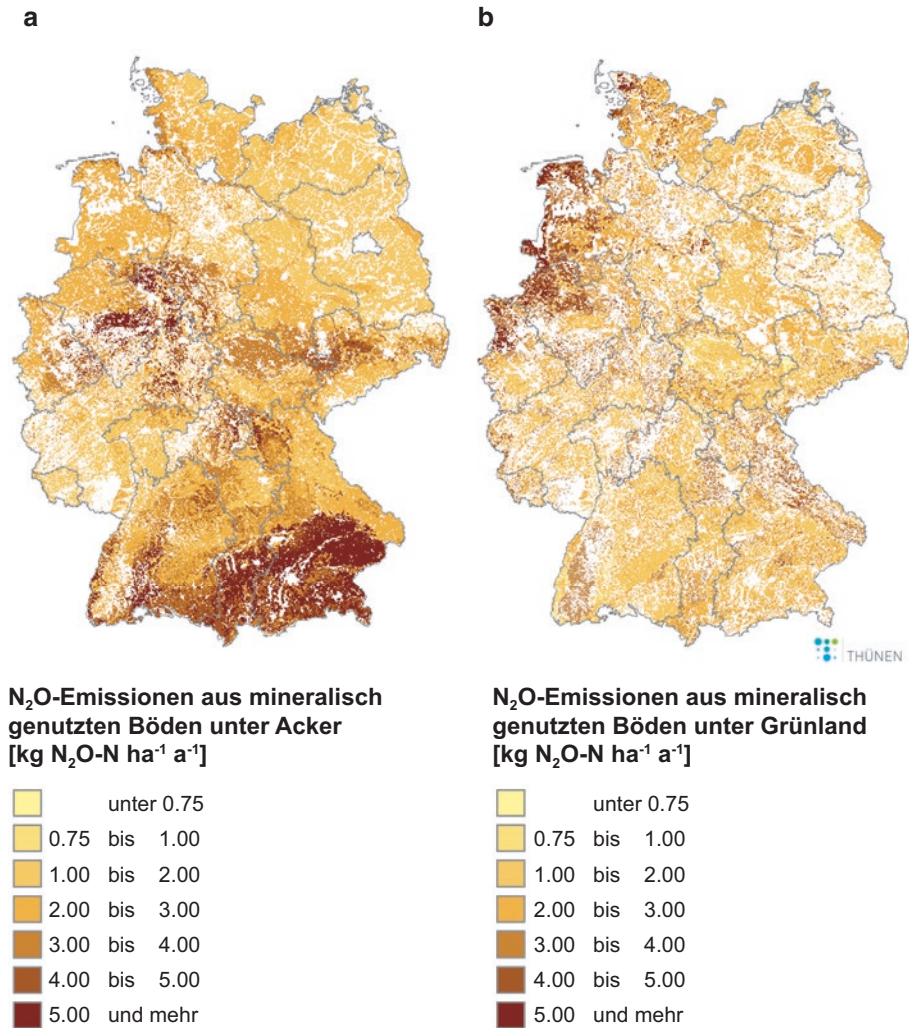
Pflanzenresiduen wirtschaftlich genutzter Kulturen verfügen gegenüber der originären Vegetation über ein höheres Methanbildungspotenzial (Hahn-Schöfl et al. 2011). Der Grundwasserstand ist hinsichtlich der CO₂-Emission – als auch der Methan-Emission – als wichtige Steuergröße anzusehen. Besonders sensitiv reagieren CH₄-Emissionen auf die Änderung jährlicher Wasserstände in einem Bereich von 10 bis 30 cm unter Flur.

Eine weitere bedeutende THG-Quelle landwirtschaftlich genutzter Böden sind Lachgas-Emissionen durch leicht abbaubare Stickstoffverbindungen, die über die Ausbringung von Mineraldünger, Wirtschaftsdünger und Klärschlamm, Weidegang, Ernterückständen und Leguminosen in die Böden gelangen (Tab. 2.3). Lachgas entsteht als ein Nebenprodukt der Nitrifikation bzw. als Zwischenprodukt der Denitrifikation und Nitrifier-Denitrifikation. Diese Prozesse werden durch im Boden oder Wasser lebende Mikroorganismen induziert. Die Nitrifikation ist eine Oxidation von Ammonium zu Nitrat, wobei Mikroorganismen die entstehende Energie zum Aufbau organischer Substanz und zur Erhaltungsatmung nutzen. Bei der Denitrifikation kompensieren Bakterien oder Pilze einen Mangel an Sauerstoff durch die Reduktion von NO₃ in einer Kette über NO, N₂O zu N₂. Externe Faktoren, welche den Umsatz der mikrobiologischen Masse begünstigen, können sich demzufolge positiv auf die N₂O-Produktion auswirken. Hierzu zählen die Verfügbarkeit organischer Biomasse, die Temperatur und der pH-Wert. Sauerstoffmangel, verursacht durch einen hohen Wassergehalt und/oder eine erhöhte CO₂-Produktion, begünstigt die Denitrifikation als die Hauptquelle der Lachgasbildung. Die Verfügbarkeit von Ammonium und Nitrat spielt eine Schlüsselrolle für die beschriebenen Prozesse. Die direkte N₂O-Emission zeichnet sich durch eine sehr hohe räumliche und zeitliche Dynamik aus. Frost-Tau-Zyklen und die Aufwechslung trockener Standorte durch Niederschläge können über einen relativ kurzen Zeitraum sehr hohe Emissionen bedingen, wobei diese Emissionsspitzen bis zu 50 % der jährlichen Emissionen ausmachen können (Dörsch 1999; Syväsalo et al. 2004; Dobbie et al. 2003). Das Auftreten derartiger Bedingungen ist demzufolge entscheidend für die freigesetzte Jahresemission (Freibauer et al. 2003).

Mehrere Auswertungen gemessener N₂O-Jahresemissionen in Mitteleuropa und Deutschland (Jungkunst et al. 2006; Freibauer et al. 2003; Dechow und Freibauer 2011) weisen darauf hin, dass Klima und Bodeneigenschaften eine starke räumliche Variabilität der Emissionspotenziale und somit der Mitigationspotenziale bedingen (Abb. 2.13).

Diese Studien zeigen für Deutschland, dass die Variabilität von N₂O-Emissionen aus Grünland fast ausschließlich durch Stickstoffdüngung beschrieben wird, während die Emissionspotenziale von Ackerstandorten ausgeprägten Ost-West- und Nord-Süd-Gradienten folgen, und damit die standörtliche Präferenz bezüglich Bodenfeuchte und Frost-Tau-Zyklen beschreiben. Neben Niedrigemissionsstandorten, auf denen Mitigationsmaßnahmen nur sehr geringe N₂O-Einsparungen versprechen, finden sich Regionen, in denen die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen hohe Emissionseinsparungen erzielen kann.

Unter der Kategorie „indirekte Emissionen“ werden die N₂O-Emissionen zusammengefasst, die nicht am Ort der Landnutzung entstehen, die aber durch verlagerte N-Ressourcen aus dem System verursacht werden. Dabei gibt es zwei Verlagerungspfade.



Quelle: Dechow und Freibauer (2011)

Abb. 2.13 Modellerte Verteilung der mittleren Lachgas-Emissionen (1990–2005) Acker (a) und Grünland (b)

Reaktive Stickstoffverbindungen können über Oberflächenabfluss und Transportprozesse im Boden ins Grundwasser und Oberflächengewässer (Drainage) ausgewaschen werden, wo aufgrund der anaeroben Verhältnisse N₂O als Zwischenprodukt der Denitrifikation entsteht und entweicht (11.596 kt CO₂-Äqu.; 13,8 %). Denitrifikation und Verflüchtigung von Ammoniak bei der Ausbringung von N-Düngern verursachen Emissionen gasförmiger reaktiver Stickstoffverbindungen (NO, NH₃), die räumlich verlagert und an

anderer Stelle (Wälder, genutzte und natürliche Ökosysteme, Inlandgewässer) über trockene und nasse (Auswaschung) Deposition eingetragen werden, wo sie als Ausgangs- und Zwischenprodukte für Nitrifikation und Denitrifikation zur Verfügung stehen. Die über diesen Mechanismus gebildeten N_2O -Emissionen werden im NIR 2014 für das Jahr 2012 mit etwa 5,6 % der gesamten N_2O -Emission aus dem Sektor Landwirtschaft quantifiziert.

2.3.2.2 Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen der Forstwirtschaft

Wie Hochrechnungen zeigen (NIR 2014; BMEL 2014), sind deutsche Wälder Kohlenstoffsenken. Das heißt, im Schnitt sind die jährlichen Biomasseentnahmen und Respirationsverluste geringer als der jährliche Zuwachs. Der Nettozuwachs verteilt sich über die Waldbiomasse, Totholz und die Kohlenstoffspeicher in Streu und Boden. Im Jahr 2012 betrug der gesamte Kohlenstoffvorrat im Wald 2,02 Gt C. Gegenüber 1990 (1,68 Gt C) ist er damit um 20 % gewachsen. Die Verteilung über die einzelnen Kohlenstoffspeicher im Wald ist in Tab. 2.4 dargestellt.

Die Akkumulation von Biomasse in Wäldern ist vom Alter des Bestandes abhängig (Jandl et al. 2007). Junge Bestände zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Wachstumsraten aus, die sich bis zum Erreichen der Seneszenz verringern (Dieter und Elsasser 2002). In Anbetracht der Tatsache, dass derzeit der Anteil junger Bestände relativ hoch ist, ist nach Pistorius (2007) mit einer weiteren kontinuierlichen Reduktion dieser THG-Senke bis zum Erlöschen zu rechnen. Kohlmaier et al. (2007) vermuten, dass dies im Jahr 2040 der Fall sein wird, während Köhl und Dieter (2007) bereits ab 2030 mit einer ausgeglichenen C-Bilanz rechnen.

Die Quantifizierung des CO_2 -Austausches über Waldflächen wird im nationalen THG-Inventar über die Bilanzierungen verschiedener Waldinventuren (Bundeswaldinventur 1987, Datenspeicherwaldfonds für ostdeutschen Bundesländer, Bundeswaldinventur 2002, Inventurstudie 2008, Bundeswaldinventur 2012) und Bodenzustandserhebungen (BZE I, BioSoil, BZE II) realisiert (NIR 2014). Die im Inventar berechneten Nettozuwächse der Biomasse und die Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte entsprechen in ihrer zeitlichen Auflösung den Intervallen zwischen den jeweiligen Inventuren. Aktuell werden etwa 5,4 % des deutschen THG-Aufkommens über Biomasse und Bodenkohlenstoffzuwächse gespeichert. Davon stammen 9 % aus Aufforstungsflächen. Im Mittel sind Aufforstungsflächen pro Flächeneinheit eine höhere temporäre CO_2 -Senke als bestehende Wälder (Abb. 2.14). Gleichwohl ist ihr Anteil am Gesamtbudget gering.

Tab. 2.4 Kohlenstoffvorrat im Wald. (Quelle: Wellbrock et al. 2014; BMEL 2014)

	Oberirdische Biomasse [Mt C]	Totholz [Mt C]	Streuauflage [Mt C]	Mineralboden bis 30 cm [Mt C]	Unterirdische Biomasse [Mt C]
1990	748	11	203	595	123
2012	993	20	191	659	156

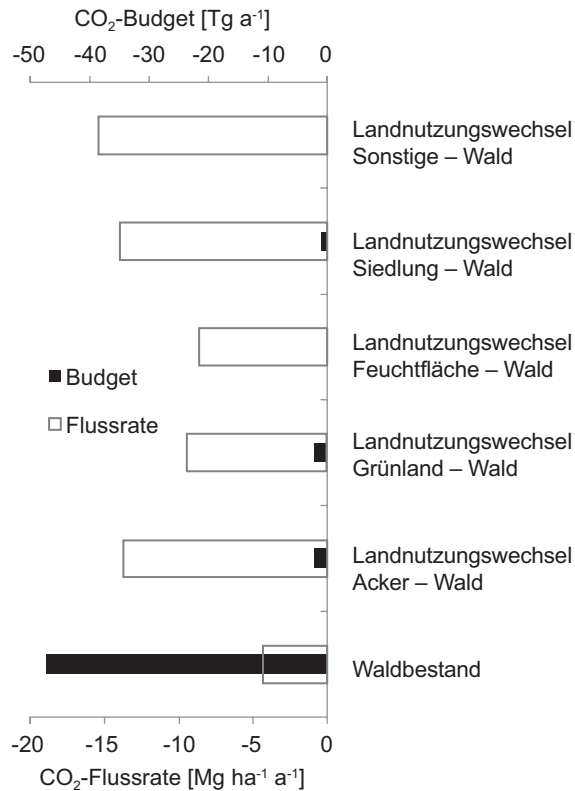


Abb. 2.14 Kohlendioxidsenke durch bestehende Forstflächen und Landnutzungsänderungen zu Forst als nationales Budget (schwarz) und Flussrate (grau). (Quelle: Daten aus NIR 2014 für das Jahr 2012)

Durchschnittlich wurden zwischen 2002 und 2012 jährlich 98,5 Mio. m³ Holz (Nutzung, Ernteverluste, Rinde) entnommen (BMEL 2014). Die geschätzten jährlichen Substitutionseffekte des entnommenen Holzes belaufen sich auf 30,1 Tg CO₂-Äqu. für energetische und 56,7 Tg CO₂-Äqu. für die stoffliche Nutzung (Rüter 2011), insgesamt also 86,8 Tg CO₂-Äqu., was 9,3 % des deutschen THG-Aufkommens entspricht. Wie auch bei anderen terrestrischen Ökosystemen wirkt sich die Aufrechterhaltung eines hohen C-Imports positiv auf die Bodenkohlenstoffvorräte aus. Eine den Boden- und Klimabedingungen angepasste Artenwahl kann Störungen durch Windfall sowie Schädlingsbefall limitieren und damit indirekt zur Bewahrung der Kohlenstoffvorräte beitragen. Alte Baumbestände weisen verringerte C-Senkenfunktionen auf oder können sich gar in C-Quellen verwandeln (Jandl et al. 2007; Dieter und Elsasser 2002). Eine Alternative zur konservierenden Bewirtschaftung ist die Substitution fossiler Energieträger durch die Nutzung der Waldbiomasse hochproduktiver Wälder. Die so erzielte indirekte Einsparung von CO₂-Emissionen ist im Gegensatz zur Kohlenstoffanreicherung in Wäldern zeitlich unbegrenzt (Janssens et al. 2003).

Etwa 10 % der organischen Böden befinden sich unter Wald. Den weniger intensiven Drainagemassnahmen für Waldstandorte auf organischen Böden wird im nationalen Emissionsinventar über geringere Emissionsfaktoren Rechnung getragen. Demnach emittieren Waldstandorte im Mittel etwa 0,7 t CO₂ C ha/a durch Torfmineralisierung, während dies für organische Böden unter Acker- und Grünlandböden 11 bzw. 4,7 t CO₂ C ha/a sind¹⁰. Dementsprechend sind die CO₂-Verluste durch Torfmineralisierung mit 612 Gg pro Jahr (NIR 2014) vergleichsweise gering (etwa 2 % der CO₂-Verluste organischer Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung). Landnutzungsbedingte Lachgas-Emissionen über Deposition und lateralen Transport im Grund- und Oberflächenwasser durch anthropogene Einträge leicht verfügbarer Stickstoffverbindungen fallen unter die indirekten Emissionen.

2.3.2.3 Landnutzungsinduzierte THG-Emissionen der Siedlungs- und Verkehrsflächen

THG-Emissionen durch Siedlungs- und Verkehrsflächen sind in erster Linie CO₂-Verluste aus dem Abbau von oberirdischer und unterirdischer Biomasse (4149 Gg CO₂). Etwas mehr als die Hälfte der CO₂-Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderung (LULUCF) in 2012 wurde durch die Drainage organischer Böden verursacht (NIR 2014), während die restlichen CO₂-Emissionen aus der Entstehung neuer Siedlungsfläche vormaliger landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzter Flächen auf Mineralböden stammen. Die THG-Emissionsraten sind über Siedlungs- und Verkehrsflächen organischer Böden am höchsten, während landnutzungswechselbedingte THG-Emissionen in Abhängigkeit von der ursprünglichen Landnutzung variieren (Abb. 2.15). Die THG-Emissionen des Sektors Siedlung und Verkehr folgen dem Trend einer stetigen Zunahme der Siedlungsflächen.

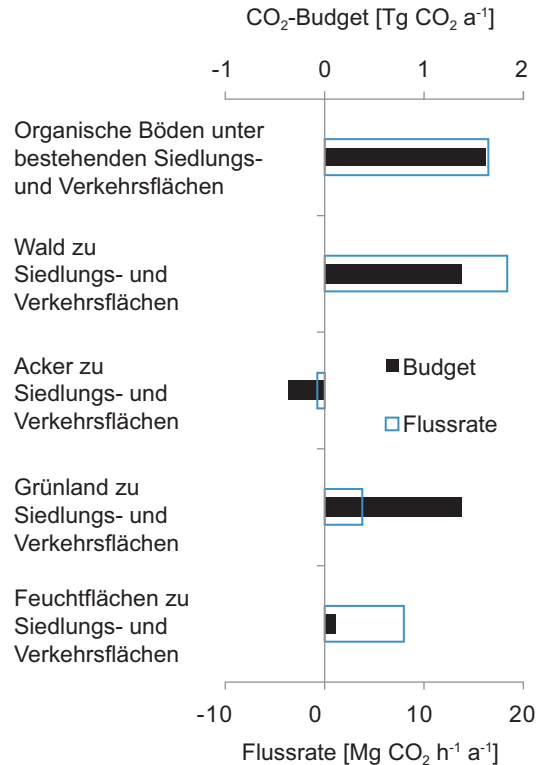
2.3.3 Landnutzung und THG-Emissionen in den Fokusregionen

Fokusregionen: Struktur der landwirtschaftlichen Landnutzung

Die Fokusregionen Altmark und Rhein unterscheiden sich stark hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Struktur. Folglich sind auch verschiedene Hauptquellen der THG-Emissionen zu identifizieren. Im Folgenden werden diese Unterschiede im Vergleich zu Deutschland näher betrachtet. Die Analysen erfolgten auf Basis des deutschen Landwirtschaftsmodells (DLM, 2010) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG), das die Landnutzung abbildet. Vorteilhaft an dieser Datenbasis ist die einheitliche,

¹⁰Im Zeitraum der Erstellung der Studie wurden Anpassungen vorgenommen, die hier nicht mehr berücksichtigt werden konnten: -2,25 t CO₂ C ha/a (Wald); -8,1 t CO₂ C ha/a (Acker); -6,19 t CO₂ C ha/a (Grünland).

Abb. 2.15 THG-Emissionsraten für bestehende Siedlungs- und Verkehrsflächen und Landnutzungswechsel zu Siedlungs- und Verkehrsflächen



flächendeckende, georeferenzierte Nutzungsinformation für Deutschland sowie die konsistente Erfassungsmethode. Die Qualität der Datenbasis ist durch fehlende Aktualität der Daten aufgrund eines sechsjährigen Aktualisierungszyklusses, noch vorhandenen technischen Einschränkungen und Ungenauigkeiten z. B. bei den Daten aus Befliegungen sowie Zuordnungen von Flächen nach dem Belegungsprinzip eingeschränkt. Wie Röder und Grützmacher (2012) für organische Böden darstellen, führt die Nutzung des DLM zu einer Überschätzung der landwirtschaftlichen Nutzung. Jedoch liegt im Datenumfang und den möglichen Verschneidungen beispielsweise von Flächenkulissen mit besonderem Schutzstatus (z. B. Landschaftsschutzgebiet, Nationalpark) das besondere Potenzial des DLM und der Grund für die Nutzung in der vorliegenden Analyse.

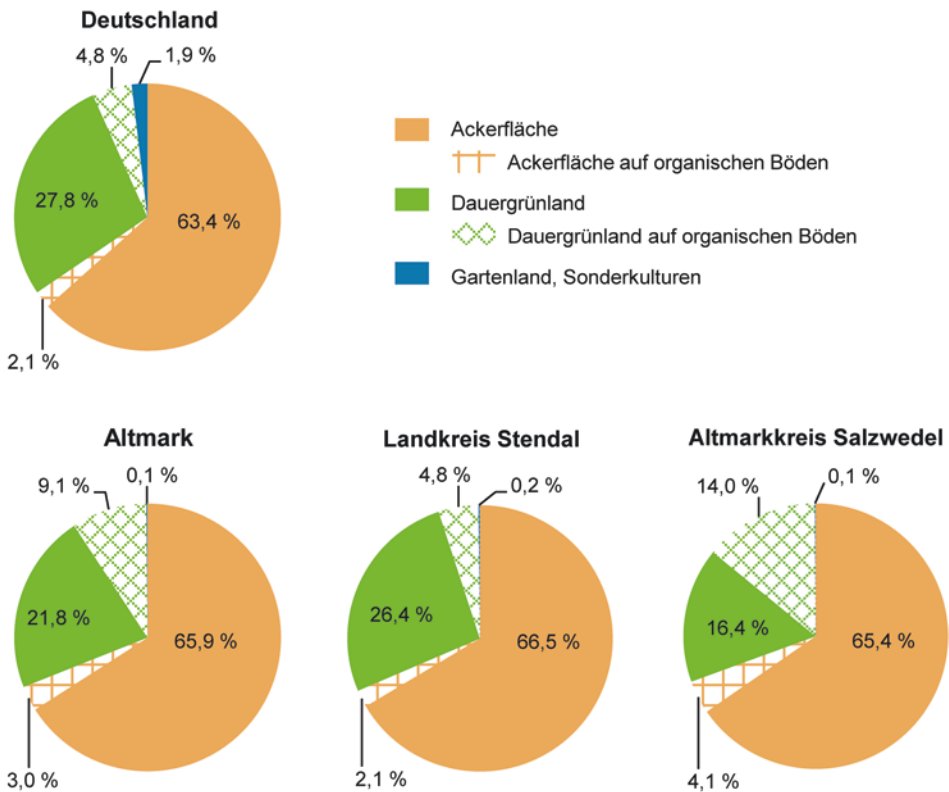
Fokusregion Altmark (Landkreise Stendal und Altmarkkreis Salzwedel)

Die Altmark ist mit einem Anteil von 12,2 % der Landwirtschaftsfläche auf organischen Böden stärker als der Bundesdurchschnitt durch organische Böden geprägt, wo es 7,0 % sind. Eine separate Betrachtung der beiden Landkreise zeigt, dass der Anteil vor allem

im Altmarkkreis Salzwedel mit 18,1 % hoch ist, während im Landkreis Stendal 7,0 % der Landwirtschaftsfläche auf organischen Böden liegen.

Die Altmark verfügt über 320.000 ha Landwirtschaftsfläche, deren Nutzung der deutschlandweiten gleicht. Ackerflächen nehmen mit 68,9 % in der Altmark bzw. 65,5 % in Deutschland den jeweils größten Teil der Landwirtschaftsfläche ein, wobei 3,0 % bzw. 2,1 % der Ackerflächen auf organischen Böden sind. In der Altmark werden 30,9 % als Dauergrünland bewirtschaftet, wovon ein großer Teil auf organischen Böden liegt und etwa 30 % des Dauergrünlands entspricht. In Deutschland sind dies 32,6 % bzw. 4,8 %. Gartenland und Sonderkulturen nehmen in der Altmark lediglich 0,01 % der Fläche ein, während es in Deutschland 1,9 % (0,05 % auf organischen Böden) sind (Abb. 2.16).

Sowohl in Deutschland als auch in der Altmark wird auf der Hälfte der Ackerfläche Getreide angebaut. Den zweitgrößten Anteil hat Silomais mit 20 % in der Altmark bzw.



Die Fläche organischer Böden ist in der Rhein-Region gering und wird daher nicht abgebildet.

Abb. 2.16 Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland und der Altmark differenziert nach organischen und mineralischen Böden. (Quelle: Basis-DLM © GeoBasis-DE/BKG 2016)

Tab. 2.5 Nutzung der Ackerfläche und Dauerkulturen in Deutschland und in den Fokusregionen Altmark und Rhein. (Quelle: ASE-Daten aus dem Jahr 2010)

Nutzung Ackerfläche	Deutschland (% der LF)	Region Altmark (% der LF)	Altmark-kreis Salzwedel (% der LF)	LK Stendal (% der LF)	Rhein-Region (% der LF)	Rheinisch-Bergischer Kreis (% der LF)	Rhein-Sieg-Kreis (% der LF)
Getreide	50,9	51,0	49,2	52,5	45,4	26,1	47,6
Körnermais	3,9	1,3	1,6	1,0	1,5	2,3	1,5
Ölsaaten	9,6	7,1	5,7	8,2	1,3	0,0	1,4
Kartoffeln	2,1	1,2	2,1	0,4	0,9	0,3	1,0
Hülsenfrüchte	0,8	1,5	1,6	1,4	0,6	0,0	0,7
Hackfrüchte	3,1	2,3	3,0	1,7	11,6	0,0	12,9
Silomais	15,2	20,4	21,6	19,4	15,7	58,8	10,8
Raps	2,9	3,8	3,0	4,4	0,3	0,0	0,4
Gemüse	1,1	0,3	0,2	0,4	7,5	0,02	8,4
Leguminosen	2,5	2,0	1,9	2,0	2,2	4,3	1,9
Feldgras	3,7	3,0	2,9	3,0	3,3	6,5	2,9
Flächenstilllegung	2,0	5,7	6,6	5,0	1,4	0,7	1,5
Sonderkulturen	0,7	0,4	0,4	0,4	1,6	1,1	1,7
Obst	0,5	0,05	0,0	0,1	6,6	0,1	7,3
Rebland	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
Getreide	50,9	51,0	49,2	52,5	45,4	26,1	47,6

15 % in Deutschland. Der Anteil der Flächenstilllegung ist in der Altmark mit fast 6 % dreimal höher als in Deutschland (Tab. 2.5).

Bei der Nutztierhaltung überwiegen Rinder, deren Besatzdichte in der Altmark mit 0,35 Großvieheinheiten/ha deutlich niedriger als in Deutschland ist (0,52 GVE/ha, Tab. 2.6). In beiden betrachteten Räumen handelt es sich in erster Linie um Milchkuhhaltung (Altmark 52 % der Rinder-GVE; Deutschland 47 %).

Die Betrachtung der Agrarstruktur der Altmark lässt hohe THG-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten, organischen Böden vermuten. Insbesondere aus der Ackernutzung, die ein Viertel der landwirtschaftlich genutzten, organischen Böden ausmacht, sind aufgrund der im Vergleich zur Grünlandnutzung stärkeren Wasserstandsabsenkungen hohe Emissionen je Flächeneinheit zu erwarten. Eine angepasste Nutzung würde zu THG-Einsparung führen. Als von Ackerland dominierte Region sind in der Altmark THG-Emissionen, die mit der Düngung und Auswaschung in Verbindung stehen, relevant. Beim Umbruch von Grünland zu Ackerland würde es insbesondere auf

Tab. 2.6 Intensität und Ausrichtung der Tierhaltung in Deutschland und in den Fokusregionen Altmark und Rhein. (Quelle: ASE-Daten aus dem Jahr 2010)

Nutztiere	Deutschland (GVE/ha)	Region Altmark (GVE/ha)	Altmark-kreis Salzwedel (GVE/ha)	LK Stendal (GVE/ha)	Rhein-Region (GVE/ha)	Rheinisch-Bergischer Kreis (GVE/ha)	Rhein-Sieg-Kreis (GVE/ha)
Rinder	0,52	0,35	0,37	0,33	0,86	1,22	0,62
Schweine	0,25	0,10	0,12	0,08	0,02	0,01	0,03
Geflügel	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Schafe	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Sonstige Tierhaltung	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,03
GESAMT	0,85	0,48	0,52	0,44	0,95	1,29	0,73

organischen Böden zu hohen THG-Emissionen kommen. Die Viehbesatzdichte der Altmark ist vergleichsweise gering. THG-Emissionen treten bei der Wirtschaftsdüngerbringung sowie beim Weidegang auf.

Fokusregion Rhein (Landkreise Rheinisch-Bergischer Kreis und Rhein-Sieg-Kreis)

Die Fokusregion Rhein umfasst insgesamt 69.000 ha Landwirtschaftsfläche, wobei sich der Großteil mit 53.000 ha im Rhein-Sieg-Kreis befindet. Anders als in der Region Altmark weisen die beiden Landkreise der Fokusregion Rhein z. T. große Unterschiede hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Struktur auf (vgl. Abb. 2.17). Während im Rheinisch-Bergischen Kreis die landwirtschaftliche Nutzfläche zu 81,5 % mit Dauergrünland bedeckt ist, sind es im Rhein-Sieg-Kreis 51,5 %. In beiden Regionen weist das Dauergrünland fast vollständig einen Schutzgebietsstatus auf. Der Anteil der Ackerflächen beträgt 17,2 % im Rheinisch-Bergischen Kreis und ist im Rhein-Sieg-Kreis mit 42,9 % wesentlich größer. Gartenland und Sonderkulturen liegen im Rhein-Sieg-Kreis mit 5,6 % deutlich über dem Bundesdurchschnitt (1,9 %). Als Schutzgebiete wurden aufgenommen Landschaftsschutzgebiet, Naturschutzgebiete, FFH-Gebiete nach Natura 2000, Gebiete nach Artikel 4 (1) der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG) zum Schutz der wildlebenden Vogelarten und ihrer Lebensräume, Naturparke, Biosphärenreservate und Nationalparke.

Auch hinsichtlich der Ackerflächennutzung unterscheiden sich die beiden Landkreise: Während im Rhein-Sieg-Kreis in Übereinstimmung mit dem Bundesdurchschnitt der Getreideanbau überwiegt, nimmt Silomais im Rheinisch-Bergischen Kreis 59 %

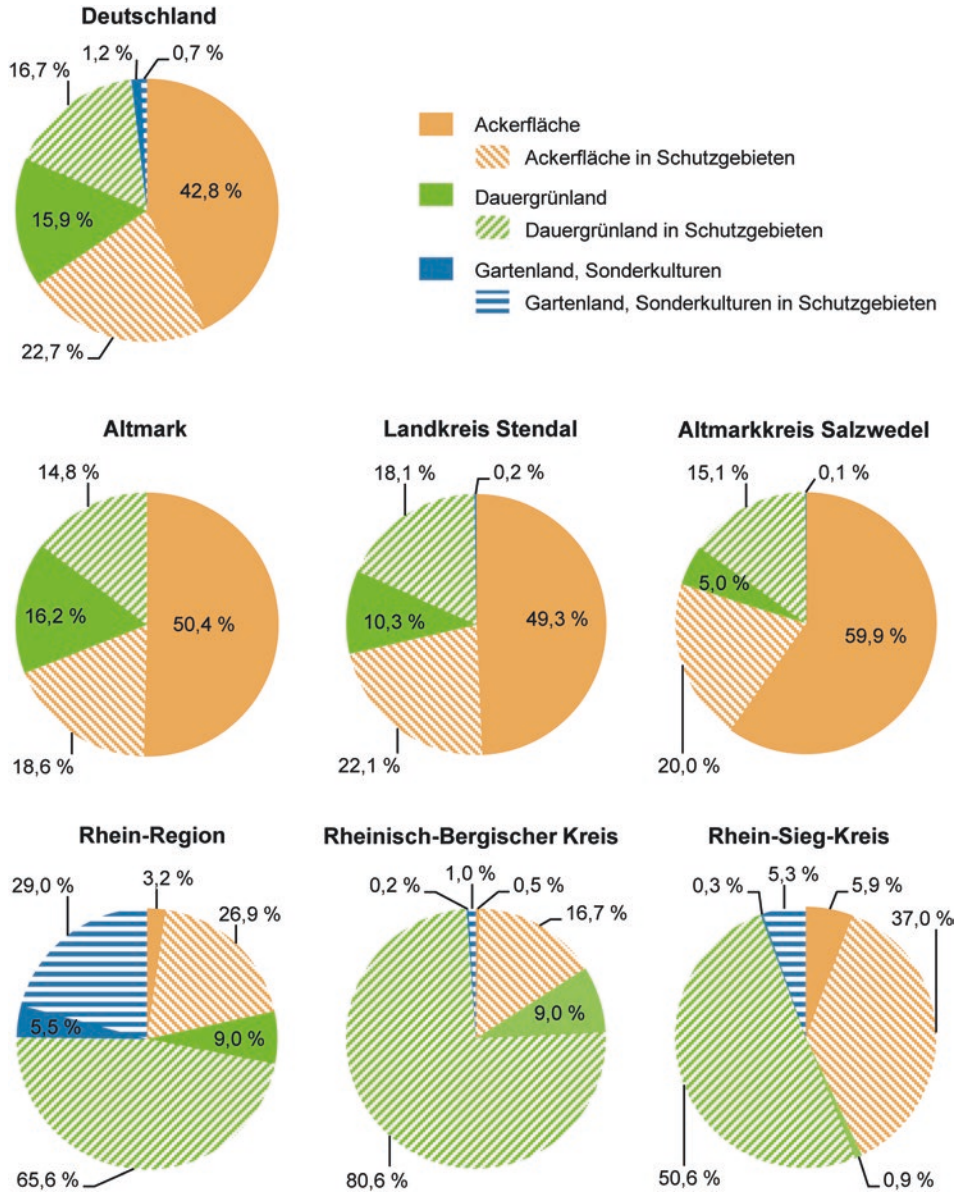


Abb. 2.17 Landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland, der Altmark und der Rhein-Region differenziert nach der Lage der Flächen in Schutzgebieten. (Quelle: Basis-DLM © GeoBasis-DE/ BKG 2016)

der Ackerfläche ein. Da sich lediglich 23 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Region in diesem Landkreis befinden, kommt die Fokusregion Rhein insgesamt mit 15,7 % Silomaisanbau nicht über den Bundesdurchschnitt. Weiterhin fällt auf, dass der Flächenumfang für Gemüse- und Obstanbau in der Fokusregion Rhein sieben- bzw. zwölfmal höher sind als im Bundesdurchschnitt. Weiter umfasst der Hackfruchtanbau der Fokusregion Rhein gut das Vierfache der Fläche des Bundesdurchschnitts (Tab. 2.5). Insgesamt, so wie in den einzelnen Landkreisen, überwiegen bei der Nutztierhaltung die Rinder, besonders im Rheinisch-Bergischen Kreis (Tab. 2.6). In allen Fällen dominiert die Milchkuhhaltung (Rhein-Region: 54 % der Rinder, Deutschland 47 %).

In der Fokusregion Rhein stehen THG-Emissionen besonders mit der Düngung und Auswaschung in Verbindung, da neben dem Ackerbau insbesondere der Obst- und Gemüseanbau hohe Düngergaben erfordert. Aufgrund der vergleichsweise hohen Viehbesatzdichte sind hohe THG-Emissionen, die mit der Wirtschaftsdüngerausbringung und dem Weidegang in Verbindung stehen, zu erwarten.

Literatur

- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (2010) Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. www.ble.de. Zugegriffen: 12. März 2019
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg) (2012) Raumordnungsbericht 2011, Bonn
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014) Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur, Berlin, S 56
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2015) Umsetzung der EU Agrarpolitik in Deutschland. Broschüre. <http://www.bmel.de>. Zugegriffen: 12. März 2019
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg) (2015b) Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ für den Zeitraum 2015–2018. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bonn
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hrsg) (2016) Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2006, Münster. www.bmel-statistik.de. Zugegriffen: 12. März 2019
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg) (2004) Die zweite Bundeswaldinventur – BWI²: Das Wichtigste in Kürze, Bonn, S 87
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (Hrsg) (2005) Die zweite Bundeswaldinventur – BWI²: Der Inventurbericht Bonn, S 231
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2010) Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung
- Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg) (2013) Sechster Nationalbericht. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, Berlin
- Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2014) Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014, S 83

- Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2009) Einflussfaktoren der Neuinanspruchnahme von Flächen, BBSR-Forschungen Heft 139, Bonn 2009
- Bundesregierung (2010) Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. <https://archiv.bundesregierung.de/resource/blob/656922/779770/794fd0c40425acd7f46afacbe62600f6/energiekonzept-final-data.pdf?download=1>. Zugegriffen: 1. Aug. 2019
- Ciccarese L, Elsasser P, Horattas A, Pettenella D, Valatin G (2011) Innovative market opportunities related to carbon sequestration in EU forests? In: Weiss G, Ollonqvist P, Pettenella D, Slee B (Hrsg) Innovation in forestry: territorial and value chain relationships. CABI, Wallingford, S 131–153
- Dechow R, Freibauer A (2011) Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. *Nutr Cycl Agroecosys* 91:235–254
- Dieter M (2011) Noch positiver Abschluss im Jahr der Wirtschaftskrise; Ergebnisse der Forstwirtschaftlichen Gesamtrechnung 2009. *Holz-Zentralblatt* 137(15):372–373
- Dieter M, Elsasser P (2002) Carbon stocks and carbon stock changes in the tree biomass of Germany's forests. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 121(4):195–210
- Dobbie KE, Smith KA (2003) Nitrous oxide emission factors for agricultural soils in Great Britain: the impact of soil water-filled pore space and other controlling variables. *Glob Change Biol* 9:204–218
- Dörsch P (1999) Nitrous oxide and methane fluxes in differentially managed agricultural soils of a hilly landscape in southern Germany. Dissertation, Universität München
- Dosch F (2008) Siedlungsflächenentwicklung und Nutzungskonkurrenzen. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 17:41–51
- Dosch F, Beckmann G (2011) Auf dem Weg, aber noch nicht am Ziel; Trends der Siedlungsflächenentwicklung. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn
- Einig K (2011) Die Flächenwende kommt nicht von allein. *Land In Form*, S 14–15
- Elsasser P (2008) Wirtschaftlicher Wert der Senkenleistung des Waldes unter KP-Artikel 3.4 und Ansätze zu dessen Abgeltung in der ersten Verpflichtungsperiode (Economic value of the carbon sequestration service of forests under KP-article 3.4 and compensation options in the first commitment period), vol OEF 2008/6. Arbeitsbericht von-Thünen-Institut, Hamburg
- Elsasser P, Kawaletz H, Bormann K, Bösch M, Lorenz M, Moning C, Olschewski R, Roedel A, Schröppel B, Weller P (2016) Ökosystemleistungen von Wäldern. In: von Haaren C, Albert C (Hrsg) Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen. Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. *Naturkapital Deutschland – TEEB DE*. S 72–98
- EU (2003) Directive 2003/87/EC of the European Parliament and Council of 13th October 2003 on establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the community. consolidated version (incorporating subsequent amendments). *Official Journal of the European Union* L 275 (25.10.2003), S 32–46
- EU (2004) Directive 2004/1001/EC of the European Parliament and Council of 27th October 2004 amending Directive 2003/87/EC on establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the community, in respect of the Kyoto Protocol's project mechanisms. *Official Journal of the European Union* L 338 (13.11.2004), S 18–23
- EU (2009) Directive 2009/29/EC of the European Parliament and Council of 23rd April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the community. *Official Journal of the European Union* L140 (5.6.2009), S 63–87

- EU-KOM (2006) Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates zu Schaffung eines Ordnungsrahmens für den Bodenschutz und zur Änderung der Richtlinie 2004/35/EG. KOM (2006) 232 endgültig
- EWG (1993) 93/389/EWG: Entscheidung des Rates vom 24. Juni 1993 über ein System zur Beobachtung der Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen in der Gemeinschaft. ABl. L 167 vom 09.07.1993, S 31–33
- Flessa H, Müller D, Plassmann K, Osterburg B, Techen A-K, Nitsch H, Nieberg H, Sanders J, Meyer zu Hartlage O, Beckmann E, Anspach V (2012) Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. Braunschweig: vTI, S 472, Landbauforsch Völkenrode SH 361
- Freibauer A et al (2003) Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* 63:93–115
- Fürst D, Scholles F (2008) Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung, Dortmund, S 656
- Göddecke-Stellmann J (2011) Renaissance der Großstädte; Eine Zwischenbilanz. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn
- Gömönn H, de Witte T, Peter G, Tietz A (2013) Auswirkungen der Biogasproduktion auf die Landwirtschaft. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, S. 78, Thünen Rep 10
- Hahn-Schöfl M, Zak D, Minke M, Gelbrecht J, Augustin J, Freibauer A (2011) Organic sediment formed during inundation of a degraded fen grassland emits large fluxes of CH₄ and CO₂. *Biogeosciences* 8(6): 1539–1550
- Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) (2015) Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte. Naturkapital Deutschland – TEEB DE. TUB/UFZ, Berlin, Leipzig
- Haushaltsgesetze (verschiedene Jahrgänge) Bundesgesetzblatt (2014) S 3197; (2015) S 2828; (2016) S 3032
- Jandl R, Lindner M, Vesterdal L, Bauwens B, Baritz R, Hagedorn F, Johnson DW, Minkinen K, Byrne KA (2007) How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 2007 137(Jan):253–268
- Janssens IA, Freibauer A, Ciais P, Smith P, Nabuurs GJ, Folberth G, Schlamadinger B, Hutjes RWA, Ceulemans R, Schulze ED, Valentini R, Dolman AJ (2003) Europe's Terrestrial Biosphere Absorbs 7 to 12% of European Anthropogenic CO₂ Emissions. *Science* 2003 300(Jun):1538–1542
- Jungkunst HF, Freibauer A, Neufeldt H, Bareth G (2006) Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany – a synthesis of available annual field data. *J Plant Nutr Soil Sci* 169(3):341–351
- Köhl M, Dieter M (2007) Wie lässt sich die Senkenwirkung des Waldes in der Praxis nachweisen? Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls. *AFZ~Der Wald* 62(11):566–570
- Kohlmaier G, Kohlmaier L, Fries E, Jaeschke W (2007) Application of the stock change and the production approach to harvested wood products in the EU-15 countries: a comparative analysis. *Eur J Forest Res* 126(2):209–223
- Küppers J-G, Elsasser P, Dieter M (2009) Forstwirtschaft im Spannungsfeld zunehmender Ansprüche an den Wald. In: Keuffel W, Löwenstein W, Möhring B, Moog M, Olschewski R (Hrsg) *Forstökonomie – eine Standortbestimmung*. J.D. Sauerländer's, Frankfurt, S 153–175
- Le Quéré C, Raupach MR, Canadell JG, Marland G, Bopp L, Ciais P, Woodward FI (2009) Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nat Geosci* 2(12):831–836
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV) (2016) NRW-Programm Ländlicher Raum 2014–2020 Förderung der ländlichen Entwicklung in Nordrhein-Westfalen

- Möhring B, Mestemacher U (2009) Gesellschaftliche Leistungen der Wälder und der Forstwirtschaft und ihre Honorierung. In: Seitsch B., Dieter M (Hrsg) Waldstrategie 2020. Tagungsband zum Symposium des BMELV, 10.–11. Dez. 2008, Berlin, Aufl 327. Landbauforschung/vTI Agriculture and Forestry Research. vTI, Braunschweig, S 65–73
- National Inventory Report (NIR) (2014) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2012. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Oehmichen K, Demant B, Dunger K, Grüneberg E, Hennig P, Kroihner F, Neubauer M, Polley H, Riedel T, Rock J, Schwitzgebel F, Stümer W, Wellbrock N, Ziche D, Bolte A (2011) Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventur Wald. Braunschweig Landbauforsch SH 343, S 141
- Offermann F, Deblitz C, Golla B, Gömann H, Haenel H-D, Kleinhanß W, Kreins P, Ledebur O von, Osterburg B, Pelikan J, Röder N, Rösemann C, Salamon P, Sanders J, Witte T de (2014) Thünen-Baseline 2013–2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, S 112, Thünen Rep 19
- Pistorius T (2007) Die Bedeutung von Kohlenstoffbilanzen im Diskurs über die Einbindung der Forstwirtschaft in die nationale Klimapolitik. Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau
- Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates. ABl. L 275, 25.10.2003, S 32. – zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 421/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014
- Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung
- Röder N, Grützmacher F (2012) Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren – Vermeidungskosten und Anpassungsbedarf. *Natur und Landschaft* 2(87):56–61
- Rüter S (2011) Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz? *AFZ-Der Wald* 15:15–18
- Schwoerer M (2015) What is happening in the International Forest Regime? *Environ Pol Law* 46(6):281–283
- Statistisches Bundesamt (2014) Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung. 2013, Wiesbaden
- Succow M, Joosten H (Hrsg) *Landschaftsökologische Moorkunde*. 2., völlig neu bearb. Aufl 28–38, Stuttgart (Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung)
- Syväsalo E, Regina K, Pihlatie M, Esala M (2004) Emissions of nitrous oxide from boreal agricultural clay and loamy sand soils. *Nutr Cycl Agroecosyst* 69(2004):155–165
- Umweltbundesamt (UBA) (2014) National inventory report for the German greenhouse gas inventory 1990–2012. Submission under the United Framework Convention on Climate Change. Umweltbundesamt, Dessau. S 956. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/submission-under-the-united-nations-framework>. Zugegriffen: 19. März 2019
- United Nations (UN) (1992) United Nations Framework Convention on Climate Change (Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen). UN, New York, 9. Mai 1992. http://unfccc.int/key_documents/the_convention/items/2853.php. Zugegriffen: 19. März 2019
- United Nations-Convention on Biological Diversity (UN-CBD) (1992) <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf> (englisch). Zugegriffen: 19. März 2019
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, Kyoto-Protokoll zur UN Klimarahmenkonvention) (1992) Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2018
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1997). UNFCCC, Kyoto, 11. Dezember 1997. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2018

- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (1998) Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2018
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2011) Decision 2/CMP.7 (Land use, land-use change and forestry). https://unfccc.int/files/meetings/durban_nov_2011/decisions/application/pdf/awgkp_lulucf.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018
- Verordnung (EU) Nr. 525/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2013 über ein System für die Überwachung von Treibhausgasemissionen sowie für die Berichterstattung über diese Emissionen und über andere klimaschutzrelevante Informationen auf Ebene der Mitgliedstaaten und der Union und zur Aufhebung der Entscheidung Nr. 280/2004/EG. ABl. L 165 vom 18.6.2013, S 13–40. Zuletzt geändert durch Verordnung (EU) Nr. 662/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014
- Verordnung (EU) Nr. 662/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013 in Bezug auf die technische Umsetzung des Kyoto-Protokolls zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. ABl. L 189 vom 27.06.2014, S 155–160
- Wellbrock N, Grüneberg E, Stümer W, Rüter S, Ziche D, Dunger K, Bolte A (2014) Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. *AFZ-Der Wald* 18:38–39
- Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (WBA) (2007) Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Bericht verabschiedet im November 2007

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Sarah Baum, Peter Elsasser, Roland Goetzke, Martin Henseler,
Jana Hoymann und Peter Kreins

Inhaltsverzeichnis

3.1	Handlungsfelder im Siedlungswesen	72
3.1.1	Stärkung der Innenentwicklung	73
3.1.2	Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr	78
3.1.3	Rückzug aus der Fläche (mit dezentraler Konzentration)	80
3.1.4	Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen	81
3.1.5	Stärkung des Öffentlichen Personennahverkehrs	84
3.1.6	Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten	85
3.1.7	Stärkung des Hochwasserschutzes	88
3.1.8	Restriktiverer Freiraumschutz	89
3.1.9	Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen	91
3.1.10	Nutzung von Biomasse der Landschaftspflege	92
3.2	Handlungsfelder in der landwirtschaftlichen Landnutzung	93
3.2.1	Überblick über mögliche landwirtschaftliche Maßnahmen	93

P. Elsasser (✉)
Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg-Bergedorf,
Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

S. Baum · M. Henseler · P. Kreins
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland

R. Goetzke · J. Hoymann
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung, Bonn, Deutschland

3.2.2	Nutzung organischer Böden.	95
3.2.2.1	Wiedervernässung.	95
3.2.2.2	Nutzung als extensives Grünland.	98
3.2.2.3	Nutzung mit Paludikulturen.	99
3.2.3	Anpassung des Düngemanagements.	101
3.2.3.1	Effizienzsteigerungen des Mineraldüngereinsatzes sowie der N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers.	102
3.2.3.2	Überregionale Transporte von organischem Dünger aus Überschuss- in Zuschussregionen.	107
3.2.4	Substitution fossiler Energie durch Bioenergie.	109
3.2.4.1	Anbau einjähriger Biomassekulturen.	111
3.2.4.2	Anbau mehrjähriger Biomassekulturen.	112
3.2.4.3	Stärkerer Fokus auf landwirtschaftlichen Nebenprodukten in der Biomassennutzung.	113
3.2.4.4	Erhalt und Schaffung von Treibhausgasenken.	116
3.2.4.5	Grünlandnutzung.	117
3.2.5	Notwendige Anpassungen an den Klimawandel.	118
3.3	Forstliche Handlungsoptionen für den Klimaschutz.	119
3.3.1	Überblick über mögliche forstliche Maßnahmen.	119
3.3.2	Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald.	121
3.3.2.1	Baumartenwahl.	121
3.3.2.2	Erhöhung der Bestandesdichte.	123
3.3.2.3	Erhöhung der Umtriebszeiten bzw. Zielstärken.	124
3.3.2.4	Dauerhafter Verzicht auf die Nutzung von Einzelbäumen oder Waldbeständen.	125
3.3.2.5	Speicheraufbau in Totholz, Streuschicht und Boden.	125
3.3.2.6	Wiedervernässung von Moorwäldern.	126
3.3.2.7	Düngung, Züchtung und Gentechnik.	127
3.3.3	Vergößerung der Waldfläche.	127
3.3.4	Ausweitung des Holzproduktespeichers und von Substitutionen.	128
3.3.5	Vermeidung von Kohlenstoffverlusten.	130
3.3.5.1	Verluste durch forstliche Kalamitäten.	130
3.3.5.2	Verluste durch forstliche Bewirtschaftung.	131
3.3.5.3	Verluste durch Aktivitäten außerhalb des Forstsektors.	132
3.3.6	Zusammenfassung zu Maßnahmenbündeln (Strategien).	133
	Literatur.	134

3.1 Handlungsfelder im Siedlungswesen

Roland Goetzke und Jana Hoymann

Zusammenfassung

Die Gestaltung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung kann einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel leisten. Dafür kommen unterschiedliche Gestaltungsoptionen in Form von Maßnahmen in Betracht, die in diesem Kapitel vorgestellt werden. Diese Maßnahmen reichen von innerstädtischen Gestaltungsprozessen bis hin zur gesamtträumlichen Betrachtung der Siedlungsstruktur. Sie berücksichtigen die Entwicklungsmöglichkeiten von einzelnen Nutzungsarten, aber

auch Aspekte der Raumordnungspolitik, und decken somit ein breites Spektrum der Gestaltungsmöglichkeiten ab. Die Relevanz einer jeden Maßnahme wird hergeleitet und das Ziel erläutert. Ihr erwarteter Beitrag zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel wird dargestellt.

Im Sektor Siedlung und Verkehr bestehen vielfältige Möglichkeiten, durch Steuerung der Siedlungsflächenentwicklung einen Beitrag zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung oder zum Umwelt- und Naturschutz zu leisten. Die ebenfalls betrachtete Strategie „Bioenergie“ wird im Siedlungsbereich nicht mit eigenen flächenrelevanten Maßnahmen ausgestaltet. Allerdings können einzelne Bestandteile der in diesem Kapitel vorgestellten Maßnahmen einen Beitrag zur Strategie „Bioenergie“ leisten, beispielsweise dadurch, dass sie durch die Verringerung des Siedlungsdrucks auf die Landwirtschaftsfläche die dortigen Nutzungskonflikte reduzieren.

Die einzelnen Maßnahmen wirken entweder steuernd auf die Größenordnung der Flächeninanspruchnahme (Mengensteuerung) oder auf deren räumliches Verteilungsmuster (Standortsteuerung). Die hier ausgewählten Maßnahmen wurden in einem intensiven Abstimmungsprozess mit Akteuren der Landnutzung auf regionaler (z. B. Stadtplaner) und auf nationaler Ebene (z. B. Verbände) diskutiert. Durch entsprechende Modellierung lässt sich die Wirkung der einzelnen Maßnahmen quantifizieren (Abschn. 4.4).

Die betrachteten Maßnahmen werden im Folgenden detailliert beschrieben (siehe dazu auch Abschn. 7.1). Dabei sei angemerkt, dass Maßnahmen ohne Bezug zu Landnutzungsänderungen im engeren Sinn nicht betrachtet werden, auch wenn sie einen durchaus signifikanten Beitrag im Rahmen der Strategien entfalten können. Solche Maßnahmen sind beispielsweise die Anpassung der Kanalisation an Starkregenereignisse oder die Nutzung kommunaler Dachflächen für Solarenergie. Die als landnutzungsrelevant identifizierten Maßnahmen im Sektor Siedlung und Verkehr werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

3.1.1 Stärkung der Innenentwicklung

Durch intensivierte Innenentwicklung erzielbare höhere Siedlungsdichten haben einen positiven Effekt auf den Klimaschutz. Im Vergleich zu geringeren Dichten werden durch die in der Regel effizienteren Siedlungsstrukturen und Infrastrukturnutzung in den Bereichen Wärme- und Stromversorgung sowie Verkehr geringere THG-Emissionen verursacht (Jenssen 2009). Darüber hinaus haben höhere Siedlungsdichten aufgrund der geringeren Flächeninanspruchnahme auch positive ökologische Effekte. Allerdings besteht ein Konfliktpotenzial zwischen der verstärkten baulichen Innenentwicklung und Anpassungsanforderungen an den Klimawandel, da eine zunehmende Verdichtung den Wärmeinseleffekt erhöhen kann. Dementsprechend müssen städtebauliche Strukturen und klimatische Vorprägungen berücksichtigt werden, damit Innenentwicklung sowohl Belangen des Klimaschutzes und des Flächensparens, als auch der Klimaanpassung

gerecht wird. In BBSR (2014b) sind einige Beispiele aufgeführt, wie sich dieser Konflikt entschärfen lässt.

Laut einer repräsentativen Umfrage unter Kommunen gibt es in Deutschland etwa 120.000 bis 165.000 ha Innenentwicklungspotenziale (IEP) in Form von Brachflächen und Baulücken (BBSR 2013). Hinzu kommen regional teils erhebliche Leerstände in Gebäuden und nicht näher zu beziffernde Möglichkeiten der Nachverdichtung im Bestand. Damit existiert ein beachtliches Flächenpotenzial im baulichen Bestand, mit dem die Neuinanspruchnahme von Flächen reduziert werden kann, die in den Jahren 2009 bis 2012 bei 74 ha/Tag lag. Daher ist der Vorrang der Innen- vor Außenentwicklung ein erklärtes Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Preuß und Beißwenger 2007). Gleichwohl erfordert die Wiedernutzung von Brachflächen im Innenbereich oft erhebliche und kostspielige Altlastensanierungen. Auch die rechtlich eingeschränkte Handhabe der Kommunen beim Zugriff auf vorhandene Baulücken oder leerstehende und im Verfall befindliche Gebäude erschwert die Nutzung von Potenzialen im Innenbereich. Teilweise bestehen standörtliche Nachteile, was in der Folge dazu führt, dass vorhandene Bauflächen oder Gebäude nicht dem Bedarf angemessen sind, daher nicht genutzt und stattdessen neue Baugebiete ausgewiesen werden.

Die Maßnahme „Stärkung der Innenentwicklung“ verfolgt das Ziel, die Siedlungsflächenentwicklung auf den Bestand auszurichten, anstatt das Baulandangebot auf bisher nicht baulich genutzte Flächen im Außenbereich auszuweiten. Dabei werden die Revitalisierung von Brachflächen, die Schließung von Baulücken, die Wiedernutzung von Leerständen sowie die bauliche Nachverdichtung durch An- und Ausbauten als Möglichkeiten genutzt, die Flächeninanspruchnahme bei gleichzeitiger Befriedigung der Baulandnachfrage zu reduzieren. Hierdurch entsteht eine kompakte und effiziente Siedlungsstruktur, und Infrastrukturfolgekosten werden reduziert. Auch aus städtebaulicher Perspektive bietet Innenentwicklung zahlreiche Vorteile, da Brachen aus dem Strukturwandel revitalisiert werden, ein Beitrag zur Bewältigung von Schrumpfung geleistet wird und kommunale Infrastrukturen kosteneffizient genutzt werden. Ein wichtiges Instrument zur Stärkung der Innenentwicklung ist das Flächenmanagement bzw. die Flächenkreislaufwirtschaft (Preuß 2006, 2010).

1. Brachflächen und Baulücken

Den Ergebnissen o. g. Befragung zufolge (BBSR 2013) liegen die IEP (nur Brachflächen und Baulücken) in Deutschland bei 15 bis 20 m² je Einwohner (IEP/EW). Unter Berücksichtigung weiterer Flächenkategorien gelten sogar noch höhere Potenziale. Zu diesen zählen vor allem Nachverdichtungspotenziale, leerstehende Gebäude oder künftig brachfallende Areale, die möglicherweise bald (um-)genutzt werden können. 20 % der Brachflächen und Baulücken werden als kurzfristig aktivierbar und weitere 50 % als langfristig aktivierbar eingeschätzt, 30 % der Potenziale als nicht aktivierbar.

Bundesweit entfällt über die Hälfte der Innenentwicklungsflächen auf Baulücken (56 %), der Rest auf Brachen. Dabei dominieren in Westdeutschland die Baulücken,

Tab. 3.1 Innenentwicklungspotenziale je Einwohner in m² nach Bevölkerungsentwicklung. (Quelle: Berechnungen des IÖR (Institut für ökologische Raumentwicklung) im Auftrag des BBSR)

Bevölkerungsentwicklung der Gemeinden	Bevölkerungsentwicklung 01.01.2009 bis 31.12.2011	IEP/Einwohner
Stark wachsend	Mind. 1,5 % p.a	ca. 8 m ²
Wachsend	0,25 % bis unter 1,5 % p.a	ca. 12 m ²
Stagnierend	–0,25 % bis unter 0,25 % p.a	ca. 13 m ²
Schrumpfend	–1,5 % bis unter –0,25 % p.a	ca. 17 m ²
Stark schrumpfend	Mehr als –1,5 % p.a	ca. 38 m ²

Datenbasis: BBSR IEP-Befragung 2012, Berechnungen des IÖR (Institut für ökologische Raumentwicklung) im Auftrag des BBSR

in Ostdeutschland dagegen die Brachen. In Großstädten wiederum sind 90 % aller Innenentwicklungspotenziale Brachflächen. Tendenziell steigen die IEP je Einwohner mit abnehmender Gemeindegröße. In größeren Städten sorgt eine überwiegend hohe Flächennachfrage meist für eine rasche Wiedernutzung brachgefallender Siedlungsflächen. Insofern verfügen große und kleine Großstädte über die geringsten IEP je Einwohner. So beträgt der Wert in großen Großstädten unter 10 m² und in Landgemeinden über 25 m² pro Einwohner. Ein ähnlicher Trend, jedoch etwas weniger stark ausgeprägt, ist hinsichtlich der Bevölkerungsdynamik festzustellen. Denn die wachsenden und stark wachsenden Regionen sind vor allem die Großstädte. Demgegenüber schrumpfen überwiegend die Kleinstädte und Landgemeinden¹ (Tab. 3.1). Insgesamt betrachtet, liegen die IEP bei der Mehrheit der Kommunen unter 20 m² je Einwohner. Hinsichtlich ihres möglichen Beitrags zur Entlastung der Baulandmärkte sind sie gleichwohl relevant (BBSR 2013). Bezogen auf die Gebäude- und Freifläche besteht in großen Großstädten mit 7 % das größte Potenzial, während Kleinstädte mit IEP von 4 % an der Gebäude- und Freifläche die geringsten Potenziale aufweisen.

Auch wenn die mengenmäßig größten Möglichkeiten zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Innenentwicklung in Kernstädten und verdichteten Regionen liegen, ist die Umsetzung der Maßnahme gerade im ländlichen Raum und in Klein- und Mittelstädten wichtig. Denn Innenentwicklung wirkt der Entleerung von Ortszentren und der Verödung von Quartieren entgegen und trägt zum Erhalt lebendiger Dörfer und Städte bei. Gleichzeitig stellen die Innenentwicklung und das in diesem Zusammenhang notwendige Flächenmanagement gerade kleine und mittlere Städte mit eingeschränkten personellen und finanziellen Ressourcen vor besondere Herausforderungen.

¹Bezogen auf die Kommunen, die an der IEP-Befragung beteiligt waren.

2. Leerstände

Laut Zensus 2011 standen zum Berichtszeitpunkt mehr als 1,8 Mio. Wohnungen in Deutschland leer. Berücksichtigt man eine Fluktuationsreserve² von 3 % des Wohnungsbestands, so besteht ein Leerstand von mehr als 665.000 Wohnungen. Anhand dieser Zahlen lässt sich jedoch weder abschätzen, ob der Leerstand dauerhaft ist, noch in welchem Zustand sich die Wohnungen bzw. Gebäude befinden. Jedoch geben sie ausreichende Hinweise auf die räumliche Verteilung der Wiedernutzungspotenziale in Deutschland. Während nach Abzug der Fluktuationsreserve in stark wachsenden Städten und Kreisen keine nennenswerten Leerstände existieren (z. B. München, Hamburg), machen sie in einigen stark schrumpfenden Kreisen mehr als 10 % des Wohnungsbestands aus (z. B. Dessau-Roßlau, Chemnitz). Abb. 3.1 zeigt den Leerstand in Gebäuden mit Wohnraum in Prozent.

Die Leerstände in Deutschland werden zukünftig weiter zunehmen. Zu diesem Ergebnis kommt die Studie „Aktuelle und zukünftige Entwicklung von Wohnungsleerständen in den Teilräumen Deutschlands“ (BBSR 2014a). Die projizierten Wohnungsüberhänge belaufen sich demzufolge im Jahr 2030 auf 2,5 bis 4,6 Mio. Diese Wohnungsüberhänge sind nicht zwangsläufig mit dauerhaftem Leerstand gleichzusetzen. Unter Berücksichtigung einer Fluktuationsreserve von 3 % des Wohnungsbestands, abzüglich des heute schon bestehenden (und ggf. bis 2030 wiedergenutzten) Leerstands, stehen bis 2030 mehr als 1,25 Mio. weitere Wohnungen leer, die theoretisch wiedergenutzt werden könnten. Anhand der getroffenen Annahmen zur aktuellen und projizierten Leerstandswiedernutzung bräuchte ein Neubau von mehr als 25.000 Gebäuden bis 2030 nicht erfolgen, wenn die Leerstände vollständig genutzt würden.

3. Nachverdichtung

Neben der Nutzung von Brachflächen und Baulücken ergeben sich weitere IEP durch die städtebauliche Nachverdichtung. Der Begriff „Nachverdichtung“ wird im fachlichen Diskurs häufig mit Innenentwicklung gleichgesetzt. Hier wird jedoch unter Nachverdichtung nur die bauliche Nutzung bisher mindergenutzter Flächen innerhalb der bestehenden Bebauung verstanden. Nachverdichtung erfolgt in diesem Sinne „auf Grundstücken, die bereits bebaut sind, jedoch über weitere Freiflächenpotenziale verfügen“ (BBSR 2013, S. 2), woraus eine bauliche Verdichtung folgt. Hierzu zählen Zweite-Reihe-Bebauung, Hinterhofbebauungen, Gebäudeaufstockungen und Ergänzungsbauten. Empirische Erhebungen zu Potenzialen der Nachverdichtung gibt es bislang nicht. In der Studie „Umsetzung von Maßnahmen zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme – Innenentwicklungspotenziale“ (ders.) wird eine Methode vorgestellt, wie sich solche Potenziale GIS-gestützt erheben lassen. Jedoch lässt sich die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit solcher Potenzialflächen nur sehr eingeschränkt ermitteln.

²Etwa 2 bis 3 % des Wohnungsleerstands ergeben sich aus Umzügen und Baumaßnahmen im Bestand und sind damit Bestandteil eines funktionstüchtigen Wohnungsmarktes.

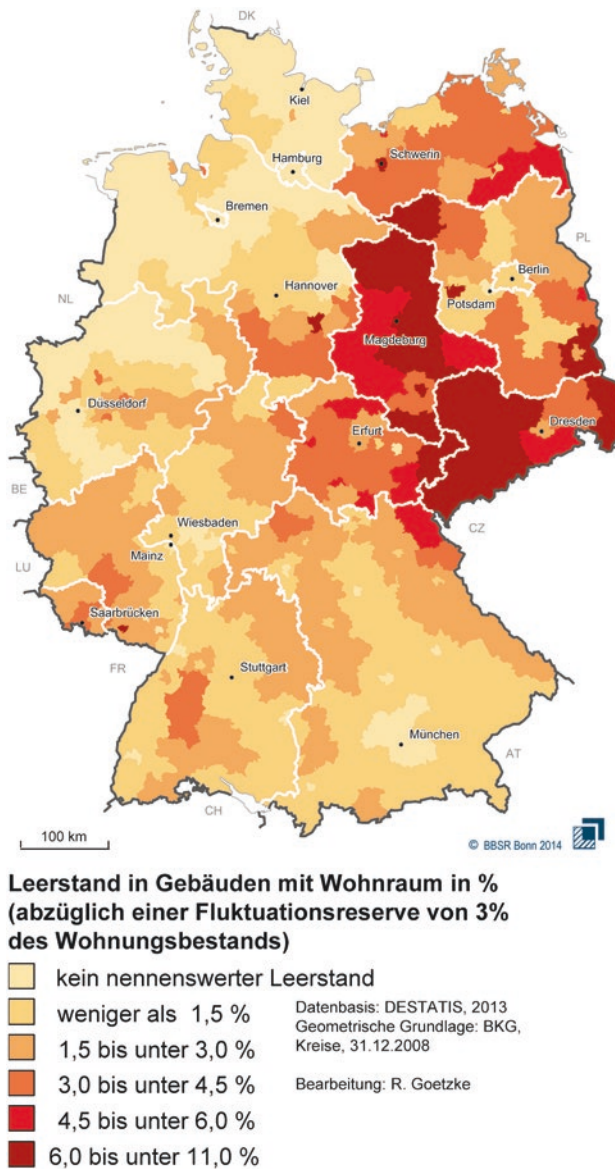


Abb. 3.1 Leerstände in Gebäuden mit Wohnraum 2011. (Abzüglich Fluktuationsreserve)

Hinsichtlich der Siedlungsdichten legt die Baunutzungsverordnung (BauNVO) Dichten für das Maß der baulichen Nutzung eines Grundstücks fest. Die baulichen Dichten der BauNVO sind als Obergrenzen definiert, die nicht überschritten werden dürfen, es sei denn aus städtebaulichen Gründen oder bei Durchführung entsprechender Ausgleichsmaßnahmen. Für Wohngebiete liegen sie bei einer Grundflächenzahl (=Anteil der überbauten Fläche eines Grundstücks) von 0,4 bis 0,6 (in Kerngebieten

bei 1,0) und einer Geschossflächenzahl (=Verhältnis der Fläche aller Geschosse zur Grundstücksfläche) von 1,2 bis 1,6 (in Kerngebieten 3,0). Diese Obergrenzen werden jedoch vor allem in Gebieten mit geringem Flächendruck oftmals nicht ausgeschöpft. In der Folge kommt es zu geringen Siedlungsdichten, die mit einer entsprechend erhöhten Flächeninanspruchnahme einhergehen.

Grundsätzlich könnte vor allem durch eine Ausweitung des Geschosswohnungsbaus im Verhältnis zum Einfamilienhausbau erheblich flächensparender gebaut werden als bisher. Da dies, abgesehen von den Ballungszentren, städtebaulich nicht immer sinnvoll ist und häufig nicht dem nachgefragten Wohnraum entspricht, werden die in der BauNVO genannten Obergrenzen nicht überall erreicht. Bei der Umsetzung der Maßnahme „Aus-schöpfung baulicher Dichte im Neubau“ sollte den regionalen Unterschieden aus städtebaulicher Perspektive Rechnung getragen werden. Zusätzlich kann die Akzeptanz der Bürger für höhere Dichten durch überzeugende Architektur gewonnen werden. In diesem Zusammenhang könnten Modellprojekte einen wichtigen Beitrag leisten.

Die aktuellen Zahlen der Baugenehmigungen in Deutschland bestätigen den Trend zu einer stärker verdichteten Bauweise. Die Baugenehmigungen von Wohnungen in Mehrfamilienhäusern sind im Jahr 2014 deutlich angestiegen (+8,8 %). Demgegenüber gab es Rückgänge bei den Genehmigungen für Ein- und Zweifamilienhäuser (-1,4 %, bzw. -5,8 %) (Waltersbacher 2015). Diese Entwicklung wird allerdings von den nachfragestärksten Städten getragen. Dort bedingt vor allem die angespannte Marktsituation die Notwendigkeit zu mehr Investitionen in den Geschosswohnungsbau.

3.1.2 Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr

Trotz einer insgesamt rückläufigen Neuinanspruchnahme von Flächen ist die Verkehrsflächenentwicklung in den vergangenen Jahren nahezu auf stabilem Niveau von 22 bis 24 ha pro Tag geblieben. Erst seit dem Betrachtungszeitraum 2009 bis 2012 ist eine erste Verlangsamung der Verkehrsflächenentwicklung zu erkennen. Dies könnte möglicherweise einen neuen Trend ankündigen: Geringeres Siedlungsflächenwachstum bedeutet weniger Erschließungsstraßen. Und auch die Investitionen in Bundesverkehrswege sollen zukünftig verstärkt auf Erhaltungsmaßnahmen konzentriert werden (Bundesregierung 2013, S. 29).

Der Straßenverkehr trägt in erheblichem Maße zur Entstehung von THG-Emissionen sowie zur Flächeninanspruchnahme bei.³ Neben der unmittelbaren Flächeninanspruchnahme ergeben sich aus der Zunahme der Verkehrsflächen erhebliche Folgewirkungen für Natur und Umwelt durch die Zerschneidungswirkung der Trassen und die Zunahme

³Seit 1990 wurde das Autobahnnetz um 2478 km erweitert. Zudem wurden Bundesstraßen auf einer Strecke von 3618 km neu- oder ausgebaut (Quelle: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StB/entwicklung-der-autobahnen-in-deutschland-seit-der-wiedervereinigung.html> (zitiert am 08.09.2020)).

von Lärm und Schadstoff-Emissionen. Zudem zieht der Infrastrukturausbau Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen in erheblichem Umfang nach sich, wodurch Nutzungskonkurrenzen zwischen der Landwirtschaft und dem Naturschutz verstärkt werden.⁴

1. Reduzierung des innerstädtischen Bedarfs an Verkehrsflächen und Rückbau nicht mehr benötigter Infrastruktur

Die Maßnahme „Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr“ zielt im innerstädtischen Bereich auf die Verbesserung der Luftqualität ab und reduziert durch einen Rückgang der Versiegelung den Wärmeinseleffekt bei gleichzeitiger Erhöhung des Wasserrückhalts in der Fläche. Die Maßnahme kann durch unterschiedliche Instrumente gesteuert werden, wie den gezielten Rückbau von Straßen und die Einrichtung von Fußgängerzonen mit entsiegelten Bereichen. Durch die Einführung einer (City-)Maut, die Reduzierung des Parkraums oder Parkraumbewirtschaftung kann der Bedarf an Verkehrsflächen reduziert werden.⁵ In ländlichen Regionen können nicht genutzte Bahntrassen und stark mindergenutzte Straßen zurückgebaut werden, auch um Verbundsysteme von Freiraum und Biotopen zu stärken. Ein Rückbau in ländlichen Räumen widerspricht jedoch den Grundsätzen des Raumordnungsgesetzes (ROG), wonach in allen Teilregionen Deutschlands gleichwertige Lebensverhältnisse angestrebt werden. Durch den Rückbau von unterausgelasteter Verkehrsinfrastruktur würde sich die Erreichbarkeit verschlechtern. In Kombination mit der Maßnahme „Rückzug aus der Fläche“ kann jedoch ein gezielter und gut abgestimmter Rückbau erfolgen.

2. Konzentration auf Erhalt und Ausbau statt neuer Trassen

Aus der Grundkonzeption der aktuellen Bundesverkehrswegeplanung (BVWP) lässt sich ein Trend zu stärkerem Erhalt und Ausbau statt Neubau im Verkehrssystem ablesen. Die Mittel, die der Bund für den Erhalt und den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur bereitstellt, steigen im Verhältnis zu den Mitteln für den Neubau. In der BVWP 2003 wurden 56 % der Mittel für die Erhaltung vorgesehen, in der Entwurfsfassung der BVWP 2015 sind es 65 % (BMVI 2014, S. 67). In der aktuellen Entwurfsfassung wird insbesondere in unzerschnittenen verkehrsarmen Räumen der Erhalt deutlich über den Neubau gestellt. In der Grundkonzeption der BVWP 2015 wird erwähnt, dass in jedem Fall der Verlust von unzerschnittenen Räumen soweit wie möglich verhindert werden soll (S. 29).

⁴Beispielsweise wurden in Sachsen-Anhalt seit 1990 Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege im Zusammenhang mit dem Straßenbau auf rund 3900 ha Fläche durchgeführt (Quelle: <https://mlv.sachsen-anhalt.de/themen/verkehr-und-strassenbau/oekologische-massnahmen> (zitiert am 12.03.2018)).

⁵Diese Maßnahmen müssen gut durchdacht sein und mit einer entsprechenden Angebotsverbesserung des ÖPNV begleitet werden, da sonst Umwegfahrten entstehen und es lediglich zu einer Verkehrsverlagerung kommt. Möglichkeiten bieten hier u. a. smarte Parkmanagement-Lösungen.

3. Konzentration der Siedlungsentwicklung auf leistungsfähige Verkehrsknotenpunkte und Infrastrukturtrassen

Das Verkehrsaufkommen im motorisierten Individualverkehr (MIV) hängt erheblich von der Erreichbarkeit ab. Entstehen neue Baugebiete nahe an leistungsfähigen Verkehrsknotenpunkten oder Orten mit einer hohen Dichte an Versorgungsinfrastruktur, Arbeitsplätzen oder sozialer Infrastruktur, können Fahrtstrecken reduziert werden und der Umstieg auf andere Mobilitätsformen wird vereinfacht.

3.1.3 Rückzug aus der Fläche (mit dezentraler Konzentration)

In stark schrumpfenden ländlich-peripheren Regionen wird es zunehmend schwieriger, die Daseinsvorsorge aufrecht und die Infrastruktur instand zu halten. Dem lässt sich entweder durch eine Strategie der Anpassung und des geordneten Rückzugs oder durch eine aktive Strategie des Gegensteuerns begeben (BBSR 2010, S. 3 ff.).

Ziel einer Maßnahme „Rückzug aus der Fläche“ ist die Herstellung einer effizienten Siedlungsstruktur und die Wiedergewinnung von ökologisch wertvollem Freiraum. Das bedeutet, dass diese Maßnahme mit einem Rückbau gebauter Strukturen einhergeht. Bei Rückbau kann es sich sowohl um den Abriss einzelner Gebäude handeln, wie es in den vergangenen Jahren vor allem im Rahmen des Stadumbau Ost bei Geschosswohnungen praktiziert wurde, als auch um einen geordneten flächenhaften Rückbau von Kleinsiedlungen ohne Perspektive im ländlich-peripheren Raum. Dies würde durch die Konzentration von Funktionen der Daseinsvorsorge auf ein ggf. ausgedünntes Zentrale-Orte-System gesteuert. Durch die Lenkung der Siedlungsentwicklung auf zentrale Orte kommt es dort zu einer Verdichtung und verbesserten Auslastung der Infrastruktur. Mittelzentrale Orte in Reichweite von Großstadregionen werden dadurch aufgewertet und können diese funktional entlasten, wodurch eine dezentrale Konzentration gefördert wird (Brake 1998).

Die Maßnahme kommt besonders in solchen Regionen infrage, die zusätzlich noch in Gefährdungsbereichen mit hohem Schadenspotenzial liegen, wie z. B. hochwasser- oder lawinengefährdete Gebiete. Wenn dort dadurch die volkswirtschaftliche Effizienz deutlich nicht mehr gegeben ist, wird eine Absiedelung in Betracht gezogen.

Durch die Konzentration von Funktionen der Daseinsvorsorge kann es allerdings regional dazu kommen, dass längere Strecken zurückgelegt werden müssen, weil Versorgungsorte weiter entfernt sind. Zudem kann in stärker verdichteten zentralen Orten der Verkehr zunehmen. Dementsprechend muss eine solche Maßnahme mit anderen Maßnahmen, wie der „Stärkung des ÖPNV“, sinnvoll kombiniert werden.

Während gezielter Rückbau von Gebäuden und Infrastruktur zur Wiederherstellung naturnaher Landnutzung meist positiv bewertet wird, sind der Rückzug von Funktionen der Daseinsvorsorge aus der Fläche sowie die Absiedelung kleiner Ortschaften höchst umstritten und werden von vielen Akteuren, vor allem im ländlichen Raum, abgelehnt. Zudem ergäbe sich daraus ein Widerspruch zu den Grundsätzen der Raumordnung, die in allen Teilräumen Deutschlands gleichwertige Lebensverhältnisse anstrebt (§ 2 Abs. 2 Satz 1 ROG).

3.1.4 Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen

Durch das Phänomen der städtischen Wärmeinsel sind Siedlungsbereiche in besonderem Maße von klimawandelbedingten Veränderungen der Temperatur betroffen. Vor allem langanhaltende Hitzewellen können eine Belastung für die Gesundheit der Bewohner, insbesondere älterer und kranker Menschen sowie Kleinkinder bedeuten.

Erläuterung Hitzeperioden: Während an heißen Tagen der Temperaturunterschied am Tag zwischen Stadt und Umland meist nur wenige Grad beträgt, kann er in windstillen und wolkenlosen Sommernächten mehr als 10 °C ausmachen (Oke 1997). In langanhaltenden Hitzeperioden ist die fehlende Abkühlung in der Nacht eine besondere Belastung für die Gesundheit. Weniger als die am Tage gemessene Lufttemperatur wird die sogenannte gefühlte Temperatur von Änderungen der Stadtstruktur beeinflusst, die das thermische Wohlbefinden des Menschen im Besonderen charakterisiert. Die gefühlte Temperatur beinhaltet neben der gemessenen Temperatur auch Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Strahlung.

Fallbeispiel

Ein Beispiel für die Auswirkungen von extremen Starkniederschlägen im Siedlungsbereich ergab sich am 28.07.2014 in der Region Münster, wo mehr als 190 l/m² Niederschlag in zwölf Stunden fielen und zwei Todesopfer sowie eine Schadenssumme von ca. 80 Mio. € zu beklagen waren. Der Deutsche Wetterdienst (DWD) rechnet in einer Stellungnahme mit einer Verdopplung des Auftretens derartiger Wetterlagen bis zum Jahr 2100 (DWD 2014).

Auch die thermisch-mechanische Belastung von Gebäuden und Infrastrukturen nimmt unter einer steigenden Anzahl an Hitzetagen zu (BMVBS 2011). Eine zunehmende Verdichtung und Ausdehnung des Siedlungskörpers verstärkt diese Problematik. Durch die Versiegelung von Böden in Siedlungsbereichen und durch Verkehrsflächen erhöht sich zudem der Direktabfluss von Niederschlägen, da der Wasserrückhalt in Boden und Vegetation nicht gegeben ist (Arnold und Gibbons 1996) (siehe Fallbeispiel oben).

In vielen Gebieten gibt es bereits heute mehr als sieben heiße Tage (Maximaltemperatur > 30 °C) pro Jahr. Schwerpunkte liegen am Ober- und Mittlerrhein, dem Rhein-Main-Gebiet und in Brandenburg (vgl. Abb. 3.2). Bis zum Jahr 2100 wird die Anzahl heißer Tage in vielen Regionen Deutschlands deutlich zunehmen.⁶ Ein Großteil der deutschen Großstadtregionen liegt in den warmen Gebieten entlang von Rhein, Main

⁶Siehe Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK): <http://www.klimafolgenonline.com/>.

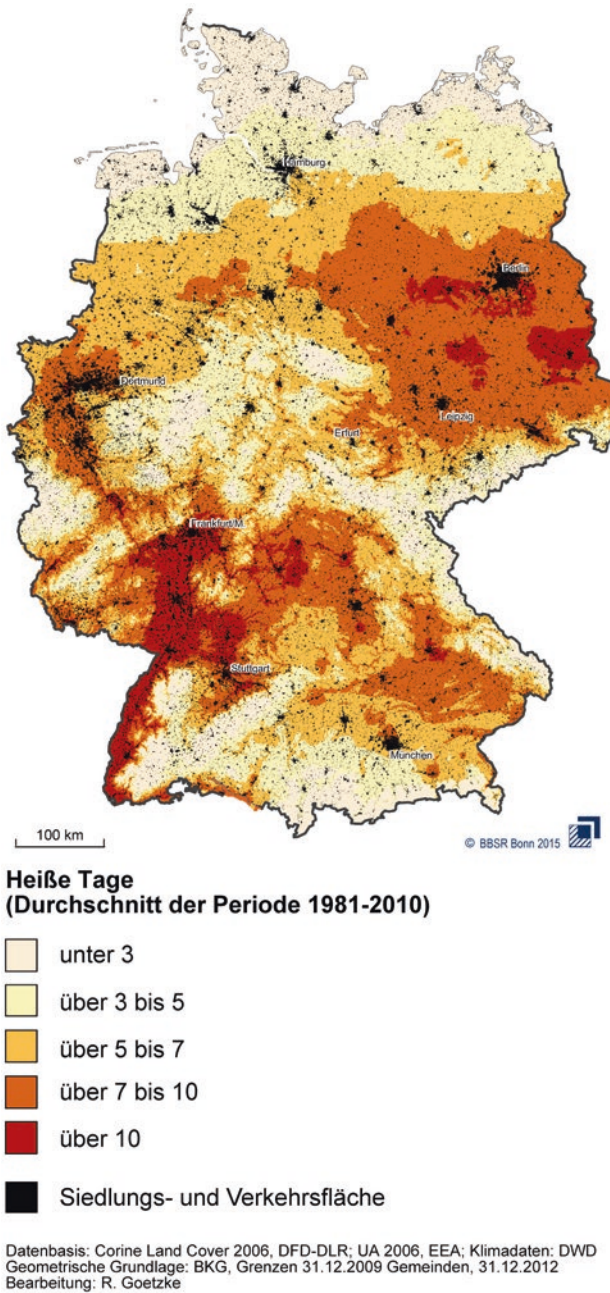


Abb. 3.2 Anzahl heißer Tage pro Jahr in Deutschland. (Durchschnitt der Periode 1981–2010)

und Ruhr sowie mit bspw. Berlin, Leipzig und Dresden im kontinental geprägten Ostdeutschland.

Die Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“ zielt auf die thermische Entlastung von Städten bei einer erwarteten Zunahme an Hitzetagen, die Stärkung der Erholungsfunktion in Metropolregionen sowie eine Erhöhung des natürlichen Wasserrückhalts und der Grundwasserneubildungsrate ab. Dies geschieht in erster Linie durch die Verbesserung der Versorgung mit und Erreichbarkeit von Grün- und Freiflächen innerhalb des Siedlungsraums und zwischen den Siedlungsräumen.⁷ Damit adressiert diese Maßnahme in erster Linie Klimaanpassungsaspekte. Daneben können sich positive Wirkungen für den Klimaschutz durch eine höhere Kohlenstoffspeicherung aufgrund umfangreicherer Grünvolumens im städtischen Raum ergeben. Die Maßnahme wirkt zudem positiv auf die Biodiversität, Luftreinhaltung, Lärmreduktion und Gesundheit.

1. Sicherung bestehender innerstädtischer Grün- und Erholungsflächen sowie Freiraum- und Grünplanung im Neubau

Um der Entstehung weiterer thermischer Belastung vorzubeugen, muss sowohl bei der Innenentwicklung als auch in neuen Baugebieten auf eine ausreichende Freiflächenversorgung geachtet werden. Darunter ist weniger eine aufgelockerte Bebauung zu verstehen, die bei hohem Flächenbedarf ökonomisch und ökologisch wenig sinnvoll wäre, sondern die gezielte Berücksichtigung von grünen und blauen Strukturen, d. h. innerstädtischen Grün- und Wasserflächen und Luftaustauschkorridoren.

2. Erhalt regionaler Freiraumfunktionen und grüner/blauer Strukturen

In der Maßnahme findet eine Stärkung der Regional- und Landschaftsplanung bei der Sicherstellung von Kaltluftentstehungsgebieten und -leitbahnen, multifunktionaler regionaler Grünzüge und Freiraumfunktionen statt. Auch wenn der Erhalt und die Entwicklung innerstädtischer Freiflächen in erster Linie eine Aufgabe der Kommunen sind, so ist gerade die stadtrregionale Freiraumstruktur ein Handlungsfeld der Regionalplanung (vgl. Knieling et al. 2013, S. 18). So könnten weitere Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zum Siedlungsklimaschutz festgelegt oder weitere Siedlungsfreiflächen als regionale Grünzüge o. Ä. ausgewiesen werden, denen insgesamt eine hohe Bedeutung zukommt.

Die Landschaftsplanung hätte in diesem Zusammenhang große Gestaltungsoptionen, ist in weiten Teilen allerdings eher reaktiv angelegt und vor allem auf Natur- und Umweltschutzaspekte fokussiert. Durch die gezielte Verknüpfung von Naturschutz-, Klimaschutz und Freizeitnutzungsaspekten könnte die Landschaftsplanung eine höhere Steuerungswirkung entfalten.

⁷Auf Handlungsfelder aus dem Themenspektrum des urbanen Grüns wird in MBWSV NRW (2014) ausführlich eingegangen. Die hier modellierte Maßnahme berücksichtigt nur flächenrelevante Aspekte (z. B. keine Gebäudebegrünung), umfasst aber alle Siedlungstypen und nicht nur Städte.

3. Schaffung neuer innerstädtischer Grünflächen

Neben dem Erhalt beinhaltet die Maßnahme die Schaffung neuer Freiflächen, z. B. durch die Nutzung von Brachflächen und Baulücken für neue Grün- und Erholungsflächen und durch die Senkung der Umwandlungskosten von Brachflächen in Grünflächen. Insgesamt steigt in städtisch geprägten Gebieten, die derzeit eine Minderausstattung mit Grün- und Erholungsflächen aufweisen, der Bedarf an Erholungsfläche je Einwohner. Feste bundesweite Richtwerte für die Grünflächenversorgung gibt es nicht. Nach einer Empfehlung des Bundesamtes für Naturschutz (BfN), die sich an Satzungen und Erlassen von Kommunen orientiert, die hierzu Aussagen getroffen haben, sollten im Schnitt jedem Einwohner etwa 55,75 m² Erholungsfläche zur Verfügung stehen (Rittel et al. 2014, S. 63).⁸

Neben der Grünflächenversorgung spielt die Erreichbarkeit von Grünflächen im Kontext von Klimaanpassung eine wichtige Rolle. Laut Empfehlungen des BfN sollten sich wohnungsnah Grünräume in einer Entfernung von nicht mehr als 500 m (5 bis 10 Gehminuten) zur Wohnung befinden (Rittel et al. 2014, S. 62).

4. Rückbau, Entsiegelung und Konzentration gebauter Strukturen

In Schrumpfungsregionen und Städten mit hohem Leerstand kann ein Teil des Gebäudebestands zurückgebaut werden, um weitere Potenziale für urbane Grünflächen zu schaffen. Zwischen 2001 und 2010 wurden allein in den neuen Bundesländern ca. 284.700 Wohnungen abgerissen (BMVBS 2012, S. 23). Gerade vor dem Hintergrund der Bevölkerungsentwicklung nach 2020 bleibt „Rückbau auch zukünftig eine Kernaufgabe des Stadtumbaus“ (ders., S. 82), jedoch tendiert der Fokus im Stadtumbau deutlich in Richtung Aufwertung (ders., S. 25). Solche freiwerdenden Flächen können als qualitativ hochwertige Grün- und Erholungsflächen genutzt werden.

Berücksichtigt man die derzeitigen und bis 2030 projizierten Leerstände (vgl. Abschn. 3.1.1), könnten nach groben Schätzungen mindestens 280.000 Gebäude zurückgebaut werden. Bei einem solchen Rückbau ist jedoch darauf zu achten, dass der städtebauliche Charakter von Quartieren nicht verloren geht. Vielfach ist den Kommunen der Zugriff auf leerstehende und im Verfall befindliche Objekte nicht ohne weiteres möglich und der Abriss sowie vor allem die Anlage und Pflege von Grünflächen mit erheblichen Kosten verbunden. Ohne die Bereitstellung finanzieller Mittel ist diese Maßnahme kaum umzusetzen.

3.1.5 Stärkung des Öffentlichen Personennahverkehrs

Der Pkw ist nach wie vor das wichtigste Verkehrsmittel der Deutschen. Das Wachstum des motorisierten Individualverkehrs (MIV) hat sich zuletzt jedoch abgeschwächt,

⁸Der Versorgungswert setzt sich aus Annahmen zur Versorgung mit allgemeinen öffentlichen Grünräumen, Sportplätzen, Bolzflächen, Spielflächen, Kleingärten und Friedhofsflächen zusammen. Diese Nutzungsformen sind in der Landnutzungskategorie urbane Grün- und Erholungsflächen subsummiert.

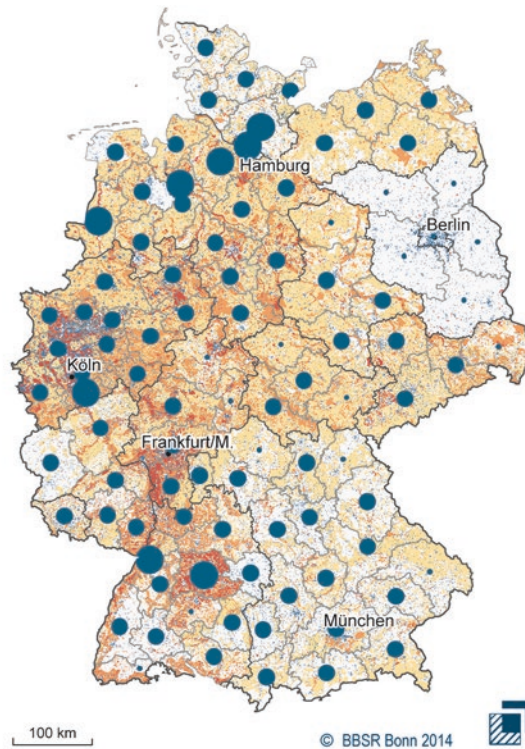
während öffentlicher Verkehr und nicht-motorisierter Individualverkehr zugenommen haben (infas und DLR 2010, S. 1). Die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors beliefen sich im Jahr 2006 auf 160 Mio. t, wovon 93 % auf den Straßenverkehr entfallen (ders., S. 5). Damit ist der Straßenverkehr für knapp 16 % der CO₂-Gesamt-Emissionen in Deutschland verantwortlich (UBA 2013, S. 196).

Die Art und Weise, wie Menschen sich im Raum bewegen, welche Verkehrsmittel sie nutzen und welche Strecken sie zurücklegen, ist von den Möglichkeiten geprägt, die ihnen zur Ausübung ihrer Aktivitäten geboten werden (infas und DLR 2010, S. 33). Die Siedlungsstruktur beeinflusst dies in besonderer Weise: „Orte mit hoher Bevölkerungsdichte verfügen über hohes Kontaktpotenzial [...]. Infolgedessen ist es zumindest potenziell möglich, Wege des alltäglichen Lebens in geringer räumlicher Entfernung durchzuführen. In dünn besiedelten Räumen müssen demgegenüber oft weite Strecken zurückgelegt werden, um Orte höherer Zentralität mit einem entsprechenden Angebot zu erreichen. [...] Während dicht bebaute Gebiete günstige Bedingungen für den Einsatz von öffentlichen Verkehrsmitteln bieten, können dispers verteilte Einfamilienhaus-siedlungen und am Stadtrand liegende Einzelhandels- und Betriebsstandorte oft nur mit dem MIV effizient erschlossen werden. Umgekehrt hat das Verkehrssystem hohen Einfluss auf die Ausprägung der Raum- und Siedlungsstruktur“ (ders., S. 33).

Eine kompakte, effiziente und am ÖPNV ausgerichtete Siedlungsstruktur kann zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen, da weniger Fahrtstrecken aufgewendet werden und die Verkehrsteilnehmer energiesparendere Fahrzeuge (Bahn, Bus, Fahrrad, Fußweg etc.) als den Pkw für ihre Wegstrecken nutzen können. Zudem verringert eine kompakte Siedlungsstruktur die Zerschneidungswirkung von Siedlungen und hat damit einen positiven Effekt auf Natur und Landschaft. Aus diesem Grund zielt die Maßnahme auf eine aktive Veränderung der Verkehrsmittelwahl ab, hin zu mehr ÖPNV. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie bspw. die Ausweisung gesonderter Bus- und Bahnspuren, Erreichbarkeitsnachweise des ÖPNV bei der Baulandausweisung, Vorrang-schaltung für den ÖPNV an Ampeln oder die Zulassung einer höheren baulichen Dichte in der Nähe von ÖPNV-Knotenpunkten. Ziel ist es, das Verhältnis von ÖPNV zu MIV von derzeit 1:5 auf 2:1 zu entwickeln (Fuhrich et al. 2004; infas und DLR 2010).

3.1.6 Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten

Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sind die wichtigsten Instrumente, die der Landes- und Regionalplanung zur räumlichen Steuerung der Siedlungs- bzw. Landnutzungs-entwicklung zur Verfügung stehen. Bei dieser Maßnahme handelt es sich weniger um einen neuen Ansatz, der von Akteuren im Siedlungsbereich angewendet werden kann, sondern eher um die konsequentere Anwendung des vorhandenen Instrumentariums. Gerade vor dem Hintergrund des Klimawandels ergeben sich hierdurch jedoch neue Handlungsspielräume, weshalb die „Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten“ hier als eigene Maßnahme geführt wird.



Steuernde Wirkung der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung

- sehr starker negativplanerischer Einfluss
- deutlicher negativplanerischer Einfluss
- mäßiger negativplanerischer Einfluss
- positivplanerischer Einfluss
- kein steuernder Einfluss

Siedlungsdruck bis 2030 auf bestehende Vorrang- und Vorbehaltsgebiete

- geringer Druck
- mäßiger Druck
- starker Druck
- Abgrenzung Raumordnungsregionen

Datenbasis: Raumordnungsplanmonitor des BBSR
 Geometrische Grundlage: BKG/BBSR Raumordnungsregionen, 31.12.2012
 Bearbeitung: R. Goetzke

Abb. 3.3 Einfluss der Regionalplanung auf die Siedlungsentwicklung

Als Folge des Klimawandels ist eine steigende Anzahl an Extremwetterereignissen zu erwarten, die ein hohes Schadenspotenzial besitzen. Um dieses möglichst gering zu halten, können Flächen von bestimmten Nutzungen freigehalten werden oder die Nutzungsintensität auf diesen Flächen geregelt werden. Dafür stehen Instrumente der Raumplanung zur Verfügung (BMVBS 2010). Da Klimafolgen auf sehr unterschiedliche Regionen treffen (urban/ländlich, prosperierend/stagnierend), müssen die Auswirkungen

des Klimawandels raumspezifisch differenziert betrachtet werden (Birkmann et al. 2013, S. 8). Durch die Steuerungswirkung der Raumplanung ist es möglich, die Raumstruktur regionsspezifisch an den Klimawandel anzupassen und die Siedlungsentwicklung entsprechend zu steuern. Dadurch kommt der Raumplanung eine Schlüsselrolle zu. In vielen Bereichen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung ist die Raumplanung jedoch nicht der zentrale Akteur. Gerade in den Bereichen Hochwasser- und Küstenschutz spielen die Fachplanungen eine wichtige Rolle (Greiving und Fleischhauer 2008). Auch wenn im ROG die Abstimmung zwischen den unterschiedlichen Planungsstufen klar gefordert wird, ist die Koordination bei den Problemkomplexen Klimaschutz und Klimaanpassung häufig eingeschränkt (ders., S. 63). Auch der Umstand, dass im konkreten Planungsprozess raumordnerische Grundsätze (Vorbehaltsgebiete) im Rahmen des Abwägungsprozesses „weggewogen“ werden können, schwächt die steuernde Wirkung der Raumordnung.

In den einzelnen Planungsregionen werden die raumordnerischen Instrumente der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete sehr unterschiedlich „intensiv“ genutzt. In manchen Planungsregionen ist ein und dieselbe Fläche mit mehreren restriktiven Planzeichen belegt, in anderen Regionen werden nur sehr lokal restriktive raumordnerische Festlegungen vorgenommen. Zusätzlich finden in einigen Planungsregionen positivplanerische Festlegungen⁹ statt, während diese in anderen Regionen überhaupt nicht vorkommen. In Abb. 3.3 ist der Einfluss, der sich aus den regionalplanerischen Festlegungen für die Siedlungsentwicklung ergibt, zusammenfassend dargestellt. Die Abbildung zeigt einerseits, wo sich mehrere negativplanerische Festlegungen überlagern (rot), wo es positivplanerische Festlegungen gibt (blau) und wo kein steuernder Einfluss der Regionalplanung herrscht (grau). Die blauen Kreise zeigen den Umfang der Siedlungsentwicklung innerhalb negativplanerischer Vorrang- und Vorbehaltsgebiete in der Referenzprojektion bis 2030. Je größer die Kreise, desto mehr Siedlungsflächen werden trotz restriktiver Planung innerhalb dieser Flächen in Anspruch genommen, weil bei hohem Siedlungsdruck nur wenige Ausweichmöglichkeiten vorhanden sind. Beispiele hierfür sind die Regionen Stuttgart, Bonn und der Mittlere Oberrhein. In anderen Regionen, in denen ebenfalls eine hohe Siedlungsdynamik zu verzeichnen ist, wie in der Rhein-Main-Region oder im Münsterland, findet im Modell hingegen nur ein mäßiger Zuwachs innerhalb restriktiver Vorrang- und Vorbehaltsgebiete statt. Dies kann damit zusammenhängen, dass es dort ausreichende positivplanerische Festlegungen oder Gebiete ohne regionalplanerisch steuernden Einfluss gibt, die die Siedlungsentwicklung ermöglichen.

Der Schwerpunkt der Maßnahme liegt in der Stärkung raumordnerischer Festlegungen zur konsequenteren Steuerung der Siedlungsentwicklung in den Strategien „Klimaschutz“, „Klimaanpassung“ sowie „Natur- und Umweltschutz“. Ziel ist es vor allem, eine klimawandelangepasste Raumstruktur zu erhalten und dem Klimaschutz

⁹Positivplanerische Festlegungen erlauben eine bestimmte Nutzungsform eines Gebiets explizit, während negativplanerische Festlegungen bestimmte Nutzungsformen ausschließen.

Raum zu geben. Wichtige Handlungsfelder der Raumordnung wurden auch von der Ministerkonferenz für Raumordnung genannt (MKRO 2013):

Für die Strategie „Klimaanpassung“

- Vorbeugender Hochwasserschutz in Flussgebieten
- Küstenschutz
- Schutz der Berggebiete (insbesondere Alpenraum)
- Schutz vor Hitzefolgen im Siedlungsbereich (bioklimatische Belastungsgebiete)
- Regionale Wasserknappheiten
- Veränderungen im Tourismusverhalten
- Verschiebung der Lebensräume von Tieren und Pflanzen

Für die Strategie „Klimaschutz“

- Energiesparende und verkehrsvermeidende, integrierte Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung
- Räumliche Vorsorge für eine klimaverträgliche Energieversorgung
- Raumordnerische Sicherung von CO₂-Senken

Bei konsequenter Umsetzung der Nutzungsrestriktionen ergeben sich standortsteuernde Effekte, die eine Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in ungeeigneten Gebieten verhindern, zum Naturschutz beitragen oder z. B. den Wasserrückhalt in der Fläche ermöglichen. Von Relevanz sind hierbei vor allem Vorrang- und Vorbehaltsgebiete aus den Bereichen Hochwasserschutz, Regionale Grünzüge, Natur- und Landschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Freiraumschutz und Siedlungsklimaschutz sowie Vorrang- und Vorbehaltsgebiete, die zum Schutz der natürlichen Bodenfunktion beitragen (Grundwasserschutz, Bodenschutz). Zudem können neue Gebiete ausgewiesen werden, um beispielsweise das natürliche Ertragspotenzial und die CO₂-Senkenfunktion von Böden zu erhalten. Im Bereich Klimaschutz können weitere Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für erneuerbare Energien ausgewiesen oder deren Steuerungswirkung erhöht werden.

3.1.7 Stärkung des Hochwasserschutzes

Die Häufigkeit und Intensität von extremen Hochwasserereignissen hat in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Die entstandenen Schäden sind enorm.¹⁰ Bereits als Reaktion auf das Hochwasser an Elbe, Donau und ihren Zuflüssen im Jahr 2002 hat die Bundes-

¹⁰Allein für das Juni-Hochwasser 2013 gehen vorläufige Schätzungen von einer Schadenssumme von 6,7 Mrd. € aus sowie weiteren 2 Mrd. € für versicherte Schäden. Für die Beseitigung von Schäden an Bundesverkehrswegen und Liegenschaften des Bundes sind weitere 1,32 Mrd. € eingeplant.

regierung ein 5-Punkte-Programm aufgelegt, dessen zentrales Element es war, den Flüssen „mehr Raum“ zu geben. Dabei spielen die Sicherung und Rückgewinnung natürlicher Retentionsräume und Überschwemmungsflächen eine große Rolle. Ende 2014 wurde von der Umweltministerkonferenz das Nationale Hochwasserschutzprogramm verabschiedet, das zahlreiche Projekte zu Deichrückverlegungen und gesteuerter Hochwasserrückhaltung enthält. Die Gesamtkosten liegen bei etwa 5,4 Mrd. € (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) 2014). Im Jahr 2007 wurde zudem die europäische Hochwasserrisiko-management-Richtlinie (HWRM-RL) erlassen, um die Auswirkungen von Hochwasser zu verringern und zu bewältigen. Die bundesdeutsche Umsetzung der Richtlinie erfolgte durch eine Ergänzung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG). Darin wird die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten für Hochwasserereignisse unterschiedlicher Intensität festgelegt, das Aufstellen von Risikomanagementplänen geregelt und die Festlegung von Überschwemmungs- und Rückhalteflächen normiert. So sollen die jeweiligen Landesregierungen innerhalb von Risikogebieten mindestens die Flächen als Überschwemmungsgebiete festsetzen, bei denen statistisch einmal in 100 Jahren ein Hochwasserereignis (HQ_{100}) erwartet werden kann. Diese Flächen gehen vielfach über die bislang raumplanerisch festgelegten Vorranggebiete zum Hochwasserschutz hinaus. Es kann zudem festgestellt werden, dass regionalplanerische Festlegungen zur Hochwasservorsorge bislang nicht den gewünschten Einfluss auf die Siedlungsentwicklung haben (BMVBS 2013).

Die Ziele der Maßnahme liegen in der Stärkung des raumordnerischen Instrumentariums zum Hochwasserschutz. Damit sollen vorsorgend Flächen von der Siedlungsentwicklung ausgeschlossen werden, bei denen ein erhöhtes Hochwasserrisiko besteht. Umgesetzt wird dies durch die Stärkung der vorhandenen Vorrang- und Vorbehaltsgebiete (z. B. Vorbehaltsgebiete werden als Vorranggebiete gewertet) und durch die Berücksichtigung der HQ_{100} -Gebiete aus der HWRM-RL. Bisher werden in der Planungspraxis raumordnerische Vorrang- und Vorbehaltsgebiete nur für HQ_{100} ausgewiesen. Die hier modellierte Maßnahme geht darüber hinaus und legt auch HQ_{extrem} als Vorranggebiete fest. Während HQ_{100} regelmäßig neu berechnet werden muss, was auch eine Aktualisierung der Raumordnungspläne nach sich zieht, bleiben die Annahmen zu HQ_{extrem} über einen längeren Zeitraum konstant. Auf diese Weise ließe sich für diese Gebiete eine hochwasserangepasste Bebauung vorschreiben (BMVBS 2013). Hieraus ergeben sich höhere Kosten sowie eine verbesserte Information über die möglichen Risiken einer neuen Bebauung, sodass davon ausgegangen werden kann, dass in diesen Gebieten die Siedlungsdynamik zurückgeht. Die Festlegungen wirken sich nicht auf den Bestand aus, der nicht ohne weiteres zurückgenommen werden kann. Dies ist in Kombination mit der Maßnahme „Rückzug aus der Fläche“ jedoch möglich.

3.1.8 Restriktiverer Freiraumschutz

Die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr hat vielfältige negative ökologische Folgewirkungen, wie den Verlust von Lebensräumen für Tier- und Pflanzen-

arten, die Zersiedelung und Zerschneidung von Landschaften und Habitaten mit entsprechenden Folgen für die biologische Vielfalt, steigende Lärm- und Schadstoffbelastung etc. Naturschutzpolitische Instrumente leisten einen Beitrag zur Steuerung der Flächeninanspruchnahme, insbesondere in Hinblick auf die Standortsteuerung. Vor allem Schutzgebietsausweisungen können standortsteuernd auf die Flächeninanspruchnahme einwirken. Jedoch weisen sie in der Mehrzahl „keinen unmittelbaren Bezug zum Schutzgut Boden und Fläche auf – aufgrund eines fehlenden rechtlichen Auftrags“ (Heiland et al. 2006, S. 89). Das Ziel der Steuerung der Flächeninanspruchnahme ist in keiner Schutzgebietskategorie definiert. In der Folge wird in der planungspraktischen Anwendung das Potenzial der Schutzgebietsausweisungen in Bezug auf das Schutzgut Boden nicht ausgeschöpft. In einigen Schutzgebietstypen, wie Landschaftsschutzgebieten, können bei Bauvorhaben Ausnahmegenehmigungen erteilt oder Bereiche aus dem Schutzgebiet ausgegliedert werden (ders., S. 89). Hier sind demnach Anwendungsdefizite vorhanden. Andere Schutzgebietskategorien, v. a. Naturschutzgebiete, haben, auch wenn sie nicht zum Zweck des Bodenschutzes eingerichtet werden, eine hohe standortsteuernde Wirkung, da sie Bebauung ausschließen. Deren Flächenanteil ist jedoch mit 3,8 % der Bundesfläche (BfN o. J.) vergleichsweise gering und deren Steuerungsfunktion damit lokal sehr begrenzt.

Die Maßnahme zielt darauf ab, die Schutzgebietskulisse zu erweitern und die Steuerungsfunktion naturschutzpolitischer Instrumente in Bezug auf das Schutzgut Boden und Fläche zu erhöhen. In der Maßnahme werden raumplanerische Instrumente zum Schutz von Freiraum, Natur und Landschaft mit berücksichtigt. Damit ist die Maßnahme ein elementarer Bestandteil der Natur- und Umweltschutzstrategie. Durch den stärkeren Schutz natürlicher und naturnaher Vegetation kann sie jedoch auch einen Beitrag zur Klimaschutzstrategie leisten, da durch die Verlagerung der Siedlungsentwicklung auf landwirtschaftlich intensiver genutzte Flächen mit geringerem Kohlenstoffgehalt im Boden THG-Senken erhalten bleiben.

1. Erhöhung des Schutzstatus

Die standortsteuernde Wirkung von Schutzgebietsausweisungen (insbesondere Landschaftsschutzgebieten), Natura 2000-Gebieten und Großschutzgebieten (insbesondere Biosphärenreservaten) wird erhöht. Dies erfolgt durch stärkere Berücksichtigung des Schutzgutes Boden bei der Anwendung des fachplanerischen Instrumentariums. Daraus ergeben sich beispielsweise weniger Ausnahmegenehmigungen in Landschaftsschutzgebieten oder ein erheblich erhöhter Begründungsaufwand bei Ausnahmen in Natura 2000-Gebieten.

2. Stärkung der Regionalplanung zum Schutz von Natur und Landschaft

Die steuernde Wirkung der Regionalplanung im Bereich Natur und Landschaft wird gestärkt, beispielsweise durch die Stärkung der Funktionen regionaler Grünzüge. Dies geschieht u. a. durch eine Aufwertung von Vorbehaltsgebieten zu Vorranggebieten.

3. Vergrößerung der Schutzgebietsflächen

Die bestehende Schutzgebietskulisse wird vergrößert, indem um Schutzgebiete mit hohem Schutzstatus, wie Naturschutzgebiete und Nationalparke, ein Abstandspuffer von 100 m gelegt wird, dessen Steuerungsfunktion über die von Landschaftsschutzgebieten hinaus geht.

3.1.9 Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen

Neben der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr stellt, bedingt durch die Energiewende, die Energiewirtschaft zunehmend Ansprüche an die begrenzte Ressource „Fläche“. Durch den Ausbau erneuerbarer Energien – insbesondere Windkraft, Photovoltaik und Biomasse – sowie dem damit verbundenen Ausbau der Übertragungsnetze, nehmen die Flächenkonkurrenzen mit anderen Landnutzern, v. a. der Landwirtschaft, zu. Während es in Deutschland 1990 nur 200 Windkraftanlagen gab, waren es im Jahr 2013 fast 24.000 (BfN und BBSR 2014). Biomasseanlagen haben zwischen 1990 und 2011 von 50 auf mehr als 14.000 zugenommen.

Die Anzahl der Netzanschlüsse von Photovoltaikanlagen stieg zwischen 1990 und 2011 von 100 auf über 1,2 Mio. (BfN und BBSR 2014). Die installierte Leistung der Photovoltaikanlagen lag 2011 bei über 24.000 MW. Schätzungsweise ein Fünftel davon lieferten Freiflächen-Photovoltaikanlagen, die eine entsprechende Flächeninanspruchnahme nach sich ziehen. Die Flächeninanspruchnahme durch Freiflächen-Photovoltaikanlagen beläuft sich eigenen Schätzungen zufolge auf mindestens 15.600 ha (2012).¹¹ Laut des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) 2014 waren im Außenbereich Freiflächenanlagen nur auf solchen Flächen förderfähig, die entweder in einem Abstand von 110 m längs von Autobahnen oder Schienenwegen liegen, bereits versiegelt sind oder auf Konversionsflächen aus wirtschaftlicher, verkehrlicher, wohnungsbaulicher oder militärischer Nutzung liegen (§ 51 Absatz 1 Nummer 3 c) aa) EEG 2014). Insgesamt wurde durch die EEG-Novelle der Ausbau von Freiflächen-Photovoltaikanlagen deutlich begrenzt. Seit 2016 dürfen zusätzlich jährlich maximal zehn Freiflächen-Photovoltaikanlagen mit einer Leistung von höchstens 10 MW auf Ackerflächen in benachteiligten Gebieten errichtet werden. Daneben sollen Flächen der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben (BImA) einbezogen werden.¹² Der Ausbaupfad laut EEG zur Steigerung der installierten Leistung durch Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungs-

¹¹Die Flächen wurden aus dem ATKIS Basis-DLM ermittelt und anhand der Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber 50 Hz, Amprion, TenneT und TransnetBW unter Einbeziehung von Luftbildauswertungen ergänzt.

¹²<https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Gesetze-Verordnungen/photovoltaik-freiflaechenausschreibungsverordnung.pdf>

energie liegt bei 2500 MW (brutto) pro Jahr (§ 3 Nummer 3 EEG 2014). Werden insgesamt 52.000 MW installierte Leistung in Deutschland erreicht, so wird die Förderung und damit der Ausbau gedeckelt (§ 31 Absatz 6 EEG 2014).

Das Ziel der Maßnahme ist es, den Nutzungsdruck auf die landwirtschaftlichen Flächen zu verringern, indem für den Ausbau erneuerbarer Energien vorrangig Flächen vorgesehen werden, die für die Landwirtschaft nicht rentabel nutzbar sind. Gleichzeitig soll es sich dabei um Flächen handeln, die für die Siedlungsnutzung nicht geeignet sind, um weitere Flächeninanspruchnahme durch Siedlungsnutzung zu vermeiden. Dabei handelt es sich in erster Linie um die in § 51 Absatz 1 Nummer 3 c) cc) EEG 2014 genannten wirtschaftlichen und militärischen Konversionsflächen. Durch die Nutzung von Deponien, Altlastenstandorten und ehemaligen militärischen Übungsgeländen lässt sich der Nachfragedruck insbesondere für Freiflächen-Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen reduzieren. Da die Flächeninanspruchnahme durch Windkraftanlagen gering ist und diese eine andere (landwirtschaftliche) Nutzung nicht flächenhaft ausschließen, werden in dieser Maßnahme (bzw. den nachfolgenden Analysen vgl. Kap. 4) nur Freiflächen-Photovoltaikanlagen berücksichtigt.

3.1.10 Nutzung von Biomasse der Landschaftspflege

Bei der Pflege von Grünflächen im Bereich der Siedlungs- und Verkehrsflächen fällt beträchtliche Biomasse an, die einer energetischen Nutzung zugeführt werden könnte. Solcher Grünschnitt fällt beispielsweise bei der Biotoppflege und der Pflege von Straßen- und Schienenbegleitgrün an. In einer Studie aus dem Jahr 2004 wurden für Rheinland-Pfalz Biomassepotenziale u. a. aus der kommunalen Landschaftspflege ermittelt (Landtag Rheinland-Pfalz 2004). Demnach belaufen sich in Rheinland-Pfalz die Potenziale durch thermisch verwertbare Biomasse (Holzhackschnitzel) aus kommunalem Grünschnitt auf 166.000 bis 220.000 MWh, aus Straßenbegleitholz auf 22.000 bis 25.000 MWh und aus der Schienenpflege auf 3000 bis 3500 MWh. Die Potenziale für vergärbare Biomasse (Biogas) belaufen sich auf 6000 bis 7500 MWh aus kommunalem Grünschnitt, auf 36.000 bis 40.000 MWh aus der Straßenpflege und auf 4000 bis 4500 MWh aus der Schienenpflege. Diese Zahlen zeigen exemplarisch das Potenzial, das zur Reduzierung der Nutzung fossiler Energieträger aus der Landnutzung im Siedlungs- und Verkehrsbereich bereitgestellt werden kann. Bundesweite Auswertungen liegen nicht vor. Es gibt allerdings regionale Modellprojekte, die die Umsetzung solcher Maßnahmen erproben, u. a. in der Altmark im Rahmen des Bundeswettbewerbs Bioenergie-Regionen.

Neben der Nutzung vorhandener Biomassepotenziale bestehen auch Möglichkeiten zur Gewinnung neuer Biomassepotenziale im Siedlungsraum, beispielsweise durch die Anlage von Kurzumtriebsplantagen auf Friedhofserweiterungsflächen etc. Da diese Maßnahmen allerdings keine flächenhaften Auswirkungen auf die Landnutzung haben, werden sie hier nicht weiter betrachtet.

3.2 Handlungsfelder in der landwirtschaftlichen Landnutzung

Sarah Baum, Martin Henseler und Peter Kreins

Zusammenfassung

Anhand intensiver Literaturrecherchen und Diskussionen mit Akteuren wurden landwirtschaftliche Maßnahmen zusammengetragen, die in erster Linie der Einsparung von THG-Emissionen dienen, zum Teil aber auch zur Erzeugung von Energie aus Biomasse sowie zum Natur- und Umweltschutz beitragen können.

Ein besonders hohes THG-Einsparpotenzial bei positiven Effekten für den Natur- und Umweltschutz haben Maßnahmen zur angepassten Nutzung organischer Böden, die mit einem langfristigen hohen Wasserstand vereinbar sind. Allerdings sind viele Moore nicht wiedervernässbar und die regionale Betroffenheit wäre groß. Maßnahmen zur Steigerung der Düngeneffizienz bspw. über präzisere Ausbringungsverfahren und verzögerte Nährstofffreisetzung reduzieren Emissionen aus der Düngung, ohne zu Ertragseinbußen zu führen. Die Substitution fossiler Energien durch Bioenergie dient zwar der THG-Reduzierung, ist aber oft mit negativen Auswirkungen auf andere Umweltaspekte und indirekte Landnutzungsänderungen verbunden. Da unter Grünland wesentlich mehr Kohlenstoff als unter Ackerland gespeichert wird, tragen Grünlanderhalt und Umwandlung von Acker in Grünland zur THG-Reduzierung bei.

3.2.1 Überblick über mögliche landwirtschaftliche Maßnahmen

Sich ändernde gesellschaftliche Ansprüche und technische Möglichkeiten bedingen einen ständigen Wandel der landwirtschaftlichen Landnutzung (Abschn. 2.2.3). Zu den wesentlichen aktuellen gesellschaftlichen Anforderungen gehören neben dem Klimaschutz im Sinne einer Einsparung von THG-Emissionen der Natur- und Umweltschutz sowie der Ausbau erneuerbarer Energien. Verschiedene Maßnahmen der landwirtschaftlichen Landnutzung tragen diesen Ansprüchen in unterschiedlichem Maße Rechnung und sind je nach Maßnahmen mit einem mehr oder minder starken „Trade off“ verbunden, d. h., die Umsetzungen einer Maßnahme erfüllen Ansprüche in einem Bereich zu Lasten anderer Ansprüche.

Vor diesem Hintergrund sind Strategien entwickelt worden, die diesen gesellschaftlichen Ansprüchen in der Landwirtschaft Rechnung tragen. Mittels einer intensiven Literaturrecherche sowie Interviews mit Akteuren der Landwirtschaft wurde eine Liste mit Maßnahmen erstellt, die zur THG-Einsparung beitragen können. Diese Liste wurde auf einem Akteurs-Workshop im November 2012 diskutiert. Nach dieser umfangreichen Vorauswahl wurden insgesamt 19 Maßnahmen ausgewählt, wobei sich die Auswahl auf Maßnahmen und Handlungsoptionen mit unmittelbarem Bezug zur Landnutzung konzentriert (Abschn. 5.3).

Liste der modellierten Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft, die in der Modellierung (explizit oder implizit) berücksichtigt wurden

- Nutzung organischer Böden
 - Wiedervernässung
 - Extensive Grünlandnutzung
 - Nutzung mit Paludikulturen
- Änderung der Anbautechnologie
 - Effizienzsteigerung des Mineraldüngereinsatzes sowie der N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers
 - Überregionale Transporte von organischem Dünger aus Über- in Zuschussregionen
- Änderung der Anbaustruktur
 - Anbau von Biomasse zur energetischen Verwendung (unter Einbeziehung alternativer Energiepflanzen): annuelle Kulturen
 - Anbau von Biomasse zur energetischen Verwendung (unter Einbeziehung alternativer Energiepflanzen): mehrjährige Kulturen
 - Verminderung des Maisanbaus
 - Ackerflächenumwandlung in Grünland
 - Stärkerer Fokus auf landwirtschaftliche Nebenprodukte in der Biomassenutzung
 - Anbau von Leguminosen
 - Erhöhung der Anbaudiversität i. S. einer Erweiterung der Fruchtfolge
 - Erhalt von Grünland
 - Ökologische Anbauverfahren
- Änderung der Bewirtschaftungsintensität
 - Steigerung der Bewirtschaftungsintensität
 - Verringerung der Bewirtschaftungsintensität
 - Produktion auf Stilllegungsflächen
 - Erhöhung der Anzahl der Grünlandschnitte
 - Grünlandextensivierung

Die Maßnahmen können in unterschiedlichem Maße zur Erreichung der Strategieziele beitragen, wobei die Umsetzungsweise sowie regionale Gegebenheiten eine entscheidende Rolle spielen. Im Folgenden werden die Maßnahmen und Handlungsoptionen näher beschrieben, die besonders zur Verringerung von THG-Emissionen aus der landwirtschaftlichen Landnutzung beitragen können. Ihre Auswirkungen auf die Ausdehnung der Bioenergieproduktion und den Natur- und Umweltschutz sowie mögliche Synergien zwischen den Strategien werden dargestellt. Steckbriefe zu allen Maßnahmen befinden sich im Anhang (Kap. 7).

3.2.2 Nutzung organischer Böden

In organischen Böden haben sich über Jahrtausende sehr große Mengen an organisch gebundenem Kohlenstoff und Stickstoff auf vergleichsweise kleinen Flächen angelagert (vgl. Abschn. 2.3). Angesichts des hohen Kohlenstoffspeichers einerseits und des bedeutenden Emissionspotenzials bei ihrer Nutzung andererseits stellen organische Böden einen zentralen Ansatzpunkt für mögliche THG-Einsparungen im Bereich der landwirtschaftlichen Landnutzung dar. Aus diesem Grund werden die Auswirkungen unterschiedlicher Optionen der Nutzung organischer Böden quantitativ analysiert (vgl. Abschn. 4.5.2.1).

Da eine Nutzung organischer Böden zumeist mit einer Wasserstandsabsenkung einhergeht, sind über 90 % der organischen Böden drainiert (Gensior et al. 2012). Um den durch die Wasserstandsabsenkung erfolgenden aeroben Abbau von organisch gebundenem Kohlenstoff zu unterbinden, sind mittlere Jahreswasserstände von 10 cm unter Flur anzustreben (Freibauer et al. 2009).

Die Intensität der Moornutzung, der Beitrag zur Qualität des Landschaftswasserhaushaltes und der Zustand des Bodens können regional und flächenspezifisch sehr unterschiedlich ausfallen, weshalb das Wiedervernässungspotenzial sowie der Beitrag zum Klima- sowie Natur- und Umweltschutz im Einzelfall abgeschätzt werden muss. So ist nicht in allen Fällen auf Grund von hydrologischen und klimatischen Faktoren eine Wiedervernässung überhaupt technisch möglich. Ferner kann der Schutz von bestehenden Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen vor einem steigenden Wasserstand technisch nicht möglich sein oder unverhältnismäßig hohe Kosten verursachen (Bonn et al. 2015).

Die Zielsetzung der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen ist die Verringerung der THG-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten organischen Böden durch eine adäquate Einstellung des Bodenwasserhaushaltes sowie eine damit verbundene Extensivierung der Nutzung. Vor diesem Hintergrund ist es selbstverständlich, dass der Schutz bestehender Moore allerhöchste Priorität haben sollte.

3.2.2.1 Wiedervernässung

Für eine Wiedervernässung ist der Rückbau der Entwässerungssysteme (Gräben, Schöpfwerke, Deiche, Dränagen) sowie eine Anhebung des Grundwasserstandes notwendig (Köbbing et al. 2012). Drainierte organische Böden sind starke CO_2 - und N_2O -Emittenten; dagegen besteht bei Überstau die Gefahr hoher CH_4 -Emissionen (vgl. Abschn. 2.3). Ein Klimaschutzeffekt kann nur durch naturnahe Wasserstände erzielt werden (Drösler et al. 2011).

Durch die Renaturierung landwirtschaftlicher Flächen im Sinne einer Wiedervernässung wird die Mineralisierungsrate des Torfs und somit die Emission von THG verringert. Eine Wiedervernässung führt nicht sofort zu niedrigeren Emissionen, da sie in drei Phasen verläuft (Augustin und Joosten 2007): Zunächst kommt es infolge der Wiederflutung zu extrem hohen CH_4 -Emissionen in Verbindung mit geringer

CO₂-Aufnahme, was einen negativen Effekt für das Klima hat. In der zweiten Phase sind die CH₄-Emissionen stark reduziert und die CO₂-Aufnahme erreicht ihr Maximum, sodass sich ein leicht positiver Klimaeffekt einstellt. Schließlich, in Phase drei, wird sowohl die CH₄-Freisetzung als auch die CO₂-Aufnahme gering erwartet und von einem neutralen Klimaeffekt ausgegangen. Verlässliche Angaben zur Dauer der einzelnen Phasen in Verbindung mit den dafür ausschlaggebenden Variablen existieren bisher nicht (Augustin und Joosten 2007). Jedoch berechneten Augustin und Joosten (2007) die THG-Emissionen für drei Szenarien, die sich hinsichtlich der Dauer der Phasen unterschieden und zeigten, dass sogar unter der pessimistischen Annahme die Wiedervernässung des degradierten Moorbodens das Global Warming Potential (GWP) über 100 Jahre betrachtet um 80 % gegenüber einem Szenario ohne Wiedervernässung verringerte. Huth et al. (2013) haben ähnlich hohe CH₄-Emissionen in einem vor 15 Jahren wiedervernässten und einem ursprünglichen Niedermoor in Mecklenburg-Vorpommern festgestellt.

Das THG-Reduktionspotenzial wiedervernässter organischer Böden hängt davon ab, wie intensiv zuvor dräniert wurde und ist bis in 60 bis 80 cm Tiefe umso höher, desto niedriger der abgesenkte Grundwasserstand ist (Drösler et al. 2011). Untersuchungen von Drösler et al. (2011) ergaben, dass das Klimaschutzpotenzial pro Hektar in landwirtschaftlich genutzten Hoch- und Niedermooren ähnlich ist und sich bei mäßiger und intensiver Dränage unter -20 cm nicht unterscheidet; während Hochmoore bei nasserem Verhältnissen klimaneutral und bei Überstau geringe THG-Quellen sind, bleiben Niedermoore auch in wiedervernässtem Zustand geringe Quellen. Die wesentlichste Einflussgröße auf die Höhe der THG-Emissionen ist der mittlere Jahreswasserstand, aber auch Nutzung und Nutzungsintensität spielen eine wichtige Rolle, wobei die Nutzungsintensität die mit dem Erntegut entzogene Menge an Kohlenstoff darstellt. Ackernutzung und Intensivgrünland führten zu den höchsten Emissionen und haben ein THG-Einsparpotenzial von ca. 30 bis 35 t CO₂ ha⁻¹a⁻¹ (Drösler et al. 2011).

Durch eine vollständige Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter Hoch- und Niedermoore (1,3 Mio. ha) ließen sich in Deutschland theoretisch bis zu 35 Mio. t CO₂-Äqu.a⁻¹ bzw. 76 % der aktuellen THG-Emissionen aus Mooren einsparen, wobei durch Niedermoorrenaturierung im Mittel 30 t CO₂-Äqu. ha⁻¹a⁻¹ und bei Hochmoorrenaturierung 15 t CO₂-Äqu. ha⁻¹a⁻¹ eingespart werden können (Freibauer et al. 2009). Unter der Annahme, dass 75 % der landwirtschaftlich genutzten Moore bzw. 0,9 Mio. ha auf naturnahen Wasserstand renaturiert werden, gehen auch Osterburg et al. (2013) bei dauerhafter Wiedervernässung von 30 bis 35 Mio. t CO₂-Äqu.a⁻¹ Minderungspotenzial aus. Das Wiedervernässungspotenzial kann durch die fortgeschrittene Degradierung im Sinne einer Sackung und bereits stark fortgeschrittenen Torfzehrung (Mineralisation) oder durch veränderte Wasserhaushaltsbedingungen, die das Wasserangebot reduzieren, eingeschränkt sein, sodass längst nicht alle Flächen wiedervernässt werden können. Eine Einschätzung des Wiedervernässungspotenzials kann nur fallspezifisch erfolgen. Auch schränken vorhandene Siedlungs- und Verkehrsflächen oder anderweitige

Landnutzungen das flächenhafte Potenzial für Wiedervernässungen ein (Röder und Grützmacher 2012).

Drösler et al. (2011) geben für Nutzungsaufgabe und Wiedervernässung THG-Minderungskosten zwischen 10 bis 135 € t⁻¹CO₂ bei einer Maßnahmendauer von 20 Jahren an, wobei die Höhe der Kosten von der Nutzungsintensität der Fläche abhängt: bei extensiver oder keiner Nutzung entstehen vergleichsweise geringe Kosten, aber auch geringere THG-Einsparungen. Intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen hingegen haben ein sehr hohes THG-Einsparpotenzial, dem allerdings hohe Opportunitätskosten sowie höhere Renaturierungskosten entgegenstehen. Die THG-Minderungskosten zeigen auch aufgrund landwirtschaftlicher Flächenprämien regionsspezifische Unterschiede. Ohne Kosten für die Wiedervernässung gehen Osterburg et al. (2013) im Allgemeinen von unter 70 € t⁻¹ CO₂-Äqu. bei dauerhafter Wiedervernässung aus. Dennoch ist Klimaschutz durch Moorschutz volkswirtschaftlich sinnvoll, „da die THG-Minderungskosten vergleichbar sind mit den Schadenskosten des Klimawandels und weitere Nutzen, z. B. für Biodiversität, Wasserschutz und Tourismus, entstehen“ (Drösler et al. 2011, S. i) (siehe auch Abschn. 4.5.4). Röder und Grützmacher (2012) nennen Vermeidungskosten von 20 bis 70 € t⁻¹ CO₂-Äqu. bzw. ca. 1600 € ha⁻¹, was 835 Mio. € entspricht, wenn alle bisher bewirtschafteten Moorflächen Deutschlands aus der Nutzung genommen würden. Hierbei sind nur die Opportunitätskosten der landwirtschaftlichen Betriebe berücksichtigt worden, während Kosten für die Wiedervernässung unberücksichtigt blieben. Bei der Betrachtung von Vermeidungskosten muss bedacht werden, dass Moore zahlreiche Ökosystemleistungen erbringen, die monetär schwer zu messen sind, die Bilanz aber entscheidend verändern würden (Köbbing et al. 2012) (siehe Abschn. 5.1).

Die Wiedervernässung organischer Böden ist eine langfristige Maßnahme. Betroffene Flächen werden im Prinzip aus der Nutzung genommen, was eine Kompensation der betroffenen Landeigentümer bzw. begleitende Maßnahmen für besonders betroffene Betriebe erfordert. Da sich eine Anhebung des Wasserstandes bei Niedermooren in der Regel auf angrenzende Bereiche auswirkt, kann Wiedervernässung nur großräumig erfolgen und muss an die lokalen Gegebenheiten angepasst sein, was eine langwierige Planung erfordert. Als weitere Hemmnisse der Wiedervernässung sind Einbußen beim landwirtschaftlichen Einkommen und die Verringerung des Produktionspotenzials zu nennen, sodass Anreize zur Umsetzung der Maßnahme unumgänglich sind. Eine Wiedervernässung ist oft nicht über Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM) realisierbar, da der Nutzer der Fläche der Eigentümer sein muss und angrenzende Bereiche auch betroffen wären. Eine mögliche Lösung wäre ein großflächiger Flächenankauf. Flächenhafte Renaturierungen können sich negativ auf die regionale Wertschöpfung auswirken. Alternative Nutzungen mit hohen Grundwasserständen sind grundsätzlich möglich (Arznei- und Kosmetikpflanzen, nachwachsende Rohstoffe für Fasern, Baumaterial und Torfersatz, Beeren etc.; vgl. Osterburg et al. 2013) und verschiedene Pilotprojekte sind hierzu in Erprobung, so z. B. Paludikulturen zur Gewinnung von Bioenergiepflanzen (Abschn. 4.5.2). Bei der Bewertung der Maßnahme muss auch die Produktionsverlagerung z. B. ins Ausland beachtet werden.

Aufgrund des hohen THG-Einsparpotenzials je Flächeneinheit ist Wiedervernässung als sehr gut geeignete Maßnahme für den Klimaschutz zu bewerten. Organische Böden können innerhalb kurzer Zeit große Wassermengen aufnehmen, sodass Wiedervernässung auch dem Hochwasserschutz dient. Für die Strategie „Bioenergie“ ist Wiedervernässung als nachteilig zu bewerten, da im Falle einer Entwässerung mit intensivem Anbau mehr Biomasse zur Energiegewinnung produziert werden könnte. Neben der THG-Einsparung können Wiedervernässung und Extensivierung zur Reduktion diffuser Nährstoffeinträge in Gewässer führen, was die Gewässerqualität steigert und für die Trinkwassergewinnung vorteilhaft ist. Da Moore Lebens- und Durchzugsraum vieler seltener Arten sind, hat eine Renaturierung oftmals positive Effekte für die Biodiversität des Standorts, gerade im Hinblick auf hochspezialisierte Arten, die an nasse, nährstoffarme Standorte und einen niedrigen pH-Wert angepasst sind. Wiedervernässung kann allerdings auch häufig Zielen des Artenschutzes entgegenstehen: Für FFH-Gebiete sind beispielsweise klare Artenschutz-Ziele definiert, die durch Wiedervernässung gefährdet werden können. So kann die Wiedervernässung extensiv genutzten Moorgrünlands u. a. eine Verdrängung bestimmter Orchideen- und Insektenarten bewirken (Bonn et al. 2015) (siehe dazu auch Abschn. 4.5.4).

3.2.2.2 Nutzung als extensives Grünland

Der mittlere Jahreswasserstand ist entscheidend für die Klimawirkung organischer Böden (s. o.). Eine Wasserstandsanhhebung schließt eine intensive Nutzung aus, da Befahrbarkeit sowie Beweidung eingeschränkt werden. Eine Umwandlung von Acker zu Grünland oder eine Grünlandextensivierung kann erforderlich sein, sofern eine weitere Nutzung angestrebt wird.

Neben einer extensiven Schnittnutzung ist eine extensive Beweidung wiedervernässter Feuchtwiesen möglich. So können Rinder in Mutterkuhhaltung mit einem jährlichen mittleren Besatz unter $1,4$ Rinder-GV ha^{-1} , auf einigen Standorten mit bis zu 2 Rinder-GV ha^{-1} , gehalten werden (Schuler et al. 2014). Verschiedene Rinderarten wie Heckrind und Galloway sowie Wasserbüffel sind bei geringen Viehbesatzdichten ebenfalls zur Beweidung geeignet.

14 % der Grünlandfläche Deutschlands befinden sich auf Moorböden (Drösler et al. 2011). Ergebnisse von Drösler et al. (2011) zeigen, dass eine Wasserstandsanhhebung auf mindestens -20 cm in Verbindung mit einer extensiven Grünlandnutzung die THG-Emissionen auf etwa 50 bis 75 % gegenüber intensiver Grünlandnutzung senkt. Im Vergleich zu Acker und Intensivgrünland können durch Extensivgrünland in Verbindung mit Wasserstandsanhhebung 20 bis 26 t CO_2 -Äqu. ha/a eingespart werden. Ohne Veränderung des Wasserstandes führt die Umwandlung von Acker zu extensiv genutztem Grünland zu einer THG-Einsparung von ca. 5 t CO_2 -Äqu. ha/a (Flessa et al. 2012). Im Sinne des Klimaschutzes ist also eine Anhebung des mittleren Wasserstandes auf mindestens -20 cm anzustreben (Osterburg et al. 2013).

Je nach Intensität der Wasserstandsanhhebung variieren die Kosten in Abhängigkeit lokaler Gegebenheiten stark. Bei einer Extensivierung, die zu einer Einsparung von 5 t

CO₂-Äqu. ha⁻¹ führt, belaufen sie sich auf über 100 € t⁻¹ CO₂-Äqu. ha⁻¹ (Osterburg et al. 2013). Eine höhere Einsparung, die durch höhere Wasserstände erreicht werden kann, reduziert diesen Betrag.

Als Hemmnisse sind neben den zur Wiedervernässung genannten Punkten (Abschn. 3.2.2.2) insbesondere Opportunitätskosten zu nennen, die sich aus der verringerten Produktivität ergeben. Neben Ertrags- kommt es zu Qualitätseinbußen beim Futter (Schuler et al. 2014).

Die für den Klimaschutz gut geeignete Maßnahme der Grünlandextensivierung auf organischen Böden ist für die Strategie „Bioenergie“ aufgrund ertragreicherer Alternativen ungeeignet. Für den Natur- und Umweltschutz ergeben sich aus der extensiven Nutzung bei hohen Wasserständen positive Wirkungen auf das Bodengefüge, eine Verringerung von Einträgen in Böden und Gewässer sowie Vorteile für den Artenschutz (Schuler et al. 2014).

3.2.2.3 Nutzung mit Paludikulturen

Paludikultur benennt die standortgerechte Bewirtschaftung von nassen oder wiedervernässten Moorstandorten (lateinisch *palus*: Morast, Sumpf), durch die Moor-, Klima- und Gewässerschutz sowie landwirtschaftliche Wertschöpfung miteinander vereinbart werden (Wichmann und Wichtmann 2009; Wichtmann et al. 2010). Hierunter fallen neben der traditionellen Rörchtgewinnung für Dachreet-Verfahren wie die Erlenertholz-Gewinnung und die Nutzung von Biomasse zur stofflichen Verwertung oder Energiegewinnung auf Nieder- und Anmoorstandorten sowie die Kultivierung von Torfmoosen als torffreie Alternative für den Gartenbau auf Hochmoorstandorten (Joosten et al. 2010). Ziel dieser Bewirtschaftungsformen ist der Erhalt oder die Neubildung von Torf, was durch natur- bzw. flurnahe Wasserstände erreicht werden kann. Seit über 20 Jahren wurde und wird in einer Reihe von Forschungsvorhaben zu Möglichkeiten der nachhaltigen, klimaneutralen Moornutzung geforscht (Wichtmann und Wichmann 2011a).

Die häufigsten Anbauarten auf wiedervernässten Niedermoorstandorten sind Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*), Gewöhnliches Schilf (*Phragmites australis*), Rohrkolben (*Typha spec.*) und Großseggen (*Carex spec.*) (Wichtmann und Wichmann 2011a). Aufgrund der nassen Bodenbedingungen sind ein gefrorener Boden und/oder eine angepasste Landtechnik für die Ernte notwendig. Während für kleinere Flächen und Erntemengen bereits Verfahren für Mahd und Abtransport entwickelt wurden, sind für großflächige Beerntung mit hohem Biomasse-Volumen bei geringem Gewicht schlagkräftigere, schwerere Fahrzeuge notwendig. Hier kommen modifizierte Pistenraupen oder Fahrzeuge mit Ballonreifen zum Einsatz, die durch Mähwerk- oder Häckslervorsätze ergänzt wurden. Die Fahrzeuge üben nur einen geringen Druck auf den Boden aus und verhindern so Schäden an der Pflanzendecke und mechanische Bodenstörungen. Konventionelle Grünlandtechnik ist zwar am günstigsten, kann jedoch nur im Sommer bei ausreichend trockenem Boden eingesetzt werden (Wichtmann und Wichtmann 2009).

Im Gegensatz zur Wintermahd hat die Sommermahd den entscheidenden Nachteil, dass mit der grünen Biomasse Nährstoffe entzogen werden, was ohne Düngung keine langfristig stabilen Erträge sicherstellt (Wichtmann und Wichmann 2011a). Des Weiteren kann Schilf bei später Sommermahd (August bis September) zurückgedrängt werden, was neben einem Ertragsrückgang langfristig, frühestens nach etwa 10 bis 20 Jahren, zum Verschwinden der Bestände führen kann, sodass sich die Wintermahd im Zeitraum Dezember bis März empfiehlt (Wichmann und Wichtmann 2009). Während die Schilf-Biomasse aus der Winterernte für die Verbrennung in Heizkraftwerken geeignet ist, kann das Erntegut aus der Sommermahd zur Vergärung in Biogasanlagen verwendet werden, wenn die Anlagentechnik entsprechend ausgerichtet ist (Köbbing et al. 2012). Neben der energetischen ist auch eine Nutzung als Tierfutter oder eine stoffliche Verwertung möglich (Wichtmann und Wichmann 2011a).

Die ansteigende Nachfrage nach Bioenergie erhöht den Druck auf Moorstandorte. Durch die bei Paludikulturen möglichen naturnahen Wasserstände ist eine klimaneutrale Bewirtschaftung möglich. Bei Nutzung der Biomasse zur Substitution fossiler Energien treten zusätzliche THG-Emissionsminderungen auf, ohne in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu stehen. Das THG-Einsparpotenzial sei an folgendem Beispiel verdeutlicht: Unter der konservativen Annahme eines Ertrags von 12 t TM ha/a und einem Heizwert von $17,5 \text{ MJ kg}^{-1} \text{ TM}$, kann die Schilfernte eines Hektars fossile Rohstoffe einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ersetzen, die andernfalls 15 t CO_2 -Äqu. emittiert hätten. Bezieht man Emissionen, die bei den Verfahren der Schilfproduktion anfallen und 2 t CO_2 -Äqu. ausmachen sowie die THG-Einsparungen aus der Wiedervernässung von ca. 15 t CO_2 -Äqu. mit ein, so werden durch die energetische Nutzung des Schilfs aus Paludikulturen fast 30 t CO_2 -Äqu. ha^{-1} vermieden (Wichtmann und Wichmann 2011b). Couwenberg et al. (2007) zeigen, dass alle auf dränierten Moorstandorten gewonnenen Bioenergieträger höhere Emissionen aufweisen als fossile Energieträger. So beträgt die Emissionshöhe für Energiemais zur Biogasproduktion auf entwässerten, gepflügten Moorstandorten 880 t $\text{CO}_2 \text{ TJ}^{-1}$, wohingegen der direkte Verbrauch von Heizöl lediglich 73 t $\text{CO}_2 \text{ TJ}^{-1}$ emittiert; inklusive indirekter Emissionen (Transport, Umwandlung) sind es 81 t $\text{CO}_2 \text{ TJ}^{-1}$.

Bisherige Modellkalkulationen zeigten, dass die Nutzung der Biomasse zur Verfeuerung trotz Spezialtechnik mit anderen halmgutartigen Energieträgern (Stroh, Miscanthus) konkurrenzfähig ist, wenn keine Anpflanzung notwendig ist (Wichtmann et al. 2010; Wichmann und Wichtmann 2009).

Neben den zur Wiedervernässung genannten Hemmnissen (Abschn. 3.2.2.1) sehen Landwirte ein wirtschaftliches Risiko hinsichtlich Anlagekosten, Erntetechnik und Absatzmarkt sowie fehlende Erfahrungswerte (Wichmann und Wichtmann 2009). Die Wirtschaftlichkeit wird von zahlreichen Faktoren wie beispielsweise der Infrastruktur in Form von geeigneten Heizkraftwerken und Erntemaschinen, Transportkosten, Bodenbefahrbarkeit sowie Opportunitätskosten beeinflusst. Neben den Produktionskosten und erzielbaren Erlösen sind politische und rechtliche Rahmenbedingungen ausschlaggebend

für die Wirtschaftlichkeit der Biomasseproduktion in Paludikulturen (Wichmann und Wichtmann 2009). Bisher wird Paludikultur überwiegend in Pilotprojekten betrieben.

Die für den Klimaschutz sehr gut geeignete Maßnahme ist für die Strategie „Bioenergie“ aufgrund ertragreicherer Alternativen ungeeignet. Für den Natur- und Umweltschutz ergeben sich aus der extensiven Bewirtschaftung positive Wirkungen auf das Bodengefüge. Der Ausschluss des Dünge- und Pflanzenschutzmitteleinsatzes führt zur Verringerung von Einträgen in Böden und Gewässer. Als wiedervernässte Nieder- oder Anmoorstandorte bieten Paludikulturen Lebensräume für zahlreiche spezialisierte Arten, wobei durch geeignete Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Mahdtermin) bestimmte seltene Arten des Schilfgürtels gefördert werden können, wie beispielsweise Rohrdommel (*Botaurus stellaris*) und Seggenrohrsänger (*Acrocephalus paludicola*, Wichmann und Wichmann 2011b). Allerdings sind auch negative Effekte mit Paludikulturen verbunden, da Etablierung und Ernte Störungen darstellen, die mit Bodenverdichtung, Nährstoffentzug (bei Sommermahd, s. o.), verändertem Licht-, Temperatur- und Wasserhaushalt zusammenhängen (Wichmann und Wichtmann 2009). Schilf- und nasse Rohrglanzgrasbestände sind durch eine geringe Pflanzendiversität, aber eine hohe Vielfalt an Tierarten charakterisiert (Wichmann und Wichtmann 2009). Ersetzen Paludikulturen eine abweichende vorherige Nutzung wie z. B. Grünland, sind die hierauf spezialisierten Arten negativ betroffen, sodass der Effekt auf die Biodiversität regional differenziert und abwägend betrachtet werden muss.

3.2.3 Anpassung des Düngemanagements

Um Ertrag und Qualität der landwirtschaftlichen Anbauprodukte zu gewährleisten, ist im Allgemeinen eine Nährstoffzufuhr in Form von mineralischen oder organischen Düngemitteln notwendig. Bei der Ausbringung von Stickstoffdüngern entsteht ein großer Teil der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft, wobei es sich in erster Linie um Lachgas handelt (Abschn. 3.2.3.1). Dabei wird zwischen direkten und indirekten THG-Emissionen unterschieden. Direkte THG-Emissionen entstehen durch die Ausbringung von Düngern, während indirekte Emissionen über die atmosphärische Deposition reaktiven Stickstoffs sowie durch Auswaschungen erfolgen, wenn reaktive Stickstoffverbindungen wie Nitrat und Ammoniak über das Sickerwasser und Oberflächenabflüsse in die umliegende Landschaft gelangen und über Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse Lachgas entsteht (Abschn. 2.3). THG-Emissionen treten nicht nur bei und direkt nach der Düngung auf, sondern können im gesamten Jahresverlauf erfolgen. Zudem ist die Herstellung von Mineraldünger durch den Verbrauch fossiler Energien mit hohen THG-Emissionen verbunden.

Die Höhe dieser Emissionen ist neben der Menge der Düngerausbringung von den natürlichen Boden- und Klima-Gegebenheiten (Humus-, Stickstoffgehalt, pH-Wert, Bodenbelüftung bzw. Niederschlag, Temperatur und Frostperioden) und dem Verhältnis von N-Input zu N-Output (Flessa et al. 2012; Osterburg et al. 2013) sowie von der

eingesetzten Ausbringungstechnik abhängig. Weiterhin kommt dem Ausbringungszeitpunkt eine große Bedeutung zu (Flessa et al. 2014). Für die Klimawirksamkeit muss der Düngewert in die Gesamtbetrachtung einbezogen werden, da dieser mit zunehmenden NH_3 -Emissionen aufgrund hoher N-Verluste sinkt (Flessa et al. 2014). NH_3 -Emissionen begrenzen sich auf die Tage nach der Ausbringung, während N_2O -Emissionen zusätzlich im Jahresverlauf auftreten. Für die Bewertung von Ausbringungstechniken ist daher der gesamte Jahresverlauf der Emissionen zu betrachten, da THG-Einsparungen bei der Ausbringung ggf. im Jahresverlauf ausgeglichen werden könnten (Flessa et al. 2014).

Die Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung sind die wichtigsten Ursachen für Ammoniak- (NH_3)-Emissionen in Deutschland, wobei das Einsparpotenzial bei der Ausbringung absolut gesehen größer ist als bei der Lagerung (Flessa et al. 2012). Pro Kilogramm eingespartem Rein-Stickstoff bei der Mineraldüngung kann von einer Emissionsminderung von 17,5 kg CO_2 -Äqu. kg^{-1} N ausgegangen werden. Diese Menge setzt sich aus 6,1 kg CO_2 -Äqu. kg^{-1} N durch direkte N_2O -Emissionen, 3,9 kg CO_2 -Äqu. kg^{-1} N durch indirekte Emissionen sowie 7,5 kg CO_2 -Äqu. kg^{-1} N durch die Bereitstellung des chemisch-synthetischen N-Düngers zusammen (Flessa et al. 2012). Für ein durch Feldversuche zur teilflächenspezifischen Düngung ermitteltes mittleres Einsparpotenzial von ca. 18 kg N ha^{-1} ergeben sich somit 315 kg CO_2 -Äqu. ha^{-1} , die bei der Mineraldüngung vermeidbar sind (Flessa et al. 2012, Abschn. 3.2.3.1). Smith et al. (2008) gehen davon aus, dass über ein geeignetes Nährstoffmanagement auf Ackerflächen der kühl-feuchten Klimazonen Einsparungen von 0,62 (0,02–1,42) t CO_2 -Äqu. ha/a möglich sind.

Die Zielsetzung der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen ist die Verringerung der THG-Emissionen, die direkt oder indirekt mit der Düngung in Verbindung stehen. Die Höhe des Flächenertrags soll hierbei nicht reduziert werden, um Verlagerungseffekte zu vermeiden.

3.2.3.1 Effizienzsteigerungen des Mineraldüngereinsatzes sowie der N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers

In Deutschland werden jährlich etwa 100 kg N aus Mineral- sowie 75 kg N aus Wirtschaftsdünger pro Hektar ausgebracht (BMU und BMELV 2012); die Düngung setzt sich also zu 57 % aus Mineral- und zu 43 % aus Wirtschaftsdünger zusammen. Grundsätzlich ist eine bedarfsgerechte Düngung anzustreben, sodass Stickstoffüberschüsse vermieden werden (Osterburg et al. 2013). Durch den Abbau von Düngungssicherheits-Aufschlägen, die zum Ausgleich von nicht vorhersehbaren Ereignissen wie Auswaschungsverlusten, Ertragsschwankungen oder Verringerung der N-Verfügbarkeit bei Trockenheit ausgebracht werden, kann die N-Nutzungseffizienz (Ertrag pro Menge gedüngten Stickstoffs) erhöht werden. Im Mittel betrug der landwirtschaftliche Stickstoffüberschuss in den letzten Jahren 97 kg N ha/a und lag damit deutlich über dem Ziel von 80 kg N ha/a , das nach der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung bereits 2010 erreicht werden sollte (Geupel und Frommer 2014). Ein Teil des als Dünger applizierten Stickstoffs wird nicht durch die Pflanze aufgenommen, sondern verlässt das Boden-Pflanze-System über

Auswaschung (Nitrat) und gasförmige Emissionen (N_2O , NO , NH_3 , N_2). Um diesen Anteil möglichst gering zu halten, muss sich die N-Düngung am Ertragspotenzial orientieren, wobei (Teil-)Flächen mit vergleichsweise geringem Ertragspotenzial geringere N-Applikationsraten erfordern und vice versa.

Durch die Ausbringung von Mineraldüngern wurden im Jahr 2012 ca. 9,5 Mio. t CO_2 -Äqu. und durch die der Wirtschaftsdünger 4,7 Mio. t CO_2 -Äqu. emittiert (NIR 2014). Durch eine gesteigerte Stickstoff-Effizienz und Reduzierung von N-Überschüssen ließen sich insgesamt etwa 5,8 Mio. CO_2 -Äqu. a^{-1} , also 40 % der Emissionen aus der Düngerausbringung, einsparen, wobei die Kosten unter $50 \text{ € t}^{-1} CO_2\text{-Äqu.}$ liegen (Osterburg et al. 2013). Hierfür gibt es mehrere Ansätze, von denen einige im Folgenden näher beschrieben werden.

Präzisere Ausbringungsverfahren

Präzisere Ausbringungsverfahren, bei denen der Luftkontakt möglichst gering gehalten wird, führen zu niedrigeren THG-Emissionen und höherem Nährstoffangebot im Boden, wodurch ca. 0,33 t CO_2 -Äqu. ha/a vermieden werden können (Schuler et al. 2014). Eine bodennahe, abdriftarme Ausbringung kann beispielsweise durch Schleppschlauch- und Injektionsverfahren, bei denen die Nährstoffe direkt in den Boden eingebracht werden, oder durch Exaktstreuer zur gleichmäßigen Verteilung der Nährstoffe, erfolgen. Die THG-Minderungskosten liegen je nach System zwischen ca. 50 bis $200 \text{ € t}^{-1} CO_2\text{-Äqu.}$ und steigen mit der Emissionseinsparungshöhe (Schuler et al. 2014).

Wenngleich hinsichtlich der absoluten Ammoniak-Minderungspotenziale unterschiedlicher Gülleausbringungsverfahren Unsicherheiten bestehen, so sind sich Experten bzgl. der Relationen der Verfahren zueinander weitestgehend einig (vgl. Flessa et al. 2014): Für unbewachsene Flächen ist die sofortige Einarbeitung, möglichst innerhalb der ersten Stunde nach der Ausbringung der Gülle- und Gärreste, das emissionsärmste Verfahren. So werden NH_3 -Emissionen größtenteils (>80 % gegenüber oberflächlicher Breitverteilung ohne Einarbeitung) vermieden und bewirken einen hohen Düngewert des Wirtschaftsdüngers. Für bewachsene Flächen sind bodennahe, streifenförmige Ausbringungsverfahren wie Schleppschlauch (Acker: 22 bis 48 % geringere Emissionen) oder Schleppschuh (Acker: 28 bis 78 %, Grünland: 40 bis 66 %) geeignet, wobei auf eine Mindestwuchshöhe des Aufwuchses zu achten ist. Injektionsverfahren in Verbindung mit dem Verschließen der Schlitze mit Boden sind bzgl. NH_3 -Emissionsreduktion auf bewachsenen Flächen am effektivsten (Acker: 82 bis 86 %, Grünland: 81 bis 89 %; Flessa et al. 2014).

Auch bei Injektionsverfahren werden die NH_3 -Emissionen erheblich reduziert. Allerdings ist eine erhöhte N_2O -Bildung in der Injektionszone aufgrund der engen Kopplung von Nitrifikation und Denitrifikation möglich, wenn der flüssige Wirtschaftsdünger nicht in den Boden eingemischt, sondern konzentriert in einem Kanal abgelegt wird. Die Bildung von N_2O in der Injektionszone wird durch eine hohe Sauerstoffzehrung bei gleichzeitiger, eingeschränkter Sauerstoffzufuhr durch lokal entstehende anoxische Bedingungen, hohe Gehalte an mineralischem Stickstoff in den Injektions-

zonen sowie die Verfügbarkeit leicht abbaubarer organischer Substanz in den Injektionszonen begünstigt. Ob ein Großteil der N_2O -Emissionen sowie der Emissionen aus dem erhöhten Energieaufwand bei der Gülleausbringung durch die vermiedenen NH_3 -Verluste und dem somit höheren Düngewert ausgeglichen werden können, kann bislang nicht mit einer gesicherten Gesamtbewertung festgestellt werden (Flessa et al. 2014). Des Weiteren muss noch erforscht werden, inwiefern Injektionstiefe, -abstände, offene und geschlossene Injektion die Höhe der N_2O -Emissionen beeinflussen, ebenso, ob der Einsatz von Nitrifikationshemmstoffen hierbei eine geeignete Option zur Reduktion sein könnte (Flessa et al. 2014).

Zur Effizienzsteigerung des Mineraldüngereinsatzes ist zudem Präzisionslandbau/Precision Farming eine Option, bei dem die Arbeitsgeräte der Landmaschinen GPS- und sensorbasiert gesteuert werden. Bei dieser teilflächenspezifischen Bewirtschaftung werden Unterschiede bezüglich des Bodens und der Ertragsfähigkeit innerhalb eines Feldes berücksichtigt, sodass die Nährstoffverteilung optimiert werden kann. Auf diese Weise lässt sich der Ertrag steigern und der Einsatz von Dünger sowie Pestiziden reduzieren. Präzisionslandbau ist also umso nützlicher, je heterogener ein Standort ist. Feldversuche zur teilflächenspezifischen Düngung deuten auf ein mittleres Einsparpotenzial von ca. 18 kg N ha^{-1} (mit einhergehenden N-Produktivitätssteigerungen um $3,4 \text{ kg N t}^{-1}$ Getreide) und damit $315 \text{ kg CO}_2\text{-Äqu. ha}^{-1}$ hin (Flessa et al. 2012). Etwas niedriger ist die Annahme von Rösch et al. (2005), die davon ausgehen, dass der Mineraldüngereinsatz durch Präzisionslandbau auf heterogenen Feldern im Durchschnitt um ca. 7 % bzw. 14 kg N ha^{-1} reduziert werden kann, wobei der Ertrag gleich bleibt oder um bis zu 6 % ansteigt. Rösch et al. (2005) geben an, dass, gemessen am Ertrag, teilflächenspezifische Düngergaben die N-Verluste um 5 bis 10 % vermindern können. Nach Osterburg et al. (2013) beträgt das Minderungspotenzial der v. a. für den Marktfruchtbau geeigneten teilflächenspezifischen Düngung $300 \text{ kg CO}_2\text{-Äqu. ha}^{-1}$ mit Kosten von mindestens $50 \text{ € t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-Äqu.}$

Verzögerte Nährstofffreisetzung

Nitrifikationsinhibitoren bewirken eine verzögerte Bildung von Nitrat in der Injektionszone, indem die mikrobielle Oxidation von NH_3 bzw. NH_4 zu Nitrit gehemmt und so die Nitratbildung um mehrere Wochen verzögert wird. Hohe Nitratgehalte nach der Düngung werden vermieden und so die Gefahr der Nitratauswaschung und Denitrifikation verringert. Nitrifikationsinhibitoren werden hauptsächlich in flüssigen oder granulierten Mineraldüngern eingesetzt, können aber auch in Flüssigmistdüngern oder Biogasgülle eingesetzt werden. Auswertungen verschiedener, in Flessa et al. (2014) zitierter Studien zur N_2O -Emissionsminderung durch Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren zeigten, dass ein Minderungspotenzial von im Mittel 40 % realistisch ist, wobei dieses Potenzial sehr variabel ist und von Standortbedingungen, eingesetzter Düngerart und -form, Art des Nitrifikationshemmstoffs und gedüngter Kulturart abhängig ist. Osterburg et al. (2013) gehen beim Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren unter der vereinfachten Annahme, dass bei 50 % der Mineraldüngermenge 25 % der

N_2O -Emissionen eingespart werden, von einem theoretischen Reduktionspotenzial von 1,1 Mio. t CO_2 -Äqu. für Deutschland bzw. von 0,2 t CO_2 -Äqu. ha^{-1} aus. Bei der Ermittlung des Reduktionspotenzials sind ganzjährige Messungen notwendig, da es zur zeitlichen Verschiebung der N_2O -Emissionen kommen kann. Wenn die Düngehäufigkeit durch eine längere Düngerwirkung reduziert werden kann, sinken mit der Anzahl der Überfahrten zusätzlich die Emissionen aus dem Dieserverbrauch. Weiter sind Emissionen aus der Herstellung der Hemmstoffe zu berücksichtigen. Wenngleich für Nitrifikationsinhibitoren ein hohes THG-Einsparpotenzial angenommen werden kann, besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Emissionseinsparung, der Wirkungen auf den Ertrag, des Einflusses der Standortparameter sowie der ökotoxikologischen Langzeitwirkungen der Hemmstoffe, wozu vor allem Langzeituntersuchungen notwendig sind (Flessa et al. 2014). In Sonderkulturen mit hohen Deckungsbeiträgen und verhältnismäßig geringen Kosten für die Düngung an den Gesamtkosten, wie z. B. dem Gemüseanbau, ist seitens der Landwirte eine höhere Motivation zum Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren gegeben (Flessa et al. 2014). Die Kosten für THG-Einsparungen durch den Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren liegen bei unter 50 € t^{-1} CO_2 -Äqu. (Osterburg et al. 2013).

Wie Nitrifikationsinhibitoren dienen kunststoffummantelte Langzeitdünger dazu, gedüngten Stickstoff möglichst ausreichend lange im Wurzelhorizont zu halten und damit eine lange Pflanzenverfügbarkeit zu gewährleisten. In Abhängigkeit von der Art der Umhüllung und den temperatur- und feuchteabhängigen Lösungsprozessen verzögern kunststoffummantelte Langzeitdünger auf mechanischem Weg die Freisetzung von Düngerstickstoff und minimieren auf diesem Wege die mikrobiell induzierten Transformationen des Stickstoffdüngers. Dies verringert Auswaschungs- und Ausgasungsverluste (Sommer 2005). Akiyama et al. (2010) werteten zahlreiche Studien aus und kamen zu dem Ergebnis, dass, in Abhängigkeit von Bodentyp und Landnutzung, die Reduktion der N_2O -Emission im Vergleich zur konventionellen Düngung im Schnitt bei 35 % liegt, weisen aber auf die mangelnde Repräsentativität der zugrundeliegenden Untersuchungen hin.

Direkte und indirekte N_2O -Emissionen lassen sich auch durch Düngung im CULTAN-Verfahren (*Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition*) reduzieren. CULTAN-Verfahren sind sowohl für Mineral- als auch Wirtschaftsdünger geeignet, wobei verschiedene Depot- und Ausbringetechniken je nach Kultur und Standort zum Einsatz kommen (vgl. Sommer 2005). Auch Gärreste aus Biogasanlagen können zu CULTAN-Düngern aufgearbeitet werden. Einmal pro Vegetationsperiode wird Ammonium hoch konzentriert punkt- oder linienförmig auf oder in den Boden leicht versetzt zur Saat- oder Pflanzreihe ausgebracht und über die Wurzeln der Pflanzen bedarfsangepasst aufgenommen: Ammonium ist phytotoxisch und kann deshalb nur über die Wurzelspitzen aufgenommen werden, wenn deren Kohlenhydratgehalt ausreichend hoch ist, und wird dann direkt in den Stoffwechsel der organischen N-Verbindungen aufgenommen.

Durch Ansäuerung von Gülle und Gärresten mit Schwefel- oder Salpetersäure kann die Reduktion von NH_3 -Emissionen sowie indirekten N_2O -Emissionen signifikant erhöht werden, wodurch der Düngewert bzw. die N-Verfügbarkeit steigt. Hierfür existieren erst seit wenigen Jahren zugelassene Verfahren, die derzeit in deutschen Betrieben erprobt werden (Flessa et al. 2014).

Zeitpunkt der Düngung

Zur Vermeidung hoher N_2O -Emissionen im Winterhalbjahr sollten hohe Nitratgehalte im Herbst und Winter vermieden werden, wobei die Höhe der Emissionen stark vom Temperaturverlauf, der Anzahl der Frosttage sowie von Frost-Tau-Perioden abhängt. Winterzwischenfrüchte können Nitratauswaschungen und N_2O -Emissionen verringern und sind vor allem nach der Ernte von Kulturen, die während der Vegetationsperiode geerntet werden (z. B. Feldgemüse) und hohe Restnitratgehalte aufweisen, von Bedeutung. Wird die Zwischenfrucht im Frühjahr eingearbeitet, steht der Stickstoff der nachfolgenden Kultur zur Verfügung. Da es durch Zwischenfruchtanbau zu erhöhten N_2O -Emissionen kommen kann, ist die Verwendung als Biogassubstrat mit anschließender Ausbringung der Gärreste zur Düngereinsparung sowie Substitution fossiler Energieträger möglich (Flessa et al. 2014).

Die zeitliche Verteilung von N-Applikationsraten entscheidet über die N-Nutzungseffizienz. Während einmalige Düngergaben pro Kultur höhere Sicherheitsaufschläge erfordern, da die Bestandsentwicklung und die Auswaschungsgefahr nur abgeschätzt werden können, erlaubt die zeitlich bedarfsgerechte Düngung geringere Risikoaufschläge, ist aber mit häufigeren Überfahrten verbunden.

Umsetzungshemmnisse und Beitrag der Maßnahmen zu den Strategiezielen

Viele der hier aufgeführten Verfahren stehen noch in der Anfangsphase, sodass zuverlässige Angaben zu Kosten und Wirkung fehlen. Dies hat zur Folge, dass die Techniken zur N-Effizienzsteigerung bei der Beratung der Landwirte entweder keine Rolle spielen oder zu viele Informationslücken enthalten, sodass diese einer Umsetzung skeptisch gegenüber stehen. Des Weiteren ist die Umsetzung mit z. T. hohen Investitionen in Maschinen und Technik (GPS, Sensortechnik etc.) sowie in Dünger-Zusatzstoffe verbunden. Durch den Einsatz anderer als der bisher verwendeten Maschinen zur Düngerausbringung kann sich die Arbeitsbreite verringern, was den Zeitaufwand und somit die Kosten anhebt. Je nach Maßnahme und den Voraussetzungen vor Ort ergeben sich unterschiedliche Hemmnisse. Dies sei hier am Beispiel des Präzisionslandbaus dargestellt: Die hohen Kosten der Technologie und die Komplexität der Technik stellen das Haupthemmnis für die Landwirte dar (Reichardt und Jürgens 2009). Auch lässt sich der ökonomische Vorteil des Präzisionslandbaus schwer quantifizieren (ebd.) und hängt von der Betriebsgröße, den Eigenschaften der genutzten Flächen und der Fruchtart ab, sodass die Kosten auf etwa -30 bis $+20$ € ha^{-1} geschätzt werden (Rösch et al. 2005). Teilflächenspezifische N-Düngung wurde 2005 auf etwa 3,4 % der Ackerflächen Deutschlands praktiziert (ebd.). Interviews auf landwirtschaftlichen Messen haben ergeben, dass

die Zahl der Landwirte, die Präzisionslandbau einsetzen, zwischen 2001 und 2006 von 6,7 auf 11,0 % gestiegen ist, wobei diese vor allem in Ostdeutschland wirtschaften, wo die Betriebs- und Schlaggrößen über dem Bundesdurchschnitt liegen (Reichardt und Jürgens 2009). Dennoch ist die Haltung der Landwirte meist ablehnend, was z. T. an der Unkenntnis ökonomischer und ökologischer Effekte liegt (Rösch et al. 2005).

Eine Verbesserung der N-Effizienz trägt direkt zur THG-Einsparung bei. Zudem werden Reduktionen indirekter Emissionen durch die verringerte Produktion von mineralischem Stickstoff erzielt. Die effektivere Ausbringung hat durch die Reduzierung diffuser Nährstoffeinträge (v. a. Nitrat) in Grund- und Oberflächengewässer außerdem positive Effekte für den Gewässerschutz, sodass hier zum Erreichen der Wasserschutzziele beigetragen werden kann. Des Weiteren können Stickstoffüberschüsse als eutrophierende und versauernde Luftschadstoffe in empfindliche Ökosysteme eingetragen werden und die Bodenversauerung beschleunigen (Flessa et al. 2014), sodass deren Vermeidung dem Biodiversitätsschutz dient.

3.2.3.2 Überregionale Transporte von organischem Dünger aus Überschuss- in Zuschussregionen

Die Spezialisierung in der Landwirtschaft führt in Regionen mit intensiver Nutztierhaltung zu einem Überangebot an Wirtschaftsdünger. Die N-Überschüsse aus der Viehhaltung stehen oft in einem Missverhältnis zu der zur Verfügung stehenden Ausbringungsfläche. Gleichzeitig muss in vieharmen Regionen Mineraldünger eingesetzt werden, bei dem zusätzlich THG-Emissionen während der Produktion entstehen. Der Transport der Nährstoffüberschüsse der Veredelungsregionen in Ackerbauregionen kann in beiden Regionen zur Emissionsreduzierung beitragen. Aus Klimaschuttsicht gilt es dabei zu beachten, dass die bei der überregionalen Verteilung des Wirtschaftsdüngers anfallenden Transport-Emissionen die durch den geringeren Mineraldüngereinsatz eingesparten THG-Emissionen nicht überschreiten.

Zum aktuellen Stand überregionaler Wirtschaftsdüngertransporte sei auf die Nährstoffberichte der Bundesländer Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen hingewiesen. So wurden 2013/2014 in Niedersachsen 8400 abgebende Betriebe erfasst, die eine Nettomenge von ca. 17,7 Mio. t Wirtschaftsdünger meldeten, wovon 17.300 niedersächsische Betriebe 16,7 Mio. t und Betriebe in anderen Bundesländern sowie im Ausland 0,97 Mio. t aufnahmen. Die überregional verbrachte Wirtschaftsdüngermenge betrug 2,76 Mio. t, wovon die Region Weser-Ems 2,28 Mio. t in andere Regionen Niedersachsens transportiert hat. Hierbei ist Hannover mit 34 % die größte Aufnahme-region des exportierten Wirtschaftsdüngers. Der Import spielt in Niedersachsen als viehstarkes Bundesland eine geringere Rolle: Aus anderen Bundesländern wurden 0,23 Mio. t Wirtschaftsdünger und Gärreste importiert; weitere 0,9 Mio. t kamen aus den Niederlanden. Für Niedersachsen wird auf Landesebene ein Stickstoffüberschuss von 67.000 t N bzw. 26 kg N ha⁻¹ angegeben, was „ein erhebliches Einsparpotenzial an Mineraldüngerstickstoff vermuten lässt“ (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2015). Nach Berechnungen von Kreins et al. (2007) verursacht die Einhaltung der laut Dünge-

verordnung zulässigen regionalen N-Bilanzüberschüsse in den viehintensiven Regionen Niedersachsens rund 100 bis 140 Mio. € an Kosten, um die Wirtschaftsdüngerüberschüsse in Ackerbauregionen zu transportieren.

Nordrhein-Westfalen ist ebenfalls ein viehstarkes Land. Hier wurden für 2013 5800 Abgabe- und 13.300 Aufnahme-Betriebe gemeldet (2300 Betriebe waren beides). Insgesamt wurden 3,6 Mio. kg Stickstoff und 2,4 Mio. kg Phosphat aus Nordrhein-Westfalen exportiert. Aus den Niederlanden wurden 1,4 Mio. t Wirtschaftsdünger importiert (v. a. in die Regierungsbezirke Düsseldorf und Köln). Importe aus anderen Ländern und Bundesländern machten gut 10 % der aus den Niederlanden stammenden Wirtschaftsdüngermenge aus und stammten zu 90 % aus Niedersachsen. Auf Landesebene wird unter der Einbeziehung der Mineraldüngung ein N-Überschuss von 18 kg N ha⁻¹ angegeben (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen 2014).

Bronsema et al. (2012) modellierten unter Einhaltung der gesetzlichen Restriktionen zwei Szenarien für Wirtschaftsdüngertransporte (Flüssig- und Festdünger) innerhalb Niedersachsens und zeigten, dass aufgrund der hohen Transportkosten lediglich ein geringer Teil der Transporte im Vergleich zum Einsatz von Mineraldünger wirtschaftlich ist. Die Wirtschaftlichkeit ist hierbei vom Preisniveau des Energie- und Düngemarktes abhängig und könnte durch die Schaffung eines Mehrwertes, wie z. B. durch die Vergärung von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen, verbessert werden (Bronsema et al. 2012). Durch die Erzeugung eines transportablen Guts, der nährstoffreichen Festphase, die z. B. durch Separierung gewonnen werden kann, lässt sich die Wirtschaftlichkeit überregionaler Transporte steigern. Ein Verfahren zur Gülleseparierung besteht seit den 1970er-Jahren, war aber aufgrund bisher fehlender Absatzmärkte ökonomisch nicht attraktiv (vgl. Kröger et al. 2014).

Die Reduzierung der Mineraldüngung durch überregionale Wirtschaftsdüngertransporte hat ein hohes Potenzial zur THG-Einsparung: Durch die Vermeidung von Düngerüberschüssen lassen sich pro eingespartem Kilogramm Mineraldünger-Stickstoff inklusive der Emissionen aus der Bereitstellung 17,5 kg CO₂-Äqu. vermeiden (Flessa et al. 2012).

In Veredelungsregionen stellt der Düngerexport eine Alternative zur Flächenzupacht dar, wobei je nach Transportkosten- und Pachtpreishöhe die Wirtschaftlichkeit der einen oder anderen Option überwiegt. Hohe Transportkosten lassen den Einsatz von transportierten Wirtschaftsdüngern anstelle von Mineraldünger unattraktiv werden (vgl. Bronsema et al. 2012). Ein Vorteil von Mineral- gegenüber Wirtschaftsdüngern ist, dass bei ersteren die Nährstoffmenge gleichbleibend ist, sodass eine gezielte Düngung einfacher ist als mit Wirtschaftsdüngern. Außerdem ist Mineraldünger zeitlich flexibler einsetzbar.

Durch den überregionalen Handel mit organischem Dünger kann die N-Effizienz durch die Vermeidung von Überdüngung in Überschussregionen gesteigert und zugleich der Einsatz von Mineraldünger in Ackerbauregionen verringert werden. Dadurch können sich positive Effekte für den Gewässerschutz durch die Reduzierung diffuser Nährstoffeinträge (v. a. Nitrat) in Grund- und Oberflächengewässer ergeben, sodass zum Erreichen

der Wasserschutzziele beigetragen werden kann. Allerdings ist darauf zu achten, dass durch die Ausbringung von in Ackerbauregionen transportierten Wirtschaftsdüngers die Erreichung von Wasserschutzziele dieser Regionen nicht beeinträchtigen werden, was den Umfang der potenziell infrage kommenden Ackerbauregionen stark einschränkt. Des Weiteren können Stickstoffüberschüsse als eutrophierende und versauernde Luftschadstoffe in empfindliche Ökosysteme eingetragen werden und die Bodenversauerung beschleunigen (Flessa et al. 2014), sodass sich eine Reduzierung positiv auf die Biodiversität auswirken kann.

3.2.4 Substitution fossiler Energie durch Bioenergie

Hoher Energieverbrauch, Rückgang fossiler Brennstoffe und mit fossilen Brennstoffen in Verbindung stehende Umweltbeeinträchtigungen haben das Thema Bioenergie in den letzten Jahrzehnten stark vorangetrieben. Energiepflanzen können für die Erzeugung von Biogas, Strom, Wärme sowie Biokraftstoffen genutzt werden. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) hat zu einem starken Anstieg der Nutzung erneuerbarer Energien geführt, zu denen die Bioenergie zählt. So ist z. B. die Zahl der Biogasanlagen innerhalb von 13 Jahren um das 7,5-fache angestiegen: Während im Jahr 2000 1050 Biogasanlagen betrieben wurden, waren es 2013 bereits 7850 Anlagen (Fachverband Biogas e. V. 2014). Nachwachsende Rohstoffe machen fast die Hälfte der in Biogasanlagen eingesetzten Substratanteile aus (48 %); weitere Substrate sind Exkremete (Gülle, Mist: 44 %), industrielle und landwirtschaftliche Reststoffe (6 %) und Bioabfall (2 %; FNR 2014a).

Im Jahr 2014 wurden in Deutschland auf ca. 2,1 Mio. ha Energiepflanzen angebaut (FNR 2014a¹³), also auf etwa 12,6 % der landwirtschaftlichen Fläche. Dieser Flächenanteil steht je nach Verfahren mehr oder weniger stark ausgeprägt in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion um knappe Produktionsmittel (v. a. Fläche; Gömann und Kreins 2012). Durch die Ausdehnung der Bioenergie-Verfahren wird in der Regel das Nahrungsmittelangebot eingeschränkt, was bei sonst gleichbleibenden Bedingungen zu einem Anstieg der Agrarpreise führt. Für eine Bewertung der Gesamtbilanz der Bioenergie müssen Landnutzungsänderungen aufgrund von Produktionsverlagerungen mit einbezogen werden. Hierbei wird zwischen direkten und indirekten Landnutzungsänderungen unterschieden. Bei der direkten Landnutzungsänderung (dLUC) ändert sich die Nutzung einer bereits genutzten Fläche zur Nutzung für den Anbau von Energiepflanzen. Von indirekten Landnutzungsänderungen (iLUC) ist die Rede, wenn bisher nicht zur landwirtschaftlichen Produktion genutztes Land in

¹³Schätzwerte Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland für 2014: 2.074.000 ha Energiepflanzen, davon 1.268.000 ha für Biogas, 629.000 ha Biodiesel/Pflanzenöl, 168.000 ha Bioethanol, 9000 ha Festbrennstoffe.

Nutzung genommen wird, weil der Verwendungszweck oder die Produktionsmenge eines Rohstoffes sich ändert. Dies tritt ein, wenn der Anbau von Energiepflanzen den Anbau von Lebens- und Futtermitteln von Flächen verdrängt, die dann anderenorts angebaut werden, um die Nachfrage bedienen zu können sowie wenn durch die anderweitige Nutzung der Ernte die Lebensmittelpreise aufgrund einer Verknappung steigen und dies dazu führt, dass neue Flächen landwirtschaftlich erschlossen werden (Wicke et al. 2012). Diese mit der Bioenergiegewinnung in Verbindung stehenden indirekten Landnutzungsänderungen sind weder aus ökologischer noch politischer Sicht eine sinnvolle Strategie, da eingesparte THG-Emissionen aus fossilen Energieträgern überkompensiert werden können, wenn für neue Ackerflächen intakte Naturräume in anderen Ländern zerstört werden. Die Rodung von Regenwald für Ölpalmenplantagen ist hierfür ein gutes Beispiel (u. a. Schuler et al. 2014). Ravindranath et al. (2009) entwickelten globale Szenarien zur Biokraftstoffproduktion und kamen zu dem Ergebnis, dass die Einbeziehung von Lebenszyklusanalysen/Lifecycle-Assessment sowie THG-Emissionen aus der Landnutzungsänderung wesentlich für die Bewertung des THG-Mitigationspotenzials von Biokraftstoffen sind. Werden ursprüngliche Ökosysteme für die Biokraftstoffproduktion umgewandelt, so ist die THG-Netto-Bilanz im Allgemeinen negativ (Ravindranath et al. 2009). Wenngleich Modellierungen von Landnutzungsänderungen ständig weiterentwickelt und verbessert werden, bestehen große Unsicherheiten bezüglich der Datengrundlagen und Annahmen, die die Erfassung der Komplexität von iLUC und deren Zuordnung schwierig gestalten (Wicke et al. 2012).

Wie bei iLUC spielt die vorherige Nutzung bei dLUC eine entscheidende Rolle, wie Fritsche und Wiegmann (2008), bezogen auf einen 20-Jahres-Zeitraum, zeigen: Beim Biomasseanbau auf vorherigem Grünland ergeben sich CO₂-Emissionen, die für den Anbau von Pappel-KUP mit 1,255 t CO₂ ha/a, für Rutenhirse mit 1,897 t CO₂ ha/a und für Mais, Raps oder Weizen mit 2,630 t CO₂ ha/a angegeben werden, während es beim Anbau auf Ackerstandorten aufgrund der Wurzelbildung bei Pappel-KUP zur Sequestrierung von 1,375 t CO₂ ha/a und bei Rutenhirse von 0,733 t CO₂ ha/a kommt. Die Kohlenstoffbilanz ist hingegen neutral, wenn ein Wechsel von einer Ackerkultur zu einer anderen erfolgt (Fritsche und Wiegmann 2008). Deller et al. (2011) zeigen, dass die Umstellung von Ackernutzung mit einjährigen Marktfrüchten zu mehrjährigen nachwachsenden Rohstoffen (Miscanthus, Weide, Pappeln) zu beachtlicher C_{org}-Anreicherung im Boden führt.

Neben der untersuchten flächenbasierten Bioenergie-Produktion soll an dieser Stelle kurz auf die güllebasierte Biogaserzeugung eingegangen werden.

Flessa et al. (2012) verglichen Minderungspotenziale verschiedener bioenergetischer Nutzungspfade mit und ohne Einbeziehung von iLUC und zeigten, dass die höchsten THG-Einsparungen von 1237 g CO₂-Äqu.kWh⁻¹ durch die güllebasierte Biogaserzeugung erzielt werden können. Unter Einbeziehung von iLUC kommt es beim Einsatz von Bioethanol aus Getreide sowie Biodiesel aus Raps sogar zu einer zusätzlichen Klimabelastung. Für die Verwendung von Holzhackschnitzeln aus Kurzumtriebsplantagen zur Strom- und Wärmeerzeugung sowie für die Biogaserzeugung

aus Mais können trotz iLUC THG-Einsparungen entstehen, wobei die potenzielle Klimaschutzleistung der Bioenergieträger maßgeblich von der Art der Verwertungslinie beeinflusst wird (Flessa et al. 2012).

Die regionale Allokation des Anbaus von Bioenergie-Kulturen hängt u. a. von den Standortgegebenheiten und unternehmerischen Entscheidungen ab. Aufgrund der bei vielen Verfahren hohen Transportkosten richtet sich der Anbau nach der regionalen bzw. lokalen Nachfrage nach Biomasse, d. h. nach vorhandenen Anlagen (z. B. Biogas- oder Holzhackschnitzelanlagen), die die produzierte Biomasse zur Erzeugung von Biogas, Strom und/oder Wärme benötigen.

Durch die Substitution fossiler Energieträger ist ein Beitrag zum Klimaschutz möglich, wenn die Emissionen aus Düngeraufwendung sowie direkter und indirekter Landnutzungsänderung niedriger als die CO₂-Einsparung aus fossilen Energien sind. Die Klimabilanz ist dabei stark abhängig von der Umsetzung des Verfahrens und fällt bei mehrjährigen Anbauarten im Allgemeinen positiver aus als bei einjährigen (WBGU 2009). Durch den Anbau von Bioenergiepflanzen können aber auch zahlreiche Umweltprobleme auftreten, die durch Intensivierung (gesteigerte Düngung, Pestizideinsatz), ausgedehnte Monokulturen oder Umwandlung von Grünland zu Acker (z. B. für Maisanbau) entstehen. Als gesellschaftliche Vorteile sind die Verringerung der nationalen Abhängigkeit von Energieimporten und die Schaffung neuer Wertschöpfungsketten in ländlichen Räumen zu nennen.

Die Zielsetzung der in diesem Abschnitt aufgeführten Maßnahmen ist die Verringerung von THG-Emissionen, indem fossile Energieträger durch nachwachsende Rohstoffe substituiert werden. Es werden ein- und mehrjährige Anbaukulturen sowie landwirtschaftliche Nebenprodukte betrachtet.

3.2.4.1 Anbau einjähriger Biomassekulturen

Einjährige Energiepflanzen zur Erzeugung erneuerbarer Energien sind Kulturen, die sonst für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt werden. Diese Kulturen bieten den Vorteil, dass die herkömmlichen Anbaumethoden angewandt werden können, Erfahrungen mit der Anbaukultur bestehen und Märkte bereits vorhanden sind. Die höchsten Flächenanteile in Deutschland haben Silomais (Energienmais für Biogasproduktion: 0,9 Mio. ha in 2014; entspricht 35 % der Maisanbaufläche; FNR 2014b) und Raps (Raps für Biodiesel/Pflanzenöle: 0,629 Mio. ha in 2014, FNR 2014a). Weitere, verbreitete Bioenergiekulturen sind Getreide und Zuckerrüben. Energiepflanzen können für die Erzeugung von Biogas, Strom, Wärme sowie Biokraftstoffen genutzt werden.

Das THG-Vermeidungspotenzial beim Anbau annueller Kulturen für Biogasanlagen ist mit 6 bis 10 t CO₂-Äqu. ha/a (ohne dLUC/iLUC) wesentlich höher als bei Raps für Biodiesel (2,5 t CO₂-Äqu. ha/a) und kohlehydratreichen Kulturen zur Produktion von Bioethanol (z. B. Zuckerrüben oder Weizen, ca. 2 t CO₂-Äqu. ha/a; Schuler et al. 2014). Ebenso weisen die THG-Vermeidungskosten große Unterschiede auf und liegen bei Raps für Biodiesel mit ca. 175 € t⁻¹ CO₂-Äqu. unter den Kosten für annuelle Kulturen für Biogasanlagen (250 bis 400 € t⁻¹ CO₂-Äqu.; 500 kW-Anlage, Referenzpreis kon-

ventioneller Strom-Mix) und kohlehydratreiche Kulturen (ca. $459 \text{ € t}^{-1} \text{ CO}_2\text{-Äqu.}$; Schuler et al. 2014).

Ein Vorteil gegenüber mehrjährigen Anbaukulturen ist der jährliche Ertrag und die Flexibilität, die Nutzung im Folgejahr ändern zu können. Da die einjährigen Bioenergiekulturen auch als Lebensmittel genutzt werden könnten, steht ihr Anbau in gesellschaftlicher Kritik. Vor allem der großflächige Anbau von Silomais für Biogasanlagen stößt in der Öffentlichkeit zunehmend auf Ablehnung. Alternative Bioenergie-Kulturen sind zwar vorhanden, schneiden allerdings in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit in der Regel schlechter ab als Mais, auch wenn für ihren Anbau erprobte Verfahren zur technischen Umsetzung überwiegend vorhanden sind. Die Anreize zur Förderung ihres Anbaus sind derzeit unzureichend. Der massebezogene Substrateinsatz nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen setzt sich derzeit zu 73 % aus Maissilage, 12 % Grassilage, 7 % Getreide-Ganzpflanzensilage, 2 % Getreidekorn, 2 % Landschaftspflegematerial, 1 % Zwischenfrüchte, 2 % Zuckerrüben, 1 % Sonstiges zusammen (Angaben für 2013; FNR 2014a).

Durch den Einsatz annualer Kulturen zur Bioenergiegewinnung können fossile Rohstoffe und damit in Verbindung stehende THG-Emissionen eingespart werden. Wichtig ist hierbei, dass keine negativen Effekte durch dLUC und iLUC entstehen, wodurch Emissionen lediglich verlagert und oftmals erhöht werden (Abschn. 3.2.4). Für den Natur- und Umweltschutz können sich Nachteile ergeben, wenn es zu Landnutzungsänderungen kommt oder die Anbauintensität auf bisher genutzten Flächen gesteigert wird. Eine Intensivierung tritt auf, da der energetische Biomasseanbau in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion steht und so die Nachfrage steigt. Ein möglicher Vorteil ist eine Erhöhung der Anbaudiversität durch den Anbau alternativer Energiepflanzen.

3.2.4.2 Anbau mehrjähriger Biomassekulturen

Der Anbau mehrjähriger Kulturen steht in Deutschland noch am Anfang; Züchtung und Anbautechnik werden noch optimiert (FNR 2015). So beträgt der derzeitige Anbauumfang von Kurzumtriebsplantagen (KUP) ca. 5000 ha, wobei überwiegend Pappeln angebaut werden (FNR 2011). Für *Miscanthus* wird die Anbaufläche in Deutschland auf etwa 3000 ha geschätzt (Jahr 2011; Pude 2012), während es für die Durchwachsene Silphie 2011 ca. 150 ha waren (FNR 2012).

Das THG-Vermeidungspotenzial mehrjähriger Kulturen wie mehrjährigen Gräsern und Leguminosen für Biogasanlagen liegt zwischen 0,6 bis über 10 $[\text{t}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}/(\text{ha}^*\text{a})]$; für KUP werden 5 bis 20 $[\text{t}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}/(\text{ha}^*\text{a})]$ (Grundlage Hackschnitzel-BHKW; Schuler et al. 2014) bzw. ca. 10 $[\text{t}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}/\text{ha}]$ (Osterburg et al. 2013) angegeben. Werden mehrjährige Arten auf ehemaligem Ackerland angebaut, können sie zusätzlich Kohlenstoff im Boden sequestrieren: Pappeln und Weiden ca. 44 MgC ha/a, *Miscanthus* 0,66 MgC ha/a. Beim Anbau der mehrjährigen Kulturen auf Grünland ergeben sich keine positiven oder sogar negative C-Bilanzen (Don et al. 2012). Für die THG-Vermeidungskosten für KUP geben Schuler et al. (2014), bezogen auf eine kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung,

50 € [$t_{\text{CO}_2-\text{Äqu.}}$] an. Osterburg et al. (2013) decken diesen Wert mit ihrer Angabe von einer Spanne von -25 bis 75 € [$t_{\text{CO}_2-\text{Äqu.}}$] ab.

Ein Nachteil gegenüber einjährigen Anbaukulturen ist, dass nicht jedes Jahr eine Ernte stattfindet und somit kein jährlicher Ertrag erzielt werden kann. Auch entfällt die Flexibilität, die Nutzung im Folgejahr ändern zu können. Dies ist vor allem bei Pachtverträgen, die meist eine kürzere Laufzeit haben als die Länge der Flächenfestlegung beim Anbau mehrjähriger Kulturen, hinderlich. Weiter sind die Etablierungskosten z. B. bei KUP recht hoch und aufgrund unzureichender Förderanreize oftmals nicht attraktiv. Für viele mehrjährige Biomassekulturen fehlen bisher noch ausreichende Praxiserfahrungen (z. B. Durchwachsene Silphie) und geeignete Infrastrukturen. Darüber hinaus sind z. T. spezielle Maschinen notwendig, was Investitionen mit sich bringt. Ein Vorteil ist je nach Anbaukultur die bessere Verteilung von Arbeitsspitzen, da beispielsweise Miscanthus und KUP im Winter geerntet werden.

Durch den Einsatz mehrjähriger Kulturen zur Bioenergiegewinnung können fossile Rohstoffe und damit in Verbindung stehende THG-Emissionen eingespart werden. Wichtig ist hierbei, dass keine negativen Effekte durch dLUC und iLUC entstehen, wodurch Emissionen lediglich verlagert und oftmals erhöht werden (Abschn. 3.2.4). Für den Natur- und Umweltschutz können sich Nachteile ergeben, wenn es zu Landnutzungsänderungen kommt oder die Anbauintensität auf bisher genutzten Flächen gesteigert wird, da der Biomasseanbau in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion steht. Positive Auswirkungen ergeben sich in Abhängigkeit von der Anbaukultur durch die längere Bodenruhe mehrjähriger Anbauverfahren, Erosionsschutz durch Wurzelbildung und dauernde Bodenbedeckung, den geringeren Energie-, Düngemittel- und Pestizideinsatz sowie die geringe Bodenbearbeitungsintensität. Die Erhöhung der Anbaudiversität kann für bestimmte Arten Vorteile mit sich bringen, wobei die Standortwahl entscheidend ist. So ist die von Juli bis September blühende Durchwachsene Silphie eine ergiebige Nektar- und Pollenquelle für Honigbienen, hat allerdings für Wildbienen und andere Insektenarten keinen Vorteil sondern birgt sogar die Gefahr, dass sie auf Restarealen etabliert wird, die wichtige Rückzugsräume darstellen (Schmid-Egger und Witt 2014).

3.2.4.3 Stärkerer Fokus auf landwirtschaftlichen Nebenprodukten in der Biomassennutzung

Biogene Reststoffe fallen bei einer anderen Biomassennutzung an und werden im Gegensatz zu Energiepflanzen nicht für die Bioenergieerzeugung angebaut. Sie können zur Strom-, Wärme- und Biokraftstoffproduktion genutzt werden. Zu unterscheiden sind primäre Reststoffe, die bei der Ernte als erstem Schritt der Produktionskette anfallen (Erntereste), sekundäre Reststoffe aus weiteren Verarbeitungsschritten (Nahrungsmittel-, Tierproduktion) sowie nach einem (teilweisen) Endkonsum (Nahrung, Energie) anfallende tertiäre Reststoffe (Hoogwijk et al. 2013; Zeller et al. 2013). Beispiele sind Stroh, Rübenblätter, Wirtschaftsdünger, Bio- und Grünabfälle, Rapspresskuchen und

Trester. Ihr Vorteil liegt darin, dass sie als Nebenprodukt ohnehin anfallen und nicht angebaut werden, sodass keine zusätzlichen Flächen in Anspruch genommen werden und keine Konkurrenzsituation zu anderen landwirtschaftlichen Nutzungen besteht.

Durch die thermische Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe können ca. 3 bis 13 $[t_{CO_2-Äqu.}/(ha*a)]$ vermieden werden, durch die Vergärung in Biogasanlagen ca. 3 $[t_{CO_2-Äqu.}/(ha*a)]$ und durch die Erzeugung von Biokraftstoffen aus Reststoffen bis zu 1,8 $[t_{CO_2-Äqu.}/(ha*a)]$ (Schuler et al. 2014). Die THG-Vermeidungskosten belaufen sich bei thermischer Nutzung auf etwa 45 € $[t_{CO_2-Äqu.}]$. (Co-Verbrennung Stroh in Kohlekraftwerken) bis 130 € $[t_{CO_2-Äqu.}]$ (Getreideheizung: Ausschuss), bei Vergärung auf 60 bis 120 € $[t_{CO_2-Äqu.}]$ (95 % Masseanteile) und sind für den einfach mobilisierbaren Anteil mit „gering“ angegeben (Schuler et al. 2014).

Eine Studie des DBFZ (Zeller et al. 2013) zur nachhaltigen Strohnutzung aus dem Getreide- und Rapsanbau gibt für die Strohnutzung THG-Emissionen von ca. 8 bis 40 $[g_{CO_2-Äqu.}/MJ]$ an, wobei THG-Einsparungen gegenüber durchschnittlicher fossiler Referenz von 52 bis 126 $[g_{CO_2-Äqu.}/MJ]$ mit dem größten Potenzial für KWK-Konzepte möglich sind; jährlich könnten in Deutschland mit einer nachhaltigen Strohnutzung bis zu 13,5 Mio. $[t_{CO_2-Äqu.}]$ vermieden werden (Zeller et al. 2013).

Die FNR (2014a) schätzt das Potenzial für landwirtschaftliche Koppelprodukte und Reststoffe am Gesamtenergiebedarf Deutschlands (6950 PJ) für das Jahr 2050 auf 4 % (entspr. 300 PJ), weitere 3 % entfallen auf sonstige biogene Reststoffe (240 PJ). Insgesamt wird das Bioenergiepotenzial mit 23 % am Gesamtenergiebedarf angenommen (FNR 2014a). Für die nachhaltige Strohnutzung aus dem Getreide- und Rapsanbau liegt das Potenzial, in Abhängigkeit der verwendeten Methode zur Humusbilanzierung, bei 8 bis 13 Mio. $[t_{FM}/a]$, was 27 bis 43 % der Getreidestrohmenge entspricht (Zeller et al. 2013). Stroh ist zur Strom-, Wärme- und Biokraftstoffproduktion verwendbar (Mühlenhoff 2013).

Das Aufkommen primärer, landwirtschaftlicher Reststoffe aus Stroh und Ernterückständen von Hackfrüchten beträgt etwa 60,5 Mio. $[t_{FM}/a]$, wovon aktuell lediglich ein sehr geringer Teil des Getreidestrohs energetisch genutzt wird (Tab. 3.2; Zeller et al. 2013). Die sekundären und tertiären Reststoffe belaufen sich auf 155 Mio. $[t_{FM}/a]$, wobei von der Rinder- und Schweinegülle 11,6 % als Biogassubstrat und vom Festmist 2,6 % als Biogassubstrat verwendet werden. Bezogen auf die Trockenmasse machen Stroh und Ernterückstände 63 % der Reststoffe aus, was einem sehr hohen theoretischen Potenzial entspricht (Zeller et al. 2013). Der Heizwert des Strohs ist vergleichsweise hoch. Übernimmt man die für eine nachhaltige Nutzung von Zeller et al. (2013) angegebenen 27 bis 43 % der Getreidestrohmenge, liegt der Heizwert bei 114.400 bis 185.900 Mio. $[MJ/a]$, und somit immer noch über dem für Mist und Gülle angegebenen Wert. Aus transporttechnischer Sicht hat Stroh den Vorteil eines mit 14 % geringen Wassergehalts, der beim Rübenblatt bei 82 % liegt (Zeller et al. 2013).

Zu den ökonomischen Hemmnissen zählen Investitions- und Transportkosten, die für Stroh höhere Gestehungskosten als bei konventioneller Bioenergie-Bereitstellung

Tab. 3.2 Aufkommen landwirtschaftlicher Reststoffe (Mittelwerte 1999–2007). (Quelle: Erweitert nach Zeller et al. (2013) und Heizwerte (z. T. FNR 2014a^a; FNR 2014c^b))

Landwirtschaftlicher Reststoff	Menge (Mio. [t _{FM} /a])	Menge (Mio. [t _{FM} /a])	Heizwert ([MJ/t _{FM}])	Heizwert-Potenzial (Mio. [MJ/a])
Getreidestroh (Winter-, Sommerweizen, Roggen, Winter-, Sommergerste, Triticale, Hafer)	30	25,8	14.300	429.000
Rapsstroh	7,5	6,4	14.200 ^a	106.500
Körnermaisstroh	4	3,1		
Ernterückstände Hackfrüchte (Kartoffel, Zuckerrübe)	19	3,1	1.357 (Rübenblatt)	25.783
Rapspresskuchen	3	2,7	30.600 (w < 5 %) ^b	91.800
Rinder- und Schweinegülle	122	12,2	538/653	65.636/79.666
Festmist (Rinder-, Schweine-, Pferde-, Schafs-, Geflügelkot inkl. Hühnertrockenkot)	30	7,5	646/1.292/1.723 (Rind, Schwein, Huhn)	19.380/38.760/51.690
GESAMT	215,5	60,8		

bewirken (Zeller et al. 2013). Darüber hinaus muss eine entsprechende Infrastruktur mit Abnehmern vorhanden sein.

Durch die bioenergetische Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten können fossile Brennstoffe substituiert und THG-Emissionen eingespart werden. Bei vollständiger Ernte würden die Böden Humus und Nährstoffe verlieren, sodass zum Ertragsersatz gedüngt werden müsste. Dem kann mit einer Beschränkung der Entnahme von Stroh und Ernteresten entgegengewirkt werden, sodass trotz Nutzung ein Beitrag zum Bodenkohlenstoffhaushalt erfolgt. Des Weiteren kann der Düngemitelesatz durch eine andere Sortenwahl, von z. B. Sorten mit höherem Strohertrag, steigen. Durch den Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen kann Mineraldünger substituiert werden. Für die Bioenergieerzeugung ist die Maßnahme gut geeignet. Für den Natur- und Umweltschutz ist positiv zu beurteilen, dass kein zusätzlicher Flächenverbrauch anfällt. Allerdings darf keine vollständige Ernte erfolgen (s. o.).

3.2.4.4 Erhalt und Schaffung von Treibhausgasenken

Böden speichern unterschiedliche Mengen an Kohlenstoff. Auch die Bodennutzung ist für die Speicherung ausschlaggebend. So wird unter Grünland wesentlich mehr Kohlenstoff sequestriert als unter Ackerland. Weiter ist die Speicherung z. B. auf alten, humosen sowie moorigen Grünland-Standorten höher als unter jungem Grünland auf Mineralböden (Schuler et al. 2014). Kommt es zum Grünlandumbbruch, werden THG-Emissionen freigesetzt. Diese Emissionen sind bei organischen Standorten wesentlich höher als bei Mineralböden. Der Erhalt von Grünland sowie die Ackerumwandlung in Grünland tragen zur THG-Einsparung bei (Abschn. 3.2.4.5).

Bei der Nutzung organischer Böden ist der Wasserstand entscheidend für die Höhe der THG-Emissionen. Die Vermeidung der Entwässerung organischer Böden sowie Wiedervernässung können zum Erhalt noch vorhandener THG-Senken wesentlich beitragen (Abschn. 3.2.2).

Hinsichtlich möglicher Humusanreicherungen durch pfluglose und konservierende Bodenbearbeitung gehen die Meinungen auseinander. Studien berichten sowohl von negativen (z. B. Six et al. (2002): $-0,2 [t_{CO_2-\ddot{a}qu.}/(ha*a)]$; Oorts et al. (2007): $-0,17 \pm 0,07 [t_{CO_2-\ddot{a}qu.}/(ha*a)]$) als auch von positiven THG-Bilanzen (z. B. Smith et al. (2008): $0,53 (-0,04-1,12) [t_{CO_2-\ddot{a}qu.}/(ha*a)]$; Naumann und Frelih-Larsen (2010): $0,25$ bzw. $0,94 [t_{CO_2-\ddot{a}qu.}/(ha*a)]$ für reduzierte bzw. keine Bodenbearbeitung), was auch an den unterschiedlichen Untersuchungsdesigns liegen dürfte. Einen umfassenden Überblick hierzu liefern Flessa et al. (2012). Die Analysen müssten größere Bodentiefen und neben Kohlenstoff auch Lachgas umfassen. Dies ist oft nicht gegeben. Studien, die den IPCC-Ansatz verwenden, bei dem lediglich die Kohlenstoffspeicherung im Oberboden bis in maximal 30 cm Bodentiefe untersucht wird, kommen zu positiven Bilanzen. Pfluglose und konservierende Bodenbearbeitung sowie Direktsaat führen nachweislich zur Humusanreicherung in den ersten 15 cm Bodentiefe. Wird die Bilanzierung jedoch bis in 40 bis 60 cm vorgenommen, treten zumeist keine Differenzen gegenüber konventioneller Bearbeitung auf, da in den Unterböden gepflügter Böden oft höhere Humusgehalte festgestellt werden; Grund hierfür ist die Einarbeitung des organischen Materials und die langsame Zersetzungsrate in tieferen Bodenschichten. Weiter können Lachgas-Emissionen die THG-Bilanz von Bodenbearbeitungssystemen in Abhängigkeit von Standortfaktoren (Klima, Bodenstruktur) entscheidend beeinflussen. Flessa et al. (2012) kommen zu dem Ergebnis, dass derzeit keine wissenschaftlich gesicherte Klimawirksamkeit bodenkonservierender Verfahren möglich ist und weisen auf mögliche Ertragsunsicherheiten hin. Gesichert ist lediglich die THG-Einsparung über den reduzierten Dieselverbrauch, der als relativ gering angegeben wird. Die Vorteile einer pfluglosen Bodenbearbeitung bestehen bzgl. der Bodeneigenschaften im Aufbau eines ungestörten Makroporensystems, Erosionsschutz, erhöhter Wasserinfiltration und Bodenfruchtbarkeit sowie geringeren Nährstoffausträgen. Durch die Humusanreicherung im Oberboden ist eine Steigerung der Biodiversität möglich (Tebügge 2003). Allerdings ist eine dauerhafte und stark reduzierte Bodenbearbeitung durch Fruchtfolgeprobleme

wie Pilz- und Insektenbefall begrenzt (Osterburg et al. 2009), was ggf. den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln erhöht. Besonders aus Sicht des Ökolandbaus stellt die wendende Pflugbodenbearbeitung die effektivste mechanische Unkrautkontrolle dar; weiter erhöht die Bodenlockerung durch Pflugeinsatz die mikrobielle N-Mineralisation und damit den Ertrag (Bloch und Bachinger 2010).

Aufgrund unserer Literaturanalyse und dem vorrangigen Ziel, möglichst hohe THG-Einsparungen in der landwirtschaftlichen Bodennutzung zu erzielen, wurde die Maßnahme pfluglose bzw. konservierende Bodenbearbeitung ausgeschlossen. Im Folgenden wird Grünlandnutzung als sehr effiziente THG-Senke näher betrachtet.

3.2.4.5 Grünlandnutzung

In den letzten Jahren ist der Konkurrenzdruck auf Flächen aufgrund zunehmender Erzeugerpreise durch die steigende Nachfrage im Nahrungs- und Energiesektor sowie durch die Konkurrenz zwischen Energie- und Nahrungs- sowie Futtermittelproduktion gestiegen. Dies führte zu einer Intensivierung der Landwirtschaft, Reaktivierung von Stilllegungsflächen und der Umwandlung von Grünland in Ackerland (Gensior et al. 2012).

In Deutschland hat sich der Umfang der Grünlandfläche zwischen 1991 und 2012 um 0,7 Mio. ha (15 %) von 4,6 Mio. ha auf 3,9 Mio. ha reduziert, wohingegen die Ackerfläche um 0,3 Mio. ha auf 11,8 Mio. ha anstieg (Laggner et al. 2014). Bei der Umwandlung von Grünland zu Acker kommt es über die verstärkte Mineralisation organischer Bodensubstanz zur Freisetzung von überwiegend CO_2 und in geringerem Ausmaß N_2O (Osterburg et al. 2013). Hierbei erfolgt die CO_2 -Freisetzung zunächst sehr schnell; ein Gleichgewicht des Bodenkohlenstoffgehaltes stellt sich, in Abhängigkeit von Temperatur, Niederschlag, Bodentiefe und Lehmgehalt, nach ca. 17 Jahren ein. Der ursprüngliche Bodenkohlenstoffgehalt reduziert sich in diesem Zeitraum um etwa 36 % (Poeplau et al. 2011). Anders herum wird bei einer Landnutzungsänderung von Acker zu Grünland Kohlenstoff im Boden sequestriert und somit eine THG-Senke geschaffen (NIR 2014). Durch die Anlage von Grünland wird eine dauerhafte Senke mit einer CO_2 -Anreicherung um im Mittel etwa 128 % etabliert, wobei auch nach 100 Jahren noch kein CO_2 -Gleichgewicht wiederhergestellt ist (Poeplau et al. 2011); die Neuanlage von Grünland kann also nicht zeitnah die durch einen Grünlandumbruch rasch verursachten CO_2 -Emissionen kompensieren.

Die Kohlenstoffspeicherung im Boden ist unter Grünland wesentlich größer als unter Acker (s. o.). Bodenbürtige THG-Emissionen aus der Umwandlung von Grünland zu Acker beliefen sich nach der Nationalen THG-Berichterstattung im Jahr 2012 auf 2986 $\text{kt}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}$ für organische Böden bei einer Fläche von 74,03 kha und auf 3312 $\text{kt}_{\text{CO}_2\text{-Äqu.}}$ für Mineralböden bei einer Fläche von 1.038,1 kha (Berechnung S. Baum nach NIR 2014); 47 % der durch Umbruch von Grünland zu Acker verursachten THG-Emissionen entstammten also aus organischen Böden, die lediglich

6,7 % der umgebrochenen Flächen ausmachten. Dies zeigt, dass insbesondere auf organischen Standorten ein Grünlandumbruch vermieden werden sollte.

Bei einem zehnjährigen Betrachtungszeitraum lassen sich über die Ackerflächenumwandlung zu Grünland etwa $10 [t_{\text{CO}_2-\ddot{\text{A}}\text{qu.}}/(\text{ha}^*\text{a})]$ einsparen. Unter Einbeziehung eines verminderten N-Austrags um $50 [\text{kg N}/(\text{ha}^*\text{a})]$; belaufen sich die THG-Vermeidungskosten auf 35 bis 55 € $[t_{\text{CO}_2-\ddot{\text{A}}\text{qu.}}]$ (Osterburg et al. 2009). Entsprechend lassen sich durch den Erhalt von Grünland gut $10 [t_{\text{CO}_2-\ddot{\text{A}}\text{qu.}}/(\text{ha}^*\text{a})]$ vermeiden. Direkte Kosten sind hiermit nicht verbunden, Opportunitätskosten sind jedoch möglich. Diese belaufen sich je nach Ausgangsbedingungen auf ca. 15 bis 60 € $[t_{\text{CO}_2-\ddot{\text{A}}\text{qu.}}]$ (Osterburg et al. 2009).

Aus Sicht der Landwirte stehen der Ackerflächenumwandlung zu Grünland Opportunitätskosten entgegen, die sich aufgrund gestiegener Flächennutzungskonkurrenzen der letzten Jahre ebenfalls erhöht haben. Dies gilt ebenso für den Grünlanderhalt, wenn dieses auch für eine anderweitige Nutzung geeignet ist. Da allerdings in der Vergangenheit viel Grünland umgebrochen wurde, ist heute kaum noch umbruchsfähiges Grünland vorhanden. Die Umwandlung von Acker zu Grünland kann zu indirekten Verlagerungseffekten in Form von intensiverer Ackernutzung anderenorts führen, da die Produktivität auf dem Acker höher als auf dem Grünland ist.

Durch die Schaffung und den Erhalt von Grünland kann eine THG-Senke geschaffen bzw. erhalten werden, sodass diese Maßnahmen für die Strategie „Klimaschutz“ gut geeignet sind. Dies gilt insbesondere für organische Böden. Für die Strategie „Bioenergie“ sind diese Maßnahmen ungeeignet, da durch eine Ackernutzung mehr Biomasse gewonnen werden könnte. Für den Natur- und Umweltschutz ist die Maßnahme „Grünlanderhalt“ sehr gut geeignet, da so der Lebensraum für viele Tier- und Pflanzenarten erhalten bleibt, darunter zahlreiche gesetzlich geschützte. Weiter sind Erosionsschutz, positiver Einfluss auf Temperatúrausgleich und Luftfeuchte sowie die Vermeidung von Nitratauswaschungen zu nennen (Schuler et al. 2014). Auch die „Ackerflächenumwandlung zu Grünland“ ist gut geeignet, wenngleich eine Umwandlung nicht den Verlust der ökologischen Funktionen durch Grünlandumbruch kompensieren kann (Nitsch et al. 2010).

Im Folgenden wird unter der Maßnahme „Erhalt von Grünland“ der Trend der Anbaustrukturentwicklung vom Grünlandumbruch zur Schaffung von Ackerflächen unterbunden. Bei der Maßnahme „Ackerflächenumwandlung in Grünland“ werden Ackerflächen in Grünland umgewandelt, wobei Grünlandetablierung durch Selbstbegrünung oder Ansaat erfolgt.

3.2.5 Notwendige Anpassungen an den Klimawandel

Die Strategie „Klimaanpassung“ wurde im Sektor Landwirtschaft nicht untersucht, weil sich für die Landwirtschaft angesichts der kurz- bis mittelfristig erwarteten geringen

Klimaänderungen und der hohen Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft in den nächsten 15 Jahren kein akuter Handlungsbedarf ergibt. Anpassungen an das Klima sind ein kontinuierlicher Prozess mit einer Vielzahl betriebsspezifischer Anpassungsmöglichkeiten wie der Nutzung neuer/anderer Kulturen oder Züchtungs-Weiterentwicklungen.

3.3 Forstliche Handlungsoptionen für den Klimaschutz

Peter Elsasser

Zusammenfassung

Mangels nennenswerter Emissionen zielen forstliche Klimaschutzoptionen auf die Steigerung von Sequestrierungs- und Substitutionspotenzialen in einem Gesamtsystem aus Wäldern, Holzprodukten und deren Alternativen. Zusätzlich verkomplizieren Kuppelproduktion, Wechselwirkungen zwischen Klimaschutz und -anpassung sowie die Langfristigkeit der forstlichen Produktion die Betrachtung. Geeignete Klimaschutzmaßnahmen müssen daher aufeinander abgestimmt sein. Dafür stehen Bausteine aus vier Bereichen zur Verfügung: (i) Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald (durch Baumartenwahl; Erhöhung der Bestandesdichte und/oder des Baumalters; Nutzungsverzichte; Speicheraufbau in Totholz, Streu und mineralischen und organischen Böden; Düngung, Züchtung, Gentechnik); (ii) Vergrößerung der Waldfläche; (iii) Ausweitung des Holzproduktespeichers und der Substitutionspotenziale; (iv) Vermeidung von Kohlenstoffverlusten (durch Kalamitäten, forstliche Bewirtschaftung oder Aktivitäten außerhalb des Forstsektors).

3.3.1 Überblick über mögliche forstliche Maßnahmen

Die Forstwirtschaft weist in Bezug auf mögliche Klimaschutzmaßnahmen einige Besonderheiten im Vergleich zu anderen Wirtschaftstätigkeiten einschließlich der Landwirtschaft auf:

1. Die forstliche Produktion verursacht in ihrem biologischen Kernbereich – nämlich dem Baumwachstum – keine Netto-Emissionen. Vielmehr entziehen die Bäume der Atmosphäre Kohlenstoff im Zuge ihres Wachstums. Sie fungieren damit als Kohlenstoffsenken. Emissionen im Rahmen der technischen Produktion (z. B. durch Forstmaschinen) fallen demgegenüber quantitativ nicht ins Gewicht. Unter den Bedingungen nachhaltiger Waldbewirtschaftung sind forstliche

Klimaschutzmaßnahmen entsprechend auf Erhalt und Erweiterung dieser Kohlenstoffspeicher gerichtet, nicht auf Emissionsminderungen.¹⁴

2. Will man die Klimaschutzwirkung forstlicher Maßnahmen verstehen, so darf die Betrachtung nicht allein auf den Wald beschränkt bleiben. Der durch Bäume (und sonstige Waldpflanzen) gebundene Kohlenstoff wird nicht nur in deren ober- und unterirdischer Biomasse gespeichert, sondern auch in Streu, Boden und Totholz sowie in Holzprodukten einschließlich Papier. Darüber hinaus kann die Verwendung dieser Holzprodukte anstelle emissionsintensiverer Materialien einen positiven Klimaeffekt haben (stoffliche und energetische Substitution). Für die Klimawirksamkeit forstlicher Maßnahmen ist dieses Gesamtsystem relevant, nicht allein die Speicherung in der lebenden Biomasse. Die einzelnen Speicher beeinflussen sich dabei gegenseitig: Eine Vergrößerung des Holzproduktespeichers erfordert Holzentnahmen aus dem Wald. Umgekehrt schränkt eine Vergrößerung des Waldspeichers die Potenziale zur Speicherung in Holzprodukten und zur Substitution ein.
3. Die Rohholzerzeugung ergibt kein homogenes Produkt, sondern Sortimente aus unterschiedlichen Kuppelprodukten. So fallen beispielsweise unter dem verbreiteten Produktionsziel „Starkholz“ neben (starkem) sägefähigem Stammholz zwangsläufig auch schwächere Sortimente während der Durchforstungsphase sowie als Nebenprodukte der Endnutzung an. Holzverwendungs- und Substitutionspotenziale und die auf ihnen fußende Klimawirkung sind maßgeblich von der Sortenstruktur abhängig.
4. Aufgrund des langsamen Baumwachstums und der entsprechenden Langfristigkeit der forstlichen Produktion können Klimaschutz- und Anpassungsmaßnahmen im Wald kaum voneinander getrennt werden. Das Anpassungserfordernis hat dabei zwei Facetten. Die eine ist, die Wälder selbst so an veränderliche Klimabedingungen anzupassen, dass sie auch in Zukunft ihre Produktivität aufrechterhalten und dabei gleichzeitig möglichst hohe Leistungen für den Klimaschutz (und für andere Ansprüche an die Wälder) erbringen können. Die andere besteht darin, Schutzleistungen der Wälder möglichst sinnvoll für eine Anpassung der Gesellschaft an zukünftige Klimaunbillen zu nutzen (z. B. für den Hochwasserschutz).
5. Wegen der langen Produktionsdauern, und weil Bäume gleichzeitig Produktionsmittel der Forstwirtschaft wie auch deren Produkte sind, sind forstliche Klimaschutzmaßnahmen pfadabhängig und kaum unabhängig voneinander plan- und durchführbar – sie bedingen sich gegenseitig (und werden ihrerseits durch die jeweils gegebene Altersstruktur der Wälder bedingt). So ist etwa die Baumartenzusammensetzung eines Bestandes für viele Jahre nach der Bestandesbegründung kaum noch

¹⁴Neben Kohlenstoff kann Waldbewirtschaftung auch die Bilanz weiterer Treibhausgase beeinflussen (z. B. Lachgas-Emissionen nach Starkregen, Holznutzungen oder Waldkalkungen (vgl. Schulze et al. 2009)). Da die primäre Ursache dieser Emissionen jedoch nicht in der Waldbewirtschaftung zu suchen ist, sondern vielmehr im Eintrag reaktiven Stickstoffs aus der Landwirtschaft und aus verschiedenartigen Verbrennungsprozessen, stehen sie hier nicht im Fokus.

(bzw. nur unter erheblichen Kosten) veränderbar, und sie beeinflusst die späteren Maßnahmen (wie z. B. Durchforstungsregime und Endnutzungszeitpunkt).

Die Klimawirksamkeit einer einzelnen Maßnahme kann daher nicht isoliert bilanziert werden, und geeignete Klimaschutzmaßnahmen müssen aufeinander abgestimmt sein (siehe dazu auch Abschn. 7.3). Sie können entweder darauf abzielen, die in Wäldern und Holzprodukten zusammen gebundenen Kohlenstoffvorräte zu erhalten und zu vergrößern, oder sie müssen überproportionale Emissionseinsparungen in anderen Wirtschaftssektoren ermöglichen (oder beides). Grundsätzlich sind dafür ein dauerhafter Baumbestand, hohe Kohlenstoffvorräte im Wald bei geringen Verlustrisiken, eine möglichst effiziente und möglichst langfristige Verwendung des geernteten und verarbeiteten Holzes sowie die Generierung umfassender Substitutionseffekte dienlich (Hartje et al. 2015, S. 159). Diese Ansprüche konfliktieren allerdings teilweise miteinander; sie lassen sich nicht unabhängig voneinander maximieren, sondern allenfalls in ihrer Gesamtheit optimieren. Diesbezügliche forstliche Handlungsmöglichkeiten bestehen in der Steuerung von Vorrats- und Zuwachshöhe, der Verringerung von Verlustrisiken sowie in der Bereitstellung von Holzsortimenten, welche sich für eine dauerhafte Verwendung bzw. hohe Substitutionseffekte eignen (ob die so bereitgestellten Sortimente anschließend tatsächlich in der beschriebenen Form genutzt werden, entzieht sich jedoch dem forstlichen Einfluss).

Im Folgenden werden unterschiedliche denkbare forstlichen Klimaschutzmaßnahmen im Einzelnen vorgestellt – darunter auch solche, die in diesem Buch später nicht mehr aufgegriffen werden. Das Zusammenspiel der Maßnahmen in abgestimmten Strategiekonzepten ist erst in Abschn. 4.6 Thema. Dort werden diejenigen Maßnahmen zu Strategien gebündelt, die sich für eine entsprechende großräumige Modellierung eignen.

3.3.2 Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald

3.3.2.1 Baumartenwahl

Da sich die in Deutschland anbaufähigen Baumarten je nach Standort hinsichtlich Wachstumshöhe und -verlauf, Kohlenstoffdichte sowie hinsichtlich ihrer Risikoanfälligkeit unterscheiden, beginnen forstliche Klimaschutzmaßnahmen bereits mit der Baumartenwahl. Tab. 3.3 zeigt beispielhaft für die meistverbreiteten Baumarten die zu unterschiedlichen Altern akkumulierten Vorräte an Kohlenstoff und die entsprechende durchschnittliche Erlebenswahrscheinlichkeit¹⁵ (P_E) auf Basis traditioneller Ertragstabeln (jeweils für die erste Ertragsklasse sowie mäßige Durchforstung).

Diese Beispiele illustrieren bereits im Alter 40 eklatante Unterschiede zwischen den Baumarten. Wüchsige Bedingungen vorausgesetzt, speichern die in Deutschland gängigen

¹⁵Definiert als Wahrscheinlichkeit, dass ein Baumbestand einen bestimmten Zeitraum überlebt.

Tab. 3.3 In der Baumbiomasse akkumulierte Kohlenstoffvorräte verschiedener Baumarten auf Basis von Ertragsstafeln (Paul et al., 2009, Anhang C; jeweils erste Ertragsklasse, mäßige Durchforstung) und baumartenspezifische durchschnittliche Erlebenswahrscheinlichkeiten [P_E]. (Quelle: Berechnet nach Staupendahl und Möhring 2011)

Baumart	Alter 40			Alter 70			Alter 100		
	-Vorrat [tCO ₂ -Äqu./ha]	P_E	Vorrat x P_E [tCO ₂ -Äqu./ha]	Vorrat [tCO ₂ -Äqu./ha]	P_E	Vorrat x P_E [tCO ₂ -Äqu./ha]	Vorrat [tCO ₂ -Äqu./ha]	P_E	Vorrat x P_E [tCO ₂ -Äqu./ha]
Fichte	526,1	0,98	513,3	839,8	0,89	747,3	990,6	0,73	723,1
Kiefer	320,7	0,99	317,9	475,8	0,97	459,5	579,7	0,92	533,3
Douglasie	689,0	1,00	685,7	799,3	0,97	777,6	k. A.	0,92	-
Buche	240,4	1,00	239,8	525,6	0,99	519,6	698,5	0,97	677,5
Eiche	220,1	0,99	218,8	368,1	0,98	362,2	469,0	0,97	454,9

Nadelbaumbestände in ihrer Jugend deutlich höhere Kohlenstoffmassen in ihrer Biomasse als Laubbaumbestände. Dies zeigt sich insbesondere bei Fichten und Douglasien, deren Kohlenstoffbindung im Alter 40 mehr als doppelt so hoch ist wie diejenige von Buchen oder Eichen. Die Berücksichtigung unterschiedlicher Erlebenswahrscheinlichkeiten verändert dieses Bild aufgrund der zunächst geringen Bestandsrisiken nur wenig. Im Alter 70 bzw. 100 machen sich im Wesentlichen zwei Veränderungen bemerkbar: Die Kohlenstoffakkumulation in Buchenbeständen wird (aufgrund der späten Zuwachskulmination der Buche) relativ zu den anderen Baumarten größer; umgekehrt macht sich bei Beständen aus Fichten (und möglicherweise auch aus Douglasien)¹⁶ deren stärkere Risikoanfälligkeit bemerkbar. Selbst unter Berücksichtigung dieses Risikos übertreffen die absoluten Kohlenstoffvorräte in bewirtschafteten Fichten- und Douglasienbeständen aber stets die Kohlenstoffvorräte gleichaltriger bewirtschafteter Buchenbestände; bereits im Alter 70 sind sie höher als selbst bei 100-jährigen Buchen.

Bei ertragstafelähnlicher Bestandesentwicklung ist es daher zur Erhöhung des Kohlenstoffvorrats im Baumbestand zweckmäßig, für Bestandesbegründung oder Waldumbau schnellwüchsige und ertragsstarke Baumarten zu wählen. Dies sind in erster Linie Nadelbäume, namentlich Douglasien. Die Begründung von Laubbaumbeständen aus Eiche und/oder Buche ist im Vergleich dazu weniger geeignet, in absehbarer Zeit die C-Vorräte im Baumbestand zu erhöhen (dies schließt nicht aus, dass eine Beimischung von Laubbäumen in Nadelbaumkulturen zur Stabilisierung der Bestände und damit zu Zielen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung beitragen kann, oder auch aus ganz anderen Gründen gewünscht wird, wie z. B. zugunsten von Naturschutzzielen).

Das Flächenpotenzial für die Maßnahme „Baumartenwahl“ ist auf die jeweilige Bestandesbegründungs- bzw. Waldumbaupflanze begrenzt, und daher von der gegebenen Altersverteilung abhängig. Pro Jahr sind in den letzten 20 Jahren laut Bundeswaldinventur weniger als 1 % der Waldfläche neu begründet worden (Thünen-Institut 2012). Da rasch- und starkwüchsige Baumarten frühere und höhere Holzerträge ermöglichen, erhöhen sie gleichzeitig das Potenzial zur Vergrößerung des Holzproduktespeichers und von Substitutionseffekten. Zudem sind die Opportunitätskosten für die Betriebe in diesem Fall grundsätzlich gering (bzw. nicht vorhanden) – mit Ausnahme der Fälle, wo ein Baumartenwechsel künstliche Bestandesbegründung anstelle von Naturverjüngung erfordern würde. Dies würde zusätzliche Investitionskosten mit erheblichen Zinsbelastungen auf.

3.3.2.2 Erhöhung der Bestandesdichte

Über Bestandespflege, Durchforstungs- und schließlich das Endnutzungsregime lässt sich der während des Bestandeslebens akkumulierte Kohlenstoffvorrat (innerhalb der

¹⁶Da Douglasien seit verhältnismäßig kurzer Zeit in Deutschland angebaut werden, gibt es zu dieser Baumart nur wenige empirische Risikoanalysen. Aktuelle Untersuchungen legen nahe, dass das Ausmaß von Sturmschäden an Douglasie das der Fichte erreichen kann (Albrecht et al. 2015).

durch die natürliche Wachstumsdynamik gezogenen Grenzen) steuern. Es liegt nahe, dass insbesondere verlichtete Waldbestände Potenziale zur zusätzlichen Kohlenstoffakkumulation aufweisen. Ungeplante Verlichtungen können durch Kulturausfälle, Wildverbiss, Sturm- und Insektenkalamitäten etc. bedingt sein. Kann ihnen nicht hinreichend vorgebeugt werden, bestehen entsprechende Gegenmaßnahmen in Vorverjüngung, Ergänzungs- bzw. Ersatzpflanzungen sowie ggf. Zäunung, Reduktion der Wilddichte und/oder Schädlingsbekämpfung.

Auch bei regulärer Bewirtschaftung lässt sich die Bestandesdichte je nach örtlichen Gegebenheiten begrenzt steigern, etwa durch geringere Durchforstungshäufigkeit und -stärke oder geringere Endnutzungsmengen in Verbindung mit längeren Endnutzungszeiträumen, durch Einzelbaum-Ernte und durch Erhöhung der Zielstärke (ZS), gegebenenfalls durch den Aufbau mehrschichtiger Bestände. Allerdings sind die diesbezüglichen Wechselwirkungen komplex. Mit zunehmender Bestockungsdichte nimmt die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe zu, sodass jenseits eines standort- und baumartensspezifischen Optimums Zuwachseinbußen eintreten und die Bestandesstabilität sinkt. Diese Wechselwirkungen lassen sich kaum pauschal quantifizieren; hierzu ist der Einsatz von (Einzelbaum-)Wachstumssimulatoren notwendig.

Das Flächenpotenzial dieser Maßnahme ist zwar grundsätzlich nicht auf bestimmte Altersstufen beschränkt; messbar dürften die Einflüsse auf den Kohlenstoffvorrat aber primär in verlichteten Beständen sein, deren Wachstumspotenzial nicht vollständig ausgeschöpft ist, sowie in mittelalten Beständen (da in der Jugendphase die Ausgangsbasis für die Erhöhung der Bestandesdichte niedrig ist, in der Alters- und Erntephase dagegen die dann eingeleitete Verjüngung zwangsläufig zu einer Vorratsabsenkung führt).

3.3.2.3 Erhöhung der Umtriebszeiten bzw. Zielstärken

Es scheint offensichtlich, dass eine spätere Ernte der Bäume die Kohlenstoffvorräte im Wald vergrößert, solange die Bäume noch einen Netto-Massenzuwachs aufweisen. Allerdings schränkt dies den Zufluss zum Holzproduktespeicher ein; zudem verändert sich durch das höhere Alter und die damit verbundenen größeren Durchmesser der schließlich geernteten Bäume die Sortimentsstruktur, und die Untergangsrisiken steigen.

Umtriebszeiten (Uz) und Zielstärken (ZS) sind aber zunächst rein planerische Größen. Ihre Erhöhung wirkt sich nur dort unmittelbar auf Kohlenstoffvorräte aus, wo tatsächlich anstehende Endnutzungen hinausgezögert werden. Das diesbezügliche Flächenpotenzial ist daher auf Altbestände beschränkt, in denen solche Erntemaßnahmen innerhalb überschaubarer Zeiträume geplant sind. Auch in zeitlicher Hinsicht können Produktionszeiten nur so lange ausgedehnt werden, wie alters- oder vorschadensbedingte Abbauprozesse noch nicht den laufenden Zuwachs überwiegen, da sonst die Kohlenstoffvorräte insgesamt abnehmen. Wie lang dies dauert, ist stark von der jeweiligen Baumart abhängig. Typische Klimaxbaumarten wie Rotbuche und Weißtanne sind im hohen Alter noch zu plastischen Zuwachsreaktionen in der Lage, wenn auch über deren Ausmaß keine völlige Einigkeit besteht (vgl. z. B. NWFVA 2008). Opportunitätskosten entstehen bei aufgeschobener Ernte dann, wenn die dadurch entstehenden Zinsbelastungen sowie

mögliche Schäden durch die genannten Abbauprozesse nicht durch den zusätzlichen Wertzuwachs der Bestände kompensiert werden.

Verlängerte Produktionszeiten haben in Bezug auf Klimaschutz- und -anpassungsziele zwei ungünstige Nebenwirkungen: Einerseits steigt dadurch generell das Untergangsrisiko, weil die Bäume sämtlichen Bestandsrisiken länger ausgesetzt sind. Zum anderen nimmt der durchschnittliche Gesamtzuwachs von Waldbeständen nach einer Kulminationsphase kontinuierlich ab. Eine Verlängerung über diesen Zeitpunkt hinaus beeinträchtigt also den insgesamt möglichen Zuwachs, und damit die erzielbare Senkenwirkung des Waldes (unter der Voraussetzung, dass die entsprechenden Flächen wiederbestockt werden). Da die in Deutschland üblichen Umtriebszeiten tendenziell hoch sind und oft oberhalb der baumartenspezifischen Wachstumskulmination liegen, führen längere Umtriebszeiten grundsätzlich zwar zu höheren Vorräten, aber auch zu geringerem Gesamtzuwachs (Dieter und Elsasser 2004). Empirisch deutet sich an, dass dieser Effekt für Europa insgesamt bereits die Senkenfunktion der Wälder beeinträchtigen könnte (Nabuurs et al. 2013). Ferner können verlängerte Umtriebszeiten gegebenenfalls einen geplanten Baumartenwechsel verzögern.

3.3.2.4 Dauerhafter Verzicht auf die Nutzung von Einzelbäumen oder Waldbeständen

Die vorstehend erwähnten Ernteaufschübe stellen einen temporären Nutzungsverzicht dar. Für den dauerhaften Verzicht auf die Nutzung von Einzelbäumen oder ganzen Waldbeständen gelten viele der oben angesprochenen Aspekte daher verstärkt. Ob die Maßnahme sich überhaupt in absehbarer Zeit oder erst in ferner Zukunft spürbar auf die Kohlenstoffspeicherung auswirkt, ist entscheidend von Alter und Zustand der Ausgangsbestände abhängig: In jungen und mittelalten Beständen entfallen durch eine Stilllegung im Wesentlichen Pflege- und Durchforstungs- (sowie möglicherweise Forstschutz-) Maßnahmen. Dies führt zur Erhöhung der Bestandesdichte, soweit dieser Effekt nicht durch konkurrenzbedingte Mortalität oder Kalamitäten konterkariert wird. Erst bei erntereifen Altbeständen wirkt sich eine Stilllegung deutlich auf die Kohlenstoffvorräte im Wald aus, da dann auf die Endnutzung verzichtet wird. Dieser Speichereffekt hält an, bis natürliche Abbauprozesse die Zuwachsprozesse übersteigen oder der Bestand aufgrund von Überalterung oder Kalamitäten zusammenbricht (und dabei den bislang gespeicherten Kohlenstoff sukzessiv wieder freisetzt).

Im Unterschied zu temporären Nutzungsverzichten werden der Zufluss zum Holzproduktespeicher sowie Substitutionspotenziale durch dauerhafte Nutzungsverzichte nicht nur aufgeschoben, sondern aufgehoben. Auch in Hinblick auf betriebliche Opportunitätskosten bestehen erhebliche Zielkonflikte, da die Betriebe auf den Ertrag ihrer zuvor getätigten Investitionen komplett verzichten müssen.

3.3.2.5 Speicheraufbau in Totholz, Streuschicht und Boden

Auch die abgestorbene Biomasse im Wald stellt einen wichtigen Kohlenstoffspeicher dar. Laut Klimaberichterstattung geht die jährliche Sequestrierungsleistung des

deutschen Waldes zu sieben Achteln auf den Zuwachs an lebender Phytomasse zurück, das restliche Achtel auf die Akkumulation in Totholz, Streuschicht und Böden (NIR 2014, S. 526). Totholz entsteht entweder durch das Belassen von Ernterückständen im Wald (einschließlich der im Boden verbleibenden Stubben), durch das Absterben oder Abbrechen von Baumteilen und -ästen oder durch das Absterben ganzer Bäume, die nicht verwertet werden – also letztlich durch dauerhaften Nutzungsverzicht (s. o.). Das abgestorbene Holz wie auch die Streu werden langsam biologisch abgebaut. Der darin gebundene Kohlenstoff entweicht dabei z. T. in die Atmosphäre, ein anderer Teil wird längerfristig im Boden gebunden.

Die Klimaschutzwirkungen dieses Speicheraufbaus stehen zu denjenigen einer anderweitigen Holzverwendung in ähnlicher Wechselwirkung wie unter „Nutzungsverzichte“ beschrieben: Im Wald verbleibende Biomasse ist zwar eine Nährstoffquelle für spätere Waldgenerationen, steht aber nicht mehr für die stoffliche oder energetische Verwendung zur Verfügung. Betriebliche Opportunitätskosten sind von der Qualität der im Wald belassenen Sortimente und den zugehörigen Preis- und Kostenrelationen abhängig. Eine gezielte „Produktion“ stehenden Totholzes (die aus Naturschutzsicht ggf. wünschenswert sein könnte) wäre mit sehr hohen Opportunitätskosten verbunden, wenn das Holz anderweitig hohe Marktpreise erzielen könnte. Geringere Opportunitätskosten entstehen, wenn es sich um bereits vorgeschädigte Bäume (z. B. durch Blitzschlag oder Rückeschäden) handelt. Auch ein Verzicht auf die Nutzung von Ernterückständen wirft bei hohen Energieholzpreisen Opportunitätskosten auf, denen andererseits insbesondere bei der Nutzung von Stubben auch hohe Bringungskosten gegenüberstehen können.

3.3.2.6 Wiedervernässung von Moorwäldern

Etwa 2,3 % der Waldfläche in Deutschland (knapp 250.000 ha) stockt auf Moorböden (nach Röder und Osterburg 2012). Ein erheblicher Anteil davon wurde in der Vergangenheit entwässert, um Holzzuwachs oder -qualität zu verbessern, um zusätzliche Optionen für die Baumartenwahl zu gewinnen oder um das Wachstum von Bäumen überhaupt erst zu ermöglichen. Viele der Entwässerungseinrichtungen sind noch vorhanden und funktionstüchtig. Dadurch degradieren die betroffenen Moorstandorte weiterhin. Entwässerte Moorböden stellen Emissionsquellen dar, sobald Luft an die Torfschichten gelangt und diese mineralisieren können. Dabei wird sowohl der bislang gebundene Kohlenstoff als auch Lachgas (N_2O) frei. Ein Rückbau der Entwässerungsanlagen kann diese Emissionen langfristig zum Stillstand bringen und eine weitere Akkumulation organischer Substanz ermöglichen – letzteres sogar im Prinzip unbegrenzt. Allerdings sterben die vorhandenen Waldbestände durch die Anhebung des Wasserspiegels unter Umständen ab; zudem werden aus den Böden zumindest in einer Übergangsphase erhebliche Mengen an Methan (CH_4) emittiert, in Abhängigkeit insbesondere vom Wasserstand unter Flur sowie dessen Schwankungen. Die THG-Emissionen insgesamt gehen daher erst nach einigen Jahren des Moorwachstums zurück (Wolters et al. 2013). Dann erst kann die Kohlenstoffspeicherung die Emissionen überwiegen.

Erhalt und Wiederherstellung solcher Sonderstandorte ist ein wichtiges Naturschutzziel, das auch mit Klimaargumenten begründet wird (BMU 2007) und generell als preisgünstige Klimaschutzmaßnahme gilt (Schäfer 2009). Aus forstbetrieblicher Sicht stellen nicht allein die möglichen Beeinträchtigungen von Holzqualität und -quantität Konfliktpotenziale dar; auch die Holzernte kann auf wiedervernässten Moorböden stark behindert bzw. sogar ausgeschlossen sein. Für die Betriebe dürften die Wechselwirkungen zu anderen forstlichen Klimaschutzmaßnahmen sowie langfristige Opportunitätskosten nur dort verhältnismäßig gering sein, wo auf solchen Moorstandorten nur niedrige Bonitäten und Holzqualitäten erzielbar sind.

3.3.2.7 Düngung, Züchtung und Gentechnik

Grundsätzlich ließe sich der Zuwachs (und nachfolgend der Vorrat) von Waldbeständen, ähnlich wie in der Landwirtschaft, durch künstlich erhöhtes Nährstoffangebot sowie durch den Einsatz verbesserten Pflanzenmaterials steigern. Der Erfolg von Düngemaßnahmen hängt stark von der standörtlichen Bodenstruktur und den jeweiligen Bedürfnissen der Pflanzen ab. In Deutschland sind Düngemaßnahmen im Wald (mit Ausnahme von Startdüngungen in Kulturen sowie Kompensationskalkungen) unüblich; ihnen stehen hohe Kosten sowie die lange Laufzeit entsprechender Investitionen entgegen.

Ähnliches gilt für Züchtung und Gentechnik. Der Einsatz verbesserten Pflanzenmaterials im Wald erfordert grundsätzlich, Bestände per Pflanzung statt kostengünstiger durch Naturverjüngung zu begründen, und er kann sich erst mit geraumer Zeitverzögerung rentieren. Züchterisch verbesserte Pflanzen sind daher auf Sonderfälle beschränkt (z. B. Pappel) und finden sich primär außerhalb der konventionellen Forstwirtschaft (z. B. in Kurzumtriebsplantagen). Dem Einsatz gentechnisch veränderten Materials im Wald stehen zudem nicht nur erhebliche Bedenken des Naturschutzes wie auch der Forstwirtschaft, sondern auch rechtliche Hindernisse entgegen.

3.3.3 Vergrößerung der Waldfläche

Die Begründung neuer Wälder auf bislang nicht forstlich genutzten Flächen durch Aufforstung oder Zulassen der natürlichen Sukzession impliziert eine dauerhafte Änderung der bisherigen Landnutzung – dauerhaft nicht nur wegen des langsamen Waldwachstums, sondern auch wegen des Rodungsverbots nach § 9 des Bundeswaldgesetzes, das eine Waldneubegründung nahezu irreversibel macht. Mit der Begründung neuer Wälder ist eine sehr langanhaltende Akkumulation von Kohlenstoff in Baumbestand und Böden verbunden, die zudem auf lange Sicht einen verstärkten Zufluss zum Holzproduktespeicher sowie Substitutionspotenziale ermöglicht. Für Aufforstungen von Mischbeständen aus einheimischen Baumarten auf ehemaligen Acker- oder Weideflächen werden die Gesamt-Minderungspotenziale während der ersten beiden Jahrzehnte auf durchschnittlich 5 bis 20 $[t_{CO_2}/(ha*a)]$; veranschlagt (Paul et al. 2009), in den darauf folgenden Jahrzehnten auf mehr als das Doppelte (a. a. O, Anhang D; vgl. auch Dunger et al. 2009).

Flächenpotenziale bestehen i. W. auf ehemals landwirtschaftlich genutzten sowie sonstigen Flächen, deren bisherige Nutzung aufgegeben wurde (namentlich städtische Brachflächen, ehemalige Truppenübungsplätze und Braunkohle-Tagebauflächen). Der jährliche Umfang landwirtschaftlicher Erstaufforstungen wird für die letzten Jahrzehnte mit 2000 bis 4000 ha/a angegeben, der von Braunkohle-Rekultivierungen mit etwa 1000 ha/a; das Gesamtpotenzial beträgt grob etwa 60.000 ha an Braunkohle-Rekultivierungsflächen, 100.000 ha an städtischen Brachflächen und weitere 100.000 ha an ehemaligen Militärfächen, zusammen also etwa eine Viertel Million Hektar (Elsasser 2008).

Bezüglich der Baumartenwahl gilt weitgehend das oben Gesagte: Wenn es allein um die Kohlenstoffspeicherung geht, sind rasch- und starkwüchsige Baumarten auf kurze und mittlere Frist überlegen; zur Stabilisierung empfehlen sich geeignete Beimischungen. Bei Erstaufforstungen ist ferner zu bedenken, dass (große) Aufforstungsflächen Pionierstandorte sind. Klimaxbaumarten wie z. B. Buche und Weißtannen sind ökologisch weniger an die dortigen Licht- und Klimaverhältnisse angepasst.

3.3.4 Ausweitung des Holzproduktespeichers und von Substitutionen

Verwendetes Holz ist über drei Wege klimawirksam: Zum einen stellen die Holzprodukte selbst, einschließlich Papier, einen (vergrößerbaren) Kohlenstoffspeicher dar. Zum zweiten vermeidet die stoffliche Verwendung von Holz anstelle alternativer Materialien Emissionen, die mit der Gewinnung und Verarbeitung dieser alternativen Materialien einhergehen (stoffliche Substitution). Ein Beispiel hierfür ist die Verwendung von Holz- anstelle von Aluminiumfenstern. Zum dritten ersetzt die Verbrennung von Holz zur Energiegewinnung fossile Energieträger (energetische Substitution). Beide Arten von Substitution sind in dem Maße wirksam, zu dem der jeweils aktuelle Energiemix aus fossilen Energieträgern besteht; sie vermeiden Emissionen von Kohlenstoff, der in fossilen Lagerstätten gespeichert ist. Auf sehr lange Sicht gesehen, beruht die Klimawirkung von Wald und Holz zudem ausschließlich auf Substitutionseffekten (Werner et al. 2010), da Wald- wie auch Holzproduktspeicher nicht unendlich erweiterbar sind. Das energetische Substitutionspotenzial von Holz im Vergleich zu leichtem Heizöl beträgt +0,67 t C/t C (Rüter 2011); eine zur Energiegewinnung genutzte Tonne Kohlenstoff aus Holz ersetzt also 0,67 t Kohlenstoff aus fossilen Quellen, die aufgrund der Substitution dauerhaft gespeichert bleiben können. Für die stoffliche Substitution liegen keine Zahlen vor, welche sämtliche Verwendungsmöglichkeiten des Holzes abdecken würden. Eine internationale Metaanalyse ergibt eine Spannbreite stofflicher Substitutionsfaktoren von -2,3 bis +15 t C/t C, bei einem Mittelwert von +2,1 t C/t C (Sathre und O'Connor 2010).

Verwendung und Weiterverarbeitung des geernteten Holzes sind keine Aktivitäten der forstlichen Landnutzung und können waldbaulich nicht unmittelbar gesteuert werden.

Waldbaulich steuerbar sind dagegen die Höhe des Zuwachses und das Ausmaß seiner Abschöpfung. Zudem geben die Sortenaushaltung bei der Ernte und langfristig auch die allgemeinen forstlichen Produktionsziele indirekt den Rahmen dafür vor, in welcher Form das Holz anschließend verwendet und weiterverarbeitet werden kann. Um Kohlenstoffspeicherung und Substitutionseffekte in der Holzverwendung zu vergrößern, gibt es auch aus waldbaulicher Sicht mehrere Ansatzpunkte. Sie bestehen grundsätzlich darin, die bereitgestellte Holzmenge aus dem Wald zu maximieren, indem der Gesamtwuchs vergrößert und (im Rahmen der Nachhaltigkeit) möglichst weitgehend ausgeschöpft wird. Die entsprechenden Maßnahmen sind z. T. gegenläufig zu Maßnahmen, welche v. a. auf eine Vorratsakkumulation im Wald setzen (s. o.):

- Alle o. g. Arten von Nutzungsverzichten sind offensichtlich für die Holzverwendung kontraproduktiv und wären folglich zu unterlassen;
- Umtriebszeiten wären zwecks Zuwachsmaximierung an der Kulmination des durchschnittlichen Gesamtwachses der jeweiligen Baumart zu orientieren (Burschel und Huss 1987, S. 44), was in der Regel *kürzere* Umtriebszeiten und frühere Ernte bedeutet – insbesondere auf wüchsigen Standorten, da das Wachstum dort früher kulminiert;
- Bestandesdichten und Gesamtvorräte wären deutlich unter der maximalen Tragfähigkeit der Wälder anzusiedeln, um Nutzungspotenziale auszuschöpfen und Zuwachsdpressionen zu vermeiden;
- Im Zuge der Bestandesbegründung stünde noch stärker als oben im Vordergrund, auf raschwüchsige Baumarten (wie z. B. Fichte oder Douglasie) zu setzen, auf Baumarten mit später Zuwachskulmination (wie z. B. Buche oder Eiche) dagegen weitgehend zu verzichten. Maßnahmen der Bestandesbegründung (wie auch Erstaufforstungen) schlagen allerdings erst mit erheblicher Zeitverzögerung auf die Holzverwendung durch.

Auch wenn man neben der reinen Volumenproduktion zusätzlich die Nachfragestruktur auf den Holzmärkten berücksichtigt, verändert das die genannten Kriterien nur wenig. So sprechen technische wie ökonomische Gründe oft gegen die Produktion hoher Zielstärken (s. z. B. Tzschupke 2005), und auch in Bezug auf die Baumartenwahl ist zumindest derzeit die Nachfrage nach Nadelholz stärker ausgeprägt als die nach Laubholz (Jochem et al. 2015), was sich auch in der Preisentwicklung der letzten Jahre zeigt (Ermisch et al. 2014).

Die Weiterverarbeitung des Rohholzes aus dem Wald im Bereich der Holzwirtschaft wird letztendlich nicht von den Produzenten, sondern von den Konsumenten der jeweiligen Endprodukte bestimmt; entsprechende Maßnahmen müssen daher an der Endnachfrage ansetzen. Ihre Diskussion führt allerdings im Rahmen dieses auf die Landnutzung konzentrierten Projektes zu weit; hierzu sei auf die diesbezügliche Literatur verwiesen (u. a. Petersen und Solberg 2005; Gustavsson et al. 2006; Pingoud et al. 2010; Werner et al. 2010; Rüter 2011; Wördehoff et al. 2012; Weimar und Jochem 2013; Mund et al. 2015).

3.3.5 Vermeidung von Kohlenstoffverlusten

Mögliche Ursachen für Kohlenstoffverluste lassen sich in drei Gruppen einteilen:

1. Forstliche Kalamitäten wie Sturmwürfe, Insektengradationen und Waldbrände können Vorräte (wie auch Zuwächse) der Biomasse sowie ggf. anderer Speicherkompartimente empfindlich beeinträchtigen.
2. Die forstliche Bewirtschaftung wirkt sich nicht nur auf Derbholtzvorräte und Holzverwendung aus, sondern kann auch die Kohlenstoffvorräte in Streu, Totholz und Böden spürbar beeinflussen.
3. Aktivitäten außerhalb des Forstsektors wie der Bau einer Eisenbahnlinie durch Wald oder der Abriss von Holzbauten tragen ebenfalls zu Kohlenstoffverlusten in den Wald- und Holzproduktespeichern bei.

3.3.5.1 Verluste durch forstliche Kalamitäten

Bekannte und einschätzbare Kalamitätsrisiken lassen sich ggf. durch geeignete technische Maßnahmen verringern. Hierzu zählen etwa die Kontrolle und ggf. Bekämpfung von Borkenkäfern mittels Pheromonfallen und (im Wald derzeit noch unübliche) chemische Insektenbekämpfung, oder die Einrichtung von Brandmeldesystemen bei erhöhter Waldbrandgefahr.

Die waldbaulichen Ansatzpunkte für den Umgang mit forstlichen Kalamitätsrisiken sind während des Bestandeslebens die gleichen wie schon oben genannt wurden: Beginnend mit der Baumartenwahl über Bestandespflege und Durchforstung bis hin zu Endnutzungszeitpunkt und -regime sowie Totholzmanagement haben waldbauliche Maßnahmen auch Einfluss auf das jeweilige Risiko von Kohlenstoffverlusten. Wie zuvor sind die Auswirkungen des entsprechenden Risikomanagements in Bezug auf ihre Klimawirkungen teilweise gegenläufig zueinander:

- Maßnahmen zur *Stabilisierung* der Bestände gegen biotische und abiotische Risiken sind häufig gut mit Naturschutzziele kompatibel, weil sie Vielfalt fördern, und werden entsprechend von Naturschutzseite oft in den Vordergrund gestellt (z. B. BMU 2007). Sie zielen insbesondere darauf ab, stabile Mischbestände aus standortgerechten bzw. standortheimischen Baumarten zu begründen und diese regelmäßig zu pflegen und zu durchforsten sowie vor selektivem Wildverbiss zu schützen, damit die angestrebte Baumartenmischung erhalten bleibt und sich sturmstabile Schaffformen herausbilden können. Bei der Endnutzung verhelfen lange Endnutzungszeiträume und geringe Eingriffsstärken dazu, die Bestandesstabilität in der Erntephase möglichst wenig zu beeinträchtigen. Insbesondere in der Pflege- und Durchforstungsphase setzen Stabilisierungsaspekte einer Erhöhung der Bestandesdichte zur Maximierung von Kohlenstoffvorräten enge Grenzen.

- Maßnahmen zur *Risikostreuung* (Pretzsch 2003; Knoke 2012) gehen weitgehend in die gleiche Richtung. Auch hierzu sind Mischungen aus unterschiedlichen Baumarten, Bestandesstrukturen und -altern in Verbindung mit entsprechender Pflege und Durchforstung dienlich. Allerdings ist es für die reine Risikostreuung unerheblich, ob derartige Mischungen auf Einzelbestands- oder auf höherer regionaler Ebene erfolgen.
- Maßnahmen zur *Risikovermeidung* setzen dagegen daran an, Bäume (und deren Kohlenstoffvorräte) möglichst kurz den jeweiligen Risiken auszusetzen und die entsprechende Vorratshöhe gering zu halten (vgl. z. B. Pauli et al. 2016). Konkret bedeutet dies, Bestände im Weitstand zu begründen, durchgehend stark zu durchforsten und früh zu ernten. Kohlenstoffakkumulationen im Totholzspeicher sind in dieser Hinsicht insbesondere bei Feuergefahr ebenso kontraproduktiv wie jede Art von Nutzungsverzicht.

Der prognostizierte Klimawandel verlangt überdies eine Adaptation an zukünftige Umweltänderungen. Da deren standörtliche Auswirkungen auf zukünftige Wachstumsbedingungen und Risikostrukturen nicht bekannt sind, kommt damit ein zusätzliches Unsicherheitselement ins Spiel. Die Auswahl von Adaptationsmaßnahmen ist daher zwangsläufig durch spekulative Momente beeinflusst.

Aufgrund der Langfristigkeit des Klimawandels wie auch der Langlebigkeit von Bäumen müssen Adaptationsmaßnahmen weit im Vorhinein ergriffen werden und daher insbesondere an der Bestandesbegründung ansetzen. Unter Adaptationsaspekten ist hier weniger die derzeitige Standortangepasstheit der Bäume entscheidend als vielmehr deren Resistenz gegenüber veränderten Temperatur-, Sturm-, Insekten-, Überschwemmungs- und Trockenisereignissen, welche für die Zukunft prognostiziert sind. Für spätere Bestandesstadien bieten sich die gleichen Elemente des Risikomanagements an, die schon oben beschrieben wurden (Stabilisierung, Risikostreuung und/oder -vermeidung). Ob bei deren Dosierung allerdings eher antizipativ oder reaktiv vorgegangen wird, ist von der Risikofreude der jeweiligen Entscheider abhängig. In Hinblick auf die Klimaschutzleistung der Wälder nähmen antizipative Strategien tendenziell in Kauf, zur Vermeidung zukünftig möglicher Kohlenstoffverluste auf heutige Speicher- und Senkoptionen zu verzichten. Umgekehrt setzten reaktive Strategien stärker auf die Optimierung der heutigen Klimawirksamkeit, mit dem Risiko erheblicherer zukünftiger Verluste (vgl. auch Jandl et al. 2015).

3.3.5.2 Verluste durch forstliche Bewirtschaftung

Die forstliche Bewirtschaftung selbst kann – beabsichtigt wie auch als unbeabsichtigte Nebenwirkung von Bewirtschaftungsmaßnahmen – Kohlenstoffverluste aus verschiedenen Speicherkompartimenten bedingen. Mit einigen der bisher diskutierten Maßnahmen (Endnutzung, Durchforstung, Vorratsabbau im Zuge des Risikomanagements) gehen zwangsläufig Kohlenstoffverluste aus der Baumbiomasse einher. Sie bewirken per Saldo allerdings nur insoweit Emissionen, als sie nicht durch

den Holzproduktespeicher aufgefangen oder durch entsprechende Substitutionen kompensiert werden.

Problematischer sind unbeabsichtigte Nebenwirkungen der Bewirtschaftung auf die Kohlenstoffvorräte in anderen Speicherkompartimenten, insbesondere in Böden. Grob die Hälfte der gesamten Wald-Kohlenstoffvorräte in Deutschland ist in den Böden gespeichert (NIR 2014, Abschn. 7.2; Wellbrock et al. 2014). Grundsätzlich steigt deren Kohlenstoff-Speicherkapazität mit steigender Produktivität der Bestände, weil dies einen erhöhten Kohlenstoff-Input in die Böden ermöglicht. Störungen der Bestandes- und Bodenstrukturen erhöhen dagegen das Risiko unbeabsichtigter Kohlenstoffverluste. Aufgrund von Durchforstungen und stärker noch von Endnutzungen aufgelichtete Bestände zeichnen sich durch gesteigerte Wärmezufuhr am Boden aus, zudem bewirkt das Befahren der Böden durch Forstmaschinen Störungen der Bodenstruktur; beides begünstigt den Abbau von Bodenkohlenstoff. Auch Sondermaßnahmen wie Kompensationskalkungen und Bodenvorbereitung zur Kulturbegründung können zu Kohlenstoffverlusten im Boden führen, erstere aufgrund der dadurch begünstigten mikrobiellen Aktivität, letztere wegen der damit verbundenen Störung der Bodenstruktur. Geeignete Gegenmaßnahmen sind daher darauf gerichtet, Störungen von Bestandes- und Bodenstrukturen zu minimieren. Dies impliziert, Maschinen möglichst selten und bodenschonend einzusetzen (indem beispielsweise Befahrungen auf ein festes Rückegassensystem begrenzt bleiben, Durchforstungsintervalle verlängert und Erntemaßnahmen hinausgezögert werden) sowie für eine möglichst durchgehende Bodenbedeckung zu sorgen und starke Auflichtungen (etwa durch Kleinkahlschläge) zu vermeiden (Jandl et al. 2007, mit weiteren Nachweisen).

3.3.5.3 Verluste durch Aktivitäten außerhalb des Forstsektors

Abschließend sei auf Kohlenstoffverluste in den Wald- und Holzproduktespeichern hingewiesen, deren Ursachen außerhalb des Forstsektors angesiedelt sind. Waldspeicher sind vor allem durch Waldumwandlungen im Zuge von Infrastrukturmaßnahmen (Verkehrs- und Siedlungsentwicklung) betroffen. Für das Jahr 2012 wurden die dadurch bedingten Kohlenstoffverluste in Deutschland auf fast eine halbe Million t CO₂ beziffert (NIR 2014, S. 850). Selbst wenn diese Waldumwandlungen flächenmäßig durch Ersatzaufforstungen kompensiert werden (müssen), bewirken sie doch einen Ersatz älterer und kohlenstoffreicherer Wälder durch kohlenstoffarme Jungbestände. Der Holzproduktespeicher ist in Bezug auf seine Dauerhaftigkeit wie auch sein Gesamtvolumen durch kontinuierliche Änderungen in der Struktur des Materialeinsatzes in der Volkswirtschaft bedroht – etwa durch verkürzte Abschreibungszeiträume für Gebäude und die Substitution von Holz- durch Stahlkonstruktionen. In beiden Fällen können Gegenmaßnahmen nicht seitens der Forstwirtschaft erfolgen. Sie bedürfen übergreifender politischer und planerischer Reaktionen.

3.3.6 Zusammenfassung zu Maßnahmenbündeln (Strategien)

Im Rahmen dieser Studie ist es angesichts der sehr langen forstlichen Produktionszeiträume und der Pfadabhängigkeit der Produktion nicht sinnvoll, die Auswirkungen isolierter Einzelmaßnahmen auf Klimaziele zu beschreiben. Stattdessen werden diejenigen Maßnahmen, die sich für eine großräumige Modellierung eignen, entsprechend ihrer zeitlichen Abfolge im Bestandesleben zu Maßnahmenbündeln zusammengefasst; anschließend werden untereinander abgestimmte Bündel von Maßnahmenvarianten einer Referenz- sowie vier Bewirtschaftungsstrategien zugeordnet (vgl. Abschn. 4.6.1 und 4.6.2). Deren Auswirkungen auf naturale und finanzielle Erträge sowie die Kohlenstoffspeicherung werden jeweils mit Hilfe des in Abschn. 4.2.2.4 beschriebenen forstbetrieblichen Simulationsmodells FoBeSiMo abgeschätzt. Die Referenzprojektion (Abschn. 4.6.1) orientiert sich dabei an den derzeitigen Bewirtschaftungsplanungen, insbesondere der Landesforstbetriebe. Die Strategien (vgl. Abschn. 4.6.2) unterscheiden sich v. a. in Bezug darauf, ob sie Klimaschutz- und -anpassungsziele primär über eine Erhöhung der Kohlenstoffvorräte im Wald oder über eine Ausweitung des Holzproduktespeichers und von Substitutionen zu erreichen trachten, und welchen Ansatz sie zum Umgang mit Risiken von Kohlenstoffverlusten wählen.

In diesen Strategien werden die oben beschriebenen waldbaulichen Klimaschutzmaßnahmen den Phasen Bestandesbegründung bzw. -verjüngung, Bestandespflege und Durchforstung sowie der Endnutzungsphase zugeordnet, an die sich die Holzverwendung anschließt. Für die Bestandesbegründungsphase wird die Maßnahme „Baumartenwahl“ (Abschn. 3.3.2.1) in vier verschiedenen Variationen abgebildet. In der Pflege- und Durchforstungsphase werden „Häufigkeit“ und „Stärke der Durchforstung“ variiert, mit der u. a. die Bestandesdichte (Abschn. 3.3.2.2) gesteuert wird. Für die Endnutzungsphase werden „Zielstärke“, „Endnutzungsmenge“ (pro Erntemaßnahme) sowie die „Dauer des Endnutzungszeitraums“ in unterschiedlichen Varianten kombiniert; dies beeinflusst ebenfalls die Bestandesdichte in dieser Phase (Abschn. 3.3.2.2) sowie die jeweiligen Umtriebszeiten (Abschn. 3.3.2.3). Zeitpunkt sowie Intensität von Vor- und Endnutzungen beeinflussen weiterhin die Sortenaushaltung der Maßnahme „Holzbereitstellung“, und damit die Potenziale für eine Ausweitung des Holzproduktespeichers und für Substitutionen (Abschn. 3.3.4). Die Realisierung solcher Potenziale kann nicht durch eine forstbetriebliche Simulation abgebildet werden, da sie außerhalb von Wäldern bzw. Forstbetrieben stattfindet; diese Potenziale werden vielmehr berücksichtigt, indem den aus den jeweiligen Waldbewirtschaftungsstrategien entstehenden Sortimenten jeweils unterschiedliche konstante Verwendungspfade zugerechnet werden (s. Abschn. 4.2.2.4). Vergleichbar wird zur Berücksichtigung unterschiedlicher Totholz mengen (Abschn. 3.3.2.5) vorgegangen, die bei den verschiedenen Behandlungsvarianten anfallen; sie werden diesen Varianten jeweils pauschaliert

zugerechnet.¹⁷ Forstliche Kalamitätsrisiken (Abschn. 3.3.5.1) werden in Form von baumart- und altersspezifischen Überlebenswahrscheinlichkeiten in die Simulation integriert (s. Abschn. 4.2.2.4).

Zwei weitere Maßnahmen sind dagegen nicht zwingend an bestimmte Nutzungspfade gebunden, nämlich Nutzungsverzichte (Abschn. 3.3.2.4) sowie die Vergrößerung der Waldfläche (Abschn. 3.3.3). Ihre Auswirkungen werden daher in jeweils separaten Modulen simuliert, die anschließend unterschiedlichen Strategien zugeordnet werden können. Abschn. 4.6.2 bietet eine Übersicht über die in der Simulation variierten Maßnahmen und ihre Zuordnung zu Strategien.

Literatur

- Akiyama H, Yan X, Yagi K (2010) Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Glob Change Biol* 16:1837–1846
- Albrecht A, Hanewinkel M, Bauhus J, Kohnle U (2015) Wie sturmstabil ist die Douglasie? *AFZ-DerWald* 9:30–34
- Arnold CL, Gibbons CJ (1996) Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *J Am Plann Assoc* 62(2):243–258
- Augustin J, Joosten H (2007) Peatland rewetting and the greenhouse effect. *IMCG Newsletter* 2007–3:29–30
- Birkmann J, Vollmer M, Schanze J (2013) Raumentwicklung im Klimawandel. Herausforderungen für die räumliche Planung. *Forschungsberichte der ARL 2*, Hannover
- Bloch R, Bachinger J (2010) Anpassung an den Klimawandel im Praxistest. *Innovationen im Ökologischen Landbau. Forschungsreport 2/2010*, S 18–21
- Bonn A, Bues A, Couwenberg J, Drösler M, Jensen R, Kantelhardt J, Luthardt V, Permien T, Röder N, Schaller L, Schweppe-Kraft B, Tanneberger F, Trepel M, Wichmann S (2015) Klimaschutz durch Wiedervernässung von kohlenstoffreichen Böden. In: Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) *Naturkapital Deutschland – TEEB DE: Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte*. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung-UFZ, Berlin, S 124–147
- Brake K (1998) Dezentrale Konzentration in Großstadtreionen. Die begrenzten Umsetzungspfade stadtregionaler Raumordnung. *RaumforschRaumordm* 5(6):343–351
- Bronsema H, Theuvsen L, Warnecke S, Broll G, Biberbacher M (2012) Effizienzsteigerung bei der Verwertung von Wirtschaftsdüngern in Norddeutschland – eine modellbasierte Transportoptimierung. *Efficient Use of Farm Manures in Northwest Germany – Model-based Transport Optimization*. In: Hambrusch J, Hambrusch C, Kantelhardt J, Oedl-Wieser T (Hrsg) *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*. Facultas Verlags- und Buchhandel AG, Wien
- Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2014) Nationales Hochwasserschutzprogramm, beschlossen auf der Umweltministerkonferenz am 24. Oktober 2014 in Heidelberg, Kiel, S 9

¹⁷Veränderungen der Kohlenstoffspeicher in Streuschicht und Böden werden in diesem Untersuchungsteil nicht berücksichtigt.

- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (o. J.) Bundesnaturschutzgebiete. <https://geodienste.bfn.de/schutzgebiete?lang=de>. Zugegriffen: 1. Okt. 2018
- Bundesamt für Naturschutz (BfN) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2014) Den Landschaftswandel gestalten! Potentiale der Landschafts- und Raumplanung zur modellhaften Entwicklung und Gestaltung von Kulturlandschaften vor dem Hintergrund aktueller Transformationsprozesse. Bundesweite Übersichten, Bd 1. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn, S 66
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2010) Vielfalt des Demographischen Wandels. Eine Herausforderung für Stadt und Land. BBSR-Online-Publikation 6/2010
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2013) Innenentwicklungspotenziale in Deutschland. Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage und Möglichkeiten einer automatisierten Abschätzung. Unter Mitarbeit von: Schiller G, Blum A, Hecht R, Meinel G, Oertel H, Ferber U, Petermann E, Bonn, S 163
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2014a) Aktuelle und zukünftige Entwicklung von Wohnungsleerständen in den Teilräumen Deutschlands. Datengrundlagen, Erfassungsmethoden und Abschätzungen, Bonn
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2014b) Städtebauliche Nachverdichtung im Klimawandel. Ein ExWoSt-Fachgutachten. ExWoSt-Informationen 46(1)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (National Strategy on Biological Diversity). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2012) Nitratbericht 2012. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2010) Klimawandel als Handlungsfeld der Raumordnung. Ergebnisse der Vorstudie zu den Modelvorhaben „Raumentwicklungsstrategien zum Klimawandel“. Forschungen, Bd 144. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn, S 121
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2011) Klimawandelgerechte Stadtentwicklung. Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. Forschungen, Bd 149. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn, S 100
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012) Stadtumbau vor neuen Herausforderungen. 4. Statusbericht der Bundestransferstelle Stadtumbau Ost. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin, S 118
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2013) Rechtliche Anforderungen an raumplanerische Festlegungen zur Hochwasservorsorge, insbesondere im Baubestand. BMVBS-Online-Publikation, Bonn
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2014) Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/BVWP/bvwp-2015-grundkonzeption-langfassung.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 13. Febr. 2020
- Bundesregierung (2013) Koalitionsvertrag der 18. Legislaturperiode zwischen CDU, CSU und SPD „Deutschlands Zukunft gestalten“. Bundesregierung, Rheinbach
- Burschel P, Huss J (1987) Grundriß des Waldbaus. Parey, Hamburg
- Couwenberg J (2007) Biomass energy crops on peatland: on emissions and perversions. IMCG Newsletter 3:12–14

- Deller B, Mastel K, Augustenberg LTZ (2011) Humusanreicherung unter Kulturen nachwachsender Rohstoffe. *Landinfo* 3:38–41
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2014) Großwetterlage ‚Tief Mitteleuropa‘ (TM) brachte Ende Juli 2014 monsunartige Niederschläge in Teilen Deutschlands. Wird diese sommerliche Wetterlage mit dem Klimawandel künftig in Deutschland häufiger auftreten? Stellungnahme des Deutschen Wetterdienstes (DWD), Offenbach. https://www.dwd.de/DE/leistungen/besondere-ereignisse/niederschlag/20140730_dwd_stellungnahmeextremeniederschlaegejuli2014.html. Zugegriffen: 13. Febr. 2020
- Dieter M, Elsasser P (2004) Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbschancen von Wald-Senkenprojekten in Deutschland, vol 2004/11. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie. BFH, Hamburg
- Don A, Osborne B, Hastings A, Skiba U, Carter MS, Drewer J, Flessa H, Freibauer A, Hyvönen N, Jones MB, Lanigan GJ, Mander Ü, Monti A, Djomo SN, Valentine J, Walter K, Zegada-Lizarazu W, Zenone T (2012) Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy* 4:372–391
- Drösler M, Freibauer A, Adelman W, Augustin J, Bergman L, Beyer C, Chojnicki B, Förster C, Giebels M, Görlitz S, Höper H, Kantelhardt J, Liebersbach L, Hahn-Schöfl M, Minke M, Petschow U, Pfadenhauer J, Schaller L, Schägner P, Sommer M, Thuille A, Wehrhan M (2011) Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis – Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz – Moornutzungsstrategien“ 2006–2010. Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung 2011/04, Braunschweig, S 21
- Dunger K, Stümer W, Oehmichen K, Riedel T, Bolte A (2009) Der Kohlenstoffspeicher Wald und seine Entwicklung. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. *AFZ – Der Wald* 64(20):1072–1073
- Elsasser P (2008) Neuwaldbildung durch Sukzession: Flächenpotentiale, Hindernisse, Realisierungschancen (Using succession for new forests: potential area, obstacles, opportunities for implementation), vol OEF 2008/5. Arbeitsbericht. von-Thünen-Institut, Hamburg
- Ermisch N, Seitsch B, Dög M (2014) Ergebnisse des Testbetriebsnetzes Forst des BMEL. *AFZ* 23:18–20
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2011) Pappeln mit neuen Methoden züchten. *Gesunde Pflanzen* 63:205–209
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2012) Energiepflanzen für Biogasanlagen – Sachsen. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow-Prüzen
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2014a) Basisdaten Bioenergie Deutschland 2014. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow-Prüzen
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2014b) Maisanbau in Deutschland. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. <https://mediathek.fnr.de/grafiken/daten-und-fakten/bioenergie/biogas/maisbau-in-deutschland.html>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2014c) Energiegehalt fester Bioenergieträger. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. http://www.google.de/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCcQFjAB&url=http%3A%2F%2Fmediathek.fnr.de%2Fleitfaden-bioenergie%2Fdaten%2Ftab-2-6-20%2FEnergiegehalt_fester_Bioenergietraeger.xlsx&ei=JluRVaL8FISpsgHrt4CABg&usq=AFQjCNFwlfKA9Cvhdhmsxjw5515orxuuTw&bvm=bv.96783405,d.bGg. Zugegriffen: 12. März 2018
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) (2015) Energiepflanzen. Homepage. <http://www.fnr.de/nachwachsende-rohstoffe/bioenergie/energiepflanzen/>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Fachverband Bioenergie e. V. (2014) Branchenzahlenprognose für die Jahre 2014 und 2015. Freising. http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen. Zugegriffen: 12. März 2018

- Flessa H, Greef JM, Hofmeier M, Dittert K, Ruser R, Osterburg B, Poddey E, Wulf S, Pacholski A (2014) Minderung von Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft – Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft. *Forschung Themenheft 1/2014*
- Flessa H, Müller D, Plassmann K, Osterburg B, Techen AK, Nitsch H, Nieberg H, Sanders J, Meyer Zu Hartlage O, Beckmann E, Anspach V (2012) Studie zur Vorbereitung einer effizienten und gut abgestimmten Klimaschutzpolitik für den Agrarsektor. *Landbauforschung Sonderheft 361:472*
- Freibauer A, Drösler M, Gensior A, Schulze E (2009) Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. *Natur und Landschaft 1:20–25*
- Fritsche U, Wiegmann K (2008) Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergie-Konversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten „Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“. Öko-Institut, Darmstadt
- Fuhrich M, Dosch F, Pahl-Weber E, Zillmann K (2004) Kompass für den Weg zur Stadt der Zukunft. Indikatoren gestützte Erfolgskontrolle nachhaltiger Stadtentwicklung. Eine Orientierungshilfe für die kommunale Praxis. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. BBR, Bonn
- Gensior A, Roth G, Well R (2012) Landwirtschaftliche Bodennutzung: eine Bestandsaufnahme aus Sicht der Klimaberichterstattung. *Bodenschutz 17:81–89*
- Geupel M, Frommer J (2014) Reaktiver Stickstoff in Deutschland. Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen. Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau
- Gömann H, Kreins P (2012) Landnutzungsänderungen in Deutschlands Landwirtschaft – Rückläufige Anbaudiversität hat viele Ursachen. *Mais 39:118–122*
- Greiving S, Fleischhauer M (2008) Raumplanung: in Zeiten des Klimawandels wichtiger denn je! Größere Planungsflexibilität durch informelle Ansätze einer Klimarisiko-Governance. *RaumPlanung 137:61–66*
- Gustavsson L, Pingoud K, Sathre R (2006) Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitig Adapt Strat Glob Change 11(3):667–691*
- Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) (2015) Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte. *Naturkapital Deutschland – TEEB DE*. TUB/UFZ, Berlin, Leipzig
- Heiland S, Reinke M, Siedentop S, Träger T, Knigge M, Meyer-Ohlendorf N, Blobel D (2006) Beitrag naturschutzpolitischer Instrumente zur Steuerung der Flächeninanspruchnahme. *BfN Skripten, Bd 176*, Bonn, S 154
- Hoogwijk M, Faaij A, Van Den Broek R, Berndes G, Gielen D, Turkenburg W (2013) Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. *Biomass Bioenerg 25:119–133*
- Huth V, Günther A, Jurasinski G, Glatzel S (2013) The effect of an exceptionally wet summer on methane effluxes from a 15-year re-wetted fen in north-east Germany. *Mires and Peat 13:1–7*
- Institut für angewandte Sozialwissenschaften GmbH (infas) und Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Institut für Verkehrsforschung (DLR) (2010) *Mobilität in Deutschland 2008*. Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends, Bonn, S 208
- Jandl R, Bauhus J, Bolte A, Schindlbacher A, Schüler S (2015) Effect of climate-adapted forest management on carbon pools and greenhouse gas emissions. *Curr Forestry Rep 1(1):1–7*
- Jandl R, Lindner M, Vesterdal L, Bauwens B, Baritz R, Hagedorn F, Johnson DW, Minkinen K, Byrne KA (2007) How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma 137(3–4):253–268*
- Jenssen T (2009) Klimaschutz durch städtebauliche Dichte! Möglichkeiten und Grenzen der räumlichen Steuerung von THG-Emissionen. *RaumPlanung 147:281–284*

- Jochem D, Weimar H, Bösch M, Mantau U, Dieter M (2015) Estimation of wood removals and fellings in Germany: a calculation approach based on the amount of used roundwood. *Eur J Forest Res* 134(5):869–888
- Joosten H, Gahlert F, Gaudig G, Prager A, Quesada AS, Wichmann S (2010) InnoNet-Verbundprojekt: Torfmooskultivierung auf schwimmfähigen Vegetationsträgern für ein nachhaltiges und umweltfreundliche Torfsubstitut im Erwerbsgartenbau – MOOSFARM, Schlussbericht. Universität Greifswald, Mat.-Nat., Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Greifswald
- Knieling J, Kretschmann N, Zimmermann T (2013) Regionalplanerische Festlegungen zur Anpassung an den Klimawandel. Urban and regional studies working paper 14, Hamburg
- Knoke T (Hrsg) (2012) Forstbetriebsplanung als Entscheidungshilfe. Ulmer, Stuttgart
- Köbbing JF, Groth M, von Oheimb G (2012) Klimaschutz durch Moorrenaturierung. Ansätze zur ökonomischen Bewertung. ibidem-Verlag, Stuttgart
- Kreins P, Gömann H, Herrmann S, Kunkel R, Wendland F (2007) Integrated agricultural and hydrological modeling within an intensive livestock region. *Adv Econ Environ Res* 7:113–142
- Kröger R, Theuvsen L, Robert J, Konerding JR (2014) Güllefeststoffe als Gärsubstrat für Biogasanlagen – Ergebnisse einer empirischen Erhebung unter Biogasanlagenbetreibern. *Berichte über die Landwirtschaft: Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft* 92(3)
- Laggner B, Orthen N, Osterburg B, Röder N (2014) Ist die zunehmende Biogasproduktion die alleinige Ursache für den Grünlandschwund in Deutschland? – eine Analyse von georeferenzierten Daten zur Landnutzung. *Raumforsch Raumordn* 72:195–209
- Landtag Rheinland-Pfalz (2004) Zukunft in Rheinland-Pfalz mit erneuerbaren Energien. Studie zur Weiterentwicklung der energetischen Verwertung von Biomasse in Rheinland-Pfalz (Zusammenfassung). Unterrichtung durch die Landesregierung, Drucksache 14/3397, Mainz. <http://www.landtag.rlp.de/landtag/drucksachen/3397-14.pdf>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2015) Nährstoffbericht in Bezug auf Wirtschaftsdünger für Niedersachsen 2013/2014, Oldenburg
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2014) Nährstoffbericht 2014 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Der Direktor der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster
- Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr NRW (MBWSV) (2014) Urbanes Grün – Konzepte und Instrumente. Leitfaden für Planerinnen und Planer, Düsseldorf
- Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) (2013) Raumordnung und Klimawandel. Umlaufbeschluss, Berlin
- Mühlenhoff J (2013) Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung und Umweltbilanz. Agentur für Erneuerbare Energien e. V., Berlin, *Renews Spezial*, Ausgabe 64/April 2013
- Mund M, Frischbier N, Profft I, Raacke J, Richter F, Ammer C (2015) Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen. *BfN-Skripten* 396:1–168
- Nabuurs G-J, Lindner M, Verkerk PJ, Gunia K, Deda P, Michalak R, Grassi G (2013) First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nat Clim Change* 3(9):792–796
- National Inventory Report (NIR) (2014) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2012. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- Naumann S, Frelih-Larson A (2010) Klimaschutz in der Landwirtschaft. Ziele und Anforderungen zur Senkung von Treibhausgasemissionen. NABU (Hrsg), Berlin
- Nitsch H, Osterburg B, Laggner B, Roggendorf W (2010) Wer schützt das Grünland? Analysen zur Dynamik des Dauergrünlandes und entsprechender Schutzmechanismen. Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung der GEWISOLA „Möglichkeiten und Grenzen der wissenschaftlichen Politik-analyse“. Braunschweig, 29.09.–01.10.2010

- Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hrsg) (2008) Ergebnisse angewandter Forschung zu Buche. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Bd 3. Universitätsverlag, Göttingen
- Oke T (1997) Urban climates and global environmental change. In: Thompson R, Perry A (Hrsg) Applied climatology: principles and practice. Taylor and Francis, London, S 273–287
- Oorts K, Merckx R, Gréhan E, Labreuche J, Nicolardot B (2007) Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil Tillage Res* 95:133–148
- Osterburg B, Nieberg H, Rüter S, Isermeyer F, Haenel HD, Hahne J, Krentler JG, Paulsen HM, Schuchardt F, Schweinle J, Weiland P (2009) Erfassung, Bewertung und Minderung von Treibhausgasemissionen des deutschen Agrar- und Ernährungssektors. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Arbeitsberichte aus der vTI-Agrarökonomie 2009/03. Braunschweig, Hamburg
- Osterburg B, Rüter S, Freibauer A, de Witte T, Elsasser P, Kätsch S, Leischner B, Paulsen HM, Rock J, Röder N, Sanders J, Schweinle J, Steuk J, Stichnothe H, Stümer W, Wolff A (2013) Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 11, Braunschweig
- Paul C, Weber M, Mosandl R (2009) Kohlenstoffbindung junger Aufforstungsflächen (Carbon sequestration in young afforestations). Karl Gayer Institut, Freising
- Pauli B, Stöckli B, Rosset C (2016) Wirtschaftliche Konsequenzen waldbaulicher Strategien zur Bewältigung des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwesen* 167(1):39–48
- Petersen AK, Solberg B (2005) Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy Econ* 7(3):249–259
- Pingoud K, Pohjola J, Valsta L (2010) Assessing the integrated climatic impacts of forestry and wood products. *Silva Fennica* 44(1):155–175
- Poepflau C, Don A, Vesterdal L, Leifeld J, Van Wesemael B, Schumacher J, Gensior A (2011) Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Glob Change Biol* 17:2415–2427
- Pretzsch H (2003) Diversität und Produktivität von Wäldern. *AFJZ* 174(5–6):88–98
- Preuß T (2006) Wege zur Flächenkreislaufwirtschaft. ExWoSt-Forschungsfeld „Fläche im Kreis“ präsentiert Ergebnisse. *Difu-Berichte* 4:12–14
- Preuß T (2010) Flächenmanagement. In: Henckel D, Kuczkowski K, Lau P, Pahl-Weber E, Stellmacher F (Hrsg) Planen – Bauen – Umwelt. Ein Handbuch. VS Verlag, Wiesbaden, S 177–181
- Preuß T, Beißwenger K-D (2007) Kreislaufwirtschaft in der städtischen/stadtregionalen Flächennutzung. Das ExWoSt-Forschungsfeld „Fläche im Kreis“. Werkstatt 51. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn, S 90
- Pude R (2012) Geschätzte Miscanthus-Anbauflächen Deutschland und Europa. <http://www.miscanthus.de/anbauflaeche.html>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Ravindranath NH, Manuvie R, Fragione J, Canadell JG, Berndes G, Woods J, Watson H, Sathaye J (2009) Greenhouse Gas Implications of Land Use and Land Conversion to Biofuel Crops. In: Howarth RW, Bringezu S (Hrsg) Biofuels: environmental consequences and interactions with changing land use. Proceedings of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) International Biofuel Project Rapid Assessment. Cornell University, Ithaca NY, USA, 22–25 September 2008, Gumpersbach, Germany, S 111–125
- Reichardt M, Jürgens C (2009) Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. *Precision Agric* 10:73–94

- Rittel K, Bredow L, Wanka ER, Hokema D, Schuppe G, Wilke T, Nowak D, Heiland S (2014) Grün, natürlich, gesund: Die Potenziale multifunktionaler städtischer Räume. Ergebnisse des gleichnamigen F+E-Vorhabens (FKZ 3511 82 0800). BfN-Skripten, Bonn, S 61, 371
- Röder N, Grützmacher F (2012) Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Mooren – Vermeidungskosten und Anpassungsbedarf. *Natur und Landschaft* 87:56–61
- Röder N, Osterburg B (2012) The impact of map and data resolution on the determination of the agricultural utilisation of organic soils in Germany. *Environ Manage* 49(6):1150–1162
- Rösch C, Dusseldorp M, Mayer R (2005) Precision agriculture. 2. Bericht zum TA-Projekt „Moderne Agrartechniken und Produktionsmethoden – ökonomische und ökologische Potenziale“. TAB-Arbeitsbericht, Berlin, S 106
- Rüter S (2011) Welchen Beitrag leisten Holzprodukte zur CO₂-Bilanz? *AFZ* 66(15):15–18
- Sathre R, O’Connor J (2010) Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environ Sci Policy* 13(2):104–114
- Schäfer A (2009) Moore und Euros – die vergessenen Millionen. *Archiv für Forstwesen und Landschaftsökologie* 43(4):156–160
- Schmid-Egger C, Witt R (2014) Ackerblühstreifen für Wildbienen – Was bringen sie wirklich? *AMPULEX* 6(2014):13–22
- Schuler J, Bues A, Henseler M, Krämer C, Krampe L, Kreins P, Liebersbach H, Osterburg B, Röder N, Uckert G (2014) Instrumente zur Stärkung von Synergien zwischen Natur- und Klimaschutz im Bereich Landwirtschaft. BfN-Skripten. Bonn, Bad Godesberg, S 187
- Schulze ED, Luysaert S, Ciais P, Freibauer A, Janssens IA (2009) Importance of methane and nitrous oxide for Europe’s terrestrial greenhouse-gas balance. *Nat Geosci* 2:842–850
- Six J, Feller C, Denef K, Ogle SM, De Moraes SAJC, Albrecht A (2002) Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755–775
- Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H (2008) Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil Trans R Soc B* 363:789–813
- Sommer K (2005) CULTAN-Düngung. Physiologisch, ökologisch, ökonomisch optimiertes Düngerverfahren für Ackerkulturen, Grünland, Gemüse, Zierpflanzen und Obstgehölze. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen
- Staupendahl K, Möhring B (2011) Integrating natural risks into silvicultural decision models: a survival function approach. *Forest Policy Econ* 13(6):496–502
- Tebrügge J (2003) Konservierende Bodenbearbeitung gestern, heute, morgen – von wendender über nicht wendende Bodenbearbeitung zur Direktsaat. *Landbauforschung Völkenrode* 256(Sonderheft): 49–59
- Thünen-Institut (2012) Dritte Bundeswaldinventur – Ergebnisdatenbank. <https://bwi.info>. Zugegriffen: 19. März 2019
- Tzschupke W (2005) Wie sinnvoll ist die Nadelstarkholzproduktion? *Wald und Holz* 6:31–35
- Umweltbundesamt (UBA) (2013) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2011. *Climate Change* 11/2011. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, S 885
- Waltersbacher M (2015) Wohnungsbau: Großstädte verzeichnen starken Zuwachs. BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung). <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/WohnenImmobilien/Immobilienmarktbeobachtung/ProjekteFachbeitraege/Wohnungsbau/wohnungsbau.html>. Zugegriffen: 13. Febr. 2020
- Weimar H, Jochem D (Hrsg) (2013) Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“, Bd 9. Thünen Report. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg

- Wellbrock N, Grüneberg E, Stümer W, Rüter S, Ziche D, Dunger K, Bolte A (2014) Wälder in Deutschland speichern Kohlenstoff. *AFZ* 69(18):38–39
- Werner F, Taverna R, Hofer P, Thürig E, Kaufmann E (2010) National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environ Sci Policy* 13(1):72–85
- Wichmann S, Wichtmann W (2009) Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsprojekt Energiebiomasse aus Niedermooren (ENIM). Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie
- Wichtmann W, Wichmann S (2011a) Paludikultur: Standortgerechte Bewirtschaftung wiedervernässter Moore. *Paludiculture – site adapted management of re-wetted peatlands. TELMA* 4:215–234
- Wichtmann W, Wichmann S (2011b) Environmental, social and economic aspects of a sustainable biomass production. *J Sustain Energy Environ, Spec Issue*, 77:81
- Wichtmann W, Wichmann S, Tanneberger F (2010) Paludikultur – Nutzung nasser Moore: Perspektiven der energetischen Verwertung von Niedermoorbiomasse. *Naturschutz und Landschaft in Brandenburg* 19:211–218
- Wicke B, Verweij P, Van Meijil H, Van Vuuren DP, Faaij APC (2012) Indirect land use change: review of existing models and strategies for mitigation. *Biofuels* 3:87–100
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2009) Welt im Wandel: Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung. Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU), Berlin
- Wolters S, Tänzler D, Theiler L, Drösler M (2013) Entwicklung von Konzepten für einen nationalen Klimaschutzfonds zur Renaturierung von Mooren, Bd 05/2013. *Climate Change. Umweltbundesamt, Dessau*
- Wördehoff R, Spellmann H, Evers J, Aydin CT, Nagel J (2012) Kohlenstoffstudie Forst und Holz Schleswig-Holstein. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
- Zeller V, Thrän D, Zeymer M, Bürzle B, Adler P, Ponitka J, Postel J, Müller-Langer F, Rönsch S, Gröngroft A, Kirsten C, Weller N, Schenker M, Wedwitschka H, Wagner B, Deumelandt P, Reinicke F, Vetter A, Weiser C, Henneberg K, Wiegmann K (2013) Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. *DBFZ Report Nr. 13, Leipzig*

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Modellgestützte Wirkungsanalysen ausgewählter Maßnahmen und Strategien

4

Sarah Baum, Tobias Conradt, René Dechow, Peter Elsasser, Hermann Englert, Nils Ermisch, Horst Gömann, Roland Goetzke, Pia Gottschalk, Martin Gutsch, Martin Henseler, Jana Hoymann, Margret Köthke, Peter Kreins, Petra Lasch-Born, Felicitas Suckow und Frank Wechsung

Inhaltsverzeichnis

4.1	Konzept der Wirkungsanalysen	145
4.2	Interdisziplinärer Modellverbund	148
4.2.1	Aufbau des Modellverbunds	148
4.2.2	Modellentwicklungen und Simulationskonzepte	150
4.2.2.1	Landnutzungsmodellierung mit dem Land Use Scanner	150
4.2.2.2	Modellierung der landwirtschaftlichen Landnutzung mit RAUMIS	153
4.2.2.3	THG-Modellierung – u. a. MODE	156
4.2.2.4	Entwicklung des Forstbetrieblichen Simulationsmodells FoBeSiMo	159
4.2.2.5	Modellierung der Stoffflüsse im Forst mit 4C	164
4.3	Einordnung der verwendeten Klimaszenarien	165
4.4	Ergebnisse der Siedlungs- und Verkehrsflächenmodellierung	172
4.4.1	Referenzprojektion Flächennutzung	173
4.4.2	Analyse ausgewählter Maßnahmen „Siedlung und Verkehr“	174
4.4.2.1	Stärkung der Innenentwicklung	175
4.4.2.2	Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau	182
4.4.2.3	Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr	184

H. Gömann (✉) · S. Baum · M. Henseler · P. Kreins
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

T. Conradt · P. Gottschalk · M. Gutsch · P. Lasch-Born · F. Suckow · F. Wechsung
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V., Potsdam, Deutschland

© Der/die Autor(en) 2021

H. Gömann und J. Fick (Hrsg.), *Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel*, https://doi.org/10.1007/978-3-658-18671-5_4

143

4.4.2.4	Rückzug aus der Fläche	184
4.4.2.5	Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen.	187
4.4.2.6	Stärkung des ÖPNV	191
4.4.2.7	Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten	195
4.4.2.8	Stärkung des Hochwasserschutzes	197
4.4.2.9	Restriktiver Freiraumschutz	198
4.4.2.10	Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen.	200
4.4.3	Strategien „Siedlung und Verkehr“	202
4.4.3.1	Ergebnisse der Klimaschutzstrategie	202
4.4.3.2	Ergebnisse der Bioenergiestrategie.	210
4.4.3.3	Ergebnisse der Natur- und Umweltschutzstrategie.	210
4.4.3.4	Ergebnisse der Klimaanpassungsstrategie	213
4.5	Ergebnisse der landwirtschaftlichen Flächennutzungsmodellierung.	216
4.5.1	Landwirtschaftliche Referenzprojektion	217
4.5.2	Analyse ausgewählter landwirtschaftlicher Maßnahmen.	220
4.5.2.1	Anpassung der Nutzung organischer Böden.	220
4.5.2.2	Anpassung des Düngemanagements.	222
4.5.2.3	Substitution fossiler Energie durch Bioenergie	225
4.5.2.4	Erhalt und Schaffung von Treibhausgasenken	237
4.5.2.5	Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen.	242
4.5.3	Strategien „Landwirtschaft“	244
4.5.3.1	Ergebnisse der Klimaschutzstrategie	245
4.5.3.2	Ergebnisse der Bioenergiestrategie.	249
4.5.3.3	Ergebnisse der Natur- und Umweltschutzstrategie.	255
4.5.4	Vergleichende Beurteilung der landwirtschaftlichen Strategien	258
4.6	Analyse der forstlichen Landnutzung	262
4.6.1	Forstliche Referenzprojektion	263
4.6.2	Strategien im Bereich „Forstwirtschaft“	267
4.6.2.1	Ausgestaltung der Strategien	267
4.6.2.2	Ergebnisse der forstbetrieblichen Modellierung für die Strategien . . .	269
4.6.2.3	Exkurs: Klimaschutz durch Ausdehnung der Waldfläche und durch Nutzungsverzichte im Wald	275

R. Dechow

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, Deutschland

P. Elsasser · H. Englert · N. Ermisch · M. Köthke

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie, Hamburg-Bergedorf,
Deutschland

R. Goetzke · J. Hoymann

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung, Bonn, Deutschland

4.7	Ergebnisse der Modellierung von Stoffflüssen im Forst	279
4.7.1	Ergebnisse der Referenzprojektion	280
4.7.2	Ergebnisse der Landnutzungsstrategien	283
4.7.2.1	Klimaschutzstrategie	283
4.7.2.2	Bioenergiestrategie	284
4.7.2.3	Natur- und Umweltschutzstrategie	285
4.7.2.4	Klimaanpassungsstrategie	286
4.7.3	Vergleichende Beurteilung der Auswirkungen der Strategien	288

4.1 Konzept der Wirkungsanalysen

Horst Gömann

Zusammenfassung

Im Dialog mit Akteuren der Landnutzung wurden die Leit motive Klimaschutz, Bioenergieerzeugung, Umwelt- und Naturschutz und Klimaanpassung herausgearbeitet. Diese werden in Landnutzungsstrategien untersucht und die möglichen Beiträge dieser Landnutzungsstrategien zu gesellschaftlichen Zielen geprüft. In der Strategie „Klimaschutz“ wird ermittelt, welchen Beitrag die Landnutzung zur Erreichung des Zieles leisten kann. Die Strategie „Bioenergie“ bündelt unterschiedliche Maßnahmen der Landnutzung, die die Produktion von Biomasse zur energetischen Verwendung steigern, um einen möglichst großen Beitrag zur Reduktion von THG-Emissionen sowie zur Erreichung des Erneuerbare-Energien-Ziels zu leisten. Die Strategie „Natur- und Umweltschutz“ fasst Maßnahmen der Landnutzung zur Reduzierung von THG-Emissionen bzw. zur Bindung von CO₂ zusammen und die Strategie „Klimaanpassung“ orientiert sich an der 2008 durch die Bundesregierung verabschiedeten Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel. Die Wirkungen der ausgewählten Maßnahmen und Landnutzungsstrategien wurden mit Hilfe des Modellverbundes im Rahmen eines komparativ-statischen Vergleichs untersucht.

In Kap. 3 wurden zahlreiche Maßnahmen der Landnutzung beschrieben, die einen Beitrag zum Klimaschutz leisten können. Es wurde darauf eingegangen, inwiefern sie im Rahmen des interdisziplinären Modellverbundes abgebildet sind oder sich durch eine Weiterentwicklung der Modelle abbilden lassen. Bei letzterem war stets der Aufwand für die Modellweiterentwicklung im Verhältnis zum erwarteten Minderungspotenzial der THG-Emissionen abzuwägen. In der Regel adressieren sie nicht nur den Klimaschutz, sondern darüber hinaus weitere Ökosystemdienstleistungen. Aus diesem Abwägungsprozess resultiert eine Auswahl von Maßnahmen, die einen mehr oder minder ausgeprägten Beitrag zum Klimaschutz leisten. Je nach Schwerpunkt der Maßnahmen lassen sie sich unterschiedlichen gesellschaftlichen Ansprüchen an Landnutzung zuordnen.

Tab. 4.1 Übersicht zur Zielausrichtung der untersuchten Strategien in CC-LandStraD. (Quelle: Fick et al. 2016)

Strategie	Ziel(e)
Klimaschutz	Effiziente Emissionsreduktion/-bindung von CO ₂ -Äquivalenten durch Landnutzung
Bioenergie	Erreichung der Bioenergieziele der Bundesregierung mit Abschätzung der Emissionsreduktion/-bindung von CO ₂ -Äquivalenten
Natur- und Umweltschutz	Umsetzung der WRRL, EU-Flächenstilllegung, Biodiversitätsstrategie mit Abschätzung der Emissionsreduktion/-bindung von CO ₂ -Äquivalenten
Klimaanpassung	Reduzierung von klimawandelbedingten Risiken für die Landnutzung; Zusätzliche Anstrengungen, die über die normale, kontinuierliche Anpassung (z. B. technischer Fortschritt, Sortenwahl) hinausgehen

Im Rahmen des transdisziplinären Prozesses wurden folgende Leitmotive der Landnutzung herausgearbeitet: Klimaschutz, Bioenergieerzeugung, Umwelt- und Naturschutz und Klimaanpassung. Diesen Leitmotiven wurden verschiedene Maßnahmen zu Maßnahmenbündeln zugeordnet, die nachfolgend als Landnutzungsstrategien bezeichnet werden. Es werden die möglichen Beiträge dieser Landnutzungsstrategien zu gesellschaftlichen Zielen untersucht, die von der Summe der jeweils einzelnen Maßnahmenbeiträge abweichen. Einen Überblick über die Landnutzungsstrategien und deren Ziele ist in Tab. 4.1 zusammengestellt. Die einzelnen Landnutzungsstrategien haben in den betrachteten landnutzenden Sektoren eine unterschiedliche Bedeutung.

In der **Strategie „Klimaschutz“** wird untersucht, welchen Beitrag die Landnutzung zur Erreichung des Zieles leisten kann. Es werden Maßnahmen gebündelt, die bei möglichst geringen Kosten möglichst viele CO₂-Äquivalente reduzieren bzw. binden.

Die **Strategie „Bioenergie“** bündelt unterschiedliche Maßnahmen der Landnutzung, die die Produktion von Biomasse zur energetischen Verwendung steigern, um einen möglichst großen Beitrag zur Reduktion von THG-Emissionen sowie zur Erreichung des Erneuerbare-Energien-Ziels zu leisten. Hierunter fällt beispielsweise der Einsatz alternativer Energiepflanzen in Form von Kurzumtriebsplantagen oder der Durchwachsenen Silphie. Derzeit bestehen folgende Verpflichtungen (BMELV und BMU 2010):

- Anteil der Biomasse zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2030: etwa 12 %¹,
- Anteil der Biomasse zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020: 9,7 %,
- Biokraftstoffanteil am Kraftstoffmarkt bis 2020: 7 % der gesamten durch den Verkehr verursachten Emissionen einsparen.

¹Ergibt sich aus der Vorgabe, dass 2020 die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 35 % beträgt, mit einem Anteil von 8 % aus Biomasse. Darüber hinaus gibt es das Ziel, bis 2030 die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland auf 50 % zu erhöhen. Daraus ergibt sich im Verhältnis der Anteil zur Stromerzeugung aus Biomasse von 12 %.

Im Siedlungsbereich wird die Bioenergiestrategie nicht mit eigenen flächenrelevanten Maßnahmen ausgestaltet. Allerdings können einzelne Bestandteile der in Abschn. 3.1 vorgestellten und in Abschn. 4.4 analysierten Maßnahmen einen Beitrag zur Bioenergiestrategie leisten, beispielsweise dadurch, dass sie durch die Verringerung des Siedlungsdrucks auf die Landwirtschaftsfläche die dortigen Nutzungskonflikte reduzieren.

Die **Strategie „Natur- und Umweltschutz“** bündelt Maßnahmen der Landnutzung zur Reduzierung von THG-Emissionen bzw. zur Bindung von CO₂. Besondere Beachtung finden Belange des Natur- und Umweltschutzes, beispielsweise mittels einer möglichst hohen CO₂-Bindung im Wald unter Berücksichtigung der Potenziellen Natürlichen Vegetation (PNV), oder der Reduzierung von CO₂-Äquivalenten durch die angepasste Nutzung organischer Böden.

Die **Strategie „Klimaanpassung“** orientiert sich an der 2008 durch die Bundesregierung verabschiedeten Deutschen Anpassungsstrategie (DAS) an den Klimawandel. Damit soll mittels bundesweitem Handlungsrahmen Risiken aufgrund des Klimawandels vorgebeugt werden. Es werden Risiken für die Bevölkerung, für natürliche Lebensräume und die Volkswirtschaft benannt. Spezifiziert wird die Deutsche Anpassungsstrategie im Aktionsplan Anpassung (BMU 2012). Im Agrarsektor findet die Klimaanpassungsstrategie nur eingeschränkt Anwendung. Hier wird davon ausgegangen, dass aufgrund der überwiegend jährlichen Bewirtschaftungszyklen kontinuierlich Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden, wie z. B. ein Wechsel der Anbauverfahren oder die Sortenwahl. Ein solches Vorgehen ist für die Forstwirtschaft als auch für das Siedlungswesen und die Verkehrsinfrastruktur aufgrund der langfristigen Produktions- bzw. Planungs-/Investitionshorizonte nicht möglich. Hier gilt es, vorausschauende Entscheidungen zur Klimaanpassung zu ergreifen, wie z. B. Überschwemmungsgebiete für den Hochwasserschutz auszuweisen oder Frischluftschneisen in Städten anzulegen oder zu erhalten. Von derartigen Maßnahmen wäre wiederum auch die Landwirtschaft betroffen, da für die Umsetzung der Maßnahmen in der Regel landwirtschaftlich genutzte Flächen benötigt werden.

Die Wirkungen der ausgewählten Maßnahmen und Landnutzungsstrategien wurden mit Hilfe des Modellverbundes im Rahmen eines komparativ-statischen Vergleichs untersucht. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine Referenzprojektion bis zum Zieljahr 2030 modellgestützt projiziert. Diese basiert auf der Fortschreibung beobachteter Entwicklungen sowie zukünftig absehbarer bzw. zu erwartender Rahmenbedingungen. Die Referenzprojektion wurde über die betrachteten landnutzenden Sektoren abgestimmt und beinhaltet Ergebnisse von Projektionen globaler Entwicklungen aus dem Verbundvorhaben GLUES u. a. mit den Modellen DART und CAPRI (Delzeit et al. 2016). Die Ergebnisse der Referenzprojektion werden jeweils in den folgenden Abschnitten zu den einzelnen landnutzenden Sektoren Siedlung und Verkehr sowie Landwirtschaft und Wald dargestellt, damit ein unmittelbarer Bezug zu den Änderungen besteht, die die Landnutzungsmaßnahmen und -strategien bewirken.

Neben den vier Landnutzungsstrategien wird die Referenzprojektion bei den forstlichen Analysen mit zwei **Klimaszenarien** kombiniert und die Ergebnisse untereinander verglichen: dem Klima-Referenzprojektion (OK), welches keine Temperaturerhöhung ab 2007 vorschreibt, und dem Klima-Standardszenario RCP 8.5-ECHAM6, welches eine Temperaturerhöhung um 4,23°K im Mittel für Deutschland projiziert (vgl. Abb. 4.5).

4.2 Interdisziplinärer Modellverbund

Horst Gömann, René Dechow, Nils Ermisch, Roland Goetzke, Martin Henseler, Jana Hoymann und Peter Kreins

Zusammenfassung

Mit Hilfe eines interdisziplinären Modellverbundes werden die Wirkungen der ausgewählten Maßnahmen und Landnutzungsstrategien in einem komparativ-statischen Vergleich betrachtet. Das Modell STAR (Statistical Regional Climate Model) regionalisiert Simulationsergebnisse globaler Klimamodelle auf der Basis von Trendinformationen und vorliegenden Beobachtungsdaten von Klimastationen. Die Klimadaten werden von den bio-physikalischen Prozessmodellen für THG-Emissionen (MODE) und den prozessbasierten Waldwachstumsmodellen (4C und SILVA) als Eingangsgrößen verwendet. Das Modell Land Use Scanner (LUS) nutzt regionale Raumansprüche und simuliert die Veränderung von Landnutzung und Landbedeckung. Die verfügbare landwirtschaftliche Fläche und Forstfläche bilden Eingangsgrößen für die Agrar- und Forstmodelle RAUMIS, FoBeSiMo sowie 4C. Das Regionalisierte Agrar- und UmweltInformationssystem (RAUMIS) simuliert die regionalen Anpassungen der landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion sowie Auswirkungen auf Einkommen und Umweltindikatoren auf regionaler Ebene. Das Forstbetriebliches Simulationsmodell (FoBeSiMo) bildet forstliche Modellbetriebe mit ihren regionalspezifischen forstlichen Produktionsbedingungen und verschiedener Bewirtschaftungsstrategien ab.

Ein verbindendes Element der landnutzenden Sektoren Siedlung und Verkehr sowie Landwirtschaft und Wald ist der begrenzte Faktor „Fläche“. Darüber hinaus bestehen mit Blick auf die Wechselwirkungen zwischen Klima und Landnutzung, den jeweiligen Planungshorizonten von Landnutzungsmaßnahmen sowie der modellhaften Abbildung dieser Sektoren beträchtliche Unterschiede, die bei den Wirkungsanalysen zu berücksichtigen sind. Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über den Verbund interdisziplinärer Modelle gegeben.

4.2.1 Aufbau des Modellverbunds

Horst Gömann

Der Aufbau des Verbundes interdisziplinärer Modelle ist schematisch in Abb. 4.1 dargestellt. Das Modell STAR (Statistical Regional Climate Model; Orłowsky et al. 2008) regionalisiert Simulationsergebnisse globaler Klimamodelle auf der Basis von Trendinformationen und vorliegenden Beobachtungsdaten von Klimastationen. Die Klimadaten werden von den bio-physikalischen Prozessmodellen für THG-Emissionen (MODE) und den prozessbasierten Waldwachstumsmodellen (4C und SILVA) als Eingangsgrößen genutzt.

Das Modell Land Use Scanner (LUS) (Hilferink und Rietveld 1999) nutzt regionale Raumansprüche, die aus verschiedenen sektoralen Langfristprognosen entnommen

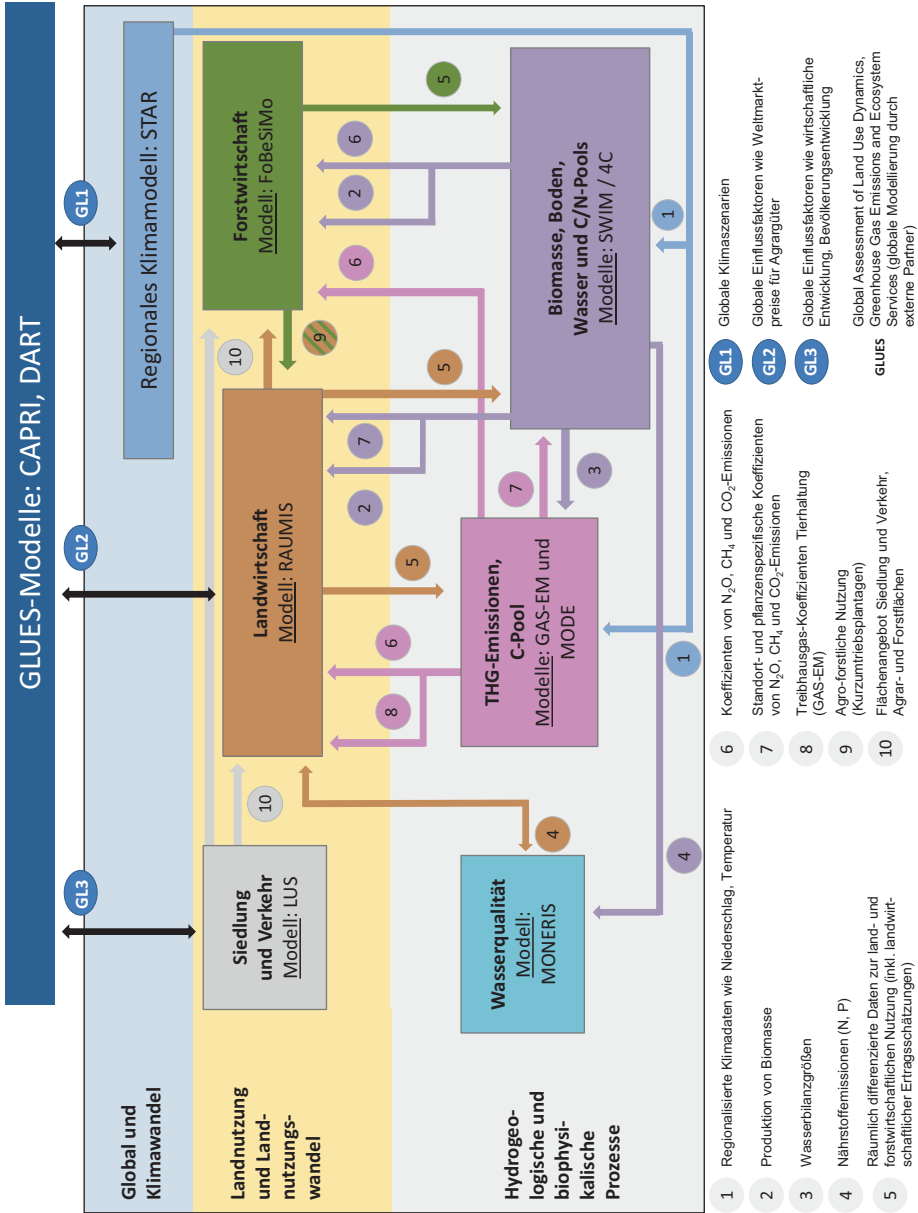


Abb. 4.1 Schematische Darstellung des Verbundes interdisziplinärer Modelle

werden und simuliert die Veränderung von Landnutzung und Landbedeckung. Die verfügbare landwirtschaftliche Fläche und Forstfläche bilden Eingangsgrößen für die Agrar- und Forstmodelle RAUMIS, FoBeSiMo sowie 4C.

Das Regionalisierte Agrar- und UmweltInformationsSystem (RAUMIS) (Henrichsmeyer et al. 1996) simuliert die regionalen Anpassungen der landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion sowie Auswirkungen auf Einkommen und Umweltindikatoren auf regionaler Ebene (Landkreise). Als Umweltindikatoren werden beispielsweise Nährstoffbilanzüberschüsse und THG-Emissionen ermittelt. Die Ergebnisse von RAUMIS werden ebenfalls zur Abschätzung der Auswirkungen auf die Biodiversität und bei der sozioökonomischen Evaluierung verwendet.

Das Forstbetriebliches Simulationsmodell (FoBeSiMo) simuliert forstliche Modellbetriebe mit ihren regionalspezifischen forstlichen Produktionsbedingungen und simuliert auf dieser Basis verschiedene forstliche Bewirtschaftungsstrategien. Unter Verwendung von empirischen Kennzahlen und Wirkungszusammenhängen werden Aussagen zum Marktverhalten deutscher Forstbetriebe unter sich ändernden Produktionsbedingungen gemacht. Die dafür notwendigen Klima-Eingangsdaten werden vom Modell C4 zur Verfügung gestellt. Über Informationen der agro-forstlichen Produktionsaktivitäten steht es im Austausch mit dem landwirtschaftlichen Modell RAUMIS.

Das Modell 4C (FORESt Ecosystems in a changing Environment) ist ein physiologisch basiertes Waldwachstumsmodell, das die Etablierung, das Wachstum und die Mortalität von Baumkohorten beschreibt (Lasch et al. 2005). Ergebnisparameter werden mit dem Modell FoBeSiMo ausgetauscht.

Das Modell MODE (Model Ensemble of fuzzy inference schemes) berechnet direkte N_2O - und CH_4 - Emissionen aus Böden, in Abhängigkeit von saisonalen Witterungsbedingungen, Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungseinflüssen. Es dient der THG-Bilanzierung (Regionalisierung) und der Untersuchung natürlicher und anthropogener Einflüsse auf bodenbürtige N_2O - und CH_4 -Emissionen. Weiterhin liefert MODE Emissionsinformationen an RAUMIS und FoBeSiMo.

GAS-EM ist ein modulares Tabellenkalkulationsprogramm zur Berechnung gasförmiger und partikelförmiger Emissionen aus Tierhaltung und Pflanzenbau in der Landwirtschaft. Es berücksichtigt die C-, N- und Energieflüsse in Tierhaltungs- und Wirtschaftsdünger-Managementssystemen. Es liefert weitere Emissionsinformationen an RAUMIS.

4.2.2 Modellentwicklungen und Simulationskonzepte

Horst Gömann

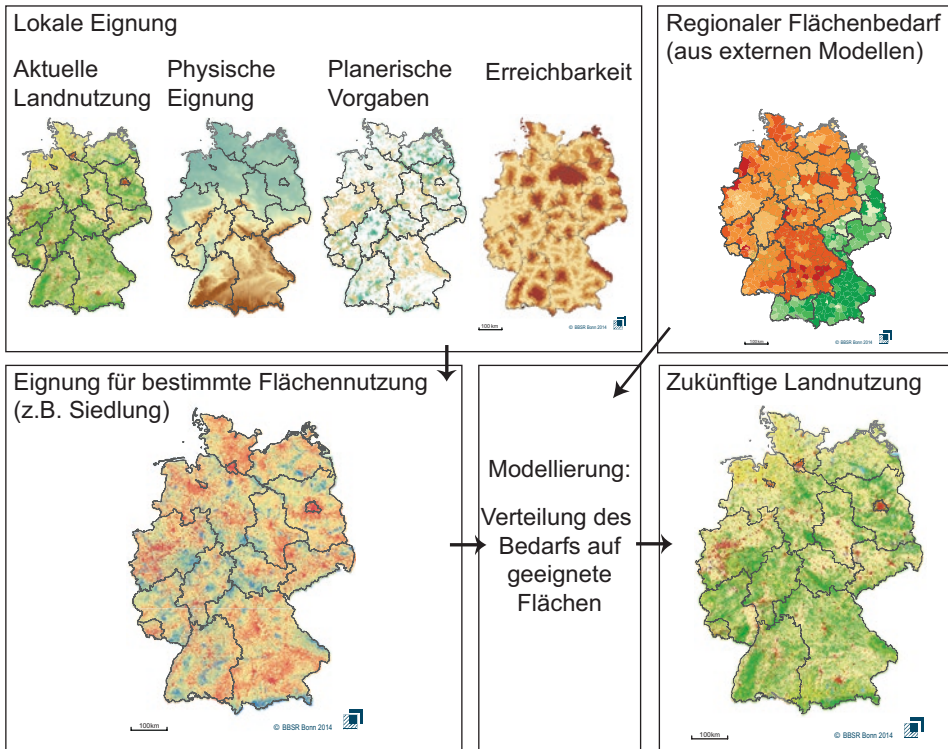
4.2.2.1 Landnutzungsmodellierung mit dem Land Use Scanner

Roland Goetzke und Jana Hoymann

Für die Entwicklung des Landnutzungsszenarios 2030 für Deutschland wird das GIS-basierte Simulationsmodell Land Use Scanner (LUS) verwendet (Hilferink und Rietveld 1999; Koomen et al. 2011). Das Modell wurde 1997 an der Vrije Universiteit

Amsterdam entwickelt und seitdem weiterentwickelt. Es wird insbesondere in den Niederlanden bei der Beantwortung zahlreicher politikrelevanter Fragestellungen angewendet (Scholten et al. 1999; Schotten et al. 2001; Koomen et al. 2008; Jacobs et al. 2011). In abgewandelter Form wird es derzeit auf europäischer Ebene genutzt, um Auswirkungen politischer Entscheidungen zu analysieren (Lavallo et al. 2011). Für die hier vorliegende Modellierung von Landnutzungsänderungen in Deutschland wurde der LUS technisch angepasst, um die gestellten Anforderungen hinsichtlich der verwendeten Daten und der Implementierung unterschiedlicher Landnutzungsstrategien zu erfüllen.

Der LUS ist ein operationelles, räumlich explizit arbeitendes Modell, welches mit einem Optimierungsalgorithmus die Nachfrage nach Fläche auf dafür geeignete Rasterzellen verteilt (Abb. 4.2). Die Nachfrage wird in externen Modellen für Regionen, z. B. Landkreise, bestimmt. Die Identifikation geeigneter Rasterzellen geschieht mit Hilfe von Eignungskarten, in denen Standortfaktoren wie aktuelle Landnutzung, physische



Datenbasis: Laufende Raumbeobachtung des BBSR, Corine Land Cover 2006, DGM: NASA 2000, Schutzgebiete: BfN 2011; Geometrische Grundlage: BKG 31.12.2008

Abb. 4.2 Funktionsprinzip des Land Use Scanners

Gegebenheiten, planerische Festlegungen oder Erreichbarkeit von Infrastrukturen zusammengefasst werden. Die einzelnen Landnutzungsarten stehen dabei in Konkurrenz zueinander.

Das Modell hat einige grundlegende Eigenschaften: Es arbeitet rasterbasiert mit einer Auflösung von derzeit 100×100 m. In das Modell kann eine beliebige Anzahl Landnutzungsarten, in Abhängigkeit von der zur Verfügung stehenden Datenbasis, integriert werden. Damit betrachtet es nicht ausschließlich urbane Landnutzungen. Im LUS wird jeder Rasterzelle genau eine Landnutzung zugeordnet. Die Ergebnisse des Modells sind bei gleicher Parametereinstellung reproduzierbar. Festgesetzte Planungen können im LUS integriert und bei der Simulation berücksichtigt werden. Zudem liefert das Modell Ergebnisse für aufeinanderfolgende Zeitschritte. In der hier genutzten Version wird für jeden 5-Jahres-Zeitraum eine Landnutzungskarte erzeugt. Der Allokationsalgorithmus optimiert die Verortung der Landnutzungsarten so, dass die Summe der Eignungswerte der von Landnutzungswandel betroffenen Zellen maximiert wird. Drei Randbedingungen müssen dabei erfüllt werden (Koomen et al. 2011, S. 14 ff.):

- Die Fläche, die in einer Zelle verortet wird, darf nicht negativ sein,
- es kann nur 1 ha Fläche pro Zelle verortet werden und
- der Flächenanteil einer Landnutzungsart, die in einer Region verortet wird, muss zwischen dem angegebenen minimalen und maximalen Raumanspruch der Nachfrage nach dieser Landnutzungsart liegen. Eine mathematische Formulierung dieses Allokationsalgorithmus ist in Koomen et al. (2011, S. 14 ff.) zu finden.

Die Nachfrage nach Siedlungs- und Verkehrsfläche wird in einem externen Modell berechnet. Hierfür wurde das umweltökonomische Modell Panta Rhei Regio (PRR) verwendet (BMVBS 2011), um die Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr bis 2030 zu projizieren. Dies geschieht differenziert nach Nutzungsarten auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte. Dabei schätzt das Modell die Flächenentwicklung ökonomisch anhand vergangener Flächentrends und sozioökonomischer Entwicklungen. Die Ergebnisse dieser Projektion werden ausführlich in Hoymann und Goetzke (2014) vorgestellt.

Das Ziel der Modellierung mit dem LUS ist es, das räumliche Muster künftiger Flächeninanspruchnahme auch unterhalb der Aggregationsstufe Landkreis und kreisfreie Stadt abzubilden und zu analysieren. Hierfür wird die auf Kreisebene vorliegende Siedlungs- und Verkehrsflächenprojektion auf einen flächenscharfen Landnutzungsdatensatz übertragen. Als Grundlage für ein solches räumliches Simulationsmodell ist ein Datensatz notwendig, der die Flächennutzung in Deutschland räumlich möglichst detailliert repräsentiert. Ein Überblick und Vergleich aktueller Daten wurde von Hoymann (2013) vorgenommen. Im vorgestellten Szenario wird ein kombinierter Datensatz aus dem Landbedeckungsmodell Deutschlands (LBM-DE) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) und dem Copernicus Urban Atlas verwendet, der zudem durch Informationen aus dem ATKIS Basis-DLM ergänzt wurde. Durch die Kombination dieser

Datensätze wurde eine optimale räumliche und thematische Repräsentation der Flächennutzung erreicht, die jeweils mit den einzelnen Datensätzen nicht möglich gewesen wäre. Ein ähnliches Verfahren zur Erstellung eines verfeinerten Landnutzungsdatensatzes auf europäischer Skala ist bei Batista e Silva et al. (2013) dokumentiert.² Das Aggregieren der großmaßstäbigen Informationen aus LBM-DE und Urban Atlas auf 1 ha-Rasterzellen führt dazu, dass kleine und linienhafte Elemente in diesem Datensatz unterschätzt werden. So ist der Anteil der Verkehrsflächen im kombinierten Landnutzungsdatensatz kleiner als in der Flächenstatistik, die im Modell PRR verwendet wurde. Ein bedeutender Teil der Verkehrsflächen entfällt nach dem Aggregieren auf die anderen (flächenhaften) urbanen und landwirtschaftlichen Landnutzungsklassen. Dies muss bei der Interpretation der Ergebnisse und Übergabe an die Modelle RAUMIS sowie FoBeSiMo berücksichtigt werden.

In die Eignungskarten fließen neben der Flächennutzung zahlreiche weitere räumliche Informationen ein, die einen potenziellen Einfluss auf die zukünftige Änderung der Flächennutzung haben. Dazu zählen Daten zu Geomorphologie, Erreichbarkeit von verkehrlicher und sozialer Infrastruktur oder planerische Vorgaben aus Regionalplänen und Fachplanungen (vgl. Abb. 4.2). Die Eingangsdaten und die Methodik zur Berechnung der Eignungskarten werden detailliert in Hoymann und Goetzke (2014) beschrieben.

Alle räumlichen Einzelinformationen werden gewichtet und in jeweils einer Eignungskarte für jede zu modellierende Landnutzungsart zusammengefasst. Auf diese Weise liegen dem Landnutzungsmodell für jede Rasterzelle Informationen zur lokalen Eignung für jede Landnutzungsart vor. Landnutzungsänderungen werden vom LUS überall dort vorgenommen, wo eine andere Landnutzung stärker „geeignet“ ist als die derzeit vorhandene, die entsprechende regionale Nachfrage gegeben ist und bestimmte andere im Modell definierte Regeln zutreffen. Dieses Regelwerk beinhaltet Parameter, die bestimmen, ob sich die modellinterne „Investition“ zur Aktivierung einer Fläche für eine neue Nutzung lohnt und nach welchem Zeitraum sich diese amortisiert. So wird ein Wald erst nach vielen Jahrzehnten Gewinn abwerfen und dementsprechend nicht schon nach wenigen Jahren für eine neue Landnutzung in Betracht gezogen. Ebenso sind Siedlungs- und Verkehrsflächen sehr persistent, da ihr Bau mit hohen Investitionskosten verbunden ist.

4.2.2.2 Modellierung der landwirtschaftlichen Landnutzung mit RAUMIS

Martin Henseler, Horst Gömann und Peter Kreins

Das Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für Deutschland (RAUMIS) ist ein agrarökonomisches Optimierungsmodell, das die landwirtschaftliche Produktion, Einkommen und Umweltwirkungen in Deutschland auf regionaler Ebene abbildet. RAUMIS umfasst den gesamten Pflanzenbau (z. B. Marktfrüchte, Futterpflanzen,

²Dort wurde als Datenbasis der europaweit einheitliche, aber in seiner räumlichen Ausprägung weniger detaillierte CORINE Land Cover Datensatz verwendet.

Grünland und Energiepflanzen) sowie die Tierhaltung. Das Modell wurde in den 1990er-Jahren entwickelt und seitdem für die Politikberatung und Forschungsaufgaben verwendet und weiterentwickelt. RAUMIS wird insbesondere zur modellgestützten Politikfolgenabschätzung der Agrar- und Umweltpolitik auf die landwirtschaftliche Produktion, Landnutzung, Einkommen sowie Umweltwirkungen eingesetzt.

Sogenannte Regionshöfe repräsentieren die landwirtschaftliche Produktion auf der Ebene von Landkreisen. Die Regionshöfe umfassen sämtliche Produktionsverfahren und -faktoren der Landkreise und verfolgen das Ziel der Gewinnmaximierung. Gewinnmaximierung wird im Rahmen eines linearen Programmierungsansatzes abgebildet, der sämtliche landwirtschaftliche Produktionsverfahren umfasst. Im Zuge der Kalibrierung der Produktionsumfänge auf ein Basisjahr und Anwendung der Methode der Positiven Mathematischen Programmierung (PMP; Cypris 2000) wird eine nichtlineare Zielfunktion abgeleitet, durch die im Wesentlichen steigende Grenzkosten der Substitution zwischen den Produktionsverfahren simuliert werden. Bei sich ändernden politischen und/oder ökonomischen Rahmenbedingungen passen die Regionshöfe entsprechend der nichtlinearen Zielfunktion ihr Produktionsprogramm an, um ihren Gewinn unter den neuen Rahmenbedingungen zu maximieren. Ausgehend vom Basisjahr wird die landwirtschaftliche Produktion für ein Zieljahr projiziert, das als Referenzprojektion für komparative statische Analysen dient (vgl. Henrichsmeyer et al. 1996).

Die RAUMIS-Modelldatenbasis ist konsistent mit der Landwirtschaftlichen Gesamtrechnung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und den praxisüblichen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren nach Anbauempfehlungen, z. B. des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Die Produktionsumfänge und Erträge basieren auf den Regionalstatistiken der Landkreise und Gemeinden der Statistischen Landesämter und repräsentieren somit die regionalspezifischen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren und -ausrichtungen (vgl. Weingarten 1995; Henrichsmeyer et al. 1996; Cypris und Kreins 1998; Cypris 2000).

Ursprünglich adressierte RAUMIS im Bereich der Politikfolgenabschätzung vorwiegend die Auswirkungen und Bewertung der Instrumente der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) und deren Reformen: die Entkoppelung von Produktionsprämien, die Einführung und Reformen von Agrar- und Umweltprogrammen und Reformen der Marktordnungen (z. B. die Produktionsquoten von Zucker, Milch). Auch waren die Entwicklung der Agrarmärkte (z. B. Preiswirkungen) sowie der Einfluss des globalen Wandels auf die Agrarmärkte von Interesse (vgl. Bertelsmeier et al. 2002; Kreins et al. 2002; Gömann et al. 2003; Isermeyer et al. 2006; Kreins und Gömann 2008; Offermann et al. 2016).

Im Bereich „Umweltwirkungen“ wurde RAUMIS bisher im Wesentlichen in zwei Forschungsschwerpunkten eingesetzt: zur Analyse von Pflanzenschutzmittelanwendungen (vgl. Gömann et al. 2002; Sieber 2003; Julius et al. 2003; Sieber et al. 2010) und zur Quantifizierung landwirtschaftlicher Nährstoffeinträge und ihrer Umweltwirkungen in Bezug auf die Gewässerqualität. Im Forschungsbereich „Nährstoffe und Gewässerschutz“ wurden im Rahmen von mehreren interdisziplinären Verbundprojekten Schnittstellen zu

hydrologischen Modellen entwickelt (vgl. Weingarten und Kreins 2003; Gömann et al. 2004, 2011; Kunkel et al. 2005; Hirt et al. 2008; Kuhn et al. 2008; Tetzlaff et al. 2007, 2008; Wendland et al. 2009; Kuhr et al. 2013).

Zur Analyse der Auswirkungen der Förderung erneuerbarer Energien und dem zunehmenden Anbau von Silomais als nachwachsendem Rohstoff zur Erzeugung von Biogas wurde RAUMIS um das Verfahren Energiemais erweitert (vgl. Gömann et al. 2007a, b, 2010; Gömann und Kreins 2012).

Im Bereich der THG-Bilanzierung liefert RAUMIS die Aktivitätsdaten zur Berechnung der Emissionen aus der landwirtschaftlichen Pflanzen- und Tierproduktion, die in der THG-Emissionsberichterstattung ausgewiesen werden (vgl. Rösemann et al. 2015; Haenel et al. 2016).

Zur Anwendung auf die Fragestellungen des Projekts CC-LandStraD und zur Implementierung in dessen Modellverbund wurde RAUMIS um verschiedene Aktivitäten und Indikatoren erweitert. Der Bereich Politikfolgenabschätzung wurde um die Simulation von Politikinstrumenten zur THG-Emissionsvermeidung erweitert. Die Maßnahme der Emissionssteuern wurde in RAUMIS implementiert und gibt als Klimavermeidungspolitik einen Anreiz, Mitigationsmaßnahmen umzusetzen (vgl. Schuler et al. 2014; Röder et al. 2015). Im Bereich Umweltwirkungen wurde RAUMIS um die Indikatoren der Stickstoffflächenbilanz und des Stickstoffgehalts im Sickerwasser erweitert. Beide Umweltindikatoren ermöglichen die Analyse der Umweltwirkung von Klimaschutzpolitik auf die Gewässerqualität. Des Weiteren wurde die Wiedervernässung von landwirtschaftlich genutzten organischen Böden als Aktivität zur Reduzierung von THG-Emissionen modelliert (vgl. Schuler et al. 2014; Röder et al. 2015).

Der Bereich „Erneuerbare Energien“ wurde um die Aktivitäten der Paludikultur (Schilfanbau auf Nieder- und Anmoorstandorten außerhalb der Schutzgebietskulisse) als alternative Biogassubstratpflanze erweitert (vgl. Schuler et al. 2014; Röder et al. 2015). Als weitere Produktionsaktivität für erneuerbare Energien wurde der Anbau von Kurzumtriebsgehölzen in RAUMIS implementiert (vgl. Henseler et al. 2015; Röder et al. 2015).

Im Bereich „THG-Bilanzierung“ wurde RAUMIS um mehrere Indikatoren erweitert. Diese sind Modellschnittstellen zu Emissionsmodellen und ermöglichen die Simulation von THG-Emissionen aus landwirtschaftlicher Produktion. Die THG-Emissionen sind regional und nach Bodentyp (Mineralböden, organische Böden) differenziert. Des Weiteren werden THG-Emissionen aus der Tierhaltung abgebildet (vgl. Henseler und Dechow 2014; Röder et al. 2015).

Im CC-LandStraD-Modellverbund nimmt RAUMIS durch die Schnittstellen zu fast allen Teilmodellen eine zentrale Position ein. Über die Modellschnittstellen zu CAPRI, Land Use Scanner und FoBeSiMo erhält RAUMIS die Informationen zu Entwicklungen der Agrarpreise und Landnutzungsänderungen durch Siedlung, Verkehr und Forst. Über die anderen Teilmodelle erhält RAUMIS die Daten für biophysikalische Prozesse (z. B. zur THG-Emissionsberechnung aus Böden von MODE und aus der Tierhaltung von GAS-EM).

Durch die Erweiterungen um neue Aktivitäten und Indikatoren sowie die Kopplung zu den CC-LandStraD-Teilmodellen werden verschiedene Einzelmaßnahmen sowie Strategien simuliert. Die Modellergebnisse werden regional und für gesamt Deutschland ausgewiesen und analysiert. Somit ermöglicht RAUMIS eine differenzierte Analyse der Auswirkungen simulierter Klimaschutzmaßnahmen auf die landwirtschaftliche Produktion, Einkommen, Umwelt einschließlich der Höhe der THG-Emissionen.

4.2.2.3 THG-Modellierung – u. a. MODE

René Dechow

Lachgas-Emissionen mineralischer Böden

Landnutzungsbedingte THG-Emissionen werden im Rahmen der Klimaberichterstattung durch Emissionsfaktoren beschrieben. Dies gilt für direkte Lachgas-Emissionen mineralischer Böden als auch für THG-Emissionen organischer Böden. Beide Quellen zusammengenommen machen etwa 90 % landnutzungsbedingter THG-Emissionen Deutschlands aus. Emissionsfaktoransätze basieren auf der Multiplikation von Emissionsfaktoren mit den jeweiligen Aktivitätsdaten der Produktionsverfahren.

Im Fall direkter Lachgas-Emissionen mineralischer Böden sind die Aktivitätsdaten die Quellen reaktiven Stickstoffs, der den Agrarökosystemen durch Düngung, Pflanzenresiduen, Stickstofffixierung und Mineralisierung des Bodenhumus hinzugefügt wird. Der Emissionsfaktor ist eine Proportionalitätskonstante, die das Verhältnis von zugeführtem reaktiven Stickstoff und der Lachgas-Emission beschreibt. Aktuell basiert die Berichterstattung auf dem TIER 1 Ansatz, das heißt, die hier verwendeten Emissionsfaktoren wurden anhand weltweiter Messwertdatensätze ermittelt und sind im Rahmen der Klimaberichterstattung in allen Staaten anwendbar, die im Rahmen internationaler Abkommen (Kyoto-Protokoll, UNFCCC) Treibhausgasinventare erstellen. Der Emissionsfaktor für die Bildung direkter THG-Emissionen aus mineralischer und organischer Düngung beträgt beispielsweise 1 %, was bedeutet, dass weltweit etwa 1 % des über Düngung zugeführten Stickstoffs in Agroökosystemen als Lachgas emittiert wird.

Der Tier 1 Ansatz vernachlässigt die regionalspezifischen Bedingungen, die zum Beispiel bei der Bildung von Lachgas in Böden eine bedeutende Rolle spielen. Im Fall von direkten Lachgas-Emissionen ist bekannt, dass diese durch mikrobielle Stoffumsätze in Böden gebildet werden. Ein wichtiger Reaktionspfad ist die Denitrifikation, bei der Nitrat zu atmosphärischen Stickstoff reduziert wird und Lachgas als Zwischenprodukt entsteht. Mikroorganismen kompensieren Sauerstoffmangel über die Denitrifikation, diese ist deshalb vor allem dann zu beobachten, wenn hohe Wassergehalte im Boden den Gasaustausch zwischen Bodenporenraum und Atmosphäre behindern. Ebenso kann eine verstärkte Bodenatmung durch Zugabe leicht abbaubarer organischer Substanzen zu Sauerstoffmangel im Boden führen. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass hohe N_2O -Emissionsraten bevorzugt bei hohen Wassergehalten auftreten, vorausgesetzt, Nitrat als Ausgangsstoff der Denitrifikation ist kein limitierender Faktor. Darüber hinaus wird oft von hohen Emissionen im Winter, nach dem Auftauen gefrorenen Bodenwassers berichtet. Zu diesem Zeitpunkt ist der Luftaustausch zwischen Bodenporenraum und

Atmosphäre gehemmt, zusätzlich liefern Residuen von durch Bodenfrost abgetöteten Mikroorganismen und die Zerstörung von Bodenaggregaten leicht abbaubare organische Bestandteile, was die Bodenrespiration ankurbelt und den Sauerstoffmangel weiter verschärft. Neben den klimatischen Bedingungen sind es insbesondere Bodeneigenschaften, welche das Wasserspeichervermögen und den Anteil des luftgefüllten Porenraums kontrollieren und so die Lachgasbildung steuern.

Um regionale Bedingungen in die Berechnung von Lachgas-Emissionen zu integrieren und so eine räumlich explizite integrierte Modellierung zu ermöglichen, wurden regionalspezifische Emissionsfaktoren mit MODE erstellt und in RAUMIS verwendet (Henseler und Dechow 2014). Dabei entspricht die räumliche Auflösung dieser Emissionsfaktoren der des agrarökonomischen Modells RAUMIS. Die gesamtdeutschen Lachgas-Emissionen landwirtschaftlicher Böden resultieren als Summe der Lachgas-Emissionen in allen Regionen, in denen die Anbauverfahren jeweils mit den regionalspezifischen Emissionsfaktoren multipliziert wurden.

MODE ist ein auf „fuzzy logic“ basierendes empirisches Modell, das an Datensätzen experimentell bestimmter annualer Lachgas-Emissionen trainiert und validiert wurde (Dechow und Freibauer 2011). In MODE werden die Landnutzung Acker und Grünland unterschieden. Im Rahmen einer automatisierten Faktorensuche wurden für beide Ökosystemtypen die Faktorenkombinationen mit dem größten Anteil erklärter Variabilität jährlicher Lachgasflüsse ermittelt. Dies waren für Ackerstandorte die Temperatur im Winter, der Niederschlag im Herbst, der Sandgehalt des Bodens, die Menge an appliziertem Stickstoff und die Fruchtartenkategorie (Getreide, Hackfrüchte, Gemüse, Raps, Brache, alle anderen). Anhand des erstellten Modells zeigte sich, dass die annualen Lachgas-Emissionen negativ mit der mittleren Wintertemperatur und den Sandgehalten des Bodens aber positiv mit den Niederschlagssummen im Herbst korrelieren. Saisonaler Niederschlag und Sandgehalte sind Indikatoren für die Bodenwassergehalte und den luftgefüllten Porenraum eines Ackerstandortes. Die negative Korrelation von Wintertemperatur und Lachgas-Emission deutet den hohen Einfluss von durch Frost-Tau-Zyklen erzeugten Emissionsspitzen an. Das Verhältnis von emittierter Lachgas-Emission und zugeführtem reaktiven Stickstoff wird wesentlich durch die Kombination der klimatischen Faktoren und Bodeneigenschaften bestimmt. Lachgas-Emissionen aus Grünland können am besten über die Menge des zugeführten reaktiven Stickstoffs, die Wintertemperatur und den pH-Wert des Bodens erklärt werden. Zudem treten höhere Emissionen bei Weidehaltung auf.

THG-Emissionen organischer Böden

Genutzte organische Böden emittieren Lachgas, Methan und Kohlendioxid. Wie die Bezeichnung schon suggeriert, zeichnen sich organische Böden durch hohe Mengen organischer Substanzen im Boden aus, die aufgrund ungünstiger Lebensbedingungen für die Bodenfauna kaum abgebaut wurden. Meist ist hier Sauerstoffmangel im Boden, verursacht durch hohe Grundwasserstände, verantwortlich. Landnutzungsintensität und die Art angebaute Kulturen sind auf bestimmte bodenhydrologische

Bedingungen angewiesen, die über meliorative Maßnahmen hergestellt werden. In der Regel unterscheiden sich die mittleren Grundwasserstände verschiedener Nutzungstypen voneinander, wobei Ackernutzung die höchsten Grundwasserflurabstände aufweist, gefolgt von Grünland (je nach Nutzungsintensität) und Wald. Wird über meliorative Maßnahmen der Grundwasserstand langfristig oder periodisch abgesenkt, verbessern sich die Bedingungen für den Abbau organischer Bodensubstanz, und das Potenzial für die Bildung der Treibhausgase Lachgas und Kohlendioxid erhöht sich. Die Zusammenhänge zwischen Nutzungstyp, Grundwasserregulierung und THG-Emission werden im Rahmen der Klimaberichterstattung über nutzungsspezifische Emissionsfaktoren abgebildet, während die Aktivitätsdaten über die Fläche organischer Böden pro Nutzungstyp beschrieben werden.

Grundwasserstände organischer Böden werden nicht allein über die Nutzung geprägt. Die klimatische Wasserbilanz des Standorts, die Verteilung der Landnutzung im Umfeld, das Einzugsgebiet oder die relative Höhe der jeweiligen Fläche zur Umgebung sind weitere Faktoren, die als Indikatoren für die jeweiligen Grundwasserstände und damit auch die Höhe der Kohlendioxid und Lachgas-Emissionen verwendet werden können (Bechtold et al. 2014). Im Rahmen von CC-LandStraD wurden regionale landnutzungsspezifische Emissionsfaktoren für die Treibhausgase Kohlendioxid, Lachgas und Methan entwickelt, wobei die Differenzierung dieser Emissionsfaktoren im Wesentlichen auf die regionale Verteilung nutzungsspezifischer Grundwasserstände zurückzuführen ist. Analog zur Erstellung regionaler Emissionsfaktoren für Lachgas-Emissionen mineralischer Böden basieren die Emissionsfaktoren für organische Böden auf einer Regionalisierung von THG-Modellen.

Das empirische Modell MODE wurde für die Abbildung von Lachgas-Emissionen organischer Böden modifiziert. Ähnlich wie bei der Modellierung von Lachgas-Emissionen mineralischer Standorte, wurde zunächst ein Datensatz zu annualen Lachgas-Emissionen organischer Böden zusammengestellt, an dem MODE trainiert und evaluiert wurde (Leppelt et al. 2014). Die entscheidenden Steuergrößen variieren in Abhängigkeit vom Landnutzungstyp. So erwiesen sich beispielsweise mittlere Grundwasserstände, Jahresniederschläge und der pH-Wert des Bodens als relevant für die Abbildung von Lachgas-Emissionen aus organischen Böden unter Ackernutzung. Im Fall von Grünlandnutzung war es die Menge zugeführten reaktiven Stickstoffs, die Temperatur im Winter und der akkumulierte Niederschlag im Herbst.

Messungen annualer CO₂-Emissionen wurden herangezogen, um einen Ansatz zur Abschätzung annualer CO₂-Emissionen zu parametrisieren (Drösler et al. 2013). Die annuelle CO₂-Emission ergibt sich dabei aus Netto-CO₂-Fluss zwischen Ökosystem und Atmosphäre und der Bilanz aus Kohlenstoffzufuhr und -abfuhr durch organische Düngung und Ernte, wobei die CO₂-Bilanz abhängig vom Wasserstand ist. Der in dem verwendeten Datensatz zu beobachtende Einfluss des mittleren Grundwasserstands auf den Ertrag wurde über eine nichtlineare Regression abgebildet. Parameterunsicherheiten wurden über die Verwendung von Bayesscher Kalibrierung quantifiziert.

Methan-Emissionen organischer Böden ergeben sich aus der Bilanz von Methanbildung unter anaeroben Bedingungen und der Methankonsumption, die aerobe Bedingungen erfordert. Der jeweilige Wasserstand steuert die Mächtigkeit der aeroben Bodenzone, in der aufsteigendes Methan durch Mikroorganismen abgebaut wird. Der im Rahmen von CC-LandStraD entwickelte Modellansatz beschreibt Methanbildung und Methankonsumption als chemische Reaktionen erster Ordnung. Dabei wird die Reaktionsgeschwindigkeit über Wasserstand, Temperatur und Konzentration des Ausgangssubstrats modifiziert.

4.2.2.4 Entwicklung des Forstbetrieblichen Simulationsmodells FoBeSiMo

Nils Ermisch, Hermann Englert, Margret Köthke und Peter Elsasser

Für die Analyse der Anpassungen von Forstbetrieben an veränderte Rahmenbedingungen wurde im Rahmen von CC-LandStraD das Forstbetriebliche Simulationsmodell (FoBeSiMo) entwickelt. Mit Hilfe von FoBeSiMo lassen sich Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen von Produktionsbedingungen, Änderungen wirtschaftlicher Rahmenbedingungen sowie mögliche Reaktionen der Forstbetriebe sowohl auf naturale als auch wirtschaftliche Ergebnisse in der Forstwirtschaft abbilden. Dabei sind in FoBeSiMo die regional unterschiedlichen Standortbedingungen in Deutschland berücksichtigt. Der Aufbau des Modells FoBeSiMo ist in Abb. 4.3 schematisch dargestellt und umfasst als drei zentrale Module 1) forstliche Modellbetriebe, 2) Entscheidungsregeln und 3) ein integriertes Simulationsmodul.

1. Forstliche Modellbetriebe

Zur Abbildung möglicher Anpassungsreaktionen unterschiedlicher Forstbetriebe wurden erstmalig für Deutschland 13 typische Forstbetriebe definiert, die jeweils die 13 Flächenbundesländer repräsentieren und damit den gesamten deutschen Wald. Die Beschreibung der Modellbetriebe in den einzelnen Modellzeitpunkten erfolgt über ein Datenmodell, das ausgewählte naturale und ökonomische Daten umfasst. Die Steuerung der Fortschreibung der Zustandsdaten im Zeitverlauf erfolgt über Datenschnittstellen, die auf exogene und endogene Steuerdaten zurückgreifen. Exogene Steuerdaten dienen zur Abbildung des außerbetrieblichen Entscheidungsumfelds (Markt- und Standortdaten). Endogene Steuerdaten dienen der dynamischen Abbildung des forstbetrieblichen Zustands bzw. forstbetrieblicher Entscheidungen (Bewirtschaftungs- und Bestandesdaten).

a) Marktdaten

Die unterstellten Marktdaten fußen auf Angaben aus dem Testbetriebsnetz-Forst (TBN-Forst) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (teilweise veröffentlicht in BMEL 2013). Dazu wurden unter Berücksichtigung von

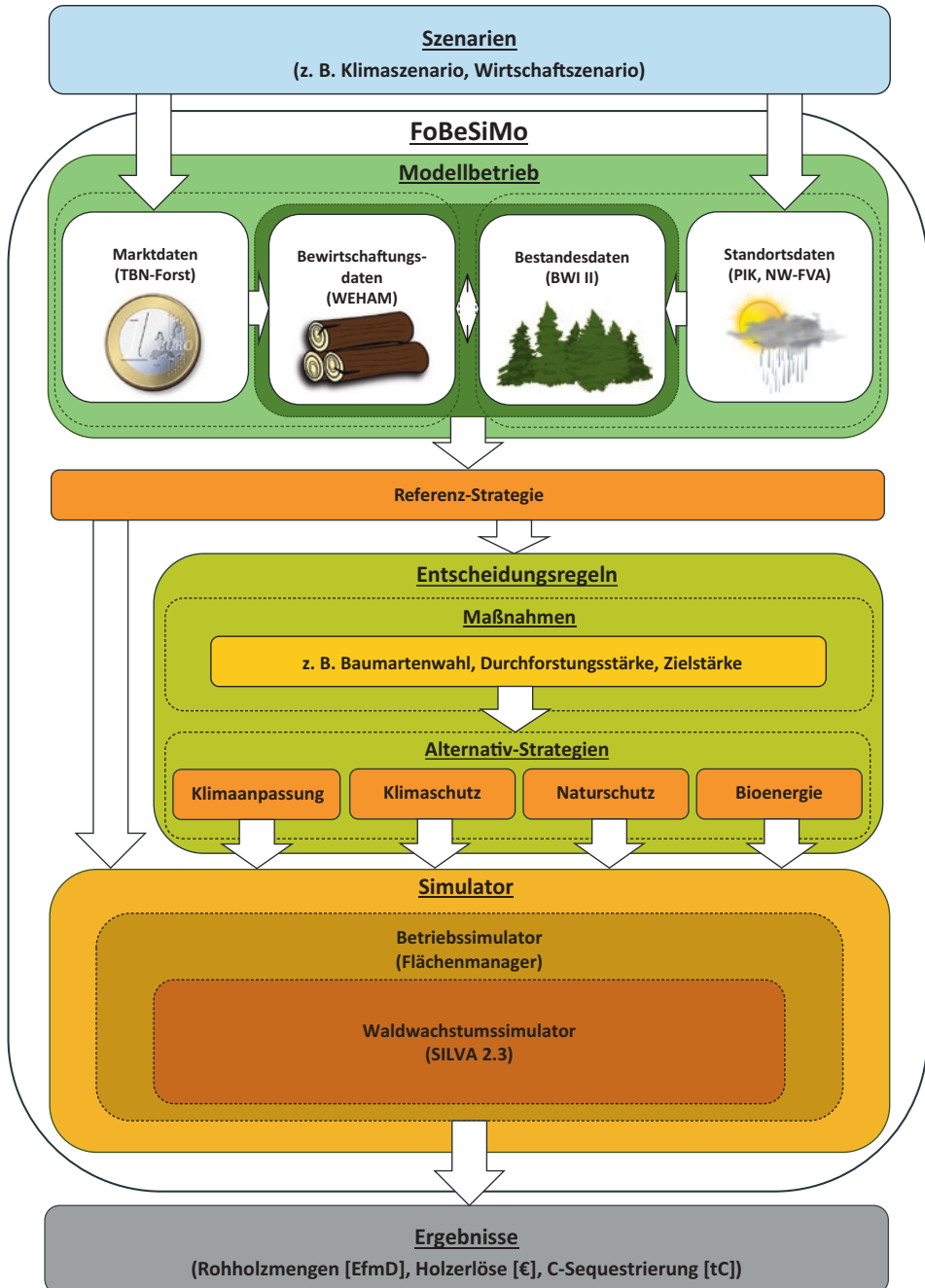


Abb. 4.3 Schematische Abbildung des forstbetrieblichen Simulationsmodells (FoBeSiMo)

Selbstwerbermengen pro Holzartengruppe durchschnittliche erntekostenfreie Holzerlöse berechnet. Da die Erlös- und Kostengrößen aus Datenschutzgründen nicht eigentums- und länderspezifisch ausgewertet werden konnten, wurden die Eigentumsarten über alle Modellbetriebe nach ihren Einschlagsanteilen gewichtet und pro Holzartengruppen je ein gesamtsektoraler erntekostenfreier Holzerlös berechnet. Um Jahresschwankungen der Vergangenheit abzufangen, handelt es sich um durchschnittliche erntekostenfreie Holzerlöse der Jahre 2009 bis 2013. Zusätzlich wurden, basierend auf einer Literaturrecherche, unterschiedliche Kulturkosten veranschlagt, die zusätzlich nach Holzartengruppen und Verjüngungsart (Naturverjüngung oder Pflanzung) differenziert wurden. Ferner wurden Läuterungskosten berücksichtigt. Somit ist es möglich, pro Holzartengruppe einen Deckungsbeitrag I (DBI)³ zu berechnen. Des Weiteren wurden spezifische nicht verwertete Derbholzanteile (nvD-Holzanteile) pro Holzartengruppe aus dem TBN-Forst abgeleitet. Die entsprechenden Annahmen bezüglich der unterstellten Marktdaten sind in Tab. 4.20 dargestellt. Als Kalkulationszins wurden die aktuell forstüblichen 1,5 % p.a. angenommen.

b) Bewirtschaftungsdaten

Die für die Simulation der Bewirtschaftungsalternativen benötigten Annahmen wurden aus den Steuerdaten des Basisszenarios 2002 des WEHAM-Modells⁴ abgeleitet (Polley und Kroiher 2006). Es handelt sich dabei um die Steuerdaten zu zehn Bewirtschaftungsmaßnahmen, welche die Referenzbewirtschaftung und die Bewirtschaftungsziele der Alternativstrategien abbilden (vgl. Abschn. 4.6). Diese Bewirtschaftungsvorgaben nach WEHAM wurden für FoBeSiMo angepasst und mittels einer Analyse der aktuellen Waldbaurichtlinien der Bundesländer aktualisiert und überarbeitet. Da über den Körperschafts- und Privatwald keine ausreichenden Informationen vorlagen, wurden die Waldbewirtschaftungskonzepte des Staatswaldes im jeweiligen Bundesland auf diese beiden Eigentumsarten übertragen. Die Festlegung der Referenzbewirtschaftung bildet somit die Grundlage weiterer davon abweichender Bewirtschaftungsstrategien.

c) Bestandesdaten

Aus den Daten der Bundeswaldinventur (BWI) 2002 wurden für die vier Hauptbaumarten⁵ Fichte, Kiefer, Buche und Eiche die dendrometrischen Werte je Bundesland berechnet (Thünen-Institut 2013). Diese bildeten die Eingangsdaten, um für jeden Modellbetrieb (bundeslandspezifische) Waldbestände zu modellieren.

³Der hier berechnete Deckungsbeitrag I entspricht dem waldbaulichen Deckungsbeitrag I, also dem erntekostenfreien Holzerlös (Verkaufserlös minus variable Holzerntekosten) abzüglich der Wiederbegründungskosten.

⁴WEHAM steht für WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung.

⁵Im weiteren Verlauf werden die Hauptbaumarten (Eiche, Buche, Fichte und Kiefer) synonym für die vier Holzartengruppen (Eiche, Buche, Fichte und Kiefer) verwendet.

Die Douglasie wird in der weiteren Analyse zwar als eigene Baumart geführt, ihr Wachstum sowie die ihr zugeschriebenen Kosten und Erlöse werden jedoch aus den entsprechenden Daten für Fichte übernommen. Die anderen Baumarten wurden den entsprechenden vier Hauptbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) zugeschlagen und jeweils Durchschnitte der dendrometrischen Werte der Hauptbaumarten im Bundesland verwendet. Dies bedeutet, dass als Eingangswert der Kalibrierung pro Hauptbaumart ein durchschnittlicher Brusthöhendurchmesser für jeden Modellbetrieb verwendet wurde. Mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA wurden aus diesen Eingangswerten je Hauptbaumart und Modellbetrieb Klupplisten erstellt, die dann jeweils für eine Holzartengruppe Verwendung finden.

Für jedes Klimaszenario, jede Strategie und jeden Modellbetrieb wurde jeweils eine Wachstumskurve ab der Altersklasse 30 jeder Hauptbaumart modelliert. Somit liegen am Ende des Betrachtungszeitraumes für jeden Baum bzw. Bestand forstwirtschaftlich relevante Daten wie z. B. Durchmesser- und Höhenentwicklung vor. Alle weiteren Werte der Altersklassen unter den jeweiligen Bewirtschaftungsstrategien basieren auf diesen Wachstumskurven. Folglich ist keine dynamische Änderung von einer Strategie hin zu einer anderen im Zeitverlauf möglich. Zur Berechnung der genannten Wachstumskurven wurde der Einzelbaum-Wachstumssimulator SILVA (Biber et al. 2000) verwendet. Als Startaltersklasse wurde die Altersklasse 20–40 Jahre (im Mittel 30 Jahre) ausgewählt, da in der Altersklasse 0–20 Jahre die Bäume noch nicht alle die Brusthöhe (Messpunkt des Brusthöhendurchmessers) erreicht haben. Das beschriebene Vorgehen impliziert die Annahme, dass die Bewirtschaftung der jeweiligen Strategien zum Startzeitpunkt der Modellierung im Jahr 2015 bereits umgesetzt ist. Eine Übergangsphase vom heutigen Zustand hin zur jeweiligen Strategie wird nicht modelliert.

Da Risiko im Gegensatz zu Unsicherheit ein sowohl in der Folge als auch in der Eintrittswahrscheinlichkeit bekanntes Ereignis darstellt, ist es in Form altersspezifischer Überlebenswahrscheinlichkeiten nach Staupendahl (2011) für die vier Hauptbaumarten in der Modellierung berücksichtigt worden.

d) Standortdaten

Eine regionale Differenzierung für Deutschland erfolgte auf der Ebene der 13 Flächenbundesländer. In den Regionen wurden jeweils vier potenzielle Standorttypen unterschieden, die sich nach der aktuellen Bestockung der vier Hauptbaumarten zum Stand der BWI 2002 unterscheiden. Für die Beschreibung der Standorte verwendet SILVA neun Standortvariablen.⁶ Für die Standortdaten wurden in Zusammenarbeit mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung die einzelnen BWI-Stichprobenpunkte

⁶Je drei Standortvariablen zu Nährstoff (NO_x , CO_2 , Nährstoffversorgung), Wärme (Anzahl der Tage mit Temperatur $>10^\circ\text{C}$, Jahrestemperaturamplitude, Temperaturmittel Vegetationszeit) und Feuchtigkeit (Ariditätsindex Vegetationszeit, Bodenfrische, Niederschlag Vegetationszeit).

mit der Bodenübersichtskarte (BGR 2004) und im Anschluss mit den Polygonen der Klimastationen verschnitten. Dies ermöglicht, temperaturabhängige Veränderungen der klimatischen und pedologischen Standortdaten regionalisiert zu berücksichtigen. Zur Herleitung von einheitlichen, bundeslandspezifischen Standortdaten ist aus den jeweiligen Mittelwerten der neun SILVA-Standortvariablen für jede der vier Hauptbaumarten der 13 Modellbetriebe ein „mittlerer Standort“ berechnet worden. Mit Hilfe des Waldwachstumssimulators SILVA wurden daraufhin baumarten- und standortspezifische Wachstumskurven der Alters-Höhenbeziehung berechnet. Diese lassen sich den ebenfalls ermittelten klimabedingten Wachstumskurven gegenüberstellen, um zwischen Baumart- und Standort- bzw. Klimaeffekten zu differenzieren.

2. Forstliche Entscheidungsregeln

Aus der Vielzahl möglicher Bewirtschaftungsmaßnahmen (vgl. Abschn. 3.3.2) wurden neun Einzelmaßnahmen ausgewählt (vgl. Abschn. 3.3.6), die die typischen Forstbetriebe im Rahmen dieser Studie ergreifen können, um sich veränderten Rahmenbedingungen anzupassen. Durch Variation der Ausprägung der Einzelmaßnahmen ist es möglich, verschiedene Strategien zu definieren, die sich in ihrer jeweiligen Umsetzung unterscheiden (vgl. Abschn. 4.6). Die Umsetzung der Einzelmaßnahmen innerhalb des Maßnahmenbündels richtet sich dabei nach dem jeweils verfolgten Strategieziel. Maßnahmen, ihre Varianten und die entsprechenden Strategien sind in Tab. 4.21 zusammengefasst.

3. Waldwachstums- und Betriebssimulator

Ausgehend von den dargestellten Start- und Steuergrößen lassen sich mit Hilfe von SILVA die Ausgangssituation eines Bestandes und die Standortbedingungen charakterisieren. In SILVA wird die Dynamik eines betrachteten Bestandes einzelbaumweise in 5-Jahres-Schritten von der Bestandesbegründung bis zum Generationenwechsel durch ein für den entsprechenden Standort initialisiertes Funktionensystem nachgebildet (Biber et al. 2000). Um die aus SILVA stammenden naturalen Ergebnisgrößen der Modellbetriebe ökonomisch bewerten zu können, wurde ein Betriebssimulator entwickelt. Der Betriebssimulator führt die von SILVA erzeugten Naturaldaten auf Bestandesebene zu Betriebsklassen zusammen. Die Betriebsklassen der 13 Modellbetriebe wurden auf Basis der Baumarten-, Flächen- und Altersklassenverteilung der Bundesländer gemäß der BWI 2002 gebildet. Dieses Vorgehen ermöglicht es, einen Forstbetrieb aus unterschiedlichen (Haupt-)Baumarten auf unterschiedlichen Flächen in unterschiedlichen Altersklassen abzubilden und weiterführende ökonomische Analysen auf Betriebsebene durchführen zu können. Dadurch können die Holzmengen, Erlöse und Kosten sowie die Kohlenstoffmengen pro Modellbetrieb in den Simulationsperioden berechnet werden.

Zur Berechnung des jeweiligen Kohlenstoffgehaltes der vom Waldwachstumssimulator SILVA berechneten Holzvolumina und deren Substitutionspotenziale wurde auf einen Ansatz von Schweinle et al. (2018) zurückgegriffen. Dieser ermittelt auf Basis von Umrechnungsfaktoren aus der Literatur aus den vorliegenden Eingangsdaten den

Kohlenstoffgehalt der drei Speicherkompartimente lebende Baumbiomasse (Derbholz und Nichtderbholz), Totholz und Holzprodukte sowie die jeweiligen Auswirkungen auf stoffliche und energetische Substitutionspotenziale. Holzprodukte werden dort nach Verwendungsbereichen unterteilt (Sägeholz, Platten, Papier), einschließlich der Berücksichtigung der jeweiligen Abbauraten. Veränderungen des Kohlenstoffgehaltes in Böden und Streu werden in diesem Modell nicht berücksichtigt.

4.2.2.5 Modellierung der Stoffflüsse im Forst mit 4C

Martin Gutsch, Petra Lasch-Born und Felicitas Suckow

Die Untersuchung der Auswirkungen von Landnutzungs- und Klimaänderungen auf den Stoffhaushalt der Waldbestände in Deutschland erfolgt mit Hilfe des prozessbasierten Waldwachstumsmodells 4C. Mit 4C werden sowohl der Stoffhaushalt als auch die forstliche Wuchsleistung von Wäldern unter sich ändernden Klimabedingungen und unter Bewirtschaftung analysiert (Lasch et al. 2005; Lasch-Born et al. 2015). Um flächendeckende Aussagen ableiten zu können, wurde das Modell 4C für 69.393 Waldbestände in Deutschland angewendet. Die Anzahl der Bestände ergab sich durch die Datengrundlage der Bundeswaldinventur (BWI²-Erhebung 2002), auf deren Basis die Charakterisierung der Bestandesausgangssituation erfolgte (BMELV 2005). Die Daten der Untersuchungsplots der BWI² lieferten für jeden simulierten Waldbestand die Informationen „Baumart“ und „Alter“. Um die Initialisierung der Bestände für die Modellsimulation zu ermöglichen, mussten Vereinfachungen in der Bestandsstruktur vorgenommen werden. Berücksichtigung fanden nur die Baumartengruppen Fichte, Kiefer, Douglasie, Buche, Eiche⁷ und sonstige Laubbölzer niedriger Lebensdauer.

Des Weiteren wurden den Beständen die bundesland-, baumarten- und altersklassenspezifischen mittleren Bestandesparameter (Höhe, Bursthöhendurchmesser und Grundfläche) zugeordnet und für die Bestandesinitialisierung genutzt. Dadurch ist gesichert, dass die Aggregation der Bestände auf Kreis-, Landes- und Bundesebene den Erhebungen der BWI² entspricht. Aus den Informationen, die durch die Verschneidung der Koordinaten jedes einzelnen Bestands mit der BÜK 1000 (BGR 2004) gewonnen wurden, wurde für jeden Bestand der entsprechende Boden initialisiert. Weiterhin wurde jedem Bestand die nächstliegende der insgesamt 1218 Klimastationen zugeordnet. Auf der Grundlage der zum Bestand gehörenden Waldfläche (CORINE Landnutzungsdatensatz; DLR-DFD 2004; CORINE Land Cover [CLC] 2000) werden die Ergebnisse der Simulationen auf die drei o. g. Verwaltungsebenen aggregiert. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine flächige Simulation des Gesamtwaldes, ohne jedoch exakte Aussagen zu konkreten Waldbeständen machen zu können.

⁷Keine Unterscheidung von Traubeneiche und Stieleiche.

4.3 Einordnung der verwendeten Klimaszenarien

Frank Wechsung, Tobias Conradt, Pia Gottschalk und Martin Gutsch

Zusammenfassung

Die Szenariestudie CC-LandStraD bezieht sich auf Vermeidungsstrategien des Klimawandels. Klimawandel und seine Auswirkungen werden exemplarisch betrachtet. Die innerhalb des Projektes betrachteten Klimaszenarien und Folgenbetrachtungen liefern keine konkreten Begründungen, sondern illustrieren noch einmal den Anlass. In diesem Kapitel wird das genutzte Klimaszenario motiviert und eingeordnet. Ausgangspunkt bildet ein zusätzlicher globaler Strahlungsantrieb von $8,5 \text{ W/m}^2$ bis zum Jahr 2100. Die daraus mit globalen Zirkulationsmodellen für Deutschland ermittelte Erwärmung wurde mit dem Szenariengenerator STAR zu einem Klimaszenario komplettiert. Zur Plausibilisierung und Einordnung des STAR-Szenarios wurden Ergebnisse der Projekte ISI-MIP und CORDEX-Europe herangezogen.

Das Klima in Deutschland hat sich in den letzten hundert Jahren deutlich erwärmt. Die Erwärmung ist Teil einer globalen Entwicklung und kann mit dem Anstieg der Emissionen von Treibhausgasen wie CO_2 , Methan oder Stickoxiden erklärt werden. Die Erwärmung der letzten Jahrzehnte kennt sowohl Phasen eines besonders starken als auch eines schwächeren Temperaturanstiegs. Ein besonders rasanter Temperaturanstieg war global in den 1980er- und 1990er-Jahren zu verzeichnen. Dieser hat sich zu Beginn des 21. Jahrhunderts jedoch nicht in dieser Geschwindigkeit fortgesetzt, was zu einer intensiven Diskussion über das Bestehen einer Erwärmungspause und seiner Gründe geführt hat (Flato et al. 2013). Die Entwicklung der mittleren Temperatur in Deutschland seit 1881 ist in Abb. 4.4 dargestellt. Auch hier sind Phasen deutlicherer und schwächerer Änderungen erkennbar.

Mit oder ohne Erwärmungspause muss nach dem bisherigen Erkenntnisstand davon ausgegangen werden, dass sich langfristig die Zunahme der Jahresmitteltemperatur in dem Maße fortsetzt, wie auch die THG-Konzentrationen weiter ansteigen. Die in dieser Formulierung mit zum Ausdruck kommende Unsicherheit speist sich aus unterschiedlichen Quellen. Alle Projektionen zum aktuellen Klima gehen von (in den gewohnten Schwankungsbereichen) stabilen kosmischen Randbedingungen (Sonnenaktivität) und einer weitgehend unveränderten vulkanischen Aktivität der Erde aus. Die Unsicherheit resultiert daneben aus der Vielfalt möglicher Emissionspfade und den objektiven und subjektiven Begrenzungen von Klimamodellen. Die Vielfalt möglicher Emissionspfade wird kategorisiert anhand der durch sie hervorgerufenen Störung des Strahlungsantriebes („radiative forcing“, RF, siehe unten). Unterschiedliche Entwicklungspfade sind vorstellbar. Sie hängen sowohl von den technologischen Möglichkeiten als auch dem politischen Willen für den Ausstieg aus der Energieerzeugung durch Verbrennung fossiler Energieträger ab.

Die Klimamodelle fassen den gegenwärtigen Erkenntnisstand zur Klimasensitivität auf Änderungen des Strahlungsantriebes und seine regionale Manifestierung zusammen. Stabile Änderungssignale sind aus diesen Modellen gegenwärtig nur durch starke zeitliche

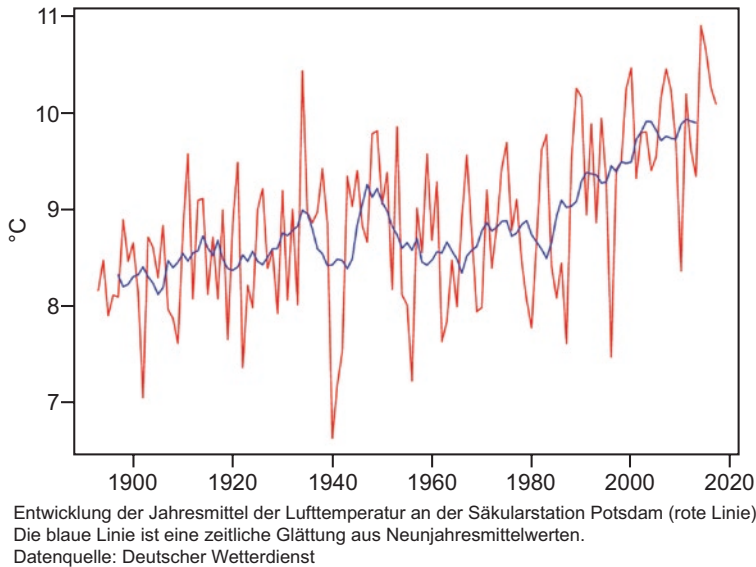


Abb. 4.4 Entwicklung der mittleren Temperatur in Deutschland seit 1881. (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

und räumliche Aggregation zu gewinnen. Dem Bedürfnis nach zeitlich und räumlich hochauflösenden Klimaprojektionen für die vorausschauende Identifizierung von Anpassungsstrategien steht diese Situation entgegen. Regionalstudien wie CC-LandStraD bewegen sich daher in einem besonderen Spannungsfeld. Einerseits leisten sie wichtige methodische Vorarbeiten für eine integrierte Betrachtung von Klimafolgen. Andererseits darf der exemplarische Charakter dieser Arbeiten nicht aus dem Auge verloren werden. Sie sind in der Lage, potenzielle Problemfelder, Anpassungsstrategien und Wirkungen von Anpassungsmaßnahmen zu quantifizieren. Aus der Beschäftigung mit diesen ergibt sich eine Bereicherung des Anpassungsportfolios, es kann hieraus jedoch keine normative Präferenz für bestimmte Anpassungsmaßnahmen gegenüber dem Klimawandel abgeleitet werden.

Das globale Emissionsgeschehen der letzten drei Jahrzehnte folgte in dieser Zeit dem sogenannten RCP-Szenario „RCP 8.5“. „RCP“ steht für „representative concentration pathway“. Dabei handelt es sich um ein Szenario für die transiente Störung der Strahlungsbilanz an der oberen Grenzschicht der Atmosphäre bis zum Jahr 2100. Die Bezeichnung „8.5“ entspricht dem zusätzlichen Strahlungsantrieb (RF, siehe oben) in W/m^2 , um den die Strahlungsbilanz bis zum Ende des Jahrhunderts gestört wird (Burkett et al. 2014). Um diesen Wert würde sich unter sonst gleichen Bedingungen die langwellige atmosphärische Rückstrahlung erhöhen und damit die heutige Bilanz von ein- und ausstrahlender (kurz- und langwelliger) Strahlung verschieben.

In Abhängigkeit von der angenommenen Klimasensitivität (λ) würde sich die globale Durchschnittstemperatur in einer Spanne zwischen 2,63 K ($\lambda=0,31 \text{ Km}^2/W$) und 4,81 K

($\lambda = 0,56 \text{ Km}^2/\text{W}$) bis zum Jahr 2090 (Dekadenmittel 2081–2100) erhöhen (IPCC 2013). Es handelt sich dabei um die Spannweite zwischen dem 5. und 95. Perzentil aller Werte. Der Median aller berücksichtigten Modellsimulationen liegt bei 3,57 K ($\lambda = 0,42 \text{ Km}^2/\text{W}$). Bis zum Jahr 2060 entspricht dies einem mittleren Temperaturanstieg von 2,16 (1,55–2,99 K).

Der globale und regionale Temperaturanstieg des „RCP 8.5“-Szenarios bildete die Grundlage für das in CC-LandStraD in verschiedenen Klimafolgenbetrachtungen genutzte Klimaszenario. Es wurde mit dem Szenarienmodell STAR durch Filterung und Neukombination historischer Wetterreihen generiert (Gerstengarbe und Werner 2013; Gerstengarbe et al. 2013). Zielgröße der Filterung war die Erfüllung einer bestimmten Temperaturvorgabe. Die Temperaturvorgabe wurde für Deutschland aus den Ergebnissen von 21 globalen Klimamodellläufen zum Szenario „RCP 8.5“ ermittelt.

Die im Ergebnis entstandenen wärmeren Jahre waren im Sommer trockener und im Winter feuchter. Dies folgt aus dem Umstand, dass wärmere Sommer in Deutschland in der Regel eher auch trockener sind und wärmere Winter in der Regel auch feuchter. Ein Klimatrend wird somit aus der interannuellen Variabilität generiert. Ein solches Vorgehen lässt sich zwar pragmatisch rechtfertigen, eine eigene klimatische Plausibilität kann ihm jedoch nicht zugesprochen werden. Die Erwärmung im Szenario setzt eine jahreszeitliche Manipulation des Bewölkungsgrades, die sich aus den physikalischen Gründen des Klimawandels nicht ableiten lässt, voraus. Das Szenario musste daher extern plausibilisiert werden (Roers und Wechsung 2015; Wechsung und Wechsung 2015a, b).

Für die Sinnfälligkeit eines „trockenere Sommer“-„feuchtere Winter“-Szenarios sprachen verschiedene Gründe. Die saisonalen Änderungen entsprachen der generellen Erwartung, dass bei einer Erwärmung feuchte Verhältnisse feuchter und trockenere noch trockener würden (Collins et al. 2013). Dies entsprach auch den regionalen Trends: Der trockenere Osten Deutschlands verzeichnete bei den 30-Jahre-Trends zurückgehende Niederschläge, der feuchtere Westen zunehmende Niederschläge (eigene Ergebnisse). Regionale Auswertungen globaler Klimamodellrechnungen zeigten zudem, dass sich Deutschland im Übergangsbereich zwischen einer Region zunehmender Jahresniederschläge im Norden und einer Region abnehmender Niederschläge rund um das Mittelmeer befindet. Dieser Übergangsbereich verschiebt sich im Sommer nach Süden und im Winter nach Norden (Meehl et al. 2007). Die Szenarienauswahl fand nicht zuletzt unter dem Eindruck des Sommers 2003 statt, der als früher Bote des zu erwartenden Klimawandel eingestuft wurde.

In der Zwischenzeit liegen Ergebnisse sowohl von Modellrechnungen als auch statistischen Analysen vor, die daraufhin deuten, dass das in CC-LandStraD verwendete STAR-Szenario eher als eine trockene Variante des künftigen Klimas angesehen werden kann, die aber durchaus innerhalb des von den Modellen überstrichenen simulierten Bereiches liegt.

Um dies zu illustrieren, wird das STAR-Szenario hier nicht für sich stehend dargestellt, sondern mit Ergebnissen jüngster Klimamodellläufe verglichen (Tab. 4.2, 4.3, 4.4 und 4.5). Dabei handelt es sich einerseits um regional gemittelte Ergebnisse von ausgewählten globalen Klimamodellen und andererseits um Ergebnisse von regionalen Klimamodellen, die globale Simulationsrechnungen untersetzen.

Tab. 4.2 Saisonale, räumliche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Temperatur aus den drei Klimadatensätzen ISI-MIP, STARS und CORDEX für Deutschland zu den Perioden 1981–2010 und 2041–2070, sowie die Periodendifferenzen der Temperaturmittelwerte ΔT . (Quelle: T. Conradt)

Jahr	1981–2010		2041–2070		Änderung
	MW	SD	MW	SD	ΔT
Temperatur [°C]					
Jahr					
ISI-MIP	8,99	0,69	11,65	1,11	2,66
STARS	9,02	0,76	11,21	0,75	2,19
CORDEX	8,85	0,72	10,77	1,02	1,92
Hydrologischer Sommer (Mai–Oktober)					
ISI-MIP	14,63	0,76	17,41	1,39	2,78
STARS	14,61	0,65	16,59	0,56	1,98
CORDEX	14,37	0,82	16,44	1,11	2,07
Hydrologischer Winter (April–November)					
ISI-MIP	3,29	1,14	5,82	1,18	2,53
STARS	3,35	1,08	5,74	1,10	2,39
CORDEX	3,23	1,15	5,00	1,42	1,77

Tab. 4.3 Saisonale, räumliche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Globalstrahlung aus den drei Klimadatensätzen ISI-MIP, STARS und CORDEX für Deutschland zu den Perioden 1981–2010 und 2041–2070, sowie die Periodendifferenzen der Strahlungsmittelwerte ΔR . (Quelle: T. Conradt)

Jahr	1981–2010		2041–2070		Änderung
	MW	SD	MW	SD	ΔR
Globalstrahlung [W/m²]					
Jahr					
ISI-MIP	101	5,2	107,2	7,6	6,2
STARS	117,6	4,9	126,3	4,7	8,7
CORDEX	124,6	5,8	124,1	5,5	–0,5
Hydrologischer Sommer					
ISI-MIP	145,4	8,4	156,1	11,8	10,7
STARS	167,7	8,8	183,5	6,5	15,8
CORDEX	177	8,9	178,3	9,7	1,3
Hydrologischer Winter					
ISI-MIP	56,2	3,9	57,8	4,6	1,6
STARS	66,8	4,3	68,1	4,2	1,3
CORDEX	72,2	4,9	69,9	4,5	–2,3

Tab. 4.4 Saisonale, räumliche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) des Niederschlages aus den drei Klimadatensätzen ISI-MIP, STARS und CORDEX für Deutschland zu den Perioden 1981–2010 und 2041–2070 sowie die Periodendifferenzen der Niederschlagsmittelwerte ΔN . (Quelle: T. Conradt)

Jahr	1981–2010		2041–2070		Änderung
	MW	SD	MW	SD	ΔN
Jahr					
ISI-MIP	864	83	907	104	43
STARS	800	99	740	84	–60
CORDEX	773	108	807	112	34
Hydrologischer Sommer					
ISI-MIP	453	59	460	82	7
STARS	431	65	352	48	–79
CORDEX	418	67	414	77	–4
Hydrologischer Winter					
ISI-MIP	414	54	450	60	36
STARS	369	61	389	59	20
CORDEX	357	72	392	76	35

Tab. 4.5 Saisonale auf den Temperaturunterschied (ΔT) normierte Periodendifferenzen (2041–2070 minus 1981–2010) des Niederschlages (ΔN) und der Strahlung (ΔR) zu den Tab. 4.2 bis 4.4 für die drei Klimadatensätze ISI-MIP, STARS und CORDEX. (Quelle: T. Conradt)

Jahr	$\Delta N/\Delta T$ [mm/C]	$\Delta R/\Delta T$ [W/m ² °C]
	Jahr	
ISI-MIP	16,17	2,33
STARS	–27,40	3,97
CORDEX	17,71	–0,26
Hydrologischer Sommer		
ISI-MIP	2,52	3,85
STARS	–39,90	7,98
CORDEX	–1,93	0,63
Hydrologischer Winter		
ISI-MIP	14,23	0,63
STARS	8,37	0,54
CORDEX	19,77	–1,30

Die regional gemittelten globalen Klimamodellsimulationen entstammen der ISI-MIP-Modellstudie, in der fehlerkorrigierte Werte (WATCH Forcing Data; Weedon et al. 2011) folgender Globaler Klimamodelle verwendet wurden: HadGEM2-ES (Met Office Hadley Centre), IPSL-CM5A-LR (Institut Pierre-Simon Laplace), MIROC-ESM-CHEM (Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology), GFDL-ESM2M (NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory), NorESM1-M (Norwegian Climate Centre). Als Fehler wird (analog zu Wettervorhersagen) die Abweichung zwischen Simulationen für die Vergangenheit und Beobachtungswerten aus demselben Zeitraum gewertet (Hempel et al. 2013). Es wird davon ausgegangen, dass dieser Fehler auch in der Zukunft auftreten wird und damit ein Verfahren der Fehlerkorrektur, das für die Vergangenheit entwickelt wurde, auch auf Zukunftssimulationen übertragen werden kann, wobei die langfristigen Änderungstrends hiervon unbeeinflusst sein sollten.

Die regionalisierten Klimamodellläufe sind das Ergebnis einer Kombination von globalen und regionalen Klimamodellen der CORDEX Europa Initiative (Jacob et al. 2013). Als Antrieb wurde das Szenario „RCP 8.5“ verwendet. Die Modellkombination umfassten: ICHEC-EC-EARTH/KNMI-RACMO22E, ICHEC-EC-EARTH/SMHI-RCA4, MOHC-HadGEM2-ES/SMHI-RCA4, MPI-M-ESM-LR/MPI-CSC-REMO2009. Die Modelldatensätze wurden mit einem Verfahren zur Fehlerkorrektur nach Gobiet et al. (2015) korrigiert. Als Datensatz für die Fehlerkorrektur diente: Europäischer Datensatz E-OBS (Haylock et al. 2008). Die räumlich grob aufgelösten Ergebnisse der globalen Klimamodelle liefern den Antrieb für die feiner aufgelösten regionalen Klimamodelle. Rückwirkungen werden dabei vernachlässigt. Die regionalen Modellläufe werden analog zum ISI-MIP-Projekt jedoch unter Nutzung eines anderen Verfahrens fehlerkorrigiert.

Eine zusammenfassende Darstellung der für Deutschland durch die verschiedenen Modelle simulierten Szenarienklimatologie wird im Folgenden für die simulierten Reihen für Temperatur, Niederschlag und Globalstrahlung vergleichend dargestellt und erläutert. Generell sollten die zeitlichen Schwankungsbereiche der Datenserien sich für die Zeit vor 2010 stark überlappen. Die fehlerkorrigierten Reihen (ISI-MIP, CORDEX Europa) können in dieser Zeit nur dann deutlich voneinander abweichen, wenn es Unterschiede zwischen den Datensätzen gibt, die der Fehlerkorrektur zugrunde lagen. Bei der Temperatur und dem Niederschlag ist dies nicht der Fall.

Die Reihen der Globalstrahlung hingegen zeigen einen solchen Unterschied. Die ISI-MIP-Reihen zeigen eine deutliche Unterschätzung des beobachteten Strahlungsniveaus, die sich dann auch folgerichtig in die Zukunft fortsetzt. Diese Unterschätzung ist dem verwendeten globalen Datensatz geschuldet, in dessen Generierung offensichtlich weniger regionale Beobachtungsdaten eingingen als aus regionaler Sicht notwendig. Diese Diskrepanz unterstreicht die Notwendigkeit, regional verfügbare Daten auch umfassend global verfügbar zu machen, da ansonsten in global ausgerichteten Klimastudien die darin enthaltenen regionalen Betrachtungen unnötig mit Fehlern belastet werden.

Die Reproduktion der rezenten Verhältnisse von Temperatur und Niederschlag durch die drei Datensätze ist jedoch hinreichend, um die Projektionen bezüglich dieser beiden

Variablen zu vergleichen. Zwischen den Temperaturprojektionen gibt es kaum relevante Unterschiede (vgl. Tab. 4.2). Dies ist zu erwarten, da sie erstens dem gleichen Strahlungsantrieb folgen (vgl. Tab. 4.3) und zweitens die regionalen Realisierungen der globalen Erwärmung weitaus weniger streuen als jene der Niederschläge.

Bei den Niederschlägen zeigt sich eine untere Randlage des STAR-Szenarios im Schwankungsband, die besonders stark im hydrologischen Sommer (Mai–Oktober) ausgeprägt ist und sich dann bis auf die Jahresniederschlagssummen durchprägt (vgl. Tab. 4.4). Dieser Befund wird durch die in Tab. 4.4 dargestellten Periodendifferenzen bestätigt. Das STAR-Szenario unterstellt für CC-LandStraD den stärksten Rückgang der Jahres- und Sommerniederschläge. Dies wird noch deutlicher, wenn man die Temperaturnormierten Änderungen vergleicht (vgl. Tab. 4.5).

Wenn man dem hier genutzten Ensemble von Klimamodellrechnungen Repräsentanz zubilligt und gleichzeitig berücksichtigt, dass die STAR-Szenarien eine externe Legitimierung benötigen, lässt sich schlussfolgern, dass das STAR-Szenario eine eher trockene Version des künftigen Klima beschreibt. Damit ist jedoch gleichzeitig gesagt, dass sich das STAR-Szenario durchaus im Schwankungsbereich der aus heutiger Sicht möglichen Klimata befindet. Die hier vorgelegten Klimafolgenbetrachtungen sind also insbesondere geeignet, die Vulnerabilität der Landnutzung gegenüber einem wärmeren und trockeneren Klima bzw. gegenüber den Trockenphasen innerhalb eines wärmeren und leicht feuchter werdenden Klima darzustellen. Diese Einordnung kann sich künftig durchaus ändern. Eine fortlaufende Hinterfragung dieser Einordnung durch spätere Analysen und Modellrechnungen ist deshalb ausdrücklich zu begrüßen.

Mit Blick auf die bis zum Ende des Jahrhunderts erwarteten Änderungen des Klimas wurden zwei Klimaszenarien durch das regionale statistische Klimamodell STAR berechnet, welches mittlere Temperaturerhöhungen für die Zukunft (hier 2007–2060 bzw. 2100) im Vergleich zu einem Referenzzeitraum (hier 1980–2006) in regionale differenzierte Klimatrends übersetzt. Um eine breite Spanne möglicher klimatischer Veränderungen abzubilden, wurde für die Klima-Referenzprojektion „OK“ keine Temperaturerhöhung im jährlichen Mittel für Deutschland gegenüber dem Referenzzeitraum unterstellt. Das „RCP 8.5“-ECHAM6-Szenario für Deutschland beruht auf einem mittleren Klimatrend für Deutschland, der sich aus der Simulation des globalen Klimazirkulationsmodell ECHAM6 (Stevens et al. 2013), angetrieben durch das Emissionszenario „RCP 8.5“, für 2007–2100 ergibt (siehe oben). Der „mittlere Temperaturtrend“ ergibt sich aus dem Vergleich der Ergebnisse für Deutschland verschiedener globaler Klimazirkulationsmodelle, die jeweils mit dem „RCP 8.5“ angetrieben wurden. Die beiden Klimaszenarien sind in Abb. 4.5 dargestellt.

Die Auswirkungen der erwarteten Klimaveränderungen auf die Ergebnisse der Strategien werden mittels qualitativer und (wenn möglich) quantitativer Abschätzungen beschrieben.

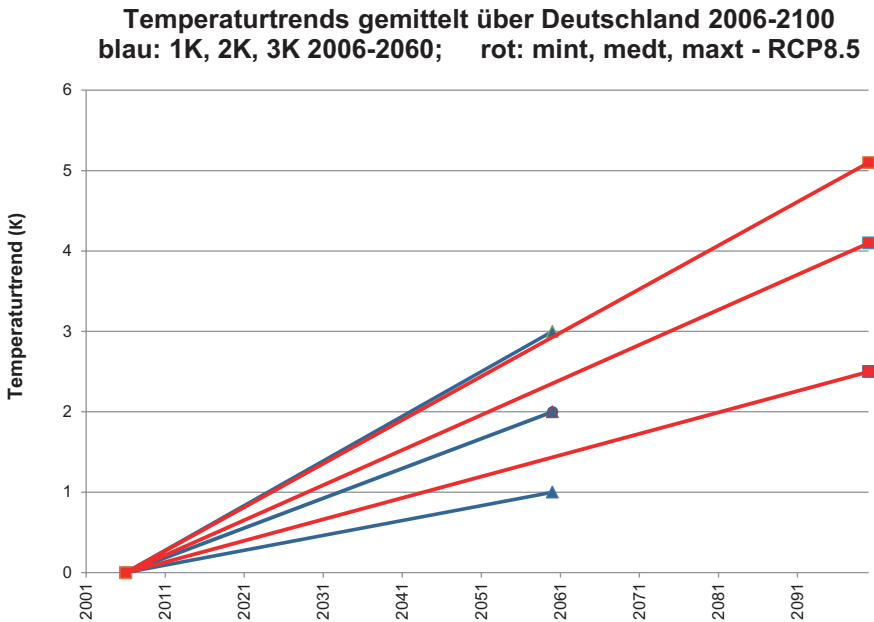


Abb. 4.5 Darstellung der Temperaturrends für Deutschland, welche in CC-LandStrAD verwendet werden. Blau = 0K, rot = RCP 8.5-ECHAM6

4.4 Ergebnisse der Siedlungs- und Verkehrsflächenmodellierung

Roland Goetzke und Jana Hoymann

Zusammenfassung

Durch politisch-strategische oder planerische Maßnahmen lässt sich die Siedlungsflächenentwicklung sowohl in ihrer Größenordnung als auch in ihrer räumlichen Ausprägung steuern. Je nachdem, welches übergeordnete Ziel verfolgt wird (Klimaschutz, Klimaanpassung, Natur- und Umweltschutz) können sehr unterschiedliche Maßnahmen zum Tragen kommen, die sich teilweise ergänzen oder auch gegensätzlich wirken können. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie Maßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich im Modell abgebildet werden (Annahmen und Spezifikationen) und wie sie quantitativ und qualitativ die Landnutzungsentwicklung beeinflussen (Auswirkungen der Maßnahme). Eine Referenzprojektion, die die Siedlungsflächenentwicklung bis 2030 unter der Annahme aufzeigt, dass keine neuen Maßnahmen ergriffen werden, bildet die Basis. Anschließend werden zehn einzelne Maßnahmen und deren Modellergebnisse beschrieben. Schließlich wird die Wirkung von Maßnahmenbündeln innerhalb von übergeordneten Landnutzungsstrategien aufgezeigt. Die Maßnahmenwirkung wird mit Hilfe von Indikatoren bewertet.

4.4.1 Referenzprojektion Flächennutzung

Die Bevölkerungsprognose 2030 des BBSR aus dem Jahr 2012, die den hier durchgeführten Berechnungen zugrunde liegt, geht davon aus, dass die aktuelle Bevölkerungszahl bis zum Jahr 2030 auf 78,6 Mio. Einwohner sinken wird. Der Bevölkerungsrückgang ist auf die bereits seit Jahrzehnten zu beobachtenden niedrigen Geburtenraten und die wieder steigenden Sterberaten zurückzuführen. Die in dieser Prognose angenommenen Wanderungsgewinne steigen von 50.000 im Jahr 2009 auf 150.000 im Jahr 2014, um bis zum Ende des Projektionszeitraums nahezu konstant zu bleiben. In der hier verwendeten Prognose können die Wanderungsgewinne den natürlichen Bevölkerungsrückgang langfristig nicht mehr ausgleichen. Wanderungsgewinne verzeichnen vor allem die wirtschaftlich starken Großstädte.

Obwohl die Bevölkerungszahl bereits seit einigen Jahren zurückgeht, nimmt die Anzahl der Haushalte bisher kontinuierlich zu, wobei die Zunahmen in den aktuellen Trends langsamer stattfinden. Im Jahr 2010 existierten in Deutschland 40,3 Mio. Haushalte. Bis zum Jahr 2025 steigt die Anzahl laut der Raumordnungsprognose auf 41,2 Mio. an, um anschließend bis 2030 wieder auf 41,0 Mio. zu sinken. Das Haushaltsbildungsverhalten mit der Tendenz zu kleineren Haushalten ist also künftig nicht mehr in der Lage, die demographische Entwicklung auszugleichen.

Das BBSR hat im Jahr 2015 die aktuelle Raumordnungsprognose 2035 veröffentlicht. In dieser wird den aktuell hohen Wanderungsgewinnen (ohne Zuwanderung von Geflüchteten) Rechnung getragen. Danach liegt der Außenwanderungssaldo aktuell und in den kommenden Jahren bei 400.000. Bis 2035 reduziert sich der Wanderungsgewinn dann wieder auf das langfristige Mittel von 200.000. Die hohen Wanderungsgewinne kompensieren derzeit den natürlichen Bevölkerungsrückgang. Langfristig ist dies allerdings nicht möglich. Im Jahr 2035 werden 78,2 Mio. Einwohner erwartet (BBSR 2015a, b). Diese aktuelle Prognose konnte aufgrund des Projektfortschritts in den Ergebnissen dieses Projektes nicht mehr verwendet werden. Es ist aber davon auszugehen, dass sich die hier dargestellten Entwicklungstrends, v. a. hinsichtlich der Flächennutzung, lediglich zeitlich verschieben und nicht grundsätzlich ändern. Das heißt, dass vorübergehend mit einem höheren Flächenzuwachs gerechnet werden kann, der dann in Zukunft aber wieder deutlich zurückgeht.

Die tägliche Neuinanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr wird von 73 ha/Tag im Zeitraum 2010 bis 2013 auf ca. 45 ha/Tag im Zeitraum 2026 bis 2030 zurückgehen. Das 30-Ha-Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie wird demnach trotz eines deutlich rückläufigen Trends nicht erreicht. Davon werden allerdings nur rund 19,5 ha für Gebäude- und Freiflächen beansprucht. Für Erholungs- und Grünflächen beträgt die

tägliche Neuinanspruchnahme 2030 noch knapp 9 ha und für Verkehrsflächen 15,5 ha. Die tägliche Neuinanspruchnahme für Betriebsflächen (ohne Abbau- und Abbauland) beträgt dann nur noch 1 ha. Ohne die Erholungs- und Grünflächen liegt die Flächenneuanspruchnahme 2030 bei knapp unter 36 ha/Tag. Auch die räumlichen Unterschiede in der Flächenentwicklung, die bereits in der Vergangenheit beobachtet wurden, setzen sich fort. So wächst die künftige Siedlungs- und Verkehrsfläche vor allem im verdichteten Umland westdeutscher Großstädte und um Berlin. In einigen Regionen Süddeutschlands steigt die Flächenneuanspruchnahme zunächst sogar noch.

Abb. 4.6 gibt einen auf Gemeindeebene aggregierten Überblick über die Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in Deutschland bis 2030. Die Regionen mit künftig hoher Flächeninanspruchnahme sind vor allem die Regionen, die bereits heute einen hohen Anteil an Siedlungs- und Verkehrsfläche aufweisen. Im Besonderen sind das die Regionen um die großen Metropolen Hamburg, Berlin, München und Rhein-Main. Gleichzeitig sind die Regionen mit besonders geringer Flächeninanspruchnahme deutlich erkennbar. Vor allem in Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern sowie dem Ruhrgebiet, dem Schwarzwald und der Schwäbischen Alb sind aufgrund der demographischen Entwicklung nur noch geringe Zuwächse der Siedlungs- und Verkehrsfläche zu erwarten.

Die verbleibende Produktionsfläche für die Landwirtschaft sinkt in der Referenzprojektion, bedingt durch den Zuwachs an Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie Waldflächen, um knapp 2 % von 186.193 km² im Jahr 2013 auf 180.188 km² im Jahr 2030 (Abb. 4.7). Dabei finden die größten prozentualen Rückgänge in den kreisfreien Großstädten und Ballungsräumen statt, in denen die Landwirtschaftsfläche ohnehin nur einen geringen Anteil an der Bodenfläche hat (Abb. 4.7 und 4.8). Die größten absoluten Rückgänge der Landwirtschaftsfläche sind in großen, stark landwirtschaftlich geprägten Kreisen mit hoher Siedlungsdynamik zu verzeichnen, wie im Ems- oder Münsterland oder der Region Hannover. Die Waldfläche nimmt prozentual vor allem in waldarmen Regionen zu (Abb. 4.9). Absolut sind die Zunahmen auf Grenzertragsstandorten am höchsten.

4.4.2 Analyse ausgewählter Maßnahmen „Siedlung und Verkehr“

Zu den Maßnahmen, die vor allem den Umfang der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung beeinflussen, zählen die Stärkung der Innenentwicklung, die Ausschöpfung der baulichen Dichte im Neubau, die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr und der Rückzug aus der Fläche. Die für die Modellierung getroffenen Spezifikationen und Annahmen zur Ausgestaltung dieser Maßnahmen sowie deren Auswirkungen auf die Flächennutzung sind im Folgenden zusammenfassend in Tab. 4.6 dargestellt.

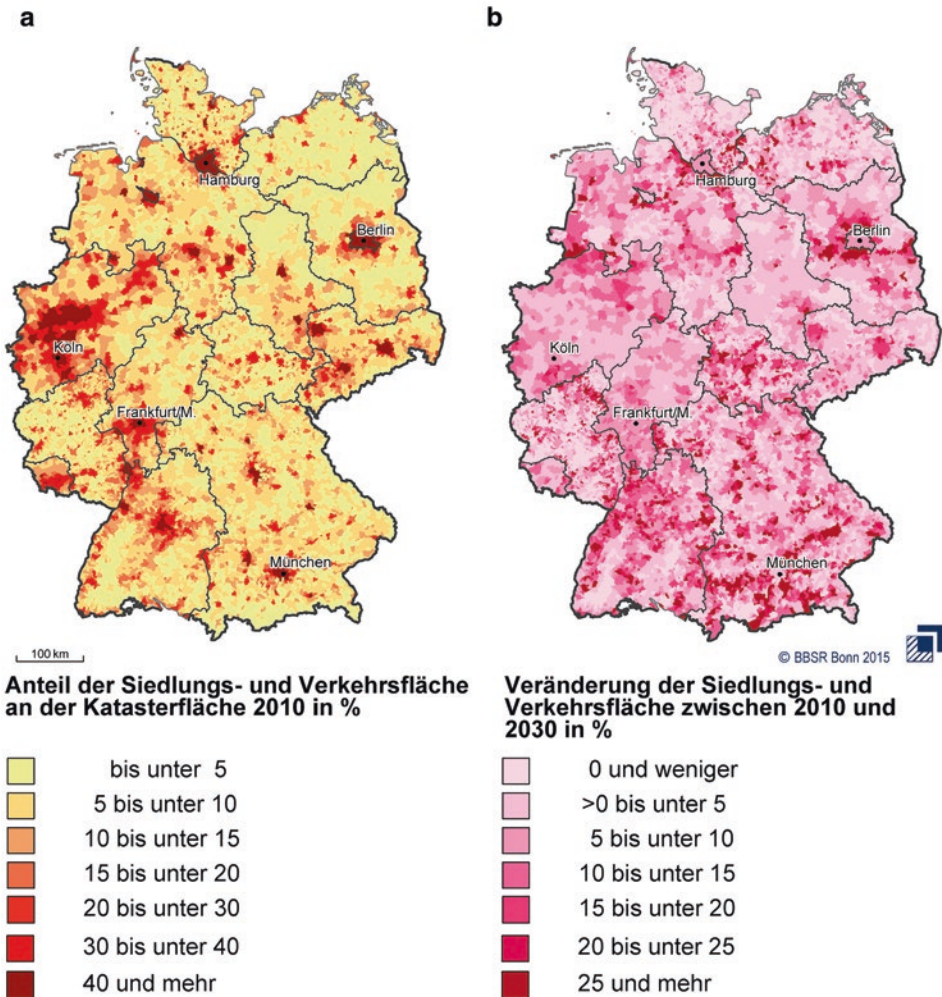


Abb. 4.6 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche auf Gemeindeebene, Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche 2010 (a) und Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche zwischen 2010 und 2030 (b)

4.4.2.1 Stärkung der Innenentwicklung

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Es wird die Annahme getroffen, dass Flächenrecycling in stärkerem Umfang als bisher durchgeführt wird. Das bedeutet, dass vorhandene Brachflächen und Baulücken leichter

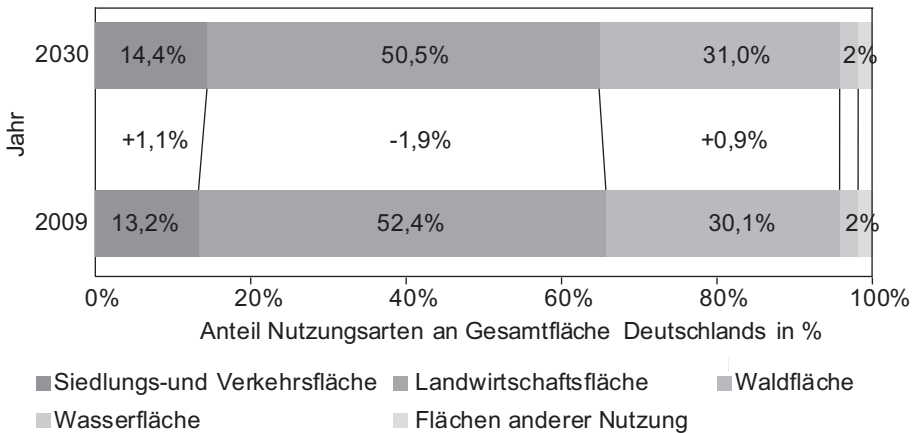


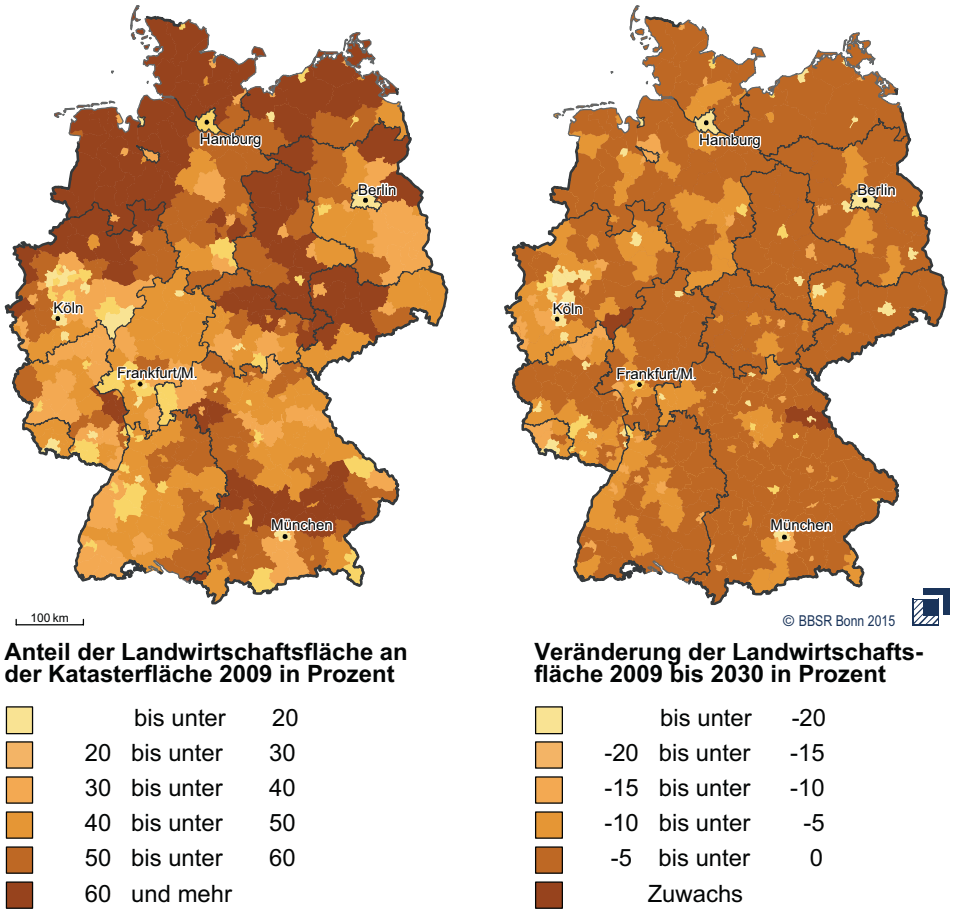
Abb. 4.7 Bodenfläche in Deutschland nach Nutzungsarten 2009 und 2030. (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2015; GWS Osnabrück 2012)

mobilisiert werden können. Allein durch die Nutzung von Brachflächen und Baulücken im Innenbereich könnten laut einer aktuellen Studie insgesamt 120.000 bis 165.000 ha Flächenpotenziale genutzt werden (BBSR 2013). Dies entspricht mehr als einem Drittel der bis 2030 geschätzten Nachfrage. Da etwa 70 % hiervon aber nur schwer oder gar nicht aktivierbar sind und Angebot und Nachfrage außerdem nicht immer zusammenkommen, liegt die Wirksamkeit der Maßnahme deutlich unter den potenziell verfügbaren Brachflächen und Baulücken. Neben der vorrangigen Nutzung dieser Flächen beinhaltet die Maßnahme auch die Nutzung von Gebäudeleerständen und die Nutzung von Nachverdichtungsmöglichkeiten. Diese Handlungsoptionen sind in § 1a Abs. 2 BauGB seit der Novelle 2013 aufgeführt und werden in dem hier modellierten Maßnahmenbündel konsequent angewendet.

Die Nutzung von Wohnungsleerständen verringert zudem die Siedlungsflächen-nachfrage. Darüber hinaus wird im Bestand nachverdichtet. Dabei wird je nach derzeit vorhandener baulicher Dichte diese moderat angehoben. Auch dies reduziert die Siedlungsflächen-nachfrage.

Auswirkungen der Maßnahme

Unter Annahme einer konsequenten Mobilisierung von Brachflächen und Baulücken, der gezielten Wiedernutzung von Leerständen und einer moderaten Anhebung der Nachverdichtung im Bestand könnte die tägliche Flächenneuanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen im Zeitraum 2026 bis 2030 von 45 ha in der Referenzprojektion auf etwas mehr als 32 ha pro Tag zurückgehen. Das Innenentwicklungspotenzial würde somit theoretisch den Flächenbedarf für mehr als zehn Jahre decken

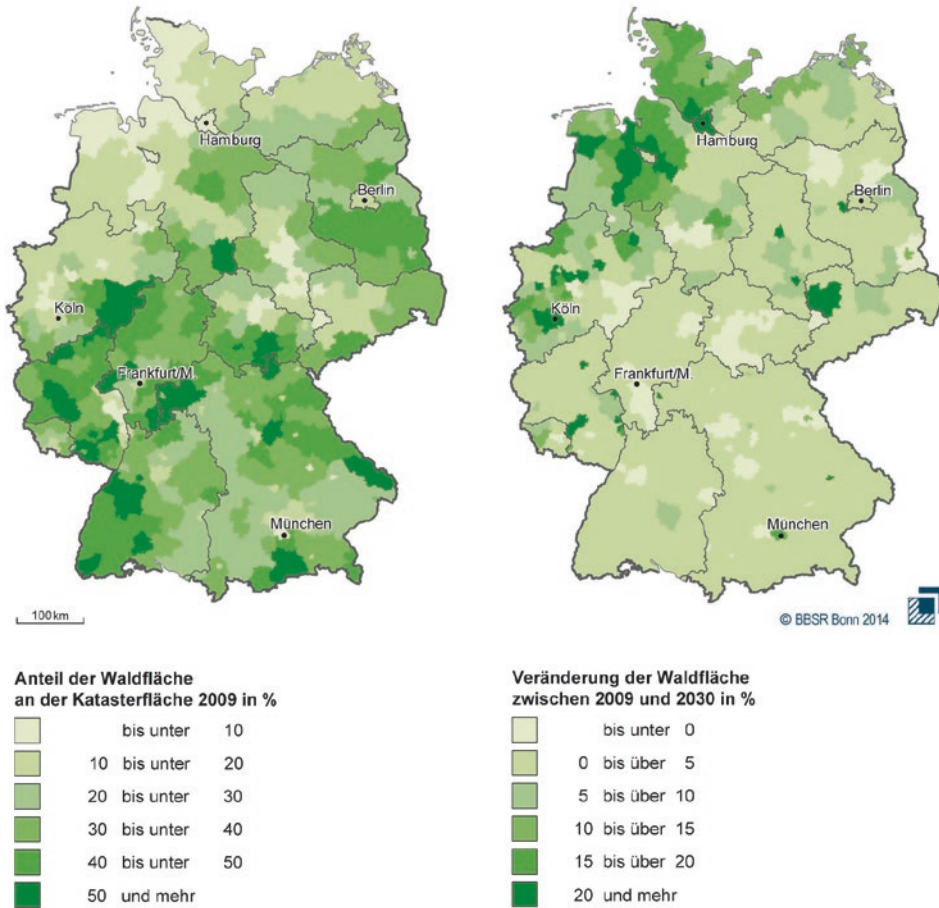


Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR, GWS Osnabrück 2012,
 Berechnungen des BBSR
 Geometrische Datenbasis: BKG/BBSR Kreise, 31.12.2012
 Bearbeitung: R. Goetzke

Abb. 4.8 Landwirtschaftsfläche in den Kreisen Deutschlands 2009 und Entwicklung bis 2030

können. Durch konsequente Innenentwicklung ließe sich das 30-ha-Ziel der Nachhaltigkeitsstrategie annähernd erreichen. Nach den Modellergebnissen würden im Jahr 2030 im Vergleich zur Referenzprojektion rund 130.000 ha Landwirtschaftsfläche weniger für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen werden (vgl. Tab. 4.6).

Der Rückgang fällt nicht noch höher aus, da die Nachfrage nach Wohnraum und die Verfügbarkeit von Gebäudeleerständen oder Brachflächenbeständen oft in unterschied-



Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR,
 DESTATIS, GWS Osnabrück 2012.
 Geometrische Datenbasis: BKG/BBSR Kreise, 31.12.2012
 Bearbeitung: J. Hoymann

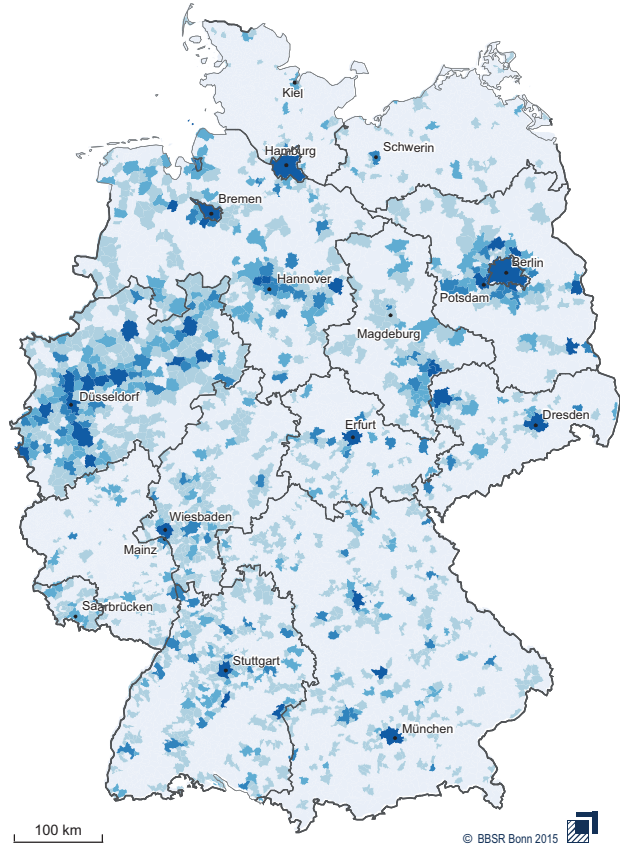
Abb. 4.9 Waldfläche in den Kreisen Deutschlands 2009 und Entwicklung bis 2030

lichen Regionen liegen. Bei Aufschlüsselung des Indikators „Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche“ in die einzelnen Nutzungsarten der Siedlungs- und Verkehrsfläche fällt auf, dass der Rückgang der Neuinanspruchnahme vor allem von der Gebäude- und Freifläche getragen wird (vgl. Abb. 4.10). Der leichte Rückgang der Verkehrsflächenentwicklung ist eng mit der Gebäude- und Freiflächenentwicklung verknüpft, da durch die geringere Ausweitung der Siedlungsflächen weniger Erschließungsstraßen benötigt werden.

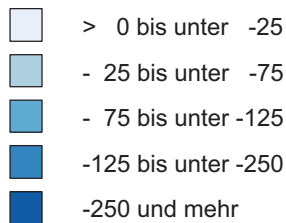
Tab. 4.6 Flächennutzung für Siedlung und Verkehr sowie Landwirtschaft und Wald in der Referenzprojektion sowie bei ausgewählten Maßnahmen im Bereich Siedlung und Verkehr. (Quelle: R. Goetzke und J. Hoymann)

	Referenzprojektion			Stärkung der Innenentwicklung		Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau		Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr		Rückzug aus der Fläche		Erhalt und Entwicklung inner-städtischer Freiflächen	
	Mio ha. 2009	Mio ha. 2030	% 2009–2030	Mio ha. 2030	% vs. Ref.	Mio ha. 2030	% vs. Ref.	Mio ha. 2030	% vs. Ref.	Mio ha. 2030	% vs. Ref.	Mio ha. 2030	% vs. Ref.
Siedlungs- und Verkehrsfläche	4,74	5,13	8,20	5,01	-2,50	5,09	-0,90	5,11	-0,40	5,11	-0,50	5,15	0,40
davon Gebäude und Freifläche	2,45	2,63	7,30	2,52	-4,10	2,60	-1,40	2,63	0,00	2,61	-0,90	2,62	-0,30
davon Erholungsfläche	0,43	0,50	16,70	0,50	-1,50	0,50	-0,40	0,50	-0,30	0,50	-0,40	0,52	5,30
davon Verkehrsfläche	1,79	1,91	7,20	1,90	-0,80	1,91	-0,40	1,90	-1,10	1,92	-0,10	1,91	-0,10
davon Betriebsfläche ohne Abbauland	0,08	0,10	20,20	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00	0,10	0,00
Landwirtschaftsfläche	18,72	18,20	-3,80	18,15	0,70	18,06	0,20	18,04	0,10	18,04	0,10	18,00	-0,10
Waldfläche	10,74	11,06	2,90	11,06	0,00	11,06	0,00	11,06	0,00	11,06	0,00	11,06	0,00

Abb. 4.11 Reduzierung der Flächeninanspruchnahme in Gemeinden und Städten bis 2030 durch die Maßnahme „Stärkung der Innenentwicklung“



Reduzierung der Flächenneuinanspruchnahme bis 2030 durch die Maßnahme "Stärkung der Innenentwicklung" in ha



Datenbasis: Laufende Raumbeobachtung des BBSR; GWS Osnabrück 2012, Destatis 2014, BBSR-Studie Innenentwicklungspotenziale in Deutschland; Berechnungen des BBSR
Geometrische Grundlage: BKG/BBSR, Gemeinden, 31.12.2012
Bearbeitung: R. Goetzke

Erliegen gekommen ist und die vorhandenen Potenziale nicht genutzt werden können. Erholungsflächen und vor allem Verkehrsflächen (z. B. Bau der A 14), die ebenfalls zur Siedlungs- und Verkehrsfläche zählen, werden durch die Maßnahme nicht beeinflusst und tragen dort weiterhin zur Flächeninanspruchnahme bei.

Abb. 4.11 zeigt, dass in absoluten Zahlen die Maßnahme „Stärkung der Innenentwicklung“ vor allem in Großstädten mit hohem Brachflächen- oder Nachverdichtungspotenzial wirken kann (z. B. Berlin, Hamburg, Leipzig, Dresden, Köln, Dortmund etc.). Teilweise ist auch das Umland dieser Städte mit entsprechenden Potenzialen ausgestattet. Dies ist vor allem im Umland von Berlin der Fall, während im Umland anderer Großstädte – wie Hamburg oder Stuttgart – die Siedlungsflächenentwicklung nur in geringem Umfang durch Innenentwicklung gedeckt werden kann.

Auch wenn die mengenmäßig größten Möglichkeiten zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Innenentwicklung in Kernstädten und verdichteten Regionen liegen, ist die Umsetzung der Maßnahme gerade im ländlichen Raum und in Klein- und Mittelstädten wichtig. Denn Innenentwicklung wirkt der Entleerung von Ortszentren und der Verödung von Quartieren entgegen und trägt zum Erhalt lebendiger Dörfer und Städte bei. Gleichzeitig stellen die Innenentwicklung und das in diesem Zusammenhang notwendige Flächenmanagement gerade kleine und mittlere Städte mit eingeschränkten personellen und finanziellen Ressourcen vor besondere Herausforderungen.

4.4.2.2 Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Die Siedlungsflächennachfrage wird in dieser Maßnahme durch die Anhebung der baulichen Dichte im Neubau verringert. Zur Berechnung der baulichen Dichte in der Referenzprojektion wird aus der projizierten Zahl der fertiggestellten Wohnungen und der projizierten Gebäude- und Freiflächenentwicklung ein Geschossflächenindex berechnet. Ist der berechnete Geschossflächenindex niedriger als der Durchschnitt des gleichen siedlungsstrukturellen Kreistyps, wird er bis auf diesen Durchschnittswert angehoben. Dabei ist der Geschossflächenindex in kreisfreien Großstädten um das 2,5-fache höher als in städtischen Kreisen und dort wiederum doppelt so hoch wie in ländlichen Kreisen mit Verdichtungsansätzen und in dünn besiedelten ländlichen Kreisen.⁸ Durch die Orientierung an Durchschnittswerten der baulichen Dichte für siedlungsstrukturelle Kreistypen wird vermieden, dass aus städtebaulichen Gesichtspunkten „unpassend“ dicht gebaut wird (z. B. Geschosswohnungsbau in stark ländlich geprägten Gebieten).

⁸Vgl. Raumabgrenzungen der laufenden Raumbeobachtung des BBSR: https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/kreise/Kreistypen4/kreistypen_node.html (zitiert am 13.02.2020).

4.4.2.3 Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Für die Umsetzung der Maßnahme „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr“ im Modell werden mehrere Annahmen hinsichtlich des Rückbaus und der effizienteren Nutzung von Verkehrsflächen getroffen. Es findet ein Rückbau bereits stillgelegter Verkehrsflächen statt, wobei unter „Rückbau“ nicht zwangsläufig die physische Entfernung aller Elemente der Verkehrsinfrastruktur zu verstehen ist, sondern die endgültige Aufgabe der Nutzung. Beispielsweise können Bahntrassen erhalten bleiben, da sie sich oft zu Sonderstandorten für seltene Pflanzen entwickeln können. Im Modell wird eine solche Fläche dann nicht mehr als Verkehrsfläche weitergeführt. Des Weiteren findet eine Konzentration auf den Erhalt und Ausbau, statt auf den Neubau von Verkehrsinfrastruktur statt. Dabei wird davon ausgegangen, dass weniger Verkehrsprojekte umgesetzt werden als in der Referenzprojektion und dass vor allem in unzerschnittenen, verkehrsarmen Räumen zusätzliche Verkehrsprojekte vermieden werden. Der innerstädtische Flächenbedarf für Verkehrsflächen wird reduziert, indem der Ausbau verringert wird und in Regionen mit langfristig rückläufigem Verkehrsaufkommen unterausgelastete Infrastruktur zurückgebaut wird. Um die vorhandene Verkehrsinfrastruktur effizienter zu nutzen und Neubau zu vermeiden, wird die Siedlungsflächenentwicklung an leistungsfähigen Verkehrs- und Infrastrukturorten/-trassen konzentriert. Damit erhöht sich die Siedlungsentwicklung in Gebieten mit guter verkehrlicher Erreichbarkeit (Autobahnanschlüsse, Fernbahnhöfe, Flughäfen), während sie in schlechter erreichbaren Gebieten zurückgeht.

Auswirkungen der Maßnahme

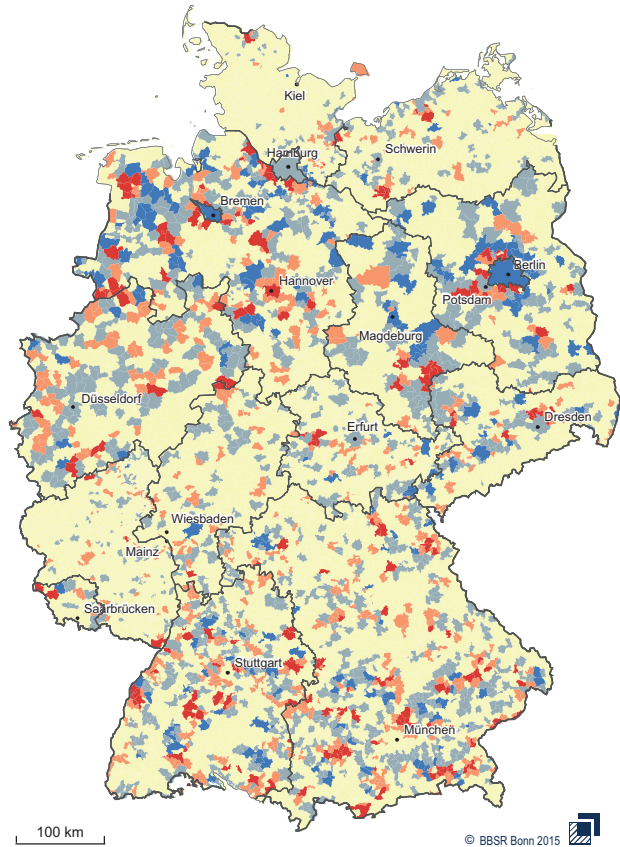
Die Maßnahme „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr“ führt zu einem Rückgang der täglichen Flächeninanspruchnahme auf 43,5 ha (vgl. Abb. 4.13). Damit werden bis 2030 knapp 23.000 ha weniger Fläche in Anspruch genommen (vgl. Tab. 4.6). Darin enthalten ist zu einem geringen Anteil ein Rückgang der Grün- und Erholungsflächenentwicklung. Durch den geringeren Ausbau der Verkehrsinfrastruktur werden auch weniger Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen benötigt, die sonst teilweise als städtische Grünfläche realisiert werden. In einigen Regionen kommt es durch die Maßnahme zu einer Verlagerung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung von Gemeinden mit schlechterer, zu Gemeinden mit besserer verkehrlicher Anbindung an Infrastrukturknotenpunkte. Dies lässt sich beispielsweise im Umland von Berlin und Hamburg, in Ostfriesland oder dem südlichen Sachsen-Anhalt beobachten.

4.4.2.4 Rückzug aus der Fläche

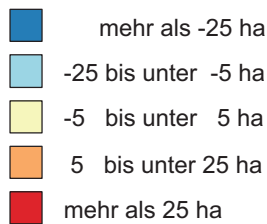
Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Die Maßnahme besteht aus einer Kombination aus dezentraler Konzentration und Rückbau in schrumpfenden peripheren ländlichen Räumen. Dabei findet eine Konzentration

Abb. 4.13 Veränderung der Flächeninanspruchnahme durch die Maßnahme „Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr“ gegenüber der Referenzprojektion



Veränderung der Flächeninanspruchnahme bis 2030 durch die Maßnahme "Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr" gegenüber der Referenzprojektion



Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR; GWS Osnabrück 2012, Destatis 2014, Erreichbarkeitsmodell des BBSR 2014; ATKIS Basis DLM, BKG; Berechnungen des BBSR
Geometrische Grundlage: BKG/BBSR, Gemeinden, 31.12.2012
Bearbeitung: R. Goetzke

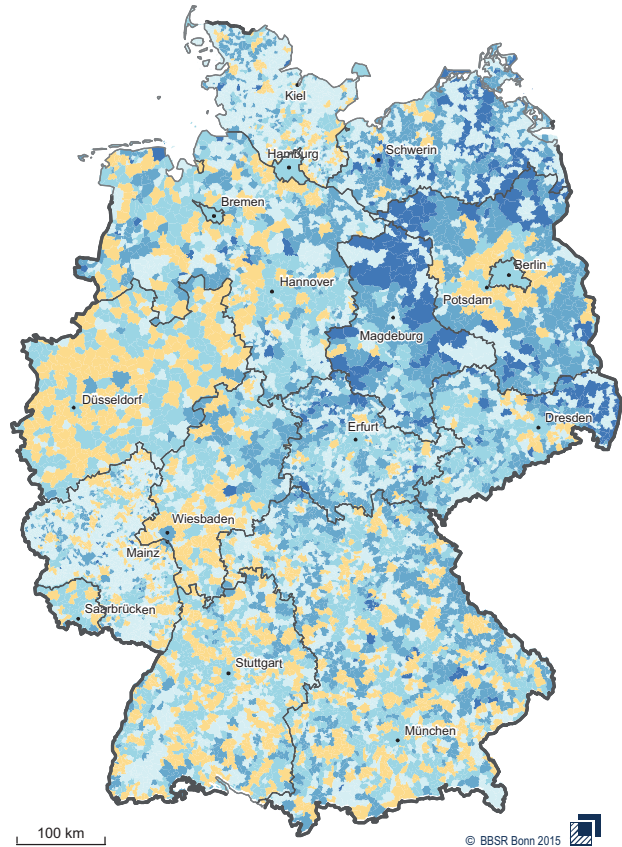
der Siedlungsentwicklung auf mittel- und oberzentrale Orte statt (ohne Unterzentren mit Teilfunktionen von Mittelzentren). Neben einer Konzentration der Entwicklung im ländlichen Raum führt diese Maßnahme zu einer Entlastung von Großstadregionen, da die Mittelzentren in deren Randbereich ebenfalls an Bedeutung gewinnen. In ländlich-peripheren Regionen mit Schrumpfungstendenzen findet Rückbau und Entsiegelung bei gleichzeitiger Stärkung des Bestands statt. Für die Umsetzung der Maßnahme werden Regionen mit hohen Leerstandsquoten identifiziert und je nach siedlungsstrukturellem Kreistyp die Leerstände reduziert. Dabei wird nochmals unterschieden zwischen ländlich-peripheren und verstäderten Gemeinden innerhalb der Kreise. Für diese Maßnahme bedarf es einer Senkung des (modellinternen) Aufwands für den Rückbau von Gebäude- und Freifläche, wodurch die Wahrscheinlichkeit im Modell für eine Umwandlung in die Kategorie Grün- und Erholungsfläche steigt. In dieser Maßnahme ist ebenfalls enthalten, dass der Rückbau in Gebieten mit erhöhtem Schadenspotenzial (Hochwasser, Lawinen) wahrscheinlicher ist als in Regionen ohne diese Gefährdung.

Auswirkungen der Maßnahme

Aufgrund der Maßnahme kann die Flächenneuanspruchnahme bis 2030 auf weniger als 42 ha pro Tag sinken. Maßgeblich hierfür ist der Rückbau an Gebäude- und Freifläche von ca. 23.000 ha (vgl. Tab. 4.6). Die tägliche Zunahme an Gebäude- und Freifläche sinkt von 19,5 ha in der Referenzprojektion auf 16 ha (vgl. Abb. 4.14).

In der räumlichen Darstellung der Ergebnisse (vgl. Abb. 4.15) wird die Wirkung der Maßnahme deutlich: In peripheren ländlichen Gebieten, v. a. in Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, findet ein deutlicher Rückgang der Neuanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen statt – regional bis zum Netto-Rückbau von Siedlungsfläche. Aufgrund der dezentralen Konzentration mit Stärkung des Zentrale-Orte-Systems erhöht sich in Gemeinden mit zentralörtlichen Funktionen die Siedlungsflächenzunahme. Dieser Konzentrationsprozess wird zum einen deutlich in ländlich geprägten Regionen in Bayern, Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Niedersachsen, wo eine Verlagerung der Siedlungsentwicklung aus benachbarten ländlichen Gemeinden ohne zentralörtliche Funktionen stattfindet. Zum anderen treten Mittelzentren im Einzugsbereich von Großstadregionen deutlich hervor, die zunehmend Teile von deren Funktionen übernehmen. Damit erfolgt eine Verlagerung der Siedlungsentwicklung aus den Großstadregionen in benachbarte Mittelzentren. Diese werden zusätzlich durch eine Verlagerung der Siedlungsflächenentwicklung aus dem angrenzenden ländlichen Raum gestärkt. Dies ist vor allem im Umland von Berlin, Frankfurt/Mainz/Wiesbaden, Hamburg, Düsseldorf, Köln, Bonn und Dresden zu beobachten. Im Ruhrgebiet wird durch die Maßnahme ein Teil der Siedlungsflächenentwicklung von den Großstädten mit deutlicherem Zuwachs in der Referenzprojektion (z. B. Essen, Dortmund) in die benachbarten Zentren sowie in Städte im erweiterten Umland (südliches Münsterland) verlagert. Dies hängt mit der Stärkung dieser Zentren durch die

Abb. 4.15 Veränderung der Flächenneuanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr aufgrund der Maßnahme „Rückzug aus der Fläche“ gegenüber der Referenzprojektion



Veränderung der Flächenneuanspruchnahme bis 2030 durch die Maßnahme "Rückzug aus der Fläche" gegenüber der Referenzprojektion

- Zunahme
- keine Veränderung
- Reduzierung um < 50%
- Reduzierung um > 50%
- Rückbau

Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR; GWS Osnabrück 2012, Destatis 2014, BBSR-Studie Entwicklung von Wohnungsleerständen 2014; Berechnungen des BBSR
Geometrische Grundlage: BKG/BBSR, Gemeinden, 31.12.2012
Bearbeitung: R. Goetzke

dass bestehende innerstädtische Grünflächen erhalten bleiben, indem der Aufwand zur Bebauung von Grün- und Erholungsflächen erhöht und die Nachverdichtungsrate im Verhältnis zur Referenzprojektion reduziert wird. Im Neubau werden Luftaustauschkorridore und qualitätsvolle Grünflächen berücksichtigt. Durch die Stärkung raumplanerischer Instrumente zum Siedlungsklimaschutz, Freiraumschutz, regionale Grünzüge und Grünzäsuren sowie der Landschaftsplanung bleiben stadregionale Freiraumfunktionen sowie grüne und blaue Strukturen erhalten. Im Stadtraum werden neue Siedlungsflächen geschaffen (z. B. auf Brachen). Hierfür wird die Erholungsfläche je Einwohner erhöht und vor allem dort verortet, wo bislang Defizite hinsichtlich der Grünausstattung bestehen, und der Aufwand zur Umnutzung von Brachen in Grünflächen abgesenkt. In Kreisen mit hohen Leerstandsquoten und Bevölkerungsrückgang findet Rückbau, Entseelung und Konzentration gebauter Strukturen statt.

Auswirkung der Maßnahme

Die Wirkung dieser Maßnahme wird mit dem Indikator „Flächeninanspruchnahme in wärmebelasteten Gebieten“ bewertet. Dieser Indikator setzt sich aus zwei Teilindikatoren zusammen, die gleichgewichtet in den Gesamtindikator einfließen. Dabei handelt es sich einerseits um den Anteil der Flächenneuanspruchnahme (Wohnbebauung) in wärmebelasteten Gebieten und andererseits um den Anteil der Siedlungsflächen im Jahr 2030 (Wohnbebauung) innerhalb einer Distanz von 500 m um grüne und blaue Strukturen (urbane Grün- und Erholungsflächen, Wald, Feuchtgebiete, Wasser). Die tägliche Flächeninanspruchnahme liegt im Zeitraum 2026 bis 2030 bei Umsetzung der Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“ bei 47 ha/Tag und damit nur leicht oberhalb der Referenzprojektion. Dies hängt in erster Linie mit einem höheren Bedarf an Erholungsflächen zusammen (13 ha/Tag). Die Gebäude- und Freiflächenentwicklung ist aufgrund des Rückbaus von Leerständen geringer als in der Referenzprojektion und liegt im Zeitraum 2026 bis 2030 bei etwa 18 ha/Tag (vgl. Abb. 4.16).⁹ Die Verkehrsflächenentwicklung wird durch die Umsetzung der Maßnahme nur leicht erhöht. Dies hängt mit der Verlagerung der Gebäude- und Freiflächenentwicklung an die Siedlungsränder zusammen, da Freiflächen im Innenbereich stärker in Grünflächen umgewandelt werden als in der Referenzprojektion. Zudem wird eine insgesamt lockerere Bebauung angestrebt, was längere Erschließungsstraßen zur Folge hat.

Die Maßnahme ist vor allem in Regionen wirksam, die einen hohen Brachflächenanteil, bzw. Leerstand bei geringem Flächendruck haben (vgl. Abb. 4.17). Dort ergeben sich größere Handlungsspielräume für die Schaffung neuer Grünflächen bspw. durch Rückbau. Dies ist vor allem in Teilen Sachsens, im südlichen Brandenburg sowie in Teilen Thüringens und Sachsen-Anhalts der Fall. Insgesamt erhöht sich allerdings durch

⁹Gebäude- und Freifläche bleibt zwar im Vergleich zur Referenzprojektion konstant, doch durch den Rückbau ergibt sich ein Netto-Rückgang der Flächenentwicklung.

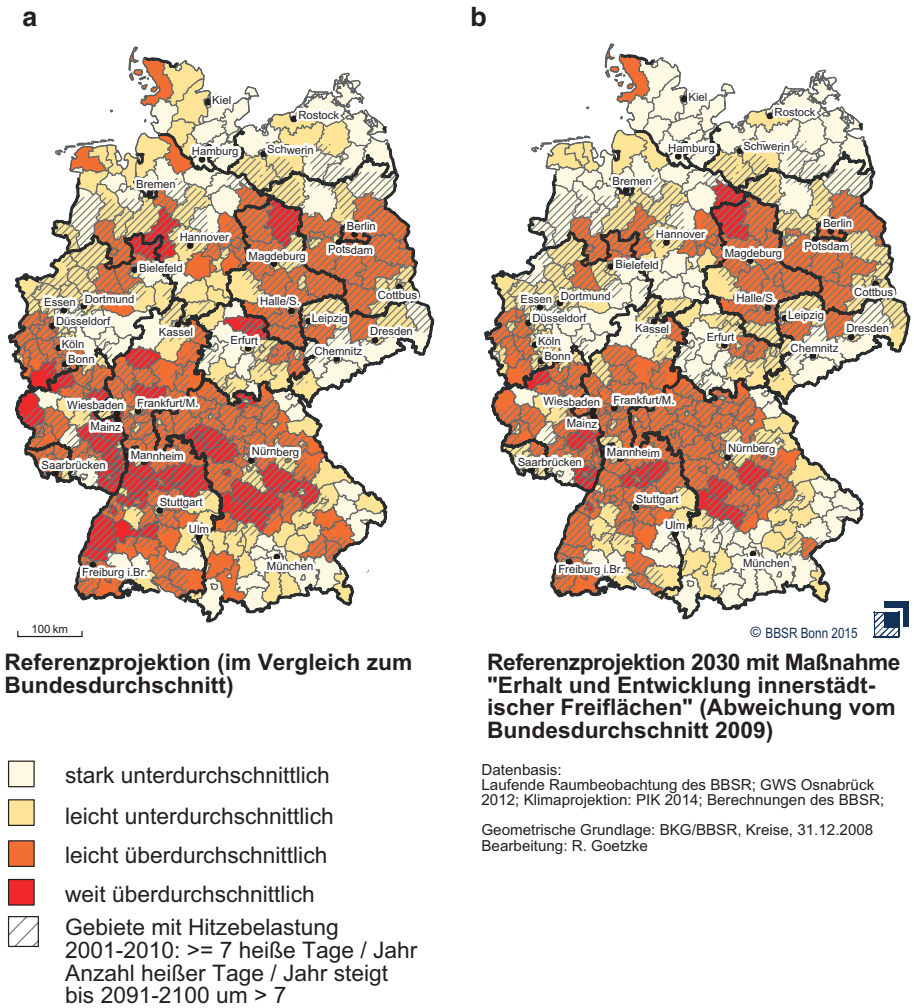


Abb. 4.17 Flächeninanspruchnahme in wärmebelasteten Gebieten (Simulation der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung bis 2030 und Berücksichtigung der Entwicklung der Hitzetage bis 2100). Vergleich zwischen Referenzprojektion (links) und Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“ (rechts)

4.4.2.6 Stärkung des ÖPNV

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Die Maßnahme „Stärkung des ÖPNV“ zielt auf die verbesserte Anbindung neuer Siedlungsflächen an den ÖPNV ab. Damit soll der Umstieg vom MIV auf den ÖPNV erleichtert, Fahrstrecken reduziert und eine kompakte und effiziente Siedlungsstruktur

erreicht werden. Ziel dieser Maßnahme ist die Reduzierung von CO₂-Emissionen im Verkehrssektor. Die zentralen Modellannahmen umfassen Verbesserung der ÖPNV-Erreichbarkeit von ober- und mittelzentralen Orten und die stärkere Gewichtung dieser Erreichbarkeit bei der Siedlungsentwicklung. Konkret wird im Modell beispielsweise die Erreichbarkeit von zentralen Orten mit dem ÖPNV höher gewichtet als die mit dem motorisierten Individualverkehr, und unter der Annahme, dass es zu einer Angebotsverbesserung kommt, auch von Ortszentren und Haltestellen entferntere Siedlungsflächen in die Gewichtung mit einbezogen. Da zudem eine hohe Siedlungsdichte die Erreichbarkeit von Orten und Einrichtungen des täglichen Bedarfs erhöht, wird im Modell die Bedeutung der Siedlungsdichte für die Wohnstandortwahl heraufgesetzt. Das bedeutet, bereits verdichtete Orte sind für die Standortwahl im Modell attraktiver als gering verdichtete. Das führt zu einer stärkeren Konzentration der Siedlungsentwicklung in verdichteten Regionen und somit zu kürzeren Wegen und besserer ÖPNV-Auslastung.

Um die Wirkung der Maßnahme abschätzen zu können, wird der Indikator „Verkehrliche Erschließung neuer Siedlungsflächen“ verwendet. Der Indikator misst die ÖPNV-Erreichbarkeit mittel- und oberzentraler Orte von neuen Siedlungsflächen (Wohnbebauung). Als Datengrundlage dient eine Karte der Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren aus dem Erreichbarkeitsmodell des BBSR (Abb. 4.18).¹⁰

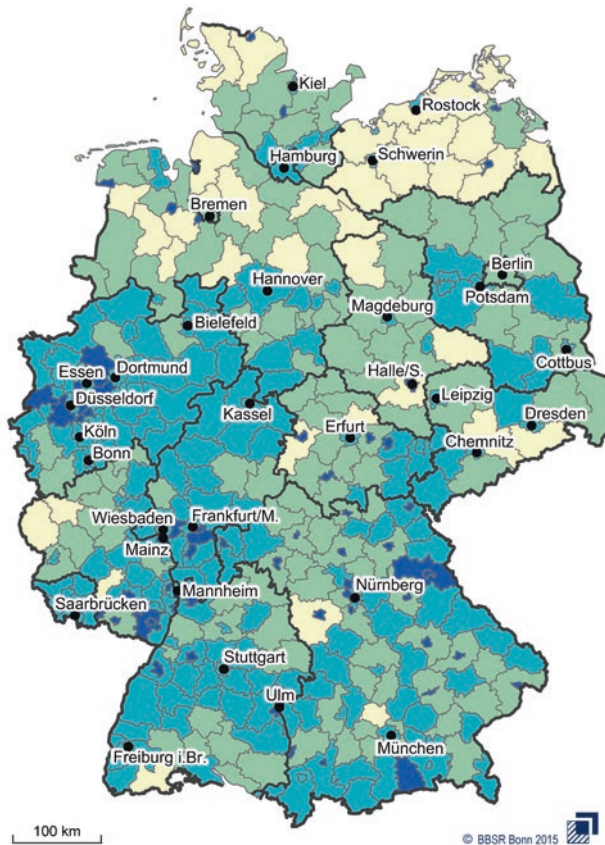
Im Durchschnitt benötigt man von den bestehenden Siedlungsflächen aus etwa 30 min bis zum nächsten Zentrum eines mittel- oder oberzentralen Ortes. Regionale Unterschiede der ÖPNV-Erreichbarkeit sind deutlich zu erkennen (vgl. Abb. 4.18). Defizite sind vor allem im ländlich geprägten Norden und Osten (v. a. Mecklenburg-Vorpommern) zu erkennen, während in den stärker verdichteten Kreisen im Westen und Süden sowie in den meisten kreisfreien Städten¹¹ die ÖPNV-Erreichbarkeit gut ist.

Auswirkung der Maßnahme

Von den Siedlungsflächen, die in der Referenzprojektion bis 2030 neu hinzukommen, sind Mittel- und Oberzentren mit dem ÖPNV im Schnitt in 28 min zu erreichen. Durch die Maßnahme „Stärkung des ÖPNV“ verbessert sich diese Erreichbarkeit auf 23 min. Eine deutliche Abweichung von diesem Wert ist nach Durchführung der Maßnahme nur noch in wenigen Kreisen messbar. Abb. 4.19 zeigt den Index „Verkehrliche Erschließung neuer Siedlungsflächen“, der sich aus der Abweichung der Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren ausgehend von neuen Siedlungsflächen errechnet. Auf der linken Seite der Karte sind diese Abweichungen in der Referenzprojektion erkennbar. Die rechte Seite der Karte zeigt die Maßnahmenwirkung.

¹⁰Die ÖPNV-Erreichbarkeit entspricht dem Status quo. Über die zukünftige Entwicklung des ÖPNV-Netzes liegen keine Informationen vor. Daher wird die Lage neuer Siedlungsflächen anhand der heutigen ÖPNV-Erreichbarkeit bewertet.

¹¹Berlin bildet hier eine Ausnahme, was allerdings mit dem Erreichbarkeitsmodell zusammenhängt, das als Zielorte die Zentren der Städte beinhaltet. Bei der Größe Berlins sind bis ins Zentrum erhebliche Strecken zurückzulegen.



ÖPNV-Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren (in Minuten)

- weniger als 20
- 20 bis unter 30
- 30 bis unter 40
- 40 und mehr

Datenbasis: Laufende Raumbeobachtung des BBSR; GWS Osnabrück 2012;
Erreichbarkeitsmodell des BBSR; Berechnungen des BBSR;
Geometrische Grundlage: BKG/BBSR, Kreise, 31.12.2008
Bearbeitung: R. Goetzke

Abb. 4.18 Mittlere Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren mit dem ÖPNV (ausgehend von bestehender Wohnbebauung 2009)

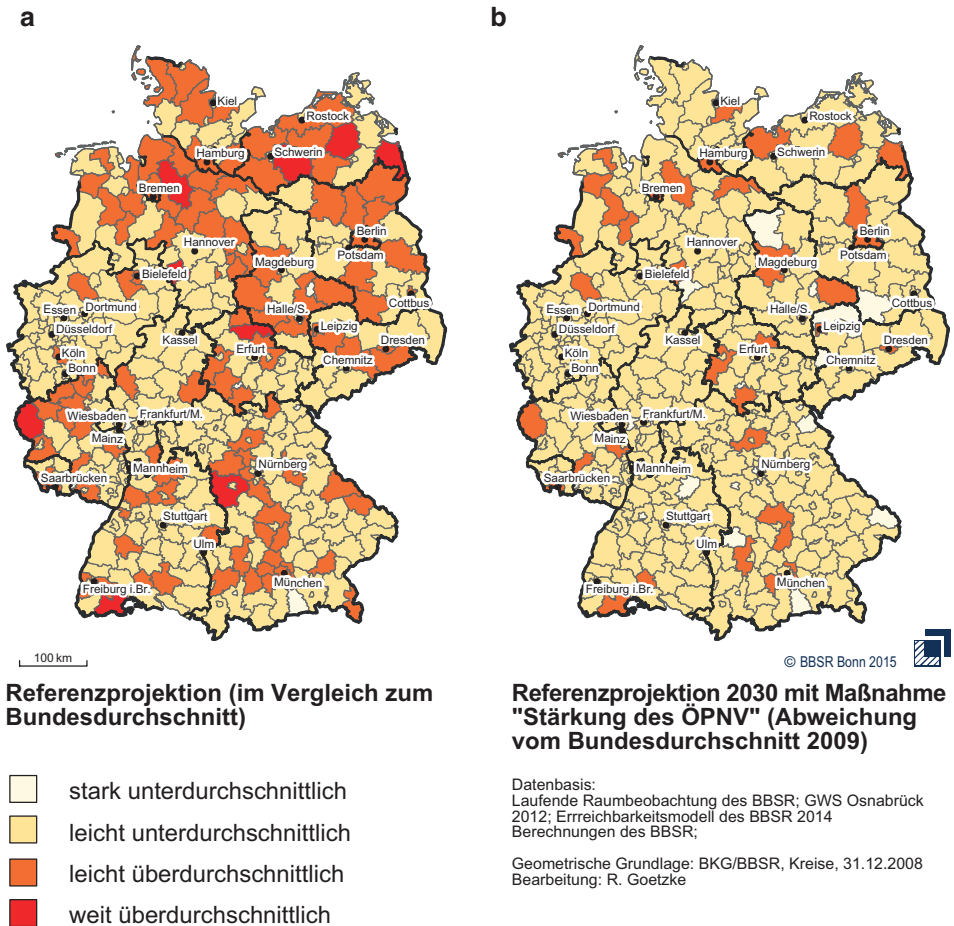


Abb. 4.19 Verkehrliche Erschließung (ÖPNV) neuer Siedlungsflächen (Simulation der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung bis 2030 und Berücksichtigung der heutigen ÖV-Erreichbarkeit von Mittel- und Oberzentren). Vergleich zwischen Referenzprojektion Bundesdurchschnitt 2009 (links) und Maßnahme „Stärkung des ÖPNV“ (rechts)

In den meisten Regionen sind durch die Maßnahme neue Siedlungsflächen deutlich besser über den ÖPNV an Mittel- und Oberzentren angeschlossen als in der Referenzprojektion, gerade auch in ländlich-peripheren Kreisen. Ein Beispiel hierfür ist die Altmark. Dort findet durch die modellierte Maßnahme die Siedlungsentwicklung nur noch in unmittelbarer Nähe und damit guter Erreichbarkeit der wenigen Mittelzentren (Stendal und Salzwedel) statt. Hierbei gilt die Annahme einer Verbesserung des ÖPNV-Angebots. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass die Siedlungsentwicklung dort insgesamt verglichen mit dem Bundesdurchschnitt sehr niedrig ist und aufgrund geringer Flächenkonkurrenz die Siedlungsentwicklung auf die optimalsten Standorte (in Bezug auf die ÖPNV-Erreich-

barkeit) ausweichen kann. Insgesamt ist die ÖPNV-Erreichbarkeit in der Altmark jedoch unterdurchschnittlich (vgl. Abb. 4.19).

Da die Maßnahme nur die räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung steuert und nicht deren Menge, hat sie keinen Einfluss auf die tägliche Flächenneuanspruchnahme. Diese ist identisch mit der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in der Referenzprojektion.

4.4.2.7 Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

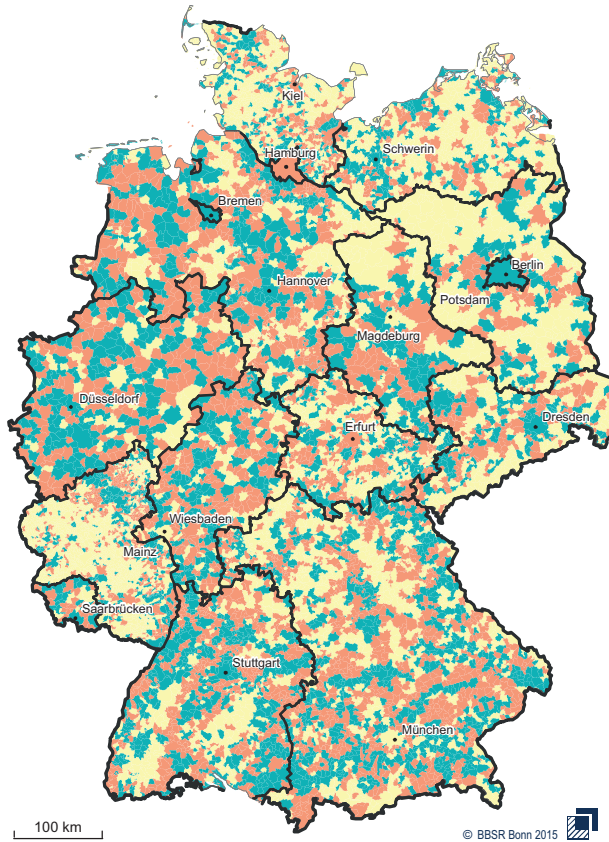
Bei der Maßnahme handelt es sich weniger um eine Umsetzungsmaßnahme, sondern vielmehr um die konsequente Anwendung des raumordnerischen Instrumentariums. Bestandteile dieser Maßnahme sind auch in anderen Maßnahmen enthalten. Hier werden stattdessen alle Möglichkeiten gebündelt, die der Raumordnung zur Verfügung stehen, um die Siedlungsentwicklung im Hinblick auf Anforderungen von Klimaschutz, Klimaanpassung und Natur- und Umweltschutz zu steuern. Die Maßnahme beinhaltet die Stärkung des Freiraumschutzes (z. B. durch Umwandlung von Vorbehalts- in Vorranggebiete) und den Schutz natürlicher Bodenfunktionen durch Raumordnungsgebiete. Des Weiteren werden neue Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zum Schutz vor Naturgefahren (z. B. Hangrutschungen) ausgewiesen und Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für erneuerbare Energien (Windenergie) erweitert.

Mit diesem Bündel an raumordnerischen Maßnahmen wird die Wahrscheinlichkeit für neue Siedlungsentwicklung in folgenden Vorrang- und Vorbehaltsgebieten deutlich herabgesetzt: Hochwasserschutz, regionale Grünzüge, Natur- und Landschaft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Freiraumschutz, Siedlungsklimaschutz, Windenergienutzung, Grundwasserschutz, Bodenschutz. Außerdem werden Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für Gebiete ausgewiesen, die ein hohes landwirtschaftliches Ertragspotenzial, einen hohen Kohlenstoffgehalt im Oberboden oder ein Hangrutschungsrisiko aufweisen.

Auswirkung der Maßnahme

Die Maßnahme führt zu einer Verlagerung der Siedlungsentwicklung. Ein klares räumliches Muster der Verlagerung ist in den Ergebniskarten nicht zu erkennen (vgl. Abb. 4.20). Ein solches Muster ergibt sich nicht, weil dieses Maßnahmenbündel in unterschiedliche Richtungen wirkt (Klimaschutz, Klimaanpassung, Naturschutz). Verlagerungseffekte sind beispielsweise entlang großer Flussläufe zu erkennen (Rhein, Donau), wo sich die Siedlungsentwicklung in Gemeinden in größerer Entfernung zu den Flüssen verstärkt, während sie sich in deren Nähe abschwächt (aufgrund der stärkeren Wirkung der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zum Hochwasserschutz).

Da die Maßnahme nur die räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung steuert und nicht deren Menge, hat sie keinen Einfluss auf die tägliche Flächenneuanspruchnahme. Diese ist identisch mit der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in der Referenzprojektion.



Veränderung der Flächenneuanspruchnahme bis 2030 durch die Maßnahme "Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten" gegenüber der Referenzprojektion

- Zunahme
- keine Veränderung
- Abnahme

Datenbasis: Laufende Raumbewertung des BBSR; GWS Osnabrück 2012, Destatis 2014, JRC 2012, BGR 2013; BBSR ROPLAMO 2014; Berechnungen des BBSR
 Geometrische Grundlage: BKG, Gemeinden, 31.12.2012
 Bearbeitung: R. Goetzke

Abb. 4.20 Veränderung der Flächenneuanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr aufgrund der Maßnahme „Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten“ gegenüber der Referenzprojektion

4.4.2.8 Stärkung des Hochwasserschutzes

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Die Maßnahme „Stärkung des Hochwasserschutzes“ beinhaltet vorsorgende (raumplanerische) Instrumente und zielt darauf ab, die Siedlungsentwicklung aus Gebieten herauszuhalten, in denen Extremhochwasser auftreten kann. Konkret werden in der Modellierung Vorranggebiete des Hochwasserschutzes stärker gewichtet als in der Referenzprojektion, was eine Erhöhung des Abwägungsaufwands darstellen soll. Zudem werden bestehende Vorbehaltsgebiete in Vorranggebiete umgewandelt. Die Hochwasserisikomanagementrichtlinie (HWRM-RL) wird konsequent umgesetzt und zusätzlich werden Extremhochwasserbereiche (HQ_{extrem}) als Vorranggebiete ausgewiesen. Somit ist die Fläche, in denen aufgrund von Hochwassergefahr die Siedlungsentwicklung erschwert wird (z. B. durch höheren Begründungsaufwand oder die Vorgabe hochwasserangepasster Bauweise), deutlich größer als in der Referenzprojektion.

Auswirkung der Maßnahme

Durch die Maßnahme „Stärkung des Hochwasserschutzes“ kann die Flächeninanspruchnahme in hochwassergefährdeten Gebieten deutlich reduziert werden. Die linke Karte in Abb. 4.21 zeigt die Flächenneuanspruchnahme durch versiegelungsrelevante Siedlungsflächen bis 2030 in durch Extremhochwasser gefährdeten Gebieten (HQ_{extrem}) als Abweichung der Kreiswerte vom Bundesdurchschnitt in der Referenzprojektion. In der Referenzprojektion werden die derzeit bestehenden Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zur Steuerung der Siedlungsentwicklung berücksichtigt, im Maßnahmen-Szenario die erweiterte Kulisse an Vorranggebieten (rechte Karte). Der Indikator berechnet sich jedoch in beiden Fällen aus der Flächeninanspruchnahme in HQ_{extrem} -Gebieten. Damit haben die Bewertung der Referenzprojektion und die Maßnahmenwirkung die gleiche Bemessungsgrundlage.

Dabei wird deutlich, dass in den weitaus meisten Kreisen das Hochwasserrisiko durch die Ausweisung weiterer Vorranggebiete für den Hochwasserschutz deutlich reduziert wird. Ausnahmen bilden die Kreise, in denen die Siedlungsflächen nachfrage sehr hoch und gleichzeitig die Menge an verfügbaren Freiflächen außerhalb hochwassergefährdeter Gebiete gering ist (Rheinland, Oberrhein, Rhein-Main). Daneben bleibt in den Kreisen die Siedlungsentwicklung in hochwassergefährdeten Bereichen hoch, in denen der weitaus größte Teil der Fläche der Kreise hochwassergefährdet ist (Nordsee). In einigen Gebieten, die vom Jahrhunderthochwasser 2013 an der Elbe und ihren Zuflüssen betroffenen waren, ist das Hochwasserrisiko auch in der Referenzprojektion vergleichsweise gering. Dies hängt mit der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt geringen Siedlungsflächenentwicklung sowie ausreichend zur Verfügung stehenden Ausweichflächen zusammen.

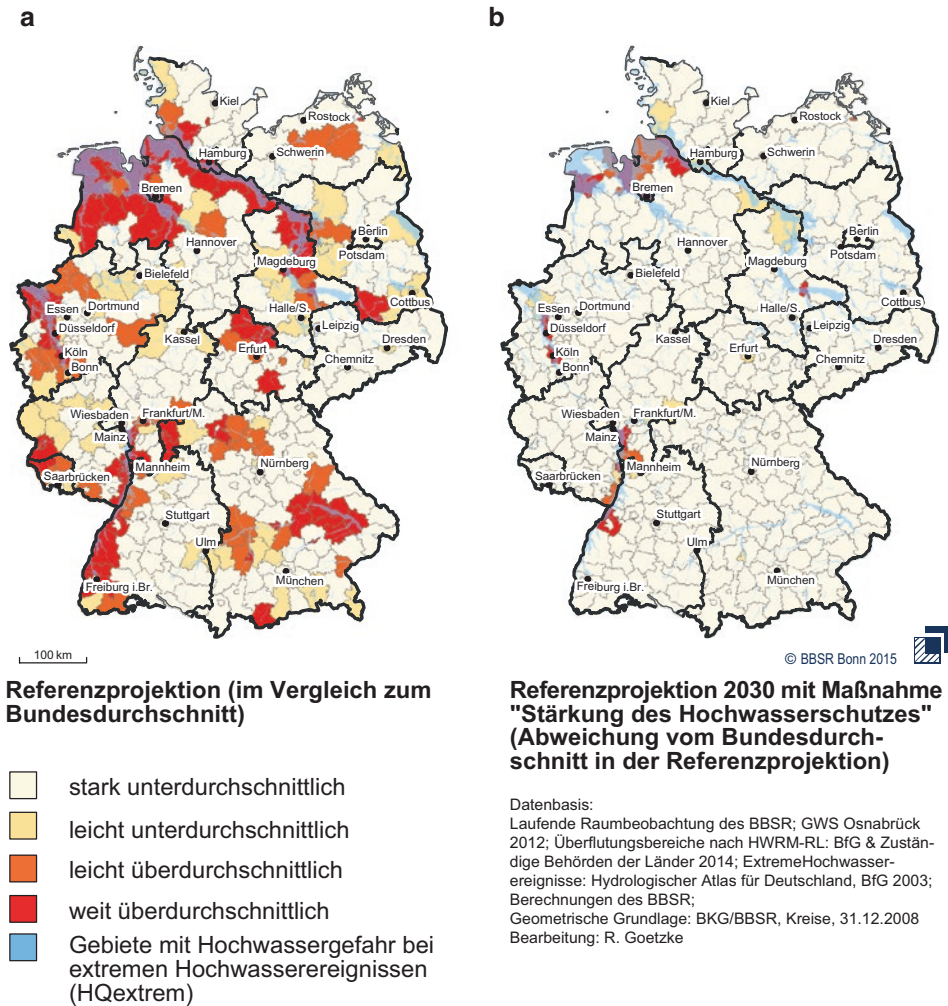


Abb. 4.21 Flächenneuanspruchnahme in hochwassergefährdeten Gebieten (Simulation der versiegelungsrelevanten Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung bis 2030). Vergleich zwischen Referenzprojektion (links) und Maßnahme „Stärkung des Hochwasserschutzes“ (rechts)

4.4.2.9 Restriktiver Freiraumschutz

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

In der Maßnahme „Restriktiverer Freiraum-/Naturschutz“ wird die Schutzfunktion einiger Schutzgebietskategorien erhöht (Landschaftsschutzgebiete, Natura 2000-Gebiete, Biosphärenreservate), was die Wahrscheinlichkeit neuer Siedlungsflächenentwicklung in diesen Gebieten deutlich herabsetzt. Außerdem wird die Schutzgebietskulisse erweitert,

indem um bestehende Schutzgebiete mit hohem Schutzstatus (Naturschutzgebiete, Nationalparks) ein Puffer gelegt wird. Zusätzlich wird die Regionalplanung in Bezug auf den Schutz von Natur und Landschaft gestärkt, bspw. durch die Umwandlung von Vorbehaltsgebieten für Natur und Landschaft und regionale Grünzüge in Vorranggebiete.

Auswirkung der Maßnahme

Mit Hilfe des Indikators „Flächeninanspruchnahme in Schutzgebieten und schutzwürdigen Landschaften“ lässt sich die Wirkung der Maßnahme räumlich darstellen (vgl. Abb. 4.22). Zunächst wird deutlich, dass es in Deutschland verschiedene „Hot Spots“ gibt, in denen vermehrt Fläche in aus Naturschutzsicht schützenswerten Gebieten für die

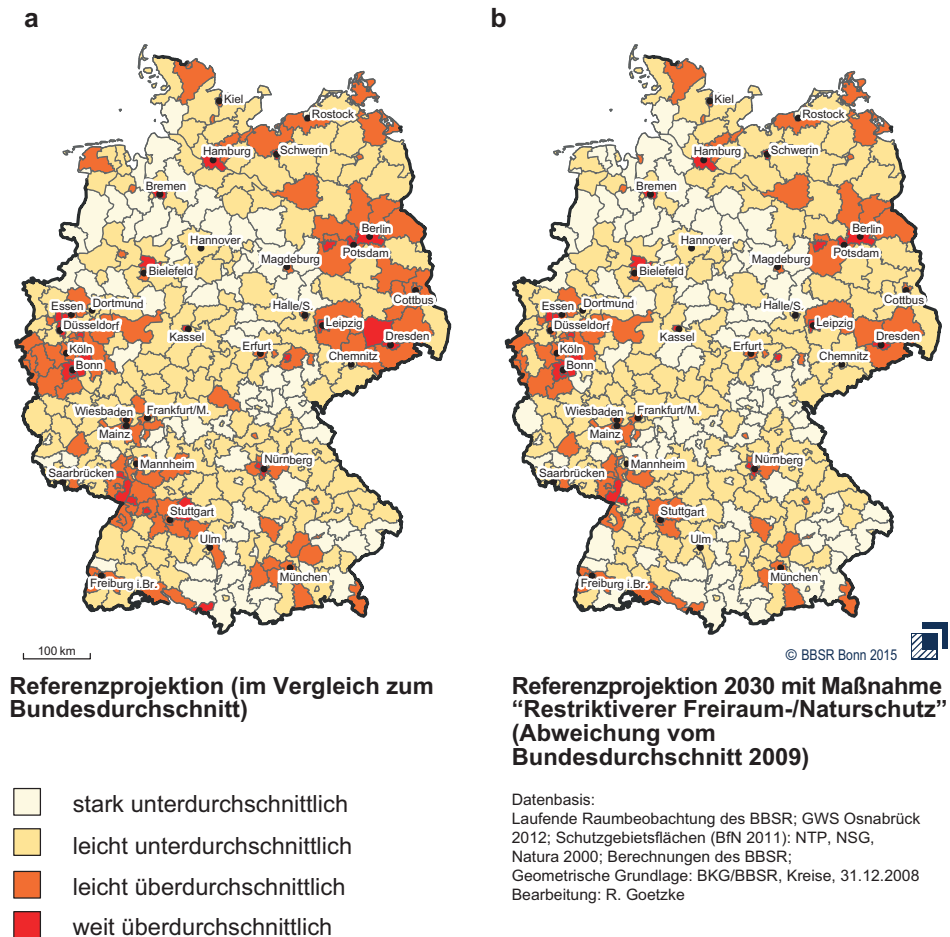


Abb. 4.22 Flächeninanspruchnahme in Schutzgebieten (Simulation der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung bis 2030). Vergleich zwischen Referenzprojektion (links) und Maßnahme „Restriktiverer Freiraum-/Naturschutz“ (rechts)

Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in Anspruch genommen wird. Dies ist beispielsweise im Rheinland, am Oberrhein, im Raum Stuttgart, im Umland von Berlin und in Teilen Sachsens der Fall. Durch die Maßnahme kommt es regional zu einem Rückgang der Flächeninanspruchnahme in Schutzgebieten und schutzwürdigen Landschaften, aber die Maßnahme scheint nicht überall zu greifen. Dies kann damit zusammenhängen, dass die Bundesländer Schutzgebietsausweisungen sehr unterschiedlich handhaben.

Zur Berechnung des Indikators wird auch die Flächeninanspruchnahme in Landschaftsschutzgebieten herangezogen, die in einigen Regionen – insbesondere im erweiterten Umland von Agglomerationen – flächenmäßig große Gebiete umfassen. Trotz der Erhöhung der Restriktion durch die Maßnahme verteilt das Modell in diesen Gebieten weiterhin Siedlungsflächen, da bei hoher Nachfrage (z. B. im Umland von Berlin oder im Rheinland) und gleichzeitig zahlreichen anderen Restriktionen (z. B. durch Hochwasserschutz) nur wenige Ausweichmöglichkeiten bestehen.

Da die Maßnahme nur die räumliche Verteilung der Siedlungsentwicklung steuert und nicht deren Menge, hat sie keinen Einfluss auf die tägliche Flächenneuanspruchnahme. Diese ist identisch mit der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung in der Referenzprojektion.

4.4.2.10 Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen

Annahmen und Spezifikation der Maßnahme

Um beziffern zu können, wie viel Fläche durch Freiflächen-Photovoltaikanlagen zukünftig in Anspruch genommen wird, bedarf es einer Projektion des zukünftigen Ausbaus der installierten Leistung sowie Annahmen über die Anteile von Freiflächen-Photovoltaikanlagen an diesem Ausbau. Genaue Daten hierüber liegen nicht vor. Anhand der Anlagenstammdaten der Übertragungsnetzbetreiber lassen sich jedoch grobe Schätzungen vornehmen. Die jährlich installierte Leistung an Photovoltaikanlagen ist zwischen 2005 und 2011 von 900 MW auf 7600 MW gestiegen. Im gleichen Zeitraum ist der Anteil von Freiflächen-Photovoltaikanlagen an der installierten Leistung von 6 auf 30 % gestiegen (vgl. Abb. 4.23). Der Anteil der Freiflächenanlagen an der gesamten installierten Leistung (Summe aller Jahre) beträgt 21 % und die in Anspruch genommene Fläche mindestens 15.600 ha.

Der Ausbaupfad des EEG zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie liegt bei 2500 MW (brutto) pro Jahr. Es werden die Annahmen getroffen, dass das Verhältnis von Freiflächenanlagen an der gesamten installierten Leistung bei 30 % bleibt (Stand: 2011), der jährliche Ausbau bis 2030 genau dem Ausbaupfad folgt und der Flächenbedarf gleichbleibt.

Auswirkung der Maßnahme

Bis 2030 würden nach den oben beschriebenen Annahmen 44.460 ha Fläche für Freiflächen-Photovoltaikanlagen benötigt. Ob dieser Wert plausibel ist, lässt sich in

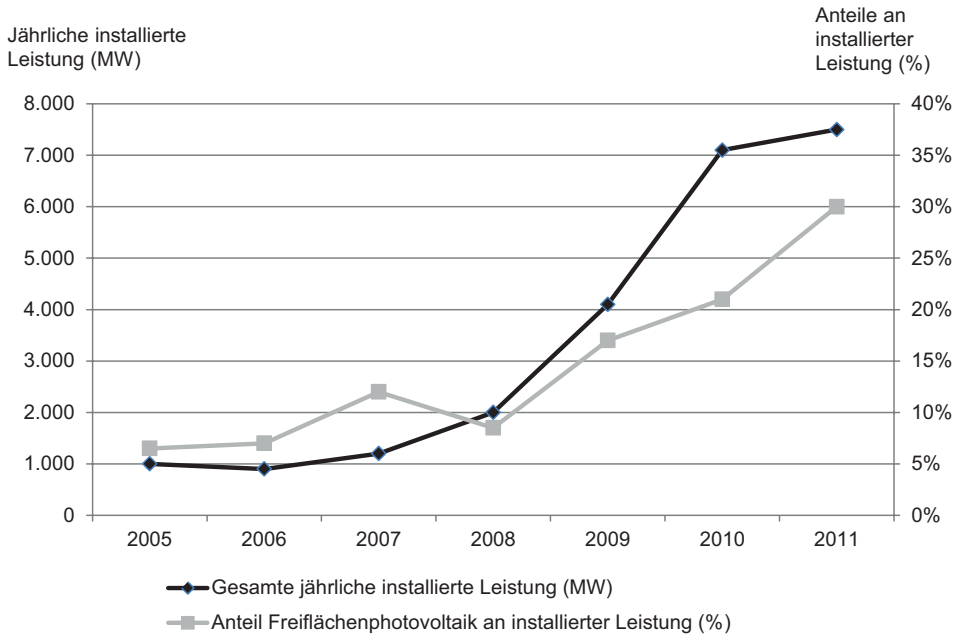


Abb. 4.23 Photovoltaik: installierte Leistung (MW) und Anteil Freiflächen-Photovoltaikanlagen an installierter Leistung (%) (Datengrundlage: 50 Hz Transmission, Amprion, Tennet TSO, TransnetBW, Berechnung R. Goetzke)

diesem Kontext nicht weiter erörtern. Möglicherweise wird weniger Fläche benötigt, da neue Anlagen effizienter werden, eine Erneuerung bestehender Anlagen durchgeführt wird („Repowering“), die verfügbaren Flächen aufgrund der Auflagen des EEG begrenzt sind und der Ausbau möglicherweise nicht auf einem so hohen Niveau bleiben wird.

Um die Wirkung der Maßnahme abzuschätzen, wäre eine Erhebung von Flächen notwendig, die weder für Siedlungszwecke, noch für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet sind. Dabei handelt es sich vor allem um Konversionsflächen aus wirtschaftlicher und militärischer Nutzung. Unter Konversionsflächen aus wirtschaftlicher Nutzung fallen beispielsweise ehemalige Abbauflächen oder Deponien. In dem hier verwendeten Landnutzungsdatensatz sind etwa 17.700 ha an Abbauflächen und Deponien erfasst. Davon wären etwa 6300 ha aufgrund ihrer Ausrichtung (südlich) und ihrer Hangneigung (maximal 40°) für die Errichtung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen geeignet. Inwiefern diese Flächen z. B. aufgrund des Untergrundes oder der geplanten Nachnutzung (z. B. Rekultivierung) genutzt werden können, kann hier nicht beurteilt werden.

Wie viel Fläche aus militärischer Konversion in den Jahren bis 2030 frei wird, lässt sich nicht bestimmen. Derzeit werden fast 550.000 ha in Deutschland militärisch genutzt. Mehr als die Hälfte dieser Fläche steht jedoch unter Naturschutz (Naturschutzgebiet, Natura 2000-Gebiet). Werden davon noch die Flächen subtrahiert, die Wald, Wasserfläche

oder Feuchtgebiet sind oder bereits für Wohnzwecke oder landwirtschaftlich genutzt werden, so bleiben noch etwas mehr als 54.000 ha übrig. Werden hiervon nur die Flächen berücksichtigt, die eine südliche Ausrichtung und eine geeignete Hangneigung aufweisen, beläuft sich das verbleibende Potenzial auf weniger als 20.000 ha. Wie viel davon in den nächsten Jahren aus der militärischen Nutzung genommen wird, ist unbekannt. Das theoretisch verfügbare Potenzial aus wirtschaftlichen und militärischen Konversionsflächen beläuft sich demnach auf etwa 26.000 ha. Würden ausschließlich diese Flächen genutzt, könnten die heute von Freiflächen-Photovoltaikanlagen in Anspruch genommene Fläche mehr als verdoppelt werden, ohne weitere Landwirtschaftsfläche in Anspruch zu nehmen oder die Siedlungsentwicklung zu beeinträchtigen. Ob dies die Flächennachfrage decken würde, kann hier nicht beantwortet werden.

Bei dieser Analyse handelt es sich ausschließlich um eine GIS-gestützte Analyse verfügbarer Datensätze und erhebt keinen Anspruch auf Korrektheit der verfügbaren Potenziale von erneuerbaren Energien auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen.

4.4.3 Strategien „Siedlung und Verkehr“

Die im Sektor Siedlung- und Verkehr modellierten Maßnahmen und deren Zuordnung zu den Strategien, die intensiv mit nationalen und regionalen Akteuren der Landnutzung diskutiert wurden, sind in Tab. 4.7 aufgeführt. Tab. 4.8 bündelt die Flächennutzung für Siedlung und Verkehr sowie Landwirtschaft und Wald in der Referenzprojektion sowie den untersuchten Landnutzungsstrategien.

4.4.3.1 Ergebnisse der Klimaschutzstrategie

Für eine klimaschützende Landnutzungsstrategie werden im Sektor Siedlung und Verkehr Maßnahmen gebündelt, die eine ressourcenschonende Siedlungsentwicklung und effiziente Siedlungsstrukturen fördern. Mit Blick auf die Relevanz für die Flächennutzung geht es in erster Linie um die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, wodurch Kohlenstoffsinken erhalten bleiben. Zudem ermöglicht gezielte Innenentwicklung die effizientere Ausnutzung von Infrastruktur. Laut Jenssen (2009, S. 283) könne „ein wichtiges Element zur THG-Minderung [...] die Gestaltung der zukünftigen Siedlungsentwicklung durch dichte Siedlungsformen sein“, was durch entsprechende Studien belegt ist (Dodman 2009; Hamin und Gurren 2009; Jenssen 2009). Es geht in der Klimaschutzstrategie genauso wenig wie in den auf die Erhöhung der städtebaulichen Dichte ausgerichteten Einzelmaßnahmen um „bedingungslose Dichte im Namen des Klimaschutzes“ (Jenssen 2009, S. 283), sondern um eine Dichte, die mit hoher städtebaulicher Qualität einhergeht.

Tab. 4.7 Maßnahmen zur Steuerung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung und Zuordnung der Maßnahmen zu Strategien. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Maßnahme	Klimaschutz	Bioenergie*	Natur- und Umweltschutz	Klima-anpassung
Stärkung der Innenentwicklung	+++	(+)	++	+/-
Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau	++	(+)	+	+/-
Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr	++	(+)	++	+
Rückzug aus der Fläche (dezentrale Konzentration)	++/-	(+)	++	++
Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen	+	(++)	+	+++
Stärkung des ÖPNV	+++	O	+	O
Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten	++	(+)	++	++
Stärkung des Hochwasserschutzes	O	O	O	+++
Restriktiverer Freiraumschutz	+	O	+++	O
Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen	++	(+)	O	O
Nutzung von Biomasse der Landschaftspflege	++	++	O	O

Anmerkung: Eignung der Maßnahme zur Erreichung des Ziels: +=unter bestimmten Voraussetzungen geeignet, bzw. Teile der Maßnahme geeignet, ++=gut geeignet, +++=sehr gut geeignet, +(++)/- = geeignet, aber unter Umständen gegenläufige Wirkung, O=keine Wirkung

*Die Strategie „Bioenergie“ wurde im Sektor Siedlung und Verkehr nur am Rande untersucht, weil damit keine flächenrelevanten Landmanagementmaßnahmen aus Sicht der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung verbunden sind. Allerdings können einzelne Bestandteile anderer Maßnahmen einen Beitrag zur Strategie „Bioenergie“ leisten, beispielsweise dadurch, dass sie durch die Verringerung des Siedlungsdrucks auf die Landwirtschaftsfläche die dortigen Nutzungskonkurrenzen entschärfen. Diese Maßnahmen sind mit () gekennzeichnet

Insbesondere im Zusammenspiel mit Maßnahmen zur Reduzierung des Verkehrsaufkommens können hierdurch erhebliche CO₂-Emissionen eingespart werden. Die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors beliefen sich im Jahr 2006 auf 160 Mio. t, wovon 93 % auf den Straßenverkehr entfallen (infas Institut für angewandte Sozialwissenschaften GmbH und DLR Institut für Verkehrsforschung 2010, S. 1). Damit ist der Straßenverkehr für knapp 16 % der Gesamt-Emissionen an CO₂ verantwortlich (Umweltbundesamt 2013, S. 196). Würde beispielsweise das Verhältnis von ÖPNV zu MIV von derzeit 1:5 auf 2:1 verändert werden, hätte dies eine beachtliche Wirkung auf die gesamte THG-Bilanz

Tab. 4.8 Flächennutzung im Jahr 2030 für Siedlung und Verkehr sowie Landwirtschaft und Wald in der Referenzprojektion sowie den untersuchten Landnutzungsstrategien. (Quelle: R. Goetzke)

	Referenz- projektion	Klimaschutz		Biomasse		Natur- und Umweltschutz		Klima- anpassung	
	Mio. ha	Mio. ha	% vs. Ref.	Mio. ha	% vs. Ref.	Mio. ha	% vs. Ref.	Mio. ha	% vs. Ref.
Siedlungs- und Ver- kehrsfläche	5,133	4,915	-4,2	4,977	-3,0	4,957	-3,4	5,081	-1,0
davon Gebäude und Frei- fläche	2,630	2,463	-6,3	2,516	-4,3	2,499	-5,0	2,583	-1,8
davon Erholungs- fläche	0,498	0,481	-3,2	0,484	-2,7	0,484	-2,8	0,517	4,0
davon Ver- kehrsfläche	1,914	1,875	-2,0	1,881	-1,7	1,879	-1,8	1,886	-1,5
davon Betriebs- fläche ohne Abbauland	0,095	0,095	0,0	0,095	0,0	0,095	0,0	0,095	0,0
Landwirt- schafts- fläche	18,019	17,444	-3,2	18,174	0,9	18,194	1,0	18,174	0,9
Waldfläche	11,056	11,848	7,2	11,056	0,0	11,056	0,0	11,056	0,0

(Fuhrich et al. 2004; infas Institut für angewandte Sozialwissenschaften GmbH und DLR Institut für Verkehrsforschung 2010). Gezielte Maßnahmen können dies befördern, wie die Konzentration der Siedlungsentwicklung auf zentrale Orte und effiziente (ÖPNV-) Verkehrsknotenpunkte oder die Reduzierung der Verkehrsflächenentwicklung sowie eine insgesamt verdichtete Siedlungsentwicklung. Die Abschätzung der dadurch möglichen THG-Einsparung ist nicht Gegenstand dieser Studie (vgl. Kap. 1).

Die Strategie „Klimaschutz“ wird durch die Kombination folgender Maßnahmen modelliert:

- Stärkung der Innenentwicklung
- Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau
- Stärkung des ÖPNV
- Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr
- Rückzug aus der Fläche

- Restriktiverer Freiraumschutz
- Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (nur solche, die einen Klimaschutzbezug haben, z. B. durch Freiraumschutz, Bodenschutz oder Förderung erneuerbarer Energien)
- Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen

Darüber hinaus fließt aus der Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“ das Element „Rückbau, Entsiegelung und Konzentration gebauter Strukturen“ in die Strategie ein. Dabei gilt die Annahme, dass entsiegelte Flächen innerhalb des Siedlungskörpers begrünt werden und somit einen Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung leisten können.

Neben den Maßnahmen aus dem Siedlungssektor, die zu dieser Strategie beitragen, wird zusätzlich eine sektorübergreifende Maßnahme „Aufforstung“ betrachtet. In dieser Maßnahme wird von einer Erhöhung der Waldfläche um 10 % oder 10.800 km² ausgegangen, wodurch der Waldflächenanteil von 30 auf 33 % der Bundesfläche steigen würde. In den anderen Landnutzungsstrategien wird ein kontinuierlicher Flächenzuwachs des Waldes von insgesamt knapp 3 % angenommen, wodurch sich die Waldfläche bis 2030 von 30 auf 31 % erhöhen würde.

Aufgrund der Kombination mehrerer Maßnahmen, die auf die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme abzielen, ergibt sich in der Klimaschutzstrategie laut Modellrechnung eine deutliche Reduktion der täglichen Flächeninanspruchnahme auf etwa 20 ha im Zeitraum 2026 bis 2030 (vgl. Abb. 4.24). Insgesamt würden zwischen 2010 und 2030 fast 2200 km² weniger Fläche für Siedlungs- und Verkehrszwecke in Anspruch genommen, als in der Referenzprojektion. Das entspräche etwa der 2,5-fachen Fläche Berlins. Der Rückgang der Flächenneuanspruchnahme wird vom Rückgang der Gebäude- und Freifläche getragen, auf die die Maßnahmen insbesondere abzielen. Ein leichter Rückgang der Verkehrsflächenentwicklung gegenüber der Referenzprojektion ergibt sich aus der geringeren Anzahl benötigter Erschließungsstraßen. Auch die Erholungsflächenentwicklung wäre rückläufig, da weniger Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen umgesetzt werden müssten. Ab etwa 2025 würde netto keine zusätzliche Gebäude- und Freiflächenentwicklung mehr stattfinden. Sie könnte durch den fortlaufenden Rückbau von Leerständen und die damit einhergehende Konzentration auf bereits bebaute Strukturen unter Null sinken.

Auch wenn deutschlandweit betrachtet in der Klimaschutzstrategie die Flächeninanspruchnahme deutlich reduziert werden kann, ist davon auszugehen, dass es weiterhin Regionen mit hohem Flächenzuwachs gibt (vgl. Abb. 4.25). Von einem weiterhin hohen Flächenzuwachs trotz der durchgeführten Maßnahmen wird im Umland der großen Großstädte (v. a. Hamburg, Berlin, München), im Rheinland, der Metropolregion Rhein-Neckar und im westlichen Niedersachsen (Emsland) auszugehen sein. In weiten Landesteilen Sachsens, Sachsen-Anhalts und Mecklenburgs könnte aufgrund des hohen

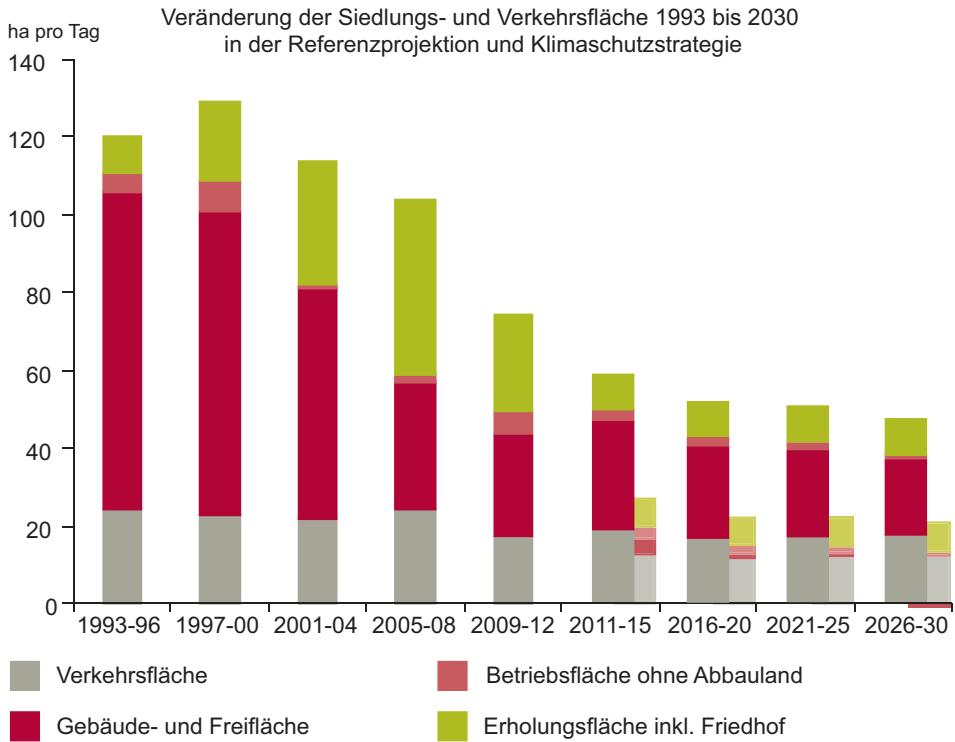


Abb. 4.24 Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsfläche 1993 bis 2030 in der Referenzprojektion und Klimaschutzstrategie. (Quelle: Flächenerhebung des Bundes und der Länder, GWS Osnabrück 2012, Berechnungen des BBSR)

Leerstands ein Netto-Rückbau stattfinden, der entsprechend begleitet werden muss, um die bestehenden Strukturen zu stärken. In vielen kreisfreien Städten könnte die Baulandnachfrage vollständig durch Innenentwicklung befriedigt werden. Hierzu zählen viele Städte im Ruhrgebiet (z. B. Essen, Dortmund, Herne), von denen einige aufgrund des hohen Leerstands auch Netto-Rückbau betreffen könnte (z. B. Gelsenkirchen, Bochum). Aber auch andere kreisfreie Städte – vor allem solche mit Bevölkerungsrückgang – könnten ihre Außenentwicklung durch Maßnahmen der Innenentwicklung, Konzentration und Entsiegelung drastisch reduzieren, wie z. B. Offenbach, Ludwigshafen, Wuppertal, Solingen, Krefeld oder Kassel.

In der Klimaschutzstrategie wird neben den Annahmen zu Maßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich ein Aufforstungsszenario berücksichtigt, bei dem die Waldfläche bis 2030 um 10 % zunimmt. Dies wirkt sich lokal auf die räumliche Verteilung der Siedlungsflächenentwicklung aus, da durch die zusätzlichen Flächenansprüche manche Flächen eine gewisse Eignung sowohl für die Ausweitung von Siedlungsgebieten aufweisen als auch für Aufforstung. Insgesamt ändert sich das Muster der

Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in der Referenzprojektion und in den Strategien zwischen 2010 und 2030 in den Gemeinden

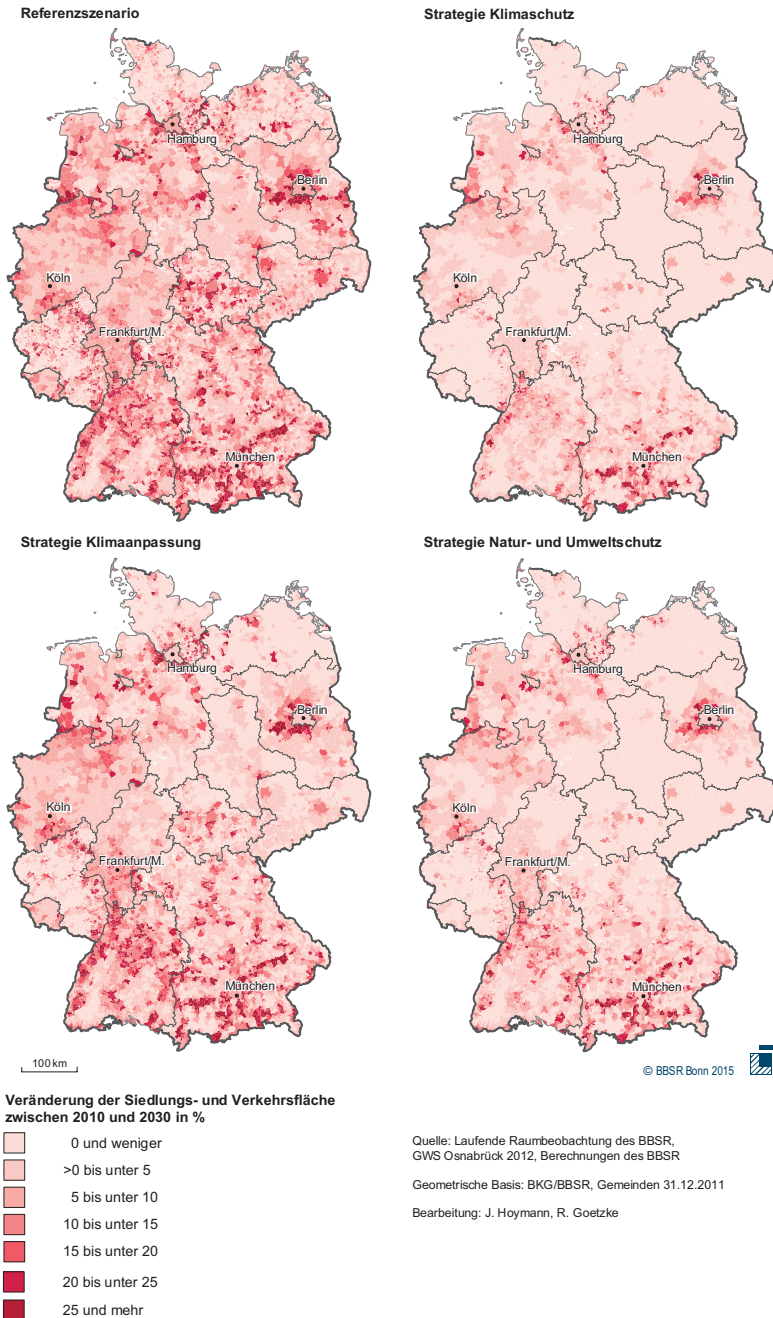


Abb. 4.25 Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche in der Referenzprojektion und in den Strategien zwischen 2010 und 2030 in den Gemeinden. Referenzprojektion (oben links), Klimaschutzstrategie (oben rechts), Klimaanpassungsstrategie (unten links), Natur- und Umweltschutzstrategie (unten rechts)

Siedlungsentwicklung jedoch nicht, da durch die getroffenen Annahmen zur Aufforstung Waldmehrung vor allem in Gebieten mit einem hohen Anteil an Grenzertragsstandorten stattfindet. Historisch gesehen sind dies nicht die Gegenden, in denen größere Siedlungsgebiete entstanden sind, sondern in weiten Teilen periphere ländliche Regionen. Die höchsten absoluten Zuwächse der Waldfläche finden sich unter dieser Annahme beispielsweise in Brandenburg (z. B. Uckermark, Havelland, Potsdam-Mittelmark), Sachsen-Anhalt (Altmark, Börde), im Alpenvorland (z. B. Weilheim-Schongau, Bad Tölz-Wolfrathshausen, Oberallgäu) und auf der Schwäbischen Alb (z. B. Zollernalbkreis, Reutlingen).

Um die Wirkung der in der Klimaschutzstrategie verwendeten Maßnahmen zu bewerten, werden unterschiedliche Indikatoren herangezogen, wie die „Verkehrliche Erschließung neuer Siedlungsflächen“. Während in der Referenzprojektion neue Siedlungsflächen im Durchschnitt mit einer Fahrtzeit von 28 min per öffentlichem Verkehr vom nächsten Mittel- oder Oberzentrum entstehen, sind es in der Klimaschutzstrategie im Schnitt 25 min (vgl. zur Erläuterung Abschn. 4.4.2.5).¹² Die Maßnahmen der Klimaschutzstrategie führen demnach dazu, dass nicht nur weniger neue Siedlungsflächen benötigt werden, sondern auch zu einer besseren verkehrlichen Erreichbarkeit. Dies unterstützt eine Veränderung des Modal Split und kann den hohen Anteil des MIV und damit beträchtliche THG-Emissionen reduzieren.

Die insgesamt kompaktere Siedlungsentwicklung (Leitbild ist die Stadt der kurzen Wege) lässt sich mit Hilfe des Indikators „Standörtliche Integration neuer Siedlungsflächen“ messen. Zur Berechnung dieses Indikators wird die gemeinsame Randlänge neuer und bestehender Siedlungs- und Verkehrsflächen durch den Umfang neuer Siedlungs- und Verkehrsflächen geteilt. Dies erlaubt Aussagen über die räumliche Konzentration der Siedlungsentwicklung, bzw. über das Ausmaß der Zersiedelung (BMVBS 2007). Abb. 4.26 lässt erkennen, dass durch das Maßnahmenbündel der Klimaschutzstrategie in den meisten Regionen eine bessere Integration neuer Siedlungsflächen in bestehende Siedlungskörper erreicht werden kann. Dies ist in 86 % der Kreise der Fall. Die standörtliche Integration neuer Siedlungsflächen verbessert sich vor allem in den Regionen, die in der Klimaschutzstrategie kaum noch nennenswerte Flächen-erweiterungen aufweisen (z. B. Altmark). In diesen Regionen sind die wenigen neu hinzukommenden Siedlungsflächen gut in den Siedlungsbestand integriert, woraus sich eine deutliche Verbesserung des Indexwertes ergibt (vgl. Abschn. 4.4.2.2).

¹²Die durchschnittliche Fahrtzeit liegt etwas höher als im Maßnahmen-Szenario „Stärkung des ÖPNV“, da in der Klimaschutzstrategie noch andere „konkurrierende“ Maßnahmen umgesetzt werden, die ihrerseits eine andere Zielrichtung haben, als die Siedlungsentwicklung möglichst verkehrsoptimiert zu steuern (z. B. Maßnahme „Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten“).

Integration neuer Siedlungsflächen in den Siedlungsbestand durch Maßnahmen der Klimaschutzstrategie

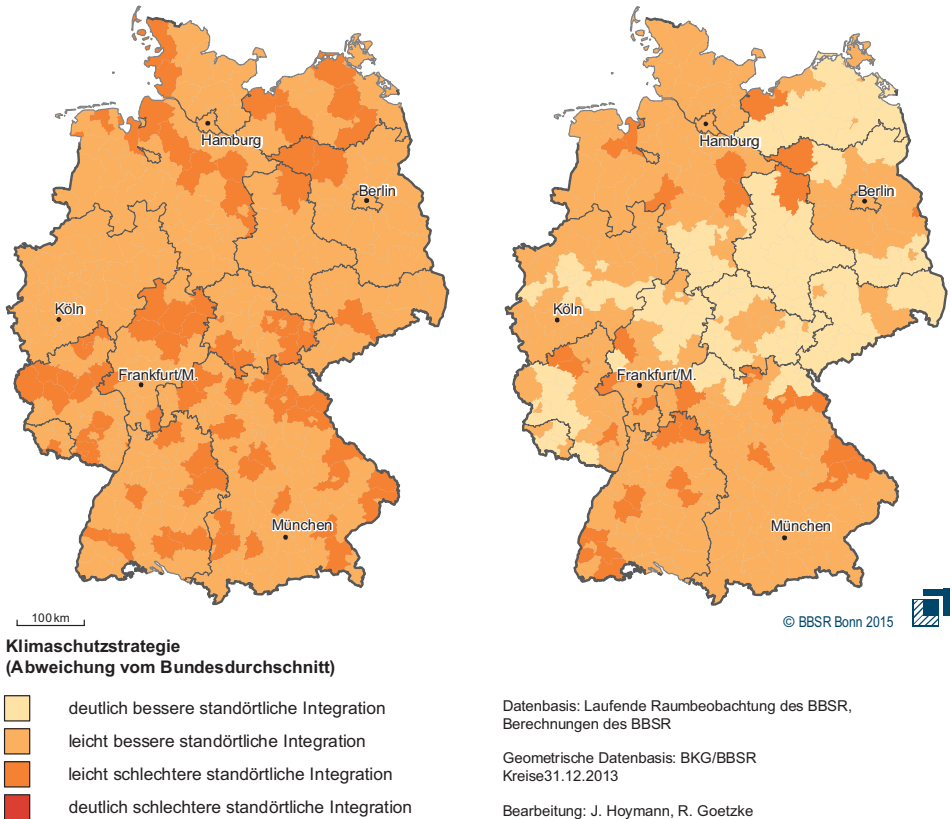


Abb. 4.26 Standörtliche Integration neuer Siedlungsflächen als Abweichung vom Bundesdurchschnitt in der Referenzprojektion (links) und in der Klimaschutzstrategie (rechts)

Durch die Klimaschutzmaßnahmen im Siedlungs- und Verkehrssektor ergeben sich auch Änderungen in der Kohlenstoffbilanz der betroffenen Landnutzung. Auf versiegelten Flächen findet weder Sequestrierung noch Emission von Kohlenstoff durch den Boden statt. Je nach Humusgehalt des Oberbodens und Bewirtschaftungsweise wird auf Ackerflächen weniger Kohlenstoff eingespart als auf Grünland oder im Wald oder sogar netto emittiert. Abhängig davon, auf welchen Flächen sich die Siedlungs- und Verkehrsfläche ausdehnt und wie diese zusammengesetzt ist (Grünflächen, Versiegelungsgrad), ergeben sich Veränderungen in der Kapazität von Boden und Vegetation zur Bindung von Kohlenstoff. Demnach wirkt eine klimaschützende Siedlungsentwicklung vor allem dort, wo Flächeninanspruchnahme hauptsächlich auf Grünland stattfindet.

4.4.3.2 Ergebnisse der Bioenergiestrategie

Im Siedlungs- und Verkehrsbereich werden keine Maßnahmen der Bioenergiestrategie modelliert, da keine flächenrelevanten Maßnahmen identifiziert wurden. Jedoch können Maßnahmen, die nicht primär auf die Förderung von Biomasse abzielen, eine Bioenergiestrategie trotzdem unterstützen. So können städtische Grünflächen erhalten und ausgeweitet werden (Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“), sodass der dort entstehende Grünschnitt energetisch weiterverarbeitet werden kann (vgl. Abschn. 4.4.2.4). Des Weiteren trägt eine Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr zu verminderten Flächenkonkurrenzen auf der Landwirtschaftsfläche bei, was ein Nebeneinander von Pflanzen zur energetischen Nutzung und zur Nahrungs- und Futtermittelnutzung erleichtert. Es wurde festgestellt, dass alle Maßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich aus der Natur- und Umweltschutzstrategie auch einen positiven Effekt auf die Bioenergiestrategie haben. Zu welchem Zweck die von Siedlungsentwicklung freigehaltenen Flächen genutzt werden (Biomasse oder Naturschutz), ist aus Sicht der Siedlungsflächenmodellierung unerheblich. Dies wird in den land- und forstwirtschaftlichen Modellen analysiert. Die für land- und forstwirtschaftliche Zwecke verbleibenden Flächensummen sind in den Strategien „Bioenergie“ und „Natur- und Umweltschutz“ nahezu identisch.

4.4.3.3 Ergebnisse der Natur- und Umweltschutzstrategie

In der Natur- und Umweltschutzstrategie werden Maßnahmen durchgeführt, die eine nachhaltige Landnutzung zum Ziel haben und dabei eine Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung fördern, die verstärkt Natur- und Umweltschutzaspekte berücksichtigt. Der Klimawandel steht dabei nicht im Mittelpunkt des Interesses, doch können Natur- und Umweltschutzmaßnahmen durchaus positive Klimawirkungen entfalten. Andersherum betrachtet können Klimaschutz- und Klimaanpassungsaspekte zusätzliche Argumente für die Durchführung von Natur- und Umweltschutzmaßnahmen im Siedlungs- und Verkehrsbereich sein. Das Zusammenwirken von Stadtnaturschutz und Gesundheitsaspekten wird von Rittel et al. (2014) ausführlich beschrieben. Beim Thema Brachflächen gibt es nicht nur teils divergierende Interessen in Bezug auf Klimaschutz (Nachverdichtung) und -anpassung (Freiraum), hinzu kommen auch Naturschutzinteressen, weil innerstädtische Brachflächen oft bedeutende Standorte für seltene Arten darstellen und damit eine wichtige Rolle für die biologische Vielfalt in der Stadt spielen (Hansen et al. 2012). Hier gilt es, einen Ausgleich zwischen Erholungsnutzung, Förderung der Biodiversität und berechtigten Nachverdichtungsinteressen herzustellen.

Naturschutzpolitische Instrumente können auch einen Beitrag zur Steuerung der Flächeninanspruchnahme leisten, wie Heiland et al. (2006) ausführlich darstellen. Dies kann wiederum Klimaschutzinteressen positiv unterstützen. Einige dieser Instrumente, wie beispielsweise Landschaftsschutzgebiete, werden bislang kaum zur Steuerung der Siedlungsflächenentwicklung in Betracht gezogen. Mit Hilfe der Landnutzungsmodellierung kann dargestellt und analysiert werden, welche Wirkung sich aus einer

Stärkung naturschutzpolitischer Instrumente in Bezug auf die Siedlungsentwicklung ergeben kann.

In der Modellierung werden Maßnahmen kombiniert, die sich in weiten Teilen auch in den Strategien Klimaschutz bzw. Klimaanpassung wiederfinden. Folgende Maßnahmen werden in der Natur- und Umweltschutzstrategie modelliert:

- Stärkung der Innenentwicklung (allerdings geringere Wiedernutzung von Brachflächen als in der Klimaschutzstrategie)
- Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau
- Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr
- Rückzug aus der Fläche/dezentrale Konzentration
- Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen (Konzentration auf *Erhalt* innerstädtischer Grünflächen)
- Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (nur solche mit Bezug zu Natur- und Umweltschutzziele)
- Restriktiverer Freiraumschutz

In der Natur- und Umweltschutzstrategie liegt die Flächenneuanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr nach Modellrechnungen im Zeitraum 2026 bis 2030 bei etwa 25 ha/Tag. Dieser Rückgang ergibt sich vor allem aus einem deutlich geringeren Bedarf an Gebäude- und Freifläche mit 8 ha/Tag gegenüber 19 ha/Tag in der Referenzprojektion. Aber auch die Verkehrsflächenentwicklung ist mit unter 13 ha/Tag niedriger als in der Referenzprojektion mit 15 ha/Tag (vgl. Abb. 4.27). Die deutlichen Rückgänge der täglichen Flächeninanspruchnahme in der Natur- und Umweltschutzstrategie haben ein ähnliches räumliches Muster wie in der Klimaschutzstrategie, allerdings sind sie insgesamt weniger ausgeprägt.

In Bezug auf die Menge der Flächeninanspruchnahme ist die Natur- und Umweltschutzstrategie ein Mittelweg zwischen den Strategien Klimaschutz und Klimaanpassung, denn sie berücksichtigt sowohl Aspekte des Flächensparens als auch wertvolle Freiräume. Auch die beiden anderen Strategien gehen nicht an die Grenze ihrer Möglichkeiten bspw. hinsichtlich der Ausschöpfung von Innenentwicklungspotenzialen oder des Rückbaus, da die Maßnahmen innerhalb der Strategien immer im Bereich des städtebaulich sinnvollen bzw. machbaren bleiben. Doch in der Natur- und Umweltschutzstrategie finden sich Elemente von beiden „Polen“.

Hinsichtlich des räumlichen Musters der Siedlungsentwicklung ergeben sich in der Natur- und Umweltschutzstrategie spezifische Besonderheiten, die beispielsweise aus der Stärkung von Schutzgebieten, z. B. durch Pufferung, resultieren. Insgesamt verortet das Landnutzungsmodell nur noch ein Drittel der in der Referenzprojektion in Schutzgebieten verorteten Siedlungsflächen in diesen Gebieten. An dieser Stelle sei angemerkt, dass es in der Klimaschutzstrategie noch weniger sind, da die Flächenneuanspruchnahme insgesamt geringer ausfällt. Aus dieser Erkenntnis ergeben sich aus rein quantitativer

4.4.3.4 Ergebnisse der Klimaanpassungsstrategie

Im Siedlungs- und Verkehrsbereich sind, ähnlich wie im Forst, Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel von wesentlich größerer Bedeutung als in der Landwirtschaft, mit denen kurzfristiger auf sich ändernde Umweltbedingungen reagiert werden kann. Heutige Planungen von Baugebieten und Verkehrsinfrastruktur manifestieren Landnutzungsänderungen auf Jahrzehnte hinaus und sind nur unter hohem Kostenaufwand wieder zu verändern. Aus den prognostizierten Auswirkungen des Klimawandels in Deutschland, wie lang anhaltende Hitzewellen im Sommer, zunehmende Starkregen und häufiger wiederkehrende extreme Hochwasserereignisse, ergeben sich besondere Anforderungen an den Siedlungs- und Infrastrukturbau zum Schutz von Menschen und Sachgütern (vgl. Bundesregierung 2008, S. 19 f.).

Anpassung kann im Bereich des Bauwesens geschehen, beispielsweise durch hochwasserangepasste Bauweise, Ausbau der Kanalisation, hitzebeständigere Materialien im Straßenbau oder durch Fassaden mit hoher Albedo. Im Fokus stehen hier hingegen flächenrelevante Maßnahmen. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Raum-, Regional- und Bauleitplanung zu, wie schon die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel feststellt (Bundesregierung 2008, S. 42): „Die Raum-, Regional- und Bauleitplanung stehen am Anfang der Risikovermeidungskette, da sie räumliche Vorsorgekonzepte entwickeln, die Planungsdokumente hohe Bestandsdauer und rechtliche Verbindlichkeit besitzen und bis zur praktischen Umsetzung der Planinhalte teilweise lange Vorlaufzeiten entstehen. Der räumlichen Planung kommt dabei die wichtige Aufgabe zu, verschiedene Ansprüche an den Raum miteinander zu vereinbaren.“ Insbesondere die Raumordnung ist geeignet, entsprechende Risikovorsorge durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten und die Steuerung der Siedlungsentwicklung zu leisten (vgl. Spiekermann und Franck 2014). Dies geschieht im Bereich der Hochwasservorsorge – derzeit im Zusammenhang mit der Umsetzung der Hochwasserisikomanagement-Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates (Richtlinie 2007/60/EG) –, aber auch bei der thermischen Entlastung von Städten kann die Raumordnung einen wichtigen Beitrag leisten, beispielsweise durch das Freihalten von Luftaustauschkorridoren. Zur Reduzierung des Hitzeinseleffekts (vgl. Oke 1997) müssen, wie auch bei anderen Anpassungsaspekten, die verschiedenen Planungsebenen ineinandergreifen, beispielsweise durch (Lülf 2008):

- „die Auflockerung der Bebauung,
- die Schaffung, Sicherung und klimaeffiziente Bewirtschaftung klimarelevanter Grünflächen sowie
- die Erhaltung, strukturelle Verbesserung und Schaffung von Luftleitbahnen (insbesondere linearer Grün- und Wasserflächen)“

Für konkrete Umsetzungsbeispiele aus der Praxis im Bereich Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung sei auf die Ergebnisse des Projektes „Strategie

Klimaanpassung zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“ aus dem Forschungsprogramm „Experimenteller Wohnungs- und Städtebau“ (ExWoSt) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) verwiesen (BBSR 2015a, b).

Zur Modellierung der Klimaanpassungsstrategie im Sektor Siedlung und Verkehr werden folgende Maßnahmen miteinander kombiniert:

- Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen
- Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr
- Rückzug aus der Fläche/dezentrale Konzentration
- Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (nur solche mit Bezug zur Klimaanpassungsstrategie, bspw. Freihalten von hochwasser- und lawinengefährdeten Bereichen, Stärkung des Netzes regionaler Grünzüge)
- Stärkung des Hochwasserschutzes
- Stärkung der Innenentwicklung (nur solche Maßnahmen, die keine weitere Verdichtung/Versiegelung nach sich ziehen, wie bspw. Leerstandswiedernutzung)

In der Klimaanpassungsstrategie fällt die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme geringer aus als in der Klimaschutzstrategie. Laut Modellrechnungen liegt der tägliche Zuwachs an Siedlungs- und Verkehrsfläche im Zeitraum 2026–2030 bei etwas unter 40 ha (vgl. Abb. 4.28). Der im Vergleich zur Referenzprojektion nur mäßige Rückgang der Flächenneuanspruchnahme hängt vor allem mit dem höheren Bedarf an urbanen Grün- und Erholungsflächen zusammen sowie mit der gezielten Berücksichtigung von Grünflächen im Neubau und einer geringeren Ausnutzung von Innenentwicklungspotenzialen. Werden innerstädtische Brachflächen nicht für den Neubau, sondern als Grün- und Erholungsflächen genutzt, werden weitere Baugebiete am Siedlungsrand benötigt, was wiederum einen höheren Bedarf an Erschließungsstraßen und Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen nach sich zieht. Die Maßnahmen der Klimaanpassungsstrategie führen zu einem weniger effizienten Siedlungsmuster als in der Klimaschutzstrategie, da sie den Siedlungsfreiraum höher gewichten.

In Abb. 4.29 wird deutlich, dass die Flächenneuanspruchnahme in den Regionen hoch bleibt, die auch in der Referenzprojektion die stärksten Wachstumsregionen sind (Umland von München, Berlin und Hamburg, Emsland, nördliches Münsterland, Rheinland, Oberrhein, Großraum Stuttgart). In Regionen mit ohnehin geringen Zuwachsraten kann die Flächenneuanspruchnahme dagegen weiter gesenkt werden (z. B. in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, dem südlichen Niedersachsen, sowie in Teilen von Hessen und Rheinland-Pfalz). Dafür sind vor allem die hohen Leerstandsraten verantwortlich, die im Rahmen der Strategie entweder stärker wiedergenutzt oder zurückgebaut werden.

Die Effekte der Klimaanpassungsstrategie hinsichtlich der Verbesserung der thermischen Belastung lassen sich mit dem Indikator „Flächeninanspruchnahme in wärmebelasteten Gebieten“ messen. Der Indikator setzt sich aus mehreren gleichgewichteten Teilindikatoren

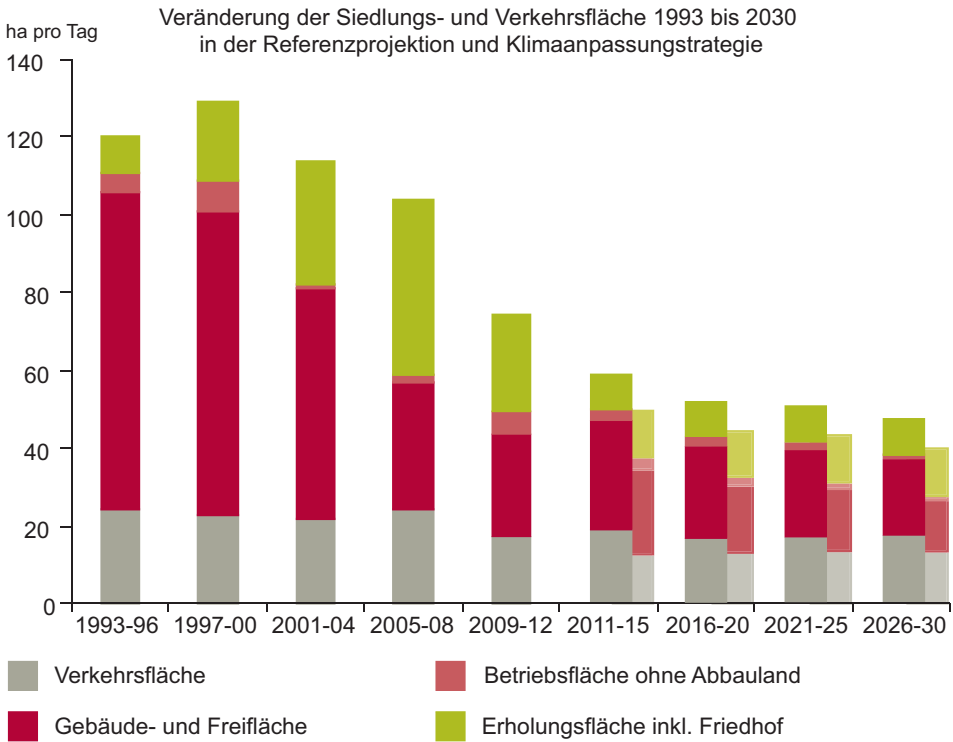


Abb. 4.28 Veränderung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung 1993 bis 2030 für die Referenzprojektion und Klimaanpassungsstrategie

zusammen, von denen einer die Versorgung neuer Siedlungsflächen mit erholungsrelevanten Freiflächen beschreibt (Abb. 4.29). Diese verbessert sich durch die eingeleiteten Maßnahmen mit wenigen Ausnahmen in den meisten Kreisen.

Mehrere Maßnahmen der Klimaanpassungsstrategie beeinflussen nicht die Höhe der Flächeninanspruchnahme insgesamt, sondern führen zu einer Verlagerung der Siedlungsentwicklung, v. a. durch die Stärkung des Hochwasserschutzes und weitere Risikovorsorge. Während in der Referenzprojektion das Modell noch 20.000 ha versiegelungsrelevanter Siedlungs- und Verkehrsfläche in Bereichen verortet hat, die von extremen Hochwasserereignissen betroffen sein können, sind es in der Klimaanpassungsstrategie 5000 ha weniger bei einer Flächenneuinanspruchnahme, die nur wenig geringer ist als in der Referenzprojektion. In Gebieten mit erhöhter Gefährdung von Hangrutschungen verteilt das Modell in der Referenzprojektion 10.000 ha versiegelungsrelevante Siedlungs- und Verkehrsfläche und in der Klimaanpassungsstrategie 6500 ha.

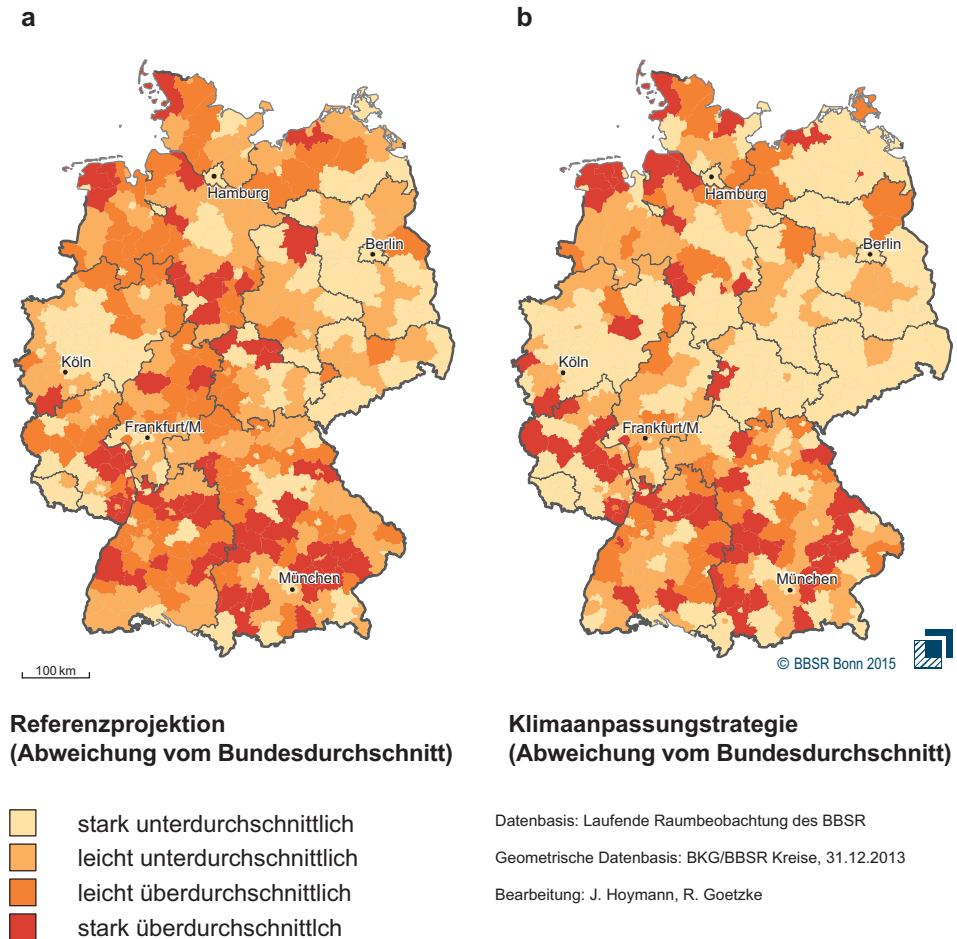


Abb. 4.29 Anteil der Siedlungsflächenentwicklung in der Nähe (500 m) von erholungsrelevanten Freiflächen durch Maßnahmen der Klimaanpassungsstrategie im Vergleich zum Bundesdurchschnitt 2009. **a** Referenzprojektion, **b** Klimaanpassungsstrategie

4.5 Ergebnisse der landwirtschaftlichen Flächennutzungsmodellierung

Martin Henseler, Sarah Baum und Peter Kreins

Zusammenfassung

Die Auswirkungen veränderter agrarpolitischer Rahmenbedingungen und die Umsetzung landwirtschaftlicher Maßnahmen zur THG-Reduzierung wurden mit RAUMIS für das Jahr 2030 simuliert. Hierbei wurden Veränderungen hinsichtlich Einkommen, Produktion,

THG-Emissionen und andere Umweltfaktoren (Stickstoffdüngung, Pflanzenschutzmitteleinsatz) im Vergleich zur Referenzprojektion analysiert. Die THG-Verringerung ist beim Energiemaisanbau am höchsten, aber durch Intensivierung der Produktion mit negativen Umweltwirkungen verbunden. Aufforstung, Wiedervernässung und Paludianbau haben ebenfalls hohe Einsparpotenziale; flächenbezogen ist dies bei der Aufforstung am höchsten. Die geringsten Vermeidungskosten pro vermiedene Tonne CO₂-Äqu. entstehen bei Wiedervernässung, die höchsten bei der verpflichtenden Flächenstilllegung und der Anpassung des Düngemanagements durch eine Stickstoffabgabe. Die Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“ sowie „Natur- und Umweltschutz“ wurden als Kombination ausgewählter Maßnahmen simuliert. Die Strategie „Bioenergie erzielt deutlich höhere THG-Vermeidungseffekte als die anderen Strategien. Hinsichtlich der durchschnittlichen Vermeidungskosten ist die Strategie „Natur- und Umweltschutz“ am teuersten. Für die Strategie „Klimaschutz“ wurden die geringsten durchschnittlichen Vermeidungskosten pro vermiedener t CO₂-Äqu. berechnet. Die Strategien wirken sich regional verschieden aus und bedienen die Akteursinteressen unterschiedlich. Die alleinige Betrachtung sektoraler Effekte reicht nicht aus, um die Auswirkungen umfassend abschätzen zu können, was für eine erfolgreiche Umsetzung unumgänglich ist.

4.5.1 Landwirtschaftliche Referenzprojektion

Ausgehend vom Basisjahr 2010 wurde bis zum Zieljahr 2030 eine Referenzprojektion simuliert. Sie dient als Vergleichssituation bei der Analyse von Wirkungen einzelner THG-Minderungsmaßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Landnutzung sowie der oben beschriebenen Landnutzungsstrategien. Die Referenzprojektion basiert auf Annahmen und Ergebnissen der GLUES-Baseline (Delzeit et al. 2016, 2017) sowie der Thünen-Baseline 2013–2023 (Offermann et al. 2014). Die Referenzprojektion stellt wie die Thünen-Baseline keine Prognose der Zukunft dar, sondern beschreibt die erwarteten Entwicklungen unter bestimmten Annahmen zur Entwicklung exogener Faktoren und Politiken. Die Projektion beruht auf den Ende 2013 vorliegenden Daten und Informationen zur weltwirtschaftlichen Entwicklung sowie der Umsetzung der EU-Agrarreform aus dem Jahr 2015.

In der Referenzprojektion wird von einer Beibehaltung der derzeitigen Agrarpolitik bzw. der Umsetzung bereits beschlossener Politikänderungen ausgegangen. Dies beinhaltet im Wesentlichen die folgenden Maßnahmen: die Umschichtung der Mittel der ersten Säule (Direktzahlungen) in die zweite Säule (Förderung der ländlichen Entwicklung), die Entkopplung produktionsbezogener Direktzahlungen als flächenflächenbezogene einheitliche Direktzahlungen, die Verpflichtung der Landwirte zur Einhaltung umweltschonender Flächennutzung („Greening“) sowie das Auslaufen der Milch- und Zuckerquotenregelungen, welche die Produktion vor der Reform beschränkten. Die Förderung der Biogaserzeugung erfolgt durch das EEG, das mehrfach novelliert und

mit der Novelle im Jahr 2012 deutlich eingeschränkt wurde (vgl. Abschn. 2.1). Für Biogasbestandsanlagen, deren Förderzeitraum vor dem Zieljahr 2030 endet, wird eine Anschlussförderung bis ins Zieljahr 2030 unterstellt, die die Kosten der Biogasherstellung und Strom einspeisung kompensiert. Die Förderung des EEG-Folgeregimes stellt eine Biogaserzeugung im Umfang der Bestandsanlagen sowie eines moderaten Zubaus bis zum Zieljahr 2030 sicher.

Die Ergebnisse der Thünen-Baseline, die mit Hilfe eines Verbundes unterschiedlicher agrarökonomischer Modelle erstellt werden, wurden mit dem regionalisierten Agrarsektormodell RAUMIS bis zum Jahr 2030 fortgeschrieben. Entwicklungen ausgewählter Betriebsmittelpreise, Produktpreise sowie Flächenerträge sind in Tab. 4.9 zusammengestellt. Die Projektion der Flächenerträge wurde auf der Basis der Ertragszuwächse der letzten 20 Jahre fortgeschrieben. Die Auswirkungen bspw. des Wegfalls von Pflanzenschutzmitteln oder klimatische Änderungen auf die Ertragsrelationen wurden nicht explizit adressiert.

Tab. 4.10 gibt einen Überblick über die projizierten Änderungen in der Pflanzenproduktion und Tierhaltung infolge der agrarpolitischen Rahmenbedingungen sowie Marktentwicklungen. Im Vergleich zum Basisjahr 2010 nimmt die von landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftete Fläche (LF) aufgrund der anhaltenden Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen um insgesamt 1,1 % ab (vgl. Abschn. 4.4.1). Innerhalb des Anbaus landwirtschaftlicher Kulturen gewinnen Ölsaaten wegen der vergleichsweise günstigen Marktentwicklungen an Bedeutung. Ihre Anbaufläche wird nach den Modellergebnissen um rund 0,2 Mio. ha ausgedehnt, vor allem zu Lasten des Anbaus von Roggen und Gerste (vgl. Tab. 4.10).

Der Zuckerrübenanbau wird durch den Wegfall der Zuckerquote, kontinuierlich hoher Ertragszuwächse und günstiger Zuckerpreisentwicklungen leicht ausgedehnt

Tab. 4.9 Annahmen zur Entwicklung der Produktivität sowie ausgewählter Produktpreise in der Referenzprojektion bis 2030 in Deutschland. (Quelle: Offermann et al. 2014)

		Basisjahr 2010	Referenz 2030	Änderung 2030 zu 2010 in %
Betriebsmittelpreise				
Energie- und Schmierstoffe	%	100	218	218
Düngemittel	%	100	236	236
Maschinen	%	100	181	181
Flächenerträge				
Weizen	dt/ha	73,8	91,9	24
Raps	dt/ha	37,1	45,3	22
Produktpreise				
Weizen	€/t	144	209	45
Raps	€/t	328	419	28

Tab. 4.10 Anbauflächen und Produktionsumfänge Tierhaltung im Basisjahr und in der Referenzprojektion 2030. (Quelle: RAUMIS 2017)

		Basisjahr 2010 (Mio.)	Referenz 2030 (Mio.)	Änderung 2030 zu 2010 in %
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	ha	16,9	16,7	-1,3
Ackerfläche	ha	12,0	12,2	1,9
Weizen	ha	3,3	3,8	15,2
Roggen	ha	0,6	0,5	-20,6
Gerste	ha	1,6	1,1	-31,1
Sonst. Getreide	ha	1,0	1,05	5,0
Sonst. Marktfrüchte	ha	0,5	0,4	-20,8
Ölsaaten	ha	1,5	1,7	14,0
Hackfrüchte	ha	0,6	0,7	8,1
Silomais	ha	1,1	1,0	-7,6
Sonst. Ackerfutter	ha	0,8	0,7	-2,7
Energiemais	ha	0,8	1,0	23,5
Dauergrünland	ha	4,9	4,5	-8,2
Flächenstilllegung	ha	0,2	0,3	31,3
Milchkühe	GVE	4,2	4,1	-1,0
Mastrinder	GVE	1,8	1,7	-5,9
Schweine	GVE	1,7	1,9	11,7
Geflügel	GVE	0,3	0,4	15,2

(vgl. Tab. 4.10). Das Greening der GAP führt zu einer Ausdehnung der Stilllegungsfläche (+0,08 Mio. ha). Der Wegfall der Milchquote erlaubt bei weiterhin zunehmender Milchleistung je Milchkuh eine Ausdehnung der Milchproduktion bei nahezu konstantem Milchviehbestand. Die stark sinkende Haltung von Mastrindern und sonstigen Rindern (-0,1 Mio. GVE) sowie ein erwarteter Ertragsanstieg bei Silomais bewirken den Rückgang der Silomais- und Grünlandfutterfläche. Eine nachfrageinduzierte Preiserhöhung für Schweinefleisch steigert die Wettbewerbsfähigkeit der Schweinefleischproduktion und führt zu einer Ausdehnung der Schweinehaltung (+0,2 Mio. GVE) bis zum Zieljahr 2030.

Die THG-Emissionen bleiben dabei nahezu konstant (-0,4 %). Produktivitäts- und Preissteigerung führen zu einem deutlichen Anstieg des landwirtschaftlichen Nominaleinkommens (+63 %). Unterstellt man die Inflationsraten der Vergangenheit, ergäbe sich ein Anstieg des realen Sektoreinkommens von insgesamt rund 10 % über den gesamten Zeitraum.

4.5.2 Analyse ausgewählter landwirtschaftlicher Maßnahmen

Die Auswirkungen von THG-Minderungsmaßnahmen im Bereich der landwirtschaftlichen Landnutzung wurden mit Hilfe des RAUMIS-Modells (vgl. Abschn. 4.2.2.2) analysiert. Im Folgenden wird die Ausgestaltung der Maßnahmen durch Politikinstrumente sowie die Umsetzung im RAUMIS-Modell erläutert. Das Modell ermittelt eine den veränderten Rahmenbedingungen angepasste optimalere Produktionsstruktur, die mit der Referenzprojektion komparativ statisch verglichen wird.

Die Zahlungen für Ökosystemdienstleistungen (engl. Payments for Ecosystem Services, kurz: PES) sind im RAUMIS-Modell als Anreizinstrument simuliert, um THG-Minderungsmaßnahmen umzusetzen. Dafür wird eine PES in Höhe von 100 €/t CO₂-Äqu. angenommen. Dieser Wert orientiert sich an den von Schwermer et al. (2012) geschätzten maximalen Schadenskosten, welche bereits in anderen Studien für Mitigationsmaßnahmen in Deutschland als maximale Vermeidungszahlungen angenommen wurden (Röder et al. 2015; Henseler et al. 2015). Diese zum „Europäischen CO₂-Handelssystem“ vergleichsweise hohe Mitigationzahlung wird gewählt, um zu analysieren, welche Wirkung des Politikinstruments maximal realisierbar ist. In der Berechnung der Vermeidungskosten werden diese 100 €/t CO₂-Äqu. um Mitnahmeeffekte bereinigt. Mitnahmeeffekte entstehen dadurch, dass die PES von 100 €/t CO₂-Äqu. die tatsächlichen Kosten einiger Maßnahmen deutlich überkompensieren und zu Einkommenssteigerungen im Vergleich zur Referenz führen. Somit werden zur Abschätzung der Vermeidungskosten nur die Kosten betrachtet, die durch die Umsetzung der Maßnahmen entstehen, wie z. B. die Einkommensverluste durch Produktionsverschiebungen und die Kosten der Wiedervernässung.

Die Ergebnisse der Maßnahmewirkungsanalysen sind in einem umfassenden vergleichenden Überblick in Tab. 4.12, 4.13 und 4.14 zusammengestellt.

4.5.2.1 Anpassung der Nutzung organischer Böden

Annahmen und Spezifikation der Maßnahmen

Die Nutzung organischer Böden wurde in das RAUMIS-Modell als Produktionsverfahren implementiert (vgl. Abschn. 4.2.2.2), um die Auswirkungen einer Wiedervernässung auf die landwirtschaftliche Produktion und die THG-Emissionsminderung abzubilden. Zur Berechnung der THG-Emissionen wurden in RAUMIS Emissionsfaktoren aus den Modellen MODE und GAS-EM verwendet (vgl. Abschn. 4.2.2.3).

In Deutschland haben organische Böden einen Anteil von 7 % an der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) (vgl. Abschn. 2.2.3), was 5,6 % der für RAUMIS relevanten landwirtschaftlich genutzten Fläche (LF) entspricht. Laut Einschätzungen von Experten sind nicht alle entwässerten organischen Böden wiedervernässbar (vgl. Abschn. 3.4.2). Beispielsweise befinden sich zahlreiche organische Böden in einem fortgeschrittenen degradierten Zustand, sodass eine Wiedervernässung nicht mehr möglich ist (Bonn

et al. 2015). Für die Berechnungen der Vermeidungsleistung wurde unterstellt, dass sich maximal 30 % der organischen Böden wiedervernässen lassen. Ein darüber hinausgehender Wiedervernässungsanteil hielten Experten für unrealistisch.

Sektorale Auswirkungen

In den Simulationen wird annahmegemäß der maximal mögliche Flächenumfang in Höhe von 30 % der organischen Böden in RAUMIS wiedervernässt. Damit werden insgesamt rund 0,27 Mio. ha (vgl. Tab. 4.12) bzw. rund 1,7 % der LF aus der Produktion genommen. Die Wiedervernässung der Grünlandfutterfläche reduziert vor allem die darauf basierende Milchkuhhaltung. Neben der THG-Vermeidung führt die Produktionsaufgabe zu einem geringeren Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, was weitere positive Umwelteffekte, z. B. hinsichtlich der Biodiversität und der Gewässerqualität, mit sich bringen dürfte.

Das landwirtschaftliche Einkommen geht gemessen an der Nettowertschöpfung zu Faktorpreisen (NWSF) um 0,9 % im Vergleich zur Referenzprojektion zurück. Die Wiedervernässung führt zu einer Reduzierung der deutschlandweiten Netto-THG-Emissionen aus der Landwirtschaft um 7,5 % (vgl. Tab. 4.13). Durch die hohe Vermeidungseffizienz pro Flächeneinheit erzielt die Wiedervernässung eine hohe Vermeidungswirkung von insgesamt 6,0 Mio. t CO₂-Äqu. auf lediglich 0,27 Mio. ha wiedervernässter Moorfläche. Die Kosten pro vermiedener Tonne CO₂ belaufen sich auf rund 30 € (exkl. iLUC-Effekte) und 34 € (inkl. iLUC-Effekte; vgl. Tab. 4.14). Die durch iLUC entstehenden THG-Emissionen werden über Schätzwerte nach Osterburg et al. (2013) berücksichtigt. Die Rechnung basiert auf der Annahme, dass die reduzierte Nahrungsmittelproduktion in Deutschland durch Importe ausgeglichen wird, was zu Intensivierungen und Rodungen in anderen Ländern führen kann.

Regionale Auswirkungen

Regionale Schwerpunkte des Vorkommens organischer Böden befinden sich in Nordostdeutschland, in Nordwestdeutschland und im zentralen bis südlichen Bayern. Bei der Umsetzung der Maßnahme der Wiedervernässung wird zwischen Acker- bzw. Grünlandnutzung unterschieden. Während organische Ackerflächen vorwiegend im Nordwesten und im Nordosten Deutschlands wiedervernässt werden (vgl. Abb. 4.30), befindet sich wiedervernässtes organisches Grünland in der nordwestdeutschen Küstenregion und in Schleswig-Holstein (vor allem intensives Grünland) sowie, in geringerem Umfang, im südlichen Bayern und Baden-Württemberg (vgl. Abb. 4.30).

Auch wenn die Sektoranalyse die Wiedervernässung als effiziente Maßnahme erscheinen lässt, muss bei der Umsetzung der Förderung dieser Maßnahme die ausgeprägte regionale Heterogenität berücksichtigt werden. Dementsprechend müsste eine Förderung gezielt regional ausgerichtet werden, um Regionen, die die Möglichkeit zur Wiedervernässung haben, einen hinreichend hohen Anreiz zur Wiedervernässung zu bieten.

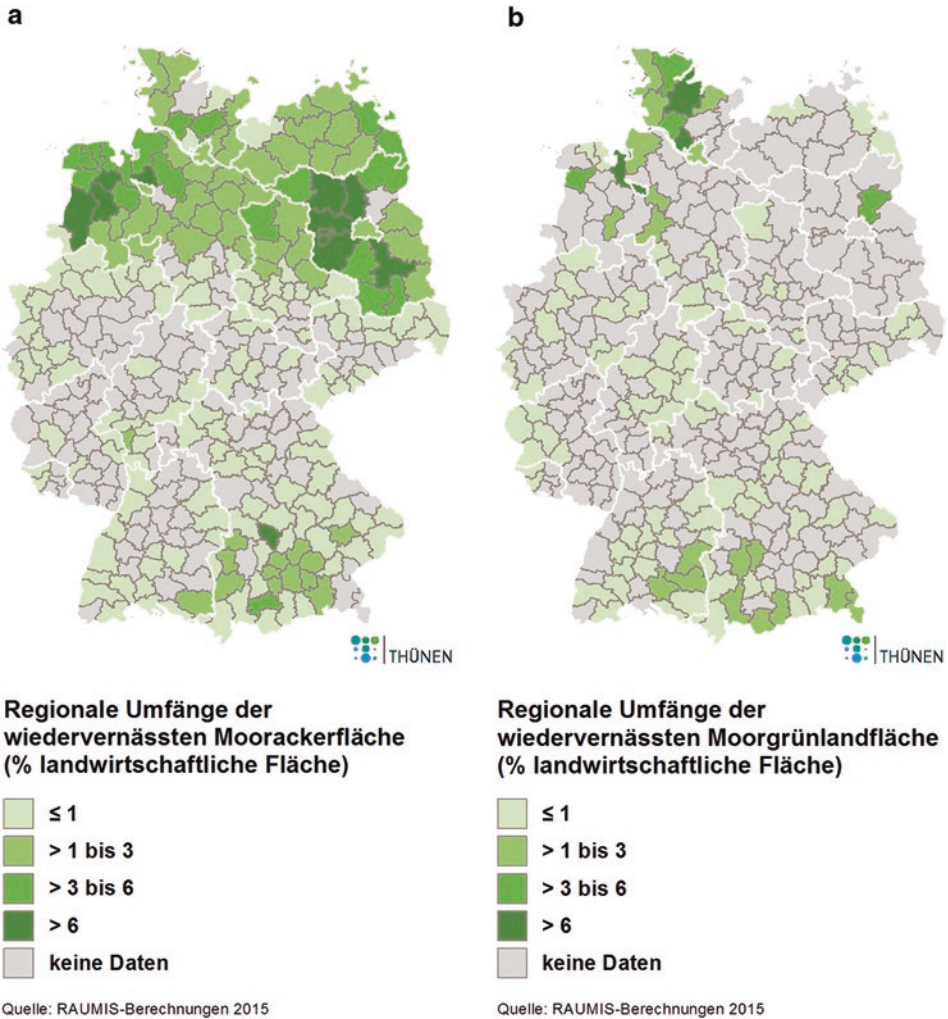


Abb. 4.30 Regionale Umfänge der wiedervernässten Moorackerfläche (% LF) (a); Regionale Umfänge der wiedervernässten Moorgrünlandfläche (% LF) (b)

4.5.2.2 Anpassung des Düngemanagements

Annahmen und Spezifikation der Maßnahmen

Durch Steigerungen der Effizienz des Düngemanagements (vgl. Abschn. 3.4.3) lassen sich THG-Emissionen aus dem Einsatz von Stickstoffdünger vermeiden. RAUMIS bildet die durch Stickstoffdüngung verursachten Lachgas-Emissionen (N_2O) aus Mineralböden und organischen Böden ab. Dazu wurden in das Simulationsmodell regional differenzierte Emissionsfaktoren für Ackerlandkulturen und Grünland aus den Modellen

MODEmin und MODEorg integriert (Abschn. 4.2.2.3). Weitere düngungsabhängige THG-Emissionen werden pauschal bei den indirekten Emissionen berücksichtigt und nicht regional differenziert.

RAUMIS berücksichtigt folgende direkte und indirekte Anpassungen des Düngemanagements:

- a) In einem Intensitätsmodul wird die optimale spezielle Bewirtschaftungsintensität, d. h. die optimale Düngermenge in den Anbaukulturen, in Abhängigkeit von Produkt- und Düngemittelpreisen berechnet. Bei einer Veränderung der Relation zwischen Produkt- und Düngemittelpreisen resultiert eine veränderte optimale Düngeinsatzmenge.
- b) Der gesamtbetriebliche Düngemiteleinsatz wird neben der speziellen Intensität von der Produktionsstruktur beeinflusst. RAUMIS ermittelt bei sich ändernden Rahmenbedingungen eine angepasste optimale Produktionsstruktur. Nimmt beispielsweise der Düngemittelpreis zu, steigt die relative Vorzüglichkeit der düngeextensiveren Ackerkulturen wie Roggen, Sommergerste oder Hülsenfrüchte gegenüber düngeintensiveren Kulturen wie Raps oder Winterweizen.
- c) Die Aufgabe der landwirtschaftlichen Produktion umfasst die Flächenstilllegung von Ackerland und Grünland. Auf Stilllegungsflächen finden lediglich Pflegemaßnahmen statt, um die Flächen in einem guten ökologischen und landwirtschaftlichen Zustand zu erhalten.
- d) Innerhalb weiter pflanzenbaulicher Grenzen sind in RAUMIS mineralische Dünger und Wirtschaftsdünger substituierbar.

In der Referenzprojektion 2030 beträgt der Anbauumfang von Leguminosen (Hülsenfrüchte, Klee und Luzerne) nur in sehr wenigen Landkreisen mehr als 10 % der LF. Aufgrund der geringen Bedeutung werden Leguminosen nicht explizit als Mitigationsmaßnahme modelliert. Sie sind als Produktionsverfahren in RAUMIS implementiert und können daher grundsätzlich im Zuge von Anpassungen an veränderte Rahmenbedingungen über ihre symbiotische N-Fixierung zur partiellen Substitution von Stickstoffdünger beitragen. In der Grünlandnutzung können intensive Nutzungsformen in extensive Nutzungsformen konvertiert werden, indem die Anzahl der Schnitte oder Weidegänge reduziert wird.

Mit der Reduzierung des Einsatzes von Mineralstickstoffdünger reduzieren sich dessen industrielle Produktion und die damit verbundenen THG-Emissionen. Diese THG-Vermeidung aus industrieller Produktion wird über einen Emissionsfaktor von 4 t CO₂-Äqu./t N (Heinzlmaier 2013) berücksichtigt.

Neben der Einsparung von THG-Emissionen verringert die Reduzierung von Stickstoffdünger das Risiko der Stickstoffeinträge ins Grundwasser sowie in Oberflächengewässer als weitere positive Umweltwirkung.

Eine vielfach diskutierte Stickstoffminderungsmaßnahme ist die Einführung einer Stickstoffabgabe. Hier lassen sich unterschiedliche Ausgestaltungsformen unterscheiden

(siehe auch Weingarten 1996; Strotmann 1992). So ist beispielsweise eine Abgabe auf mineralische und/oder organische Düngemittel denkbar. Ebenso wird die Einführung einer Abgabe auf den betrieblichen Stickstoffbilanzüberschuss diskutiert. Die Wirkungen der unterschiedlichen Ausgestaltungen unterscheiden sich. In den nachfolgenden Analysen wird eine Abgabe auf mineralischen Stickstoffdünger untersucht, durch die der Preis von Mineralstickstoffdünger um 40 % erhöht wird. Durch die Abgabe wird ein Anreiz gesetzt, den Einsatz von Mineraldünger zu reduzieren.

Die Einführung einer Abgabe auf mineralischen Stickstoff ändert zum einen die Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsverfahren in Abhängigkeit von der jeweiligen Einsatzmenge an mineralischem Stickstoff und erhöht zum anderen den Substitutionswert des Stickstoffs in Wirtschaftsdüngern. Infolgedessen wird die Pflanzenproduktion bezüglich der Düngeintensität sowie der Produktionsstruktur angepasst. Die Erhebung einer Mineralstickstoffabgabe von 40 % des Referenzpreises orientiert sich an einer Vorgängerstudie für Deutschland (Henseler und Dechow 2014). Für die Mineralstickstoffabgabe wurde eine produktionsneutrale Rückerstattung angenommen.

Auswirkungen der Maßnahmen

Sektoranalyse

Die Einführung einer Stickstoffabgabe führt zu einer Anpassung der Anbaustruktur. Davon betroffen sind hauptsächlich die Weizen- und die Ölsaatenfläche (−7 bzw. −11 %), während die Silomais- und die Stilllegungsfläche deutlich steigen (+20 bzw. +160 %; vgl. Tab. 4.12) Insgesamt vermindern sich die Netto-THG-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und Tierhaltung um ca. 4,9 Mio. t CO₂-Äqu. (vgl. Tab. 4.13). Werden die in der industriellen Stickstoffdüngerproduktion eingesparten Emissionen von 1 Mio. t CO₂-Äqu. in der Bilanz berücksichtigt, ergibt sich eine Reduzierung der gesamten THG-Emissionen um 5,9 Mio. t CO₂-Äqu.

Die Emissionsminderung resultiert hauptsächlich aus der Pflanzenproduktion, die infolge der maßnahmebedingten Verringerung der Düngeintensität sinkt. Die Erzeugung von Nahrungsmitteln geht um 4,1 % zurück. Die Reduktion des Mineralstickstoffeinsatzes (−12 %) senkt den Stickstoffbilanzsaldo insgesamt um 5 %.

Durch die steigenden Düngekosten und die reduzierte Produktion von Marktfrüchten entstehen hohe Einkommenseinbußen, die sich bei einer Rückführung der erhobenen Stickstoffabgabe als produktionsneutrale Einkommenskompensation auf 5 % reduzieren lassen.

Die Stickstoffabgabe wirkt sich auf die Bewirtschaftungsintensität vermindern aus und reduziert neben den THG-Emissionen auch den Pflanzenschutzmitteleinsatz. Allerdings bleibt die intensive Tierhaltung erhalten, da keine Besteuerung auf Wirtschaftsdünger vorgenommen worden ist. Die Vermeidungskosten pro vermiedene Tonne CO₂ betragen 225 € (exkl. iLUC-Effekte) und 381 € (inkl. iLUC-Effekte; siehe auch Tab. 4.11).

Tab. 4.11 Indikatoren zu Einkommen und THG-Emissionen im Basisjahr 2010 und in der Referenzprojektion 2030. (Quelle: RAUMIS 2017)

		Basisjahr 2010 (Mio.)	Referenz 2030 (Mio.)	Änderung 2030 zu 2010 (in %)
Nettowertschöpfung zu Faktorkosten	EUR	15.900	26.000	63
THG-Bilanz gesamt netto ^a	t CO ₂ -Äqu.	73,0	72,6	-0,5
THG-Emissionen aus Tierhaltung ^b	t CO ₂ -Äqu.	28,9	27,8	-3,7
THG-Emissionen aus Mineralböden ^c	t CO ₂ -Äqu.	19,0	19,1	0,6
THG-Emissionen aus organischen Böden ^d	t CO ₂ -Äqu.	21,7	21,7	0,00
Indirekte THG-Emissionen ^e	t CO ₂ -Äqu.	11,5	12,7	10,4

^aTHG-Bilanz gesamt netto = THG-Emissionen aus Tierhaltung + THG-Emissionen aus Mineralböden + THG-Emissionen aus organischen Böden + Indirekte THG-Emissionen – maßnahmebedingter Mitigationseffekt (Wiedervernässung, Substitution)

^bEmissionen aus Verdauung und Wirtschaftdüngermanagement: N₂O und CH₄

^cEmissionen aus der Pflanzenproduktion auf Mineralböden durch mineralisch und organische Düngung: N₂O

^dEmissionen aus landwirtschaftlich genutzten organischen Böden: N₂O, CO₂ und CH₄

^eLachgasemissionen (N₂O) entstammen aus reaktiven Stickstoffverbindungen (NO₃, NH₄), die aus der landwirtschaftlichen Produktionskette entweichen und in außerlandwirtschaftlichen Systemen in N₂O umgewandelt werden

Regionalanalyse

Die regionalen Produktionsintensitäten und -schwerpunkte der Ausgangssituation bestimmen im Wesentlichen das Potenzial der möglichen Minderung des Stickstoffeinsatzes. Die Stickstoffabgabe wirkt in weiten Teilen Deutschlands reduzierend auf den Mineralstickstoffeinsatz (Abb. 4.31a) und führt ebenso zu einer großflächigen Reduzierung der Stickstoffflächenbilanz (Abb. 4.31b).

4.5.2.3 Substitution fossiler Energie durch Bioenergie

Annahmen und Spezifikation der Maßnahmen

Die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehenden THG-Emissionen lassen sich vermeiden, indem fossile Energie durch Bioenergie substituiert wird. Im RAUMIS-Modell wird die Bioenergieproduktion durch die Verfahren Energiemais für die Biogas-erzeugung und Paludikulturen (Abschn. 3.4.2.3) abgebildet. Aus der EEG-Förderung bzw. der Anschlussförderung für Bestandanlagen Biogas-erzeugung resultiert das Niveau der Biogas-erzeugung und Energiemaisanbau der Referenzprojektion. Um fossile Energie stärker durch Bioenergie zu substituieren, wird als zusätzlicher Anreiz zur Ausdehnung

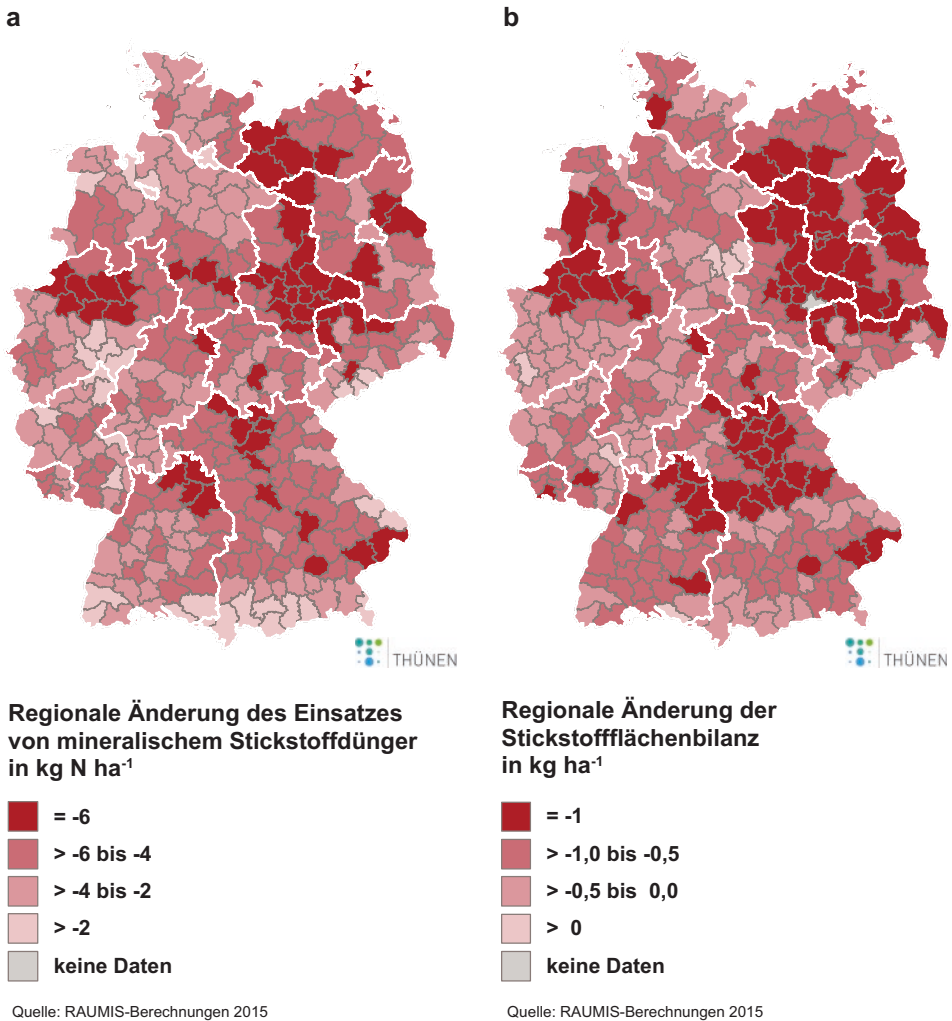


Abb. 4.31 Regionale Änderung des Einsatzes von mineralischem Stickstoffdünger in kg N ha^{-1} landwirtschaftlich genutzter Fläche (**a**), Regionale Änderung des Stickstoffflächenbilanzsaldos in kg ha^{-1} landwirtschaftlich genutzter Fläche (**b**)

der THG-mindernden Anbauverfahren eine Direktzahlung in Höhe von 100 €/t CO_2 -Äqu. gezahlt.

Eine zusätzliche Förderung der Produktion von Biokraftstoffen (Bioethanol, Biodiesel) aus Getreide, Zuckerrüben oder Raps wird nicht simuliert. Zum einen sind die Landnutzungseffekte der Biokraftstoffförderung in Deutschland vergleichsweise gering, weil die Produkte der gleichen Anbaukulturen entweder zur Nahrungs- oder zur Biokraftstoffherzeugung verwendet werden können. Zum anderen wird sich in der aktuellen politischen

Debatte weitgehend von der Förderung von Biokraftstoffen abgewandt, weil deren Erzeugung in Deutschland nur eine vergleichsweise geringe THG-Vermeidungsleistung zugeschrieben wird (WBA 2007). Des Weiteren wird in der Projektion von steigender Nahrungsmittelnachfrage und somit steigenden Agrarpreisen ausgegangen (vgl. Abschn. 3.4.4). Daher wird auf die Simulation einer Förderung von Biokraftstoffen, welche den Preisdruck auf Agrarprodukte deutlich erhöhen würde, verzichtet. Die Entwicklung der Biokraftstoffnachfrage ist indirekt über die Preisentwicklung für Ölsaaten in der Referenzprojektion berücksichtigt.

Der einjährige Energiemais steht in Konkurrenz zu anderen Ackerkulturen (z. B. Getreide, Ölsaaten und Ackerfutter). Die maximale Ausdehnung der mehrjährigen Paludikultur wird auf landwirtschaftlich genutzte An- und Niedermoorstandorte außerhalb der Schutzgebietskulisse (kein Nationalpark, Naturschutzgebiet, FFH-, SPA- oder Ramsar-Gebiet) beschränkt. Ferner wird der Wiedervernässungsanteil auf maximal 30 % der organischen Böden begrenzt. Es wird angenommen, dass die Paludiproduktion gleichermaßen auf wiedervernässtem Acker- und Grünland umgesetzt wird.

Die Wiedervernässung organischer Böden ist die Voraussetzung für den Anbau von Paludikulturen. Daher wird bei der Modellierung der Maßnahmen die Vermeidungsleistung aus der Wiedervernässung als indirekte Vermeidungsleistung in den Gesamteffekt einbezogen. Die Wettbewerbsfähigkeit der Paludiproduktion auf wiedervernässten organischen Böden wird ebenfalls durch Mitigationzahlungen zur Substitution fossiler Energieträger sowie für die Vermeidung von THG-Emissionen aus organischen Böden erhöht.

Die folgenden Berechnungen sind getrennt für eine Förderung des Energiemaisbaus und von Paludikulturen durchgeführt worden.

Auswirkungen der Maßnahmen

Sektoranalyse

Energiemaisanbau: Durch die zusätzliche Mitigationzahlung wird die Energiemaisfläche gegenüber der Referenzprojektion um rund 1 Mio. ha ausgedehnt, zu Lasten des Anbaus pflanzenschutzintensiverer Kulturen (Weizen -6% und Ölsaaten -11% , vgl. Tab. 4.12), wodurch der Pflanzenschutzmitteleinsatz sinkt (-3% , vgl. Tab. 4.13). Die verringerte Futtermittelproduktion (Silomais -4%) führt zu einer geringfügigen Intensivierung der Grünlandnutzung sowie einer reduzierten Tierhaltung (z. B. der Rinderhaltung, vgl. Tab. 4.12), wodurch die Emissionen aus der Tierhaltung zurückgehen ($-0,3$ Mio. t CO_2 -Äqu.; vgl. Tab. 4.13). Die THG-Gesamtnettovermeidung bezogen auf die Anbaufläche von Energiemais (1 Mio. ha) führt zu einer Flächeneffizienz von $10,9$ t CO_2 -Äqu./ha (exkl. iLUC-Effekte) bzw. $8,5$ t CO_2 -Äqu./ha (inkl. iLUC-Effekte). Die Vermeidungskosten je vermiedener Tonne CO_2 -Äqu. belaufen sich auf 183 € (exkl. iLUC-Effekte) und auf 234 € (inkl. iLUC-Effekte; vgl. Tab. 4.14). Durch die hohe Profitabilität des Energiemaises und dessen Ausdehnung entstehen in der Landwirtschaft keine Einkommensverluste.

Tab. 4.12 Auswirkungen ausgewählter THG-Minderungsmaßnahmen auf die landwirtschaftliche Landnutzung und Produktion in Deutschland. (Quelle: RAUMIS 2017)

	Referenz	Wiedervermäsung von organischen Böden		Anpassungen des Düngermanagements		Förderung der Energie-maisproduktion		Förderung der Paludikultur-Produktion		Verpflichtende Flächenstilllegung		Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche		
		Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	
Weizen	ha	3,8	-0,04	-1,1	-0,26	-6,8	-0,23	-6,1	-0,02	-0,5	-0,26	-6,8	-0,08	-2,1
Roggen	ha	0,5	-0,01	-2,0	-0,05	-10,0	-0,07	-14,0	0,00	0,0	-0,04	-8,0	-0,01	-2,0
Gerste	ha	1,1	-0,02	-1,8	-0,06	-5,3	-0,15	-13,3	-0,01	-0,9	-0,15	-13,3	-0,04	-3,5
Sonst. Getreide	ha	1,1	-0,02	-1,9	-0,04	-3,8	-0,11	-10,5	-0,01	-1,0	-0,10	-9,5	-0,03	-2,9
Sonst. Marktfrüchte	ha	0,4	0,00	0,0	0,00	0,0	-0,01	-2,6	0,00	0,0	-0,01	-2,6	0,00	0,0
Ölsaaten	ha	1,7	-0,03	-1,8	-0,19	-11,1	-0,19	-11,1	-0,02	-1,2	-0,20	-11,7	-0,06	-3,5
Hackfrüchte	ha	0,7	0,00	0,0	0,00	0,0	-0,01	-1,5	0,00	0,0	-0,01	-1,5	0,00	0,0
Silomais	ha	1,0	-0,01	-1,0	0,19	19,6	-0,04	-4,1	-0,01	-1,0	-0,05	-5,2	0,00	0,0
Sonst. Ackerfutter	ha	0,7	0,00	0,0	0,01	1,4	-0,07	-9,6	0,03	4,1	-0,03	-4,1	-0,02	-2,7
Energiemais	ha	1,0	-0,02	-2,0	0,01	1,0	1,00	100,0	-0,01	-1,0	-0,07	-7,0	-0,02	-2,0
Dauergrünland	ha	4,5	-0,05	-1,1	-0,12	-2,7	0,00	0,0	-0,23	-5,1	-0,39	-8,7	-0,09	-2,0
Flächenstilllegung	ha	0,3	-0,07	-22,2	0,50	158,7	-0,12	-38,1	-0,14	-44,4	1,32	419,0	-0,16	-8
Moorwiedervermässung ^a	ha	0,0	0,27	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	0,26	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Milchkühe	GVE	4,2	-0,04	-1,0	-0,01	-0,2	-0,05	-1,2	-0,12	-2,9	-0,16	-3,9	-0,02	-0,5
Mastrinder	GVE	1,7	-0,02	-1,1	-0,04	-2,3	-0,06	-3,4	-0,02	-1,1	-0,07	-4,0	-0,01	-0,6
Schweine	GVE	1,9	0,00	0,0	0,01	0,5	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Geflügel	GVE	0,4	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0

^aMit oder ohne Paludikulturproduktion

Tab. 4.13 Auswirkungen ausgewählter THG-Minderungsmaßnahmen auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt in Deutschland. (Quelle: RAUMIS 2017)

		Auswirkungen auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt													
		Referenz		Wiedervernäs- sung von organischen Böden		Anpassungen des Dünger- managements		Förderung der Energierais- produktion		Förderung der Paludikultur- Produktion		Verpflichtende Flächenstill- legung		Aufforstung auf landwirtschaft- lich genutzter Fläche	
		Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
Landwirt- schaftliches Einkommen ^a	Mio. €	25.969	-0,9	-1329	-5,1	0,0	0,0	-214	-0,8	-1218	-4,7	-293,9	-1,1		
Ausbringung mineralischen Stickstoff	Mio. t N	2,0	0,0	-0,2	-12,0	-0,1	-3,5	0,0	-1,5	-0,2	-10,0	-0,1	-2,5		
Ausbringung organischer Stickstoff	Mio. t N	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,3	0,0	-1,3	0,0	-2,5	0,0	-0,3		
Stickstoff- bilanz gesamt	Mio. t N	0,8	0,0	0,0	-5,0	0,1	6,3	0,0	-1,3	-0,1	-6,3	0,0	-1,4		
Pflanzen- schutzmittel- aufwendungen	Mrd. €	1,8	0,0	-0,1	-3,3	0,0	-2,5	0,0	-0,5	-0,1	-5,4	-25,1	-1,4		
Landwirt- schaftlich genutzte Fläche	Mio. ha	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	-3,1		
Ackerfläche	Mio. ha	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-2,7		
Dauergrün- land	Mio. ha	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-4,1		

(Fortsetzung)

Tab. 4.13 (Fortsetzung)

		Auswirkungen auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt													
		Referenz	Wiedervernäs- sung von organischen Böden		Anpassungen des Dünger- managements		Förderung der Energemais- produktion		Förderung der Paludikultur- Produktion		Verpflichtende Flächenstill- legung		Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche		
		Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
Änderungen der THG-Emissionen aus Verschiebungen in der landwirtschaftlichen Produktion															
THG- Emissionen aus Tier- haltung	Mio. t CO ₂ - Äqu.	27,8	-0,2	-0,8	-0,1	-0,3	-0,3	-0,3	-1,2	-0,6	-2,3	-1,0	-3,6	-0,4	-1,5
THG- Emissionen aus Mineral- böden	Mio. t CO ₂ - Äqu.	19,1	-0,2	-1,0	-2,3	-11,9	0,0	0,2	0,0	-0,2	-1,5	-8,0	-0,5	-2,6	
THG- Emissionen aus organischen Böden	Mio. t CO ₂ - Äqu.	21,7	-6,0	-27,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-5,7	-26,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Indirekte THG- Emissionen	Mio. t CO ₂ - Äqu.	12,7	-0,2	-1,2	-2,6	-20,4	-0,4	-3,0	-0,2	-1,4	-1,0	-7,6	-0,2	-1,6	

(Fortsetzung)

Tab. 4.13 (Fortsetzung)

		Auswirkungen auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt													
		Referenz		Wiedervernäs- sung von organischen Böden		Anpassungen des Dünger- managements		Förderung der Energieermai- produktion		Förderung der Paludikultur- Produktion		Verpflichtende Flächenstill- legung		Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche	
	Mio. t CO ₂ - Äqu.	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
THG- Emissionen aus Her- stellung mineralischen Stickstoff ^{a,b}	8,1	-0,1	-1,5	-1,0	-11,7	-0,3	-3,3	-0,1	-1,7	-0,8	-9,9	-0,1	-0,6		
Summe der Produktions- ver- schiebungen (exkl. organische Böden)	67,7	-0,7	-1,0	-5,9	-8,7	-1,0	-1,4	-1,0	-1,5	-4,3	-6,3	-1,2	-1,7		
Summe der Produktions- ver- schiebungen (inkl. organische Böden)	89,4	-6,7	-7,5	-5,9	-6,6	-1,0	-1,1	-6,7	-7,5	-4,3	-4,8	-1,2	-1,3		

^aAls Nettowertschöpfung zu Faktorpreisen (NWSF)^bEmissionsfaktor von 4 t CO₂-Äqu./t N

Tab. 4.14 Vermeidungswirkungen, -kosten und Effizienz der THG-Minderungsmaßnahmen. (Quelle: RAUMIS 2017)

		Wiederver- nässung von organischen Böden	Anpassungen des Dünger- managements	Förderung der Energie- mais- produktion	Förderung der Paludikultur- Produktion	Ver- pflichtende Flächenstill- legung	Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche
Vermeidungswirkungen^a							
Moorwiedervernässung ^b	Mio. t CO ₂ - Äqu.	5,9	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0
Energiemais ^c	Mio. t CO ₂ - Äqu.	-0,2	0,1	10,0	-0,1	-0,7	-0,2
Paludi ^d	Mio. t CO ₂ - Äqu.	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0
Aufforstungsfläche	Mio. t CO ₂ - Äqu.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6
... davon Maßnahme geförderter Vermeidungseffekt	Mio. t CO ₂ - Äqu.	5,9	K.A.	10,0	5,7	K.A.	2,6
Summe der Produktionsver- schiebungen (exkl. organische Böden)	Mio. t CO ₂ - Äqu.	0,7	5,9	1,0	1,0	4,3	1,2
Summe Vermeidungseffekte (gefördert & ungefordert) plus Produktionsverschiebungen	Mio. t CO ₂ - Äqu.	6,4	6,0	11,0	7,4	3,6	3,6
Summe Emissionsänderungen und Mitigationseffekte (exkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ - Äqu.	6,4	6,0	11,0	7,4	3,6	3,6
iLUC-Effekte in Mio t CO ₂ eq	Mio. t CO ₂ - Äqu.	0,7	2,4	2,4	1,4	3,0	0,6

(Fortsetzung)

Tab. 4.14 (Fortsetzung)

		Wiedervernässung von organischen Böden	Anpassungen des Düngermanagements	Förderung der Energie-maisproduktion	Förderung der Paludikultur-Produktion	Verpflichtende Flächenstilllegung	Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche
Summe Emissionsänderungen und Mitigationseffekte (inkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	5,8	3,5	8,5	5,9	0,6	2,9
Vermeidungskosten^e							
Einkommensverluste in Mio € ^f	Mio. €	-234	-1329	0	-214	-1218	-294
... davon indirekte Produktionsverschiebungen	Mio. €	-193	-1329	0	-132	-1218	-234
... davon Maßnahmenspezifisch Summe	Mio. €	-41,1	0,0	0,0	-82,8	0,0	-59,6
.....davon negative Deckungsbeiträge ^g	Mio. €	0,0	0,0	0,0	-43,9	0,0	0,0
.....nur Kosten für Wiedervernässungskosten ^h	Mio. €	-41,1	0,0	0,0	-38,8	0,0	0,0
Davon Aufforstungskosten ⁱ	Mio. €	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	K.A.	-59,6
Subventionskosten für Biostrom ^j	Mio. €	40	-20	-2000	-500	140	40
Summe Vermeidungskosten	Mio. €	-194	-1349	-2000	-714	-1078	-254
Flächenanspruch und -effizienz							
Flächenanspruch	Mio ha	0,3	N.A.	1,0	0,3	1,3	0,5
Durchschnittliche Flächen-effizienz (exkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	23,4	N.A.	10,9	28,6 ^k	2,7	6,9

(Fortsetzung)

Tab. 4.14 (Fortsetzung)

	Wiedervernässung von organischen Böden	Anpassungen des Düngermanagements	Förderung der Energie-maisproduktion	Förderung der Paludikultur-Produktion	Verpflichtende Flächenstilllegung	Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche	
Durchschnittliche Flächen-effizienz (inkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	N.A.	8,5	22,9	1	0,4	5,7
Durchschnittliche Vermeidungskosten							
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	225,2	182,6	96,7	^m	301,0	71,5
Durchschnittliche Vermeidungskosten (inkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	380,5	234,0	120,6	ⁿ	1857,8	86,1
Mitigationseffekt (exkl. Wiedervernässung)							
Mitigationseffekt (exkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	6,0	11,0	1,7		3,6	3,6
Mitigationseffekt (inkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	3,5	8,5	0,2		0,6	2,9
Flächenanspruch und -effizienz (exkl. Wiedervernässung)							
Flächenanspruch	Mio ha			0,3			
Durchschnittliche Flächen-effizienz (exkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha			6,5		^k	
Durchschnittliche Flächen-effizienz (inkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha			0,9		^l	
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. Wiedervernässung)							
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.			381		^m	

(Fortsetzung)

Tab. 4.14 (Fortsetzung)

		Wiedervernässung von organischen Böden	Anpassungen des Düngermanagements	Förderung der Energie-maisproduktion	Förderung der Paludikultur-Produktion	Verpflichtende Flächenstilllegung	Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche
Durchschnittliche Vermeidungskosten (inkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.				2732	n	

^aNegativ = Vermeidungsverluste, positiv = Vermeidungseffekt

^bEmissionsfaktor: 21,7 t CO₂-Äqu./ha ~22 t CO₂-Äqu./ha

^cEmissionsfaktor: ~10 t CO₂-Äqu./ha; ^dEmissionsfaktor: ~3 t CO₂-Äqu./ha

^eNegativ = Kosten, Verluste, positiv = Gewinne

^fProduktionsverschiebungen, Zusatzkostenwiedervernässung

^ginkl. Wiedervernässungskosten = -169,8 €/ha, nur für Palu-diproduktion = -19,8 €/ha)

^h150 €/ha

ⁱ116 €/ha

^jnegativ = Kosten, positiv = Gewinne. Gewinne entstehen, wenn die Energiemaisfläche abnimmt und sich dadurch der Subventionsaufwand reduziert

^kbis ^mexkl. Vermeidungseffekte durch Wiedervernässung: ^k6,5 t CO₂-Äqu./ha

^l0,9 t CO₂-Äqu./ha

^m381 €/t CO₂-Äqu.

ⁿ2732 €/t CO₂-Äqu.

Die Förderung der Substitution fossiler Energien durch Biogas aus Energiemais verringert die Netto-THG-Emissionen um 11 Mio. t CO₂-Äqu. (vgl. Tab. 4.14). Da der Energiemais in der Regel mineraldüngerintensivere Kulturen (z. B. Getreide) verdrängt und seinen Düngbedarf überwiegend durch die Gärsubstratrücklieferung deckt, verringert sich der Einsatz von mineralischem Stickstoff (−4 %, vgl. Tab. 4.13). Allerdings weist das Gärsubstrat des Energiemaisses, das als organischer Dünger in der Pflanzenproduktion eingesetzt wird, eine geringere N-Effizienz gegen über mineralischem Stickstoffdünger auf, wodurch sich der Gesamtstickstoffbilanzsaldo erhöht (+6 %, vgl. Tab. 4.13) und somit das Risiko zur Nitratauswaschung ins Grundwasser.

Paludianbau: Der Anbau von Paludikulturen ist annahmegemäß auf die wiedervernässten organischen Böden in Höhe von 0,26 Mio. ha (vgl. Tab. 4.12) begrenzt. Der Umfang von Dauergrünland nimmt ab (−5 %), während der Flächenumfang für sonstiges Ackerfutter ansteigt (+4 %). Ein starker Rückgang ist bei der Flächenstilllegung (−44 %) zu beobachten, da diese Flächen genutzt werden zur Produktion von Paludikulturen und zur Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln, um die Produktionsverluste durch wiedervernässte Standorte abzufangen (vgl. Tab. 4.12).

Die regionale Verdrängung der intensiven Verfahren durch die extensiven Paludikulturen bewirkt eine Reduzierung der Düngintensitäten und eine sinkende N-Flächenbilanz (−1 %) sowie einen zurückgehenden monetären PSM-Einsatz (−1 %). Aufgrund verlorener Futterflächen wird die Tierhaltung reduziert, was einen Rückgang der THG-Emissionen aus der Tierhaltung um 0,6 Mio. t CO₂-Äqu. bewirkt (vgl. Tab. 4.14).

Die energetische Nutzung der Paludibiomasse zur Substitution fossiler Brennstoffe trägt zum Vermeidungseffekt nur 0,8 Mio. t CO₂-Äqu. bei, da die Emissionsvermeidungsleistung pro Flächeneinheit mit rund 3 t CO₂-Äqu./ha relativ gering ist (vgl. Tab. 4.14). Die aggregierten Vermeidungseffekte, ohne die Vermeidungsleistung der Wiedervernässung organischer Böden, betragen daher nur 1,5 Mio. t CO₂-Äqu. (vgl. Tab. 4.10). Werden nur die der Paludiproduktion zugeordneten Kosten (aus Produktionsverschiebungen und Biostromsubvention) betrachtet, ergeben sich vergleichsweise hohe Vermeidungskosten von 381 €/t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte). Berücksichtigt man die iLUC-Effekte von 1,4 Mio. t CO₂-Äqu., übersteigen die Kosten sogar 2000 €/t CO₂-Äqu.

Die Wiedervernässung organischer Böden ist die Voraussetzung zur Paludiproduktion und trägt zur Reduzierung der Emissionen mit 5,7 Mio t CO₂-Äqu. bei. Werden zur Bewertung der Maßnahme die Vermeidungseffekte der energetischen Nutzung und die der Wiedervernässung organischer Böden betrachtet, betragen die Vermeidungskosten 97 EUR/t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte) und 121 EUR/t CO₂-Äqu. (inkl. iLUC-Effekte).

Regionalanalyse

Energiemaisanbau: Die Umsetzung der Maßnahme der Produktion von Energiemais zur Bioenergiegewinnung ist deutschlandweit verteilt. Dabei wird der Energiemaisanbau in allen Regionen zumindest leicht ausgedehnt, jedoch schwerpunktmäßig in

Regionen, in denen die Energiemaisproduktion in der Referenzprojektion bereits eine hohe Wettbewerbsfähigkeit aufweist (im Nordwesten, Nordosten, Südwesten, Bayern, vgl. Abb. 4.32a). In diesen Regionen kann der erhöhte Energiemaisanbau zu negativen Umweltwirkungen führen (erhöhter Stickstoffaustrag, erhöhtes Erosionspotenzial). Des Weiteren wird die Nahrungsmittelproduktion in diesen Regionen durch die Bioenergieproduktion verdrängt.

Paludianbau: Die Umsetzung der Maßnahme „Bioenergiegewinnung aus Paludikulturen“ wird durch das regionale Vorkommen der An- und Niedermoore bestimmt. Produktionsschwerpunkte ergeben sich im Nordwesten, Nordosten sowie in Südbayern (vgl. Abb. 4.32b). Daher sind die Auswirkungen durch eine verstärkte Energieproduktion aus Paludikulturen regional begrenzt.

4.5.2.4 Erhalt und Schaffung von Treibhausgassenken

Annahmen und Spezifikation der Maßnahmen

RAUMIS berücksichtigt drei flächenbasierte Maßnahmen zur Erhalt und Schaffung von THG-Senken (Kohlenstoff-Sequestrierung): a) Obligatorische Flächenstilllegung, b) Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und c) Erhalt des Grünlands.

a) Die obligatorische Flächenstilllegung ist zum einen eine Maßnahme, um die durchschnittliche Düngeintensität bzw. die durch die Düngung bedingten Lachgas-Emissionen zu reduzieren (vgl. Abschn. 2.3). Zum anderen erhält bzw. schafft eine begrünte Stilllegungsfläche eine THG-Senke. RAUMIS differenziert Flächenstilllegung in zwei Verfahren: Stilllegungsfläche auf Ackerfläche und auf Dauergrünland, wobei jeweils die Erhaltung der Fläche in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand unterstellt wird. Durch die Flächenstilllegung von Acker- und Grünlandfläche könnte als indirekte Auswirkung eine Steigerung der Bewirtschaftungsintensität in anderen Regionen Deutschlands (oder auch weltweit) zur Kompensation der Produktionsverluste erfolgen (iLUC-Effekt).

Die Maßnahme der obligatorischen Flächenstilllegung wird in der Simulation auf 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche umgesetzt. Dabei kann die Flächenstilllegung wahlweise auf Acker- und/oder Grünlandfläche erfolgen. Die Gemeinsame Agrarpolitik (GAP) der EU schreibt im Rahmen des Greening seit dem 01.01.2015 für Betriebe mit über 15 ha Ackerfläche vor, dass 5 % ihrer Ackerfläche als ökologische Vorrangflächen ausgewiesen werden müssen. Die Landwirte können zwischen verschiedenen Flächentypen mit Nutzung (z. B. Kurzumtriebsplantagen, Leguminosen, Zwischenfruchtanbau) oder ohne Nutzung (z. B. Brachflächen, Landschaftselemente) wählen, wobei die Flächentypen unterschiedlich angerechnet werden. RAUMIS setzt das Greening als Flächenstilllegung um. Die Reduktion der landwirtschaftlichen Produktion auf den stillgelegten Flächen führt zur Minderung der THG-Emissionen sowie des Einsatzes von Stickstoffdüngern und Pflanzenschutzmitteln. Dadurch wird die Belastung für Flora und Fauna sowie Gewässer und Böden reduziert. Den Stilllegungsflächen wird eine Funktion als Habitat zur Förderung der Biodiversität zugeschrieben.

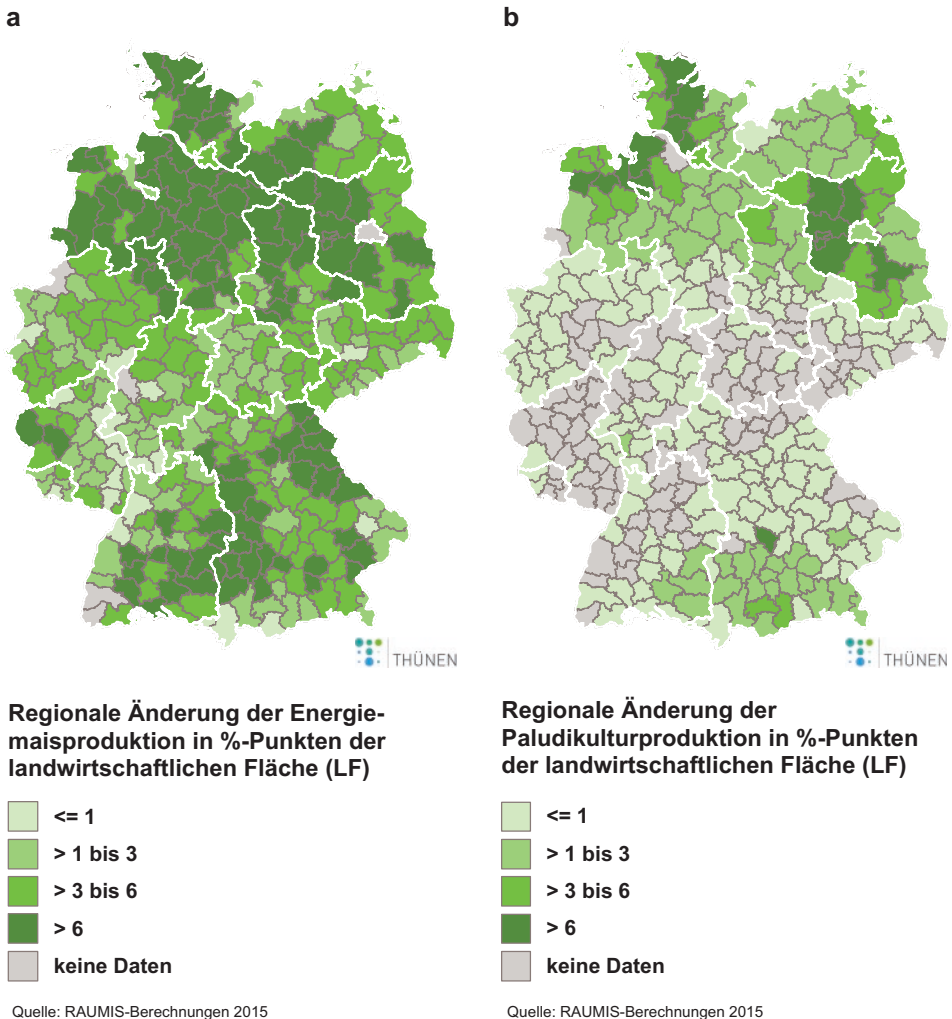


Abb. 4.32 Regionale Änderung der Energiemaisproduktion in Prozentpunkten der landwirtschaftlich genutzten Fläche (a), Regionale Änderung der Paludikulturproduktion in Prozentpunkten der landwirtschaftlich genutzten Fläche (b)

b) Die Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen stellt eine Schaffung von THG-Senken dar, da der Atmosphäre durch das Holzbiomassewachstum auf den neuen Forstflächen CO_2 entzogen wird. Die katastermäßig erfasste Landwirtschaftsfläche (LN) ist um ca. 2 Mio. ha größer als die durch die Agrarstatistik erfasste landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF), die als Datenbasis für RAUMIS dient. Über die Nutzung dieser Flächen liegen keine belastbaren Informationen vor, da sie überwiegend durch statistisch nicht erfasste Betriebe (z. B. kleine Betriebe unterhalb der Erfassungsgrenze, Pferde-

haltung) und private landwirtschaftliche Nutzung (z. B. private Pferdehaltung, Streuobstwiesen) bewirtschaftet werden. In der Vergangenheit fand ein Teil der Neuaufforstung auch auf diesen Landwirtschaftsflächen statt, die nicht durch die Agrarstatistik erfasst werden.

Durch die Aufforstung soll die Waldfläche um 10 % bzw. 1,08 Mio. ha ausgedehnt werden (vgl. Abschn. 4.4.3). Diese Flächenvorgabe resultiert aus der modellexogenen Flächenkulisse für 2030 des Modells Land Use Scanner (vgl. Abschn. 4.2.2.1). Es wird angenommen, dass rund die Hälfte (0,51 Mio. ha) der Aufforstung auf der in RAUMIS berücksichtigten LF auf Grenzertragsstandorten umgesetzt wird. Für die andere Hälfte wird unterstellt, dass die Aufforstung auf nicht von der Agrarstatistik erfassten Landwirtschaftsflächen erfolgt.

Durch die Konvertierung von LF zu Forstfläche verzeichnen die Produzenten Flächen- und Einkommensverluste auf den ehemaligen Agrarflächen. Da RAUMIS keine forstwirtschaftlichen Verfahren abbildet, werden die dortigen Einkommen und Kosten sowie die Mitigationseffekte durch C-Sequestrierung modellexogen berücksichtigt und in den Analysen für den Forstsektor untersucht (Abschn. 4.6).

- c) Der Erhalt von Grünland ist in RAUMIS durch das Verbot von Grünlandumbruch explizit berücksichtigt. Die regionalen Umfänge von Acker- und Grünlandfläche sind als modellexogene Flächenkulissen in RAUMIS abgebildet, die RAUMIS über das Modell Land Use Scanner für alle Strategien bezieht (vgl. Abschn. 4.2.2.1).

Sektorale Auswirkungen der Maßnahme

Obligatorische Flächenstilllegung: Wird der Anteil der obligatorischen Flächenstilllegung auf 10 % der LF festgelegt, sind gegenüber der Referenzprojektion zusätzlich rund 1,3 Mio. ha der Anbauflächen stillzulegen. (Dies entspricht 8 % der LF). Die Anbauumfänge nehmen vor allem bei Dauergrünland (−9 %), Weizen (−7 %), Energiemais (−7 %) und Ölsaaten (−12 %) ab (vgl. Tab. 4.12). Da vorrangig ertragsschwächere Standorte stillgelegt werden, nimmt die landwirtschaftliche Produktion unterproportional ab. Zwar werden die Stickstoffdüngung und der PSM-Einsatz absolut reduziert, die verbleibenden Produktionsflächen weisen jedoch eine durchschnittlich höhere Produktionsintensität auf.

Der maßnahmebedingte Rückgang der Pflanzen- und Tierproduktion führt zu einer vergleichsweise geringen Reduzierung der THG-Emissionen um 3,6 Mio. t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte) und um 0,6 Mio. t CO₂-Äqu. (inkl. iLUC-Effekte; (vgl. Tab. 4.13). Den stillgelegten Flächen wird eine Funktion als CO₂-Speicher zugeschrieben, da kein Umbruch erfolgt. Diese THG-Emissionsminderung wird vorrangig den Mineralböden zugeschrieben, da der absolute Umfang der Flächenstilllegung auf organischen Böden gering ist.

Angesichts der zusätzlichen Stilllegung von 8 % der LF, sinkt das landwirtschaftliche Einkommen nur um 5 %, da vor allem ertragsschwächere Standorte aus der Produktion genommen werden. Bezogen auf die maßnahmebedingt stillgelegten Flächen von 1,3 Mio. ha beträgt die Flächeneffizienz 2,7 CO₂-Äqu./ha (exkl. iLUC-Effekte) und

0,4 t CO₂-Äqu./ha (inkl. iLUC-Effekte). Für die obligatorische Flächenstilllegung fallen Vermeidungskosten von 301 €/t CO₂-Äqu. an. Werden die iLUC-Effekte berücksichtigt, belaufen sich die Vermeidungskosten auf mehr als 1000 €/t CO₂-Äqu.

Aufforstung in Höhe von 10 % der Waldfläche auf landwirtschaftlicher Nutzfläche: Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) wird annahmegemäß um 3,1 % (0,51 Mio. ha) verringert (vgl. Tab. 4.13). Die Hälfte der Fläche entfällt vor allem auf freiwillig stillgelegte Flächen und Grünland. Durch die mit der Flächenumwidmung einhergehenden Verringerungen der landwirtschaftlichen Produktion nehmen die THG-Netto-Emissionen um 3,6 Mio. t CO₂-Äqu. ab (vgl. Tab. 4.13).

Die Senkenfunktion der aufgeforsteten Fläche wird der landwirtschaftlichen Fläche zugeordnet. Die kumulierte Flächeneffizienz der im Jahr 2015 aufgeforsteten Fläche beträgt im Jahr 2030 und 80,5 t CO₂-Äqu./ha; im Jahr 2055 wäre es mit 398,3 t CO₂-Äqu./ha bereits fünfmal so viel. Die mittlere annuelle Senkenfunktion der Aufforstungsfläche auf der LF beträgt für den Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2030 rund 5 t CO₂-Äqu./ha und entspricht somit einer jährlichen Vermeidungsleistung von 2,6 Mio. t CO₂-Äqu. Betrachtet man die aufgeforstete LF für den gesamten forstwirtschaftlichen Simulationszeitraum (2015 bis 2055), ist die annuelle Vermeidungsleistung deutlich größer und beläuft sich auf 7,1 t CO₂-Äqu./ha bzw. insg. 3,7 Mio. t CO₂-Äqu.

Entsprechend der Vermeidungseffekte werden auch die Einkommensverluste der landwirtschaftlichen Aktivitäten (−1 %) mit Einnahmen und Ausgaben aus der Forstwirtschaft auf den ehemaligen Landwirtschaftsflächen verrechnet. Da es sich um eine Douglasien-Neuanpflanzung handelt (vgl. Abschn. 4.6), entstehen zunächst hohe Kosten, die die Erlöse übersteigen. Im betrachteten Zeitraum von 2015 bis 2030 entstehen auf der aufgeforsteten LF Kosten in Höhe von 59,6 Mio. € (entsprechend durchschnittlich annuell 116 €/ha). Bei der Berechnung der Aufforstungskosten wurden die Investitionskosten der Anpflanzung zu gleichen Teilen auf 80 Jahre verteilt. Ein Betrachtungszeitraum von 16 Jahren ist für einen Wald ein kurzer Zeitraum, vor allem, wenn es sich wie hier um eine Neuanpflanzung handelt. Die Umtriebszeit (Uz) von Douglasien beträgt ca. 80 Jahre. Neuanpflanzungen erfolgen mit hoher Pflanzdichte, sodass im Laufe der Jahre vereinzelt junge Bäume entnommen werden müssen, um den verbleibenden Bäumen gute Wuchsbedingungen zu ermöglichen. Durch diese Entnahmen entsteht zwar ein Gewinn; dieser kann die hohen Anpflanzungskosten jedoch zunächst nicht decken. Für das Simulationsjahr 2030 betragen die durchschnittlichen Vermeidungskosten je Tonne CO₂-Äqu. 72 € (exkl. iLUC-Effekte) und um 87 € (inkl. iLUC-Effekte).

Regionalanalyse

Die obligatorische *Flächenstilllegung* als Maßnahme zur Emissionsreduzierung wird deutschlandweit umgesetzt, hat aber regional unterschiedliche Auswirkungen auf den Umfang und die Art der Flächenstilllegung. Je nach regionaler Vorzüglichkeit und bereits vorhandener Flächenstilllegung wird entweder Ackerland oder Grünland aus der landwirtschaftlichen Produktion genommen. Im Nordosten sind bereits in der Referenzprojektion hohe Flächenanteile stillgelegt, sodass nur noch wenig Fläche zusätzlich aus

der Nutzung genommen werden muss, um die vorgeschriebenen 10 % der LF zu erfüllen (vgl. Abb. 4.33a). In Nordrhein-Westfalen, Rheinlandpfalz und im Südwesten werden bedeutende Teile des Grünlands stillgelegt. Im Nordwesten und Bayern hat das Grünland eine wichtige Bedeutung als Futterbasis für die Rinderhaltung, weshalb hier vorwiegend extensives Ackerland stillgelegt wird (vgl. Abb. 4.33b), und Grünland als Futterbasis erhalten bleibt.

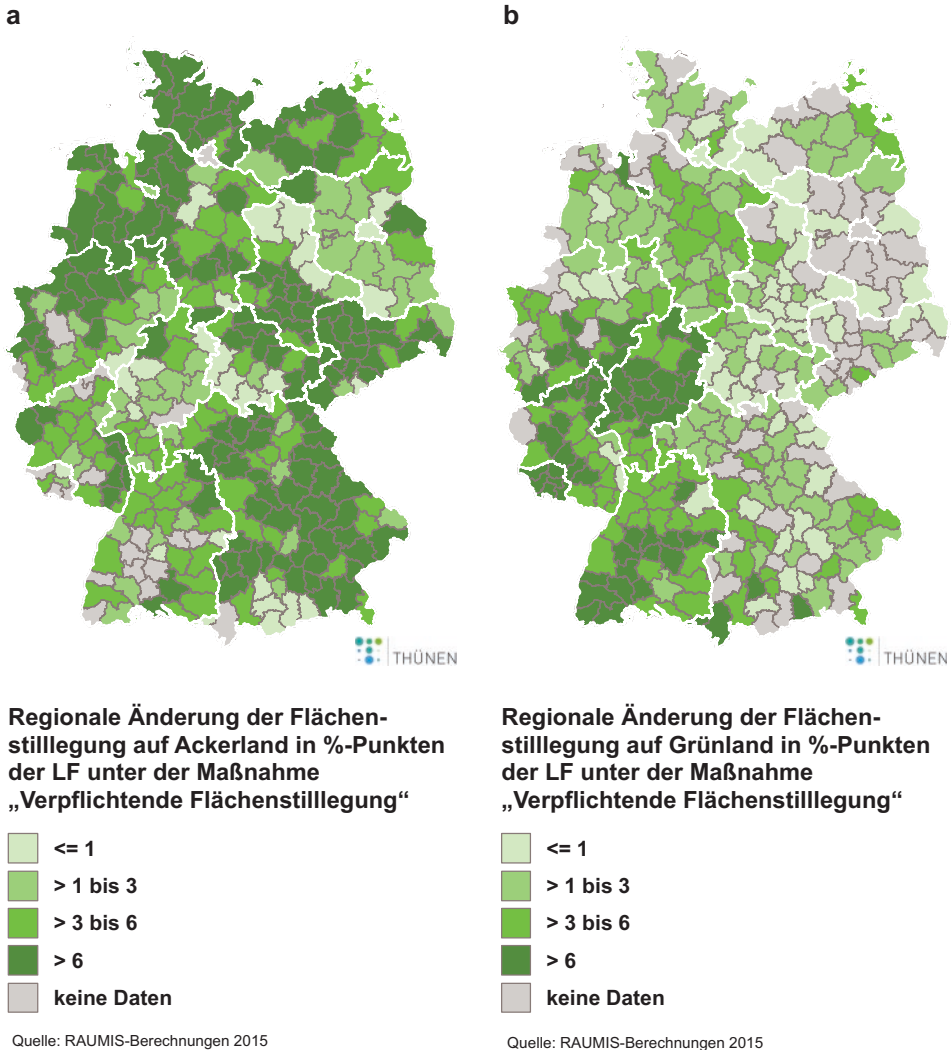


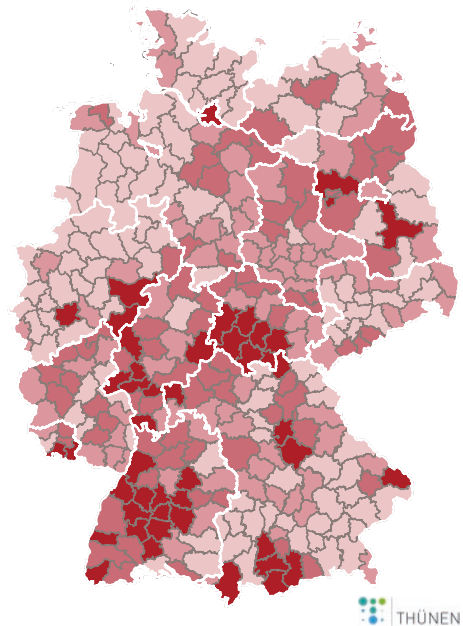
Abb. 4.33 a Regionale Änderung der Flächenstilllegung auf Ackerland in % der landwirtschaftlich genutzten Fläche unter der Maßnahme „Verpflichtende Flächenstilllegung“, b Regionale Änderung der Flächenstilllegung auf Grünland in % der landwirtschaftlich genutzten Fläche unter der Maßnahme „Verpflichtende Flächenstilllegung“

Die Umsetzungsschwerpunkte der Aufforstung auf landwirtschaftlicher Nutzfläche liegen vor allem in Südwest-, Mittel- und Teilen Nordostdeutschlands (vgl. Abb. 4.34). In Südwestthüringen werden große Flächenanteile aufgeforstet. Der geringe Anteil der zusätzlichen obligatorischen Flächenstilllegung deutet darauf hin, dass die Stilllegungsfläche in der Referenzprojektion schon fast 10 % der LF erreicht. Somit besteht eine relativ geringe Flächennachfrage für die landwirtschaftliche Produktion, welche konsistent ist zum hohen Aufforstungsumfang in dieser Region.

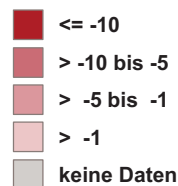
4.5.2.5 Vergleichende Beurteilung der Maßnahmen

Die Wiedervernässung organischer Böden ist hinsichtlich der THG-Vermeidungsleistung als sehr flächen- und kosteneffizient zu bewerten. Durch den Wegfall der landwirtschaftlichen Nutzung auf den wiedervernässten Moorflächen entsteht in der Regel ein

Abb. 4.34 Regionale Änderung landwirtschaftlich genutzte Fläche in Prozentpunkten der LF unter der Maßnahme „Aufforstung“



Regionale Änderung der landwirtschaftlich genutzten Fläche in %-Punkten der LF unter der Maßnahme „Aufforstung“ (BBSRklima)



Quelle: RAUMIS-Berechnungen 2015

ökologischer Mehrwert für Natur und Umwelt, da beispielsweise Habitate für seltene Tier- und Pflanzenarten entstehen und sich die Nutzungsaufgabe positiv auf Gewässer- und Bodenschutz auswirkt. Allerdings ist die Umsetzung regional auf Standorte mit hohen Flächenanteilen landwirtschaftlich genutzter Moorböden begrenzt (z. B. in Norddeutschland) und bedeutet einen substantiellen Eingriff in das Bodeneigentum.

Die Erhebung einer Stickstoffabgabe auf den Verkaufspreis von mineralischem Stickstoff ist administrativ mit relativ geringerem Aufwand verbunden, da sie an wenigen zentralen Stellen des Handels erhoben werden könnte. Somit ist es ein Instrument, das verhältnismäßig einfach zu kontrollieren und umzusetzen ist. Allerdings muss die Abgabe zum einen hoch genug sein, um Wirksamkeit zu zeigen, und zum anderen sollte die Heterogenität der Betriebsausrichtungen berücksichtigt werden. Betriebe, welche durch Tierhaltung Zugriff auf Wirtschaftsdünger haben, setzen im Vergleich zu reinen Ackerbaubetrieben weniger mineralischen Stickstoffdünger ein. Eine Abgabe auf mineralischen Stickstoffdünger würde die Nutzung von Wirtschaftsdünger in Ackerbaubetrieben/-regionen attraktiver machen.

Bei der Förderung der Energiemaisproduktion steht der hohen Flächeneffizienz eine starke Erhöhung der N-Bilanz als negative Umweltwirkung gegenüber. Des Weiteren müssen die Erhöhung des Erosionspotenzials sowie der zu erwartende Rückgang der Agrarbiodiversität beachtet werden. Außerdem sind bei unverändertem Verbrauch von Nahrungsmitteln die Emissionen durch indirekte Landnutzungsänderungen zu berücksichtigen. Neben den vergleichsweise hohen Vermeidungskosten in Höhe von rund 200 €/t CO₂-Äqu., die auch von anderen Studien bestätigt werden (u. a. WBA 2011) sind zur Bewertung der Förderung der Energiemaisproduktion die weiteren Umweltkosten einzubeziehen.

Der Anbau von Paludikulturen stellt eine Option der Biomasseproduktion für eine energetische Nutzung auf wiedervernässten organischen Böden dar. Die Kombination von Wiedervernässung und Paludikulturen führt zu einer Extensivierung der Produktion und stellt besondere Flora- und Faunahabitate bereit und leistet neben der THG-Emissionsminderung positive Beiträge zum Natur- und Umweltschutz. Die Maßnahme ist nur auf organischen Böden umsetzbar, sodass ihre Potenziale regional begrenzt sind. Nur durch die Vermeidungswirkung der Wiedervernässung organischer Böden als Voraussetzung zur Paludiproduktion erfährt die Maßnahme eine hohe Wirksamkeit und Effizienz. Die Paludikulturproduktion als separate Maßnahme wäre aufgrund der geringen Mitigationwirkung durch Substitution fossiler Energie nicht effizient.

Die obligatorische Flächenstilllegung ist mit einer deutlichen Einschränkung der landwirtschaftlichen Produktion und einem Rückgang des Einkommens verbunden. Die zu berücksichtigenden iLUC-Effekte reduzieren die Effektivität und Effizienz dieser Maßnahme. Allerdings sind positive Umweltwirkungen wie die Reduzierung der Produktionsintensität und Erhöhung der Biodiversität der Agrarlandschaft zu erwarten.

Die Aufforstung in Höhe von 10 % der Waldfläche auf landwirtschaftlicher Nutzfläche führt zur regionalen Reduzierung der landwirtschaftlichen Produktion und zu einem verminderten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Wie bei der Förderung

der Paludiproduktion können positive Umweltwirkungen auf die Biodiversität erwartet werden.

Vergleich der ökonomischen Bewertung der Maßnahmen

Vergleicht man die Maßnahmen anhand ihrer durchschnittlichen Flächeneffizienz, kann die bereits weit überdurchschnittliche Flächeneffizienz der Wiedervernässung durch die Förderung der Paludikulturproduktion noch gesteigert werden. Die Förderung der Energiemaisproduktion steht an dritter Stelle der durchschnittlichen Flächeneffizienz (vgl. Abschn. 3.4.5).

Bezüglich der Vermeidungskosten ist die Wiedervernässung von organischen Böden als beste der untersuchten Maßnahmen zu bewerten, gefolgt von der Förderung der Paludikulturproduktion und der Aufforstung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche. An vierter und fünfter Stelle im Ranking liegen die Förderung der Energiemaisproduktion und die Erhebung einer Stickstoffabgabe. Bei den Maßnahmen mit den geringsten Vermeidungskosten besteht der Nachteil in der regional begrenzten Anwendbarkeit. Die Maßnahmen, die auf Wiedervernässung basieren, können nur in Regionen umgesetzt werden, in denen organische Böden landwirtschaftlich genutzt werden. Auch die Aufforstung wird durch ihre langfristige Flächenumnutzung nicht auf den ertragsstarken Standorten umgesetzt werden, sondern auf den Grenzertragsstandorten. Die übrigen Maßnahmen haben den Vorteil, sich deutschlandweit umsetzen zu lassen. Dabei können der Stickstoffdüngerabgabe noch Vorteile ihrer Umweltwirkung (Reduzierung der Nitratbelastung in Gewässern) zugeschrieben werden und der Energiemaisförderung die Bereitstellung von Energie.

4.5.3 Strategien „Landwirtschaft“

Im Sektor Landwirtschaft werden die drei Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“ sowie „Natur- und Umweltschutz“ untersucht. Die Strategie „Klimaanpassung“ wird nicht untersucht, da sich für die Landwirtschaft angesichts der kurz- bis mittelfristig erwarteten geringen Klimaänderungen und der hohen Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft in den nächsten 15 Jahren kein akuter Handlungsbedarf ergibt (vgl. Abschn. 3.4.5).

In den Strategien werden die beschriebenen und analysierten Einzelmaßnahmen kombiniert, da sich die aggregierte Wirkung eines Maßnahmenbündels von den jeweiligen Einzelwirkungen unterscheidet. Tab. 4.15 gibt einen Überblick über die zu Landnutzungsstrategien zusammengefassten Maßnahmen sowie deren Ausgestaltung. Dabei werden bewusst extreme Annahmen für die Umsetzung der Strategien gewählt, wobei auch negative Auswirkungen auf andere Aspekte zunächst akzeptiert werden. Die Anzahl an Maßnahmen je Strategie wird gering gehalten, um Verzerrungseffekte zu vermeiden und präzisere Aussagen zu Ursache und Wirkung treffen zu können.

RAUMIS nutzt die Flächenkulissen des Land Use Scanners als modellexogene Vorgaben für Acker- und Grünland in den drei Strategien. Die Land Use Scanner-Flächen-

kulissen berücksichtigen die strategiespezifisch unterschiedlichen Flächenverteilungen zwischen den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr (SuV).

4.5.3.1 Ergebnisse der Klimaschutzstrategie

Die Klimaschutzstrategie folgt mit der Kombination von Instrumenten einer klimapolitischen Ausrichtung und berücksichtigt die kosteneffizienten Maßnahmen Wiedervernässung, angepasstes Düngemanagement und Aufforstung (vgl. Tab. 4.15). Hinsichtlich der Aufforstung wird ein Zuwachs der Waldfläche um 10 % (1,08 Mio. ha) unterstellt, die zur Hälfte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (LF) erfolgt und die andere Hälfte auf nicht von landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschafteter Landwirtschaftsfläche. Trotz der im Vergleich zur Referenzprojektion geringeren Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr (vgl. Tab. 4.8), steht der Landwirtschaft wegen der unterstellten Aufforstung eine um 3,1 % geringere Produktionsfläche zur Verfügung. Die Wiedervernässung ist auf maximal 30 % der Moorfläche begrenzt. Mit einer Abgabe auf Mineralstickstoffdünger in Höhe von 40 % berücksichtigt die Strategie „Klimaschutz“ ein marktbasierendes Instrument der Umweltpolitik.

Tab. 4.15 Zuordnung der Maßnahmen zu den Strategien im Sektor Landwirtschaft. (Quelle: Thünen-Institut)

Maßnahme	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz
Wiedervernässung von Mooren	Max. 30 % der Moorflächen		Max. 30 % der Moorflächen
Anpassung Düngemanagement: Verringerung der Bewirtschaftungsintensität	Abgabe auf mineralischen Stickstoffdünger: +40 % des Referenzpreises in 2030		
Anbau Energiemais		Ausdehnung durch zusätzliche Mitigationzahlungen (PES)	
Anbau Paludikulturen nach Wiedervernässung		Auf max. 30 % der Moorflächen; Mitigationzahlungen (PES)	
Ökologische Flächenstilllegung			Flächenrestriktion (Acker und Grünland): 10 % der LF
Aufforstung	Aufforstungsgebot: +10 % Wald		

Sektoranalyse

Durch die Maßnahmen reduziert sich die landwirtschaftliche Produktion. Die Stickstoffabgabe erhöht die Produktionskosten, verringert die Düngeintensität, sowohl durch eine Reduktion der speziellen Intensität als auch durch eine Anpassung der Anbaustruktur hin zu weniger düngintensiven Kulturen, und bewirkt insgesamt eine Reduzierung des Mineralstickstoffeinsatzes. Die Kombination der Maßnahmen der Klimaschutzstrategie ergibt eine Reduktion der THG-Emissionen aus mineralischen ($-2,7$ Mio. t CO_2 -Äqu.) und organischen Böden ($-5,9$ Mio. t CO_2 -Äqu.) sowie aus der Tierproduktion ($-0,4$ Mio. t CO_2 -Äqu.; vgl. Tab. 4.17).

Vor allem die Abgabe auf mineralischen Stickstoff wirkt sich vermindern auf die Bewirtschaftungsintensität aus. So sinkt der Einsatz von mineralischem Stickstoff und reduziert damit die Stickstoffbilanz (-6%). Ebenso verringert sich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (-5%). Durch die verminderte Mineralstickstoffproduktion werden in der Strategie „Klimaschutz“ etwa $1,2$ Mio. t CO_2 -Äqu. vermieden, wenn man von einem Emissionskoeffizienten von 4 t CO_2 -Äqu./t industriell hergestelltem Stickstoffdünger ausgeht (Heinzlmaier 2013).

Die Emissionsvermeidungsleistung durch die CO_2 -Fixierung der Biomasse auf den aufgeforsteten, zuvor landwirtschaftlich genutzten Flächen wird zur Bewertung der Strategie in die THG-Bilanz aufgenommen. Die Hälfte der Aufforstungsflächen befinden sich auf der LF (vgl. Abschn. 4.5.2). Berücksichtigt man den Mittelwert der C-Sequestrierung durch die Aufforstung auf der LF der Jahre 2015 bis 2030 bei der Berechnung der Netto-THG-Emissionen der Klimastrategie, inklusive der Vermeidung infolge der reduzierten Mineralstickstoffdüngerherstellung, verringern sich diese um $15,3$ Mio. t CO_2 -Äqu. (exklusiv iLUC-Effekte) und um $11,8$ Mio. t CO_2 -Äqu. (inklusive iLUC-Effekte; vgl. Tab. 4.18). Ein Simulationszeitraum über das Jahr 2030 hinaus würde den C-Speicher im Wald deutlich erhöhen, da der Wald in dieser Phase den höchsten jährlichen Biomassezuwachs aufweist.

Die Stilllegungsflächen nehmen zu ($+38\%$), was vor allem daran liegt, dass die Stickstoffabgabe die Pflanzenproduktion verteuert und dadurch reduziert.

Die Förderung der Wiedervernässung reduziert die meisten Pflanzenproduktionsverfahren um insgesamt $0,27$ Mio. ha wiedervernässter Moorfläche (Tab. 4.16). Die Silomaisfläche steigt, um den Verlust der Futterflächen auf organischen Böden zu kompensieren.

Regionalanalyse

Die regionale Betrachtung der Klimaschutzstrategie zeigt, dass die THG-Emissionen insbesondere in den Moorregionen infolge der Wiedervernässung reduziert werden (Abb. 4.35a). Demgegenüber betreffen die Einkommenseinbußen durch die Stickstoffabgabe deutschlandweit insbesondere die Regionen mit intensiven Ackerbau und geringer Viehdichte (z. B. Mitteldeutschland; Abb. 4.35b). In Regionen mit intensiver Ackerbauproduktion und hohem Viehbesatz fallen die produktionsbedingten Einkommensverluste geringer aus (z. B. in Nordrhein-Westfalen), da der reduzierte Mineralstickstoffdünger-

Tab. 4.16 Produktionsumfänge in den betrachteten Strategien. (Quelle: Thünen-Institut/M. Henseler)

	Referenz absolut		Klimaschutz				Bioenergie				Natur und Umwelt			
	Absolut		Absolut		Differenz		Absolut		Differenz		Absolut		Differenz	
	Mio.		Mio.	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	Mio.	%	
Weizen	3,8	ha	3,5	-0,34	-8,9	3,6	-0,24	-6,3	3,5	-0,27	-7,1			
Roggen	0,5	ha	0,4	-0,07	-14,0	0,4	-0,07	-14,0	0,4	-0,06	-12,0			
Gerste	1,1	ha	1,0	-0,10	-8,8	1,0	-0,15	-13,3	1,0	-0,16	-14,2			
Sonst. Getreide	1,1	ha	1,0	-0,07	-6,7	0,9	-0,11	-10,5	0,9	-0,11	-10,5			
Sonst. Marktfrüchte	0,4	ha	0,4	0,00	0,0	0,4	-0,01	-2,6	0,4	-0,01	-2,6			
Ölsaaten	1,7	ha	1,5	-0,24	-14,0	1,5	-0,20	-11,7	1,5	-0,23	-13,5			
Hackfrüchte	0,7	ha	0,7	0,00	0,0	0,7	-0,02	-3,0	0,7	-0,02	-3,0			
Silomais	1,0	ha	1,1	0,17	17,5	0,9	-0,05	-5,2	0,9	-0,05	-5,2			
Sonst. Ackerfutter	0,7	ha	0,7	0,00	0,0	0,7	-0,04	-5,5	0,7	-0,04	-5,5			
Energiemais	1,0	ha	1,0	-0,02	-2,0	2,0	0,99	99,0	0,9	-0,07	-7,0			
Dauergrünland	4,5	ha	4,3	-0,22	-4,9	4,3	-0,22	-4,9	4,1	-0,43	-9,6			
Flächenstilllegung	0,3	ha	0,4	0,12	38,1	0,1	-0,20	-63,5	1,6	1,31	415,9			
Moorwiedervernässung ^a	0,0	ha	0,3	0,27	K.A.	0,3	0,26	K.A.	0,3	0,27	K.A.			
Milchkühe	4,2	GVE	4,1	-0,06	-1,4	4,0	-0,16	-3,9	4,0	-0,20	-4,8			
Mastriinder	1,7	GVE	1,7	-0,06	-3,4	1,7	-0,07	-4,0	1,7	-0,09	-5,2			
Schweine	1,9	GVE	1,9	0,01	0,5	1,9	0,00	0,0	1,9	0,00	0,0			
Geflügel	0,4	GVE	0,4	0,00	0,0	0,4	0,00	0,0	0,4	0,00	0,0			

^aMit oder ohne Paludikulturproduktion

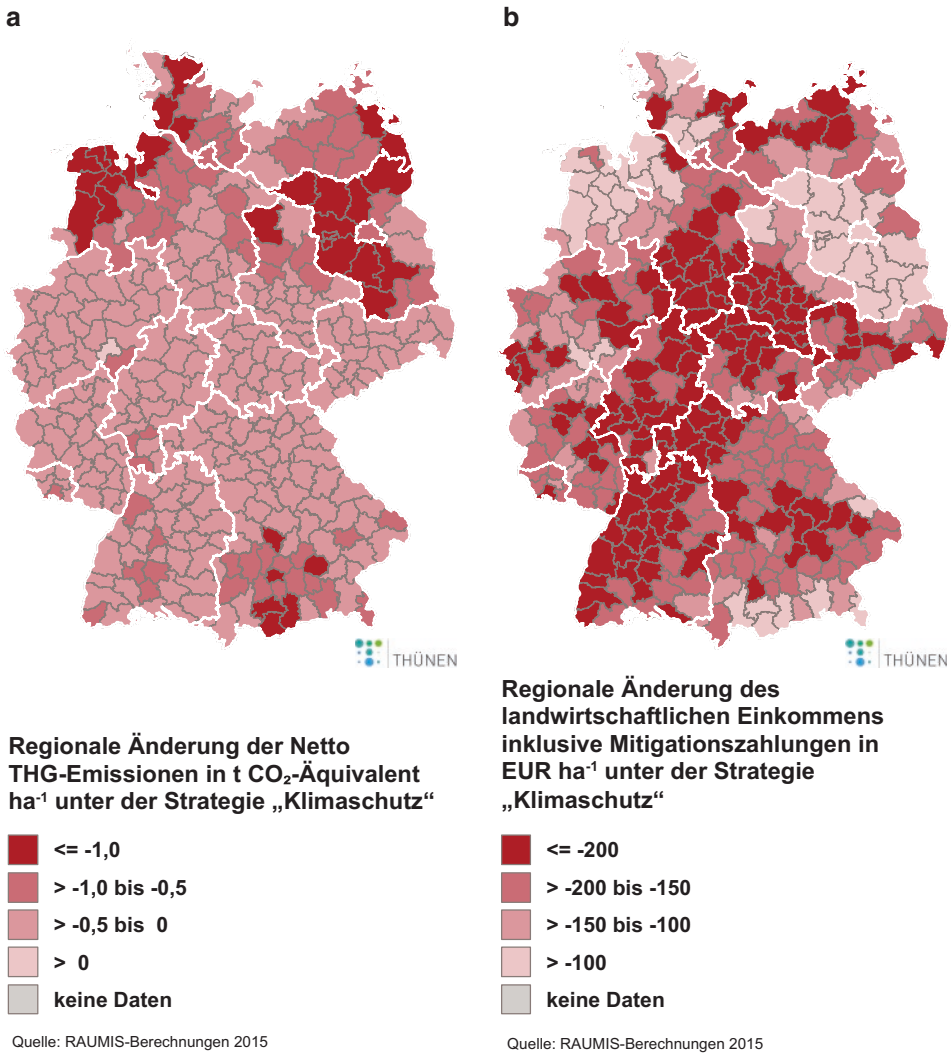


Abb. 4.35 **a** Regionale Änderung der Netto-THG-Emissionen in t CO₂-Äqu. ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzter Fläche unter der Strategie „Klimaschutz“, **b** Regionale Änderung des landwirtschaftlichen Einkommens inklusive Mitigationzahlungen in EUR ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzter Fläche unter der Strategie „Klimaschutz“

einsatz mit organischer Stickstoffdüngung aus der Tierhaltung kompensiert werden kann. In Regionen mit hohen Anteilen an Moorflächen trägt die geringe Profitabilität der Paludikulturen zu den Einkommensverlusten bei (z. B. Norddeutschland).

4.5.3.2 Ergebnisse der Bioenergiestrategie

Die Bioenergiestrategie setzt den Schwerpunkt auf THG-Emissionsvermeidung durch die Substitution fossiler Energieträger durch Bioenergie und enthält die Einzelmaßnahmen „Energienmaisbau für die Biogasproduktion“ sowie den „Anbau von Paludikulturen auf wiedervernässten Moorflächen“ (vgl. Tab. 4.15). Durch die Siedlungs- und Verkehrspolitik wird weniger landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt als in der Referenzprojektion. Der verringerte Flächenverlust durch die Siedlungs- und Verkehrspolitik bedeutet eine geringere Reduzierung der Grünlandfläche und kann daher auch als eine Erhaltung des Grünlands interpretiert werden (vgl. Abschn. 4.5.2). Ebenso bleiben Ackerflächen durch die Nichtumwandlung erhalten. Dadurch steht für eine gesteigerte Produktion von Biomasse zur energetischen Verwendung mehr Ackerfläche bereit als in der Referenzprojektion. Die landwirtschaftlichen Produktionsaktivitäten werden um die Produktion von extensiven Paludikulturen auf An- und Niedermoorstandorten ergänzt.

Sektoranalyse

In der Bioenergiestrategie bewirkt die Substitution fossiler Energien durch Energiemais und Paludikulturen eine Senkung der Gesamt-THG-Emissionen um 18,1 Mio. t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte) und um 14,5 Mio. t CO₂-Äqu. (inkl. iLUC-Effekte; vgl. Tab. 4.18). Davon entfallen ca. 5,7 Mio. t CO₂-Äqu. auf die Wiedervernässung, die eine Voraussetzung der Paludikulturproduktion ist, und daher einen indirekten Vermeidungseffekt darstellt. Die energetische Nutzung der Paludikulturproduktion trägt nur 0,8 Mio. t CO₂-Äqu. zum Vermeidungseffekt bei und ist somit deutlich geringer als die Vermeidung durch Energiemais mit 9,9 Mio. t CO₂-Äqu. Ohne Berücksichtigung der Vermeidungseffekte durch Wiedervernässung organischer Böden betragen die Vermeidungseffekte der Strategie 12,4 Mio. t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte) und 8,8 Mio. t CO₂-Äqu. (inkl. iLUC-Effekte).

Die Maßnahmen bewirken eine deutliche Verschiebung von der Nahrungsmittel- zur Biomasseproduktion, wodurch auch die Tierhaltung – insbesondere die Rinderhaltung – rückläufig ist. Dementsprechend gehen die Emissionen aus der Tierhaltung um 0,9 Mio. t CO₂-Äqu. zurück (vgl. Tab. 4.17). Während Paludikulturen ein extensives Produktionsverfahren darstellen, ist der Anbau von Energiemais eher zu den düngintensiven Verfahren zu zählen. Darüber hinaus fallen bei der Vergärung des Energiemaisses Gärreste an, die als Wirtschaftsdünger dem Pflanzenbau zugeführt werden. Da der Wirtschaftsdünger im Vergleich zum mineralischen Dünger eine geringere Düngeneffizienz aufweist, treten höhere Stickstoffbilanzüberschüsse im Vergleich zum substituierten Pflanzenbauverfahren auf, sodass neben den positiven Wirkungen der Strategie hinsichtlich der THG-Einsparung auch negative Wirkungen zu Lasten der Umwelt erfolgen, wie am Stickstoffbilanzsaldo deutlich wird (+5 %, Tab. 4.17).

Die Energiemaisfläche wird um das Doppelte ausgedehnt (+99 %), was einen Rückgang der Stilllegungsflächen (−64 %), des Dauergrünlands (−5 %) sowie aller Ackerkulturen zur Folge hat. Der Paludikulturanbau nimmt 0,26 Mio. ha auf wiedervernässten

Tab. 4.17 Auswirkungen der betrachteten Strategien auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt in Deutschland. (Quelle: Thünen-Institut/M. Henseler)

		Referenz	Klimaschutz		Bioenergie		Natur und Umwelt	
			Absolut	%	Absolut	%	Absolut	%
Landwirtschaftliches Einkommen ^a	Mio. €	25.969	-1715	-6,6	-141	-0,5	-1393	-5,4
Ausbringung mineralischen Stickstoff	Mio. t N	2,0	-0,3	-14,5	-0,1	-4,5	-0,2	-11,0
Ausbringung organischer Stickstoff	Mio. t N	0,8	0,0	-1,3	0,0	-2,5	0,0	-3,8
Stickstoffbilanz gesamt	Mio. t N	0,8	-0,1	-6,3	0,0	5,0	-0,1	-6,3
Pflanzenschutzmittelaufwendungen	Mrd. €	1,8	-0,1	-4,9	-0,1	-2,9	-0,1	-5,9
Landwirtschaftlich genutzte Fläche	Mio. ha	16,5	-0,5	-3,1	0,2	1,0	0,2	1,0
Ackerfläche	Mio. ha	12,0	-0,3	-2,8	0,1	0,9	0,1	0,9
Dauergrünland	Mio. ha	4,5	-0,2	-4,2	0,1	1,1	0,1	1,1
Änderungen der THG-Emissionen aus Änderungen in der landwirtschaftlichen Produktion								
THG-Emissionen aus Tierhaltung	Mio. t CO ₂ -Äqu.	27,8	-0,4	-1,4	-0,9	-3,3	-1,2	-4,4
THG-Emissionen aus Mineralböden	Mio. t CO ₂ -Äqu.	19,1	-2,7	-14,0	0,1	0,3	-1,6	-8,5
THG-Emissionen aus organischen Böden	Mio. t CO ₂ -Äqu.	21,7	-5,9	-27,2	-5,7	-26,3	-6,0	-27,8
Indirekte THG-Emissionen	Mio. t CO ₂ -Äqu.	12,7	-2,8	-22,1	-0,5	-4,1	-1,1	-8,3

(Fortsetzung)

Tab. 4.17 (Fortsetzung)

		Referenz	Klimaschutz		Bioenergie		Natur und Umwelt	
			Absolut	%	Absolut	%	Absolut	%
THG-Emissionen aus Herstellung mineralischen Stickstoffs ^b	Mio. t CO ₂ -Äqu.	8,1	-1,2	-14,3	-0,4	-4,6	-0,9	-10,7
Summe der Produktionsänderung (exkl. organische Böden)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	67,7	-7,0	-10,4	-1,8	-2,6	-4,8	-7,0
Summe der Produktionsänderung (inkl. organische Böden)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	89,4	-12,9	-14,5	-7,4	-8,3	-10,8	-12,1

^aAls Nettowertschöpfung zu Faktorpreisen (NWSF)

^bEmissionsfaktor von 4 t CO₂-Äqu./t N

An- und Niedermooren ein. Durch den Rückgang der Nahrungsmittelproduktion sinkt das landwirtschaftliche Einkommen geringfügig (-1 %).

Regionalanalyse

Der THG-Bilanzsaldo reduziert sich deutschlandweit und vor allem in den moorreichen Regionen durch den indirekten Vermeidungseffekt der Wiedervernässung in der Paludikulturproduktion. Weiter nimmt der Maisanbau für Biogas in den bereits in der Referenzprojektion durch Energiemais geprägten Regionen stark zu, wodurch dort hohe Vermeidungsleistungen zu verzeichnen sind. Die größten Vermeidungseffekte sind v. a. in Norddeutschland sowie in einigen Regionen Süddeutschlands zu beobachten (Abb. 4.36a).

Das landwirtschaftliche Einkommen ändert sich in weiten Teilen Deutschlands nur geringfügig. Im Norden und im Süden Deutschlands bewirkt der wenig rentable Paludianbau die Verluste in landwirtschaftlichen Einkommen. Auf den Ackerbaustandorten hingegen in Mittel- und Süddeutschland entstehen durch die Ausdehnung der Energiemaisproduktion geringe Gewinne (Abb. 4.36b).

Tab. 4.18 Vermeidungswirkungen, -kosten und Effizienz der Strategien Klimaschutz, Bioenergie sowie Natur- und Umweltschutz. (Quelle: Thünen-Institut/M. Hensele)er)

	Klimaschutz	Bioenergie	Natur und Umwelt
Vermeidungswirkungen^a			
Moorwiedervernässung ^b	Mio. t CO ₂ -Äqu.	5,9	5,7
Energiemais ^c	Mio. t CO ₂ -Äqu.	-0,2	9,9
Palud ^d	Mio. t CO ₂ -Äqu.	0,0	0,8
Aufforstungsfläche	Mio. t CO ₂ -Äqu.	2,6	0,0
... davon Maßnahme geförderter Vermeidungseffekt	Mio. t CO ₂ -Äqu.	8,5	16,4
Summe der Produktionsverschiebungen (exkl. organische Böden)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	7,03	1,75
Summe Mitigationseffekte (gefördert & ungefördert) plus Produktionsverschiebungen	Mio. t CO ₂ -Äqu.	15,3	18,1
Summe Emissionsänderungen und Mitigationseffekte (exkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	15,3	18,1
iLUC-Effekte in Mio. t CO ₂ -Äqu	Mio. t CO ₂ -Äqu.	3,5	3,6
Summe Emissionsänderungen und Mitigationseffekte (inkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	11,8	14,5
Vermeidungskosten^e			
Einkommensverluste in Mio. € ^f	Mio. €	-1715	-141
... davon indirekte Produktionsverschiebungen	Mio. €	-1615	-58
... davon Maßnahmenspezifisch Summe	Mio. €	-100	-83
.....davon negative Deckungsbeiträge ^g	Mio. €	0	-44
.....nur Kosten für Wiedervernässungskosten ^h	Mio. €	-40	-39

(Fortsetzung)

Tab. 4.18 (Fortsetzung)

	Klimaschutz	Bioenergie	Natur und Umwelt
..... davon Aufforstungskosten ⁱ	Mio. €	0	0
Subventionskosten für Biostrom ^j	Mio. €	-2500	-400
Summe Vermeidungskosten	Mio. €	-2641	-1793
Flächenanspruch und -effizienz			
Flächenanspruch	Mio. ha	1,2	1,6
Durchschnittliche Flächeneffizienz (exkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	14,6	6,4
Durchschnittliche Flächeneffizienz (inkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	11,7	3,7
Durchschnittliche Vermeidungskosten			
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	145,7	177,5
Durchschnittliche Vermeidungskosten (inkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	182,0	306,5
Mitigationseffekt (exkl. Wiedervernässung)^o			
Mitigationseffekt (exkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	12,4	4,1
Mitigationseffekt (inkl. iLUC)	Mio. t CO ₂ -Äqu.	8,8	-0,2
Flächenanspruch und -effizienz (exkl. Wiedervernässung)			
Flächenanspruch	Mio ha	1,2	1,6
Durchschnittliche Flächeneffizienz (exkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	10,0	2,6
Durchschnittliche Flächeneffizienz (inkl. iLUC)	t CO ₂ -Äqu./ha	7,1	-0,1

Tab. 4.18 (Fortsetzung)

	Klimaschutz	Bioenergie	Natur und Umwelt
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. Wiedervernässung)			
Durchschnittliche Vermeidungskosten (exkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	206	420
Durchschnittliche Vermeidungskosten (inkl. iLUC)	€/t CO ₂ -Äqu.	291	-9525

^aNegativ = Vermeidungsverluste, positiv = Vermeidungseffekt

^bEmissionsfaktor: 21,7 t CO₂-Äqu./ha ~ 22 t CO₂-Äqu./ha

^cEmissionsfaktor: ~10 t CO₂-Äqu./ha

^dEmissionsfaktor: ~3 t CO₂-Äqu./ha

^eNegativ = Kosten, Verluste, positiv = Gewinne

^fProduktionsverschiebungen, Zusatzkostenwiedervernässung

^gInkl. Wiedervernässungskosten = -169,8 EUR/ha, nur für Paludiproduktion = -19,8 EUR/ha

^h150 EUR/ha

ⁱ116 EUR/ha

^jNegativ = Kosten, positiv = Gewinne. Gewinne entstehen, wenn die Energiemaisfläche abnimmt und sich dadurch der Subventionsaufwand reduziert)

^kBis ^mexkl. Vermeidungseffekte durch Wiedervernässung: ^k10 t CO₂-Äqu./ha

^l7,1 t CO₂-Äqu./ha

^m206 EUR/t CO₂-Äqu.

ⁿ291 EUR/t CO₂-Äqu.

^oMitigationseffekt (exkl. iLUC) = Emissionsänderungen plus Mitigationseffekte (exkl. iLUC) minus Moorwiedervernässung; Mitigationseffekt (inkl. iLUC) = Emissionsänderungen plus Mitigationseffekte (inkl. iLUC) minus Moorwiedervernässung

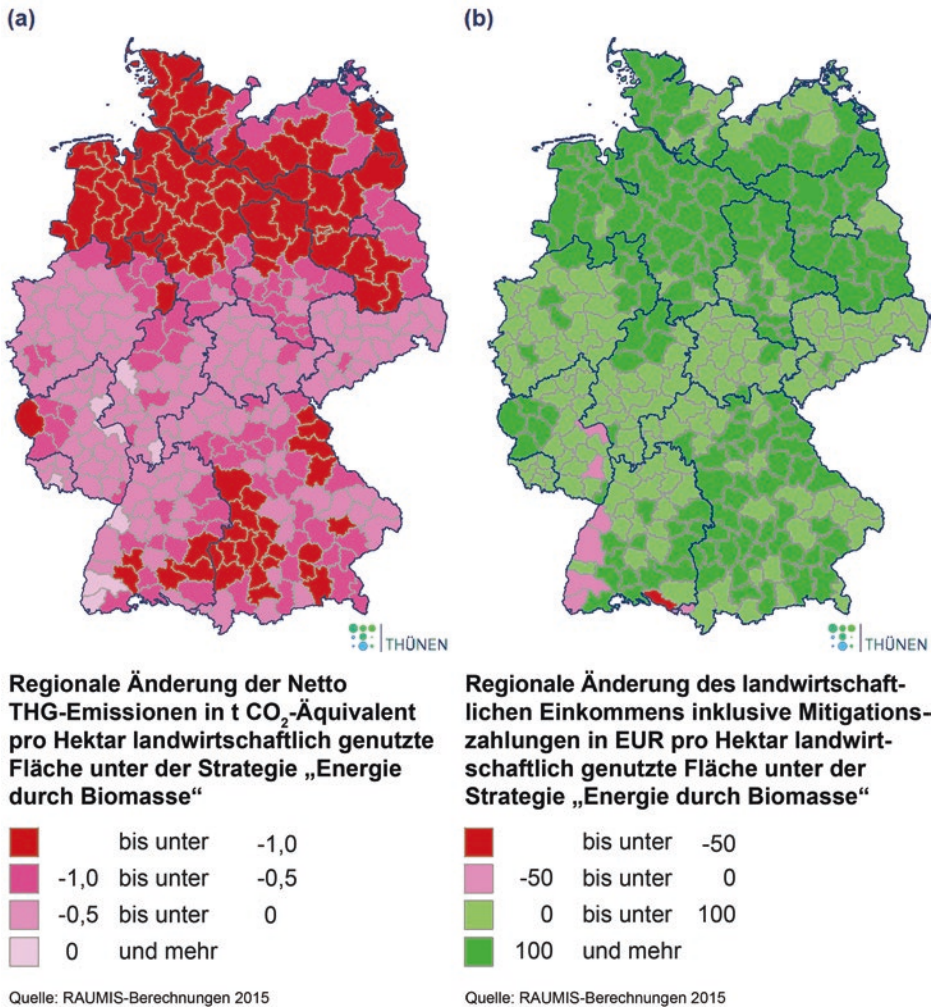


Abb. 4.36 **a** Regionale Änderung der Netto-THG-Emissionen in t CO₂-Äqu. ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzte Fläche unter der Strategie „Bioenergie“, **b** Regionale Änderung des landwirtschaftlichen Einkommens inklusive Mitigationzahlungen in EUR ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzte Fläche unter der Strategie „Bioenergie“

4.5.3.3 Ergebnisse der Natur- und Umweltschutzstrategie

Die Natur- und Umweltschutzstrategie setzt den Schwerpunkt auf THG-Emissionsvermeidung durch Maßnahmen mit weiteren positiven Wirkungen auf Natur und Umwelt. Durch eine entsprechende Siedlungs- und Verkehrspolitik wird in der Natur- und Umweltschutzstrategie wie in der Bioenergiestrategie weniger landwirtschaftliche Nutzfläche umgewandelt als in der Referenzprojektion. Dadurch bleibt mehr Fläche in

landwirtschaftlicher Produktion. Verglichen mit der Nutzung von Siedlungs- und Verkehrsflächen hat die landwirtschaftliche Nutzfläche einen ökologisch höheren Wert. Der verringerte Flächenverlust durch Siedlung und Verkehr bedeutet einen geringeren Rückgang der Grünlandfläche und kann daher auch als eine Erhaltung des Grünlands interpretiert werden (vgl. Abschn. 4.5.2).

Wie in der Klimaschutzstrategie wird das Instrument der THG-Vermeidungszahlungen auf die vermiedenen THG-Emissionen aus wiedervernässten Moorböden (maximal 30 % der Moorfläche) angewendet. Die Stilllegungsfläche wird als verpflichtende ökologische Vorrangfläche für 10 % der LF vorgeschrieben und kann sich auf Acker- und/oder auf Grünlandfläche beziehen. Dadurch wird bei der Modellierung eine größere Flexibilität angenommen, als es für die Implementierung der ökologischen Vorrangflächen im Rahmen der GAP der Fall ist, wo 5 % der Ackerfläche gemeldet werden müssen.

Sektoranalyse

In der Natur- und Umweltschutzstrategie erhöht die verpflichtende Flächenstilllegung den Anteil von stillgelegtem Acker- und Grünland. Die stillgelegten oder die wiedervernässten Flächen werden nicht mehr zur Nahrungsmittel- oder Energie- und Futterproduktion genutzt. Die wiedervernässten Moorflächen betragen 0,27 Mio. ha; die zusätzliche Stilllegungsfläche beträgt 1,31 Mio. ha (vgl. Tab. 4.16) und ergibt einen Stilllegungsanteil von annahmegemäß 10 % der LF.

Die Produktionseinschränkung senkt die Emissionen aus der Tierhaltung (−1,2 Mio. t CO₂-Äqu.) und aus Mineralböden (−1,6 Mio. t CO₂-Äqu.; vgl. Tab. 4.17). Die Kombination dieser Maßnahmen mit der Förderung von Wiedervernässung organischer Böden reduziert die THG-Emissionen um insgesamt 10,1 Mio. t CO₂-Äqu. (exkl. iLUC-Effekte) und um 5,8 Mio. t CO₂-Äqu. (inkl. iLUC-Effekte; vgl. Abb. 4.37; Tab. 4.18).

Der damit verbundene Rückgang der landwirtschaftlichen Produktion führt neben der Reduzierung der THG-Emissionen zur Senkung des Stickstoffbilanzsaldos (−6 %, vgl. Tab. 4.17) sowie des Pflanzenschutzmitteleinsatzes (−6 %). Dadurch werden mit der Natur- und Umweltschutzstrategie die angestrebten positiven Umweltwirkungen auf Wasserbelastung und Biodiversität erreicht. Die Einbußen des landwirtschaftlichen Einkommens betragen −5 %.

Regionalanalyse

Eine Minderung der THG-Emissionen findet in der Natur- und Umweltschutzstrategie deutschlandweit statt, aber insbesondere in den Moorregionen infolge der Wiedervernässung (Abb. 4.37a).

Regionen mit hohen Einkommenseinbußen finden sich in Nord- und Süddeutschland (Abb. 4.37b). In diesen Gunstregionen sind die Anteile der Stilllegungsfläche in der Referenzprojektion besonders niedrig (z. B. im sehr intensiv bewirtschafteten Schleswig-Holstein). Die verpflichtende Flächenstilllegung bedeutet hier einen relativ hohen Verlust

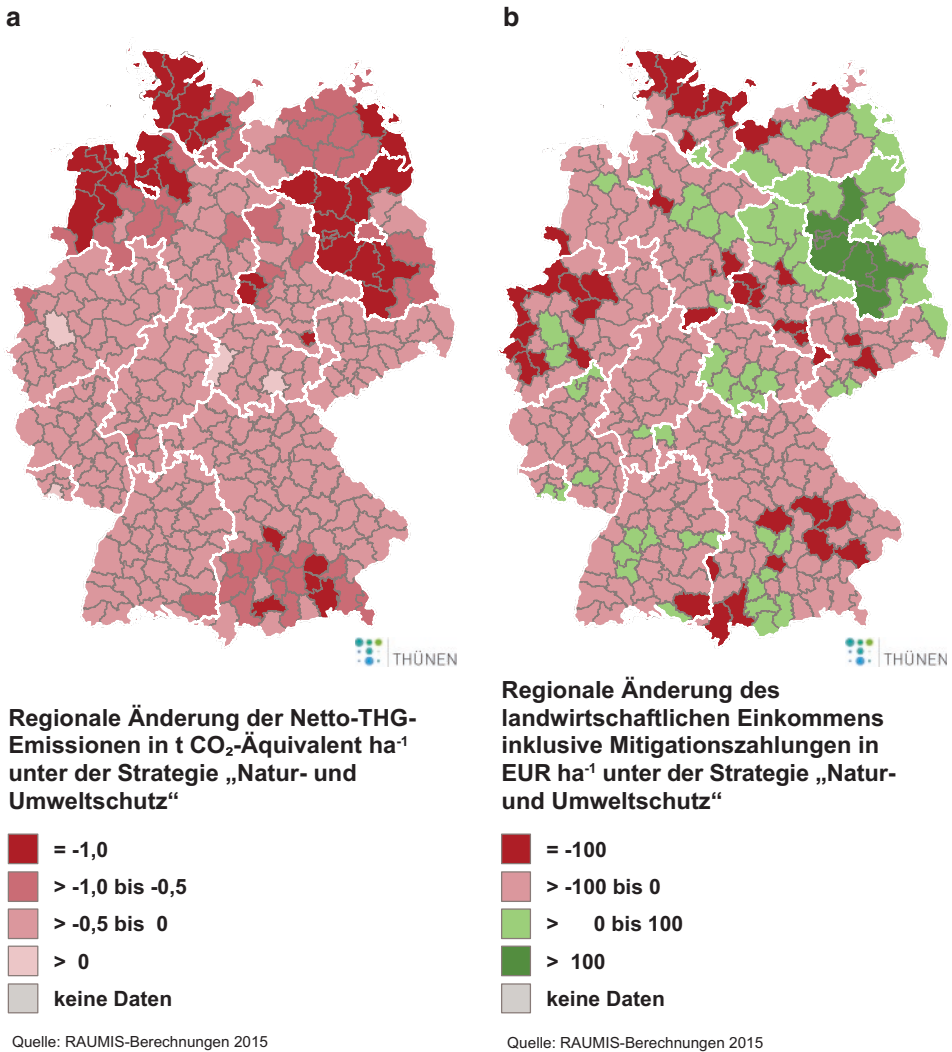


Abb. 4.37 **a** Regionale Änderung der Netto-THG-Emissionen in t CO₂-Äqu. ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzte Fläche unter der Strategie „Natur- und Umweltschutz“, **b** Regionale Änderung des landwirtschaftlichen Einkommens inklusive Mitigationzahlungen in EUR ha⁻¹ landwirtschaftlich genutzte Fläche unter der Strategie „Natur- und Umweltschutz“

an Produktionsfläche von bis zu 10 % und führt zu entsprechenden Einkommensverlusten. Dahingegen sind die Zunahme an Flächenstilllegung und die Einkommensverluste in Regionen geringer, wo es in der Referenzprojektion bereits höhere Anteile an Flächenstilllegungsflächen gibt (z. B. in Ostdeutschland).

4.5.4 Vergleichende Beurteilung der landwirtschaftlichen Strategien

Vor- und Nachteile der Strategien

Der Vergleich der simulierten Strategien zeigt unterschiedliche Wirkungen bezüglich der verschiedenen Ziele und Indikatoren. Alle drei Strategien wirken sich positiv auf THG-Emissionen und Mitigationsleistung aus. Die Vermeidungseffekte entstehen durch unterschiedliche Maßnahmenkombinationen, welche sich ihrerseits unterschiedlich auf das landwirtschaftliche Einkommen und die Umwelt auswirken. Die Klimaschutzstrategie kombiniert Maßnahmen, welche zum einen die Emissionen aus den größten flächenbasierten Emissionsquellen reduzieren (Mineralböden, organische Böden), und zum anderen die C-Sequestrierung (Aufforstung auf LF). Dabei werden den Maßnahmen auch positive Umweltwirkungen zugeordnet – wie die Reduzierung von Nitrateinträgen in die Gewässer und Erhöhung der Biodiversität.

Die Anwendung der flächenbasierten Maßnahme „Wiedervernässung und Aufforstung“ ist regional begrenzt, wodurch die deutschlandweit umsetzbare Maßnahme der Stickstoffabgabe eine kompensierende Funktion erfährt. Die Stickstoffabgabe bewirkt dabei nicht nur eine Senkung der Mineraldüngung und der Emission aus Mineralböden, sondern auch eine Vermeidung von Emissionen, die bei der industriellen Mineraldüngereproduktion entstehen. Durch Flächenverluste, Senken der Produktionsintensität und Kosten für die Maßnahmenumsetzung entstehen der Landwirtschaft relative hohe Einkommensverluste.

In der Bioenergiestrategie geht die große Vermeidungswirkung auf die intensive Produktion von Energiemais zurück, wodurch fossile Energieträger substituiert werden. Diese Vermeidungsleistung geht mit einer negativen Umweltwirkung einher, nämlich der Erhöhung des Stickstoffbilanzsaldos, welche das Risiko der Grundwasser- und Oberflächengewässerbelastung durch Nitrateinträge erhöht. Somit wird in der Bioenergiestrategie die höhere Vermeidungsleistung auf Kosten einer Verschlechterung anderer Umweltindikatoren erzielt. Der Produktion von Paludikulturen kommt eine geringere Bedeutung zu. Die größte Vermeidungswirkung der Maßnahme generiert die „vorgeschaltete“ notwendige Wiedervernässung organischer Böden. Die Paludiproduktion trägt zu positiven Umweltwirkungen bei, ist aber regional begrenzt. Mit der Bioenergieproduktion wird eine zusätzliche Einkommensalternative gefördert, wodurch Einkommensverluste in der Landwirtschaft sehr gering ausfallen.

In der Strategie „Natur- und Umweltschutz“ werden flächenbasierte Extensivierungsmaßnahmen kombiniert. Die Wiedervernässung organischer Böden wird als regional begrenzte Mitigationsmaßnahme gefördert. Die verpflichtende Flächenstilllegung bewirkt die deutschlandweite Reduktion der Produktionsintensität und der Emissionen aus der landwirtschaftlichen Produktion. Beiden Maßnahmen werden positive Umweltwirkungen zugeschrieben. Die Einschränkung der Produktionsfläche führt zu relativ hohen Einkommensverlusten.

In allen drei Strategien bewirken die Änderungen der landwirtschaftlichen Landnutzung in Deutschland indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC) in anderen Teilen der Welt. Sinkt in Deutschland die Nahrungsmittelproduktion, wird das Defizit durch Importe ausgeglichen, was zu Intensivierungen und Rodungen in anderen Ländern führen kann. Die dadurch entstehenden THG-Emissionen werden über Schätzwerte nach Osterburg et al. (2013) berücksichtigt. Die iLUC-Effekte fallen besonders hoch aus in der Natur- und Umweltschutzstrategie, gefolgt von der Bioenergiestrategie und der Klimaschutzstrategie. Durch die Berücksichtigung der iLUC-Effekte verschlechtern sich v. a. die Vermeidungseffekte der Natur- und Umweltschutzstrategie (vgl. Tab. 4.18).

Um die Gesamtwirkung der Strategien einschätzen zu können, müssen THG-Emissionen berücksichtigt werden, die anderen Sektoren als der Landwirtschaft zugerechnet werden.

Vergleichende ökonomische Bewertung der Strategien

In Tab. 4.18 werden Simulationsergebnisse für die Strategien zusammengestellt mit ihren Vermeidungskosten – differenziert nach Kostenpositionen, Emissionsquellen, Durchschnittskosten und aggregierten Durchschnittskosten – sowie die Vermeidungseffizienz bezogen auf die für die Maßnahme relevante Bezugsfläche. Diese Gegenüberstellung ermöglicht einen ökonomischen Vergleich der Strategien über das Merkmal „Kosten“.

Die vergleichsweise niedrigen Mitigationzahlungen in Kombination mit den relativ hohen Vermeidungsleistungen (aus landwirtschaftlicher Produktion, der Minereraldüngerproduktion, aus der Aufforstung) und geringeren iLUC-Effekten lassen die Klimaschutzstrategie als die kosten- und flächeneffizienteste Strategie dastehen. Gegenüber den anderen Strategien erweist sich die Klimaschutzstrategie als die beste hinsichtlich der durchschnittlichen Vermeidungskosten bedingt durch die Kombination verschiedener Politikinstrumente (Vermeidungszahlungen, Stickstoffabgabe, Aufforstung). Die beiden anderen Strategien zielen mit den Politikinstrumenten auf die spezifischen Vermeidungsaspekte der Energieproduktion und des Natur- und Umweltschutzes, welche negative Auswirkungen auf Umwelt oder Einkommensaspekte haben.

Vergleicht man die Strategien anhand ihrer durchschnittlichen Flächeneffizienz, ist die Klimaschutzstrategie die beste Strategie gefolgt von der Bioenergiestrategie (vgl. Tab. 4.18). Auch bezüglich der Vermeidungskosten schneidet die Klimaschutzstrategie am besten ab. Für die Bioenergiestrategie hängt die Höhe der durchschnittlichen Vermeidungskosten davon ab, ob die Vermeidungseffekte durch die Wiedervernässung berücksichtigt werden oder nicht.

Werden die Vermeidungseffekte durch Wiedervernässung als indirekte Effekte betrachtet und als Voraussetzung zur Paludiproduktion der Strategie zugeschrieben, liegen die durchschnittlichen Vermeidungskosten zwischen denen der beiden anderen Strategien. Werden die iLUC-Effekte nicht berücksichtigt und die Vermeidungseffekte durch Wiedervernässung nicht der Bioenergiestrategie zugerechnet, fallen die durchschnittlichen Vermeidungskosten der Bioenergiestrategie (206 EUR/t CO₂-Äqu.) höher aus als die Vermeidungskosten der Strategien „Natur- und Umweltschutz“

(178 EUR/t CO₂-Äqu.) oder „Klimaschutz“ (177 EUR/t CO₂-Äqu.). Unter Berücksichtigung der iLUC-Effekte liegen die durchschnittlichen Vermeidungskosten der Bioenergiestrategie (291 EUR/t CO₂-Äqu.) zwischen denen der Strategien „Natur- und Umweltschutz“ (307 EUR/t CO₂-Äqu.) und „Klimaschutz“ (142 EUR/t CO₂-Äqu.).

Akzeptanz der Strategien

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Strategien neben ihren unterschiedlichen THG-Emissionsvermeidungswirkungen verschiedene relative Vorzughigkeiten für Vertreter der Produktion, der Politik und des Umweltschutzes aufweisen (vgl. Tab. 4.19).

Die Klimaschutzstrategie beinhaltet eine Stickstoffabgabe, welche die Produktionskosten für die Landwirtschaft erhöht. Eine Stickstoffabgabe wird von der Landwirtschaft auch dann nur bedingt auf Akzeptanz stoßen, wenn die vereinnahmten Mittel der Stickstoffabgabe rückerstattet werden und die Verluste zu einem Großteil kompensieren. Die Stickstoffabgabe bedeutet für die mineralstickstoffproduzierende Industrie Absatzeinbußen. Für den Staat ist die Stickstoffabgabe ein effektives Instrument, welches allerdings eine Überwachung der Stickstoffströme entlang der gesamten Wertschöpfung erfordert. Auf Seiten der Vertreter des Umweltschutzes ist mit der Akzeptanz für die Stickstoffabgabe mit ihrer stickstoffreduzierenden Wirkung sowie, unter der Voraussetzung der Wahl geeigneter Flächen, für die Wiedervernässung zu rechnen. Die C-Speicherung der Aufforstungsflächen wird hier auch auf positive Resonanz stoßen. Zahlungen für die Wiedervernässung können lediglich Landwirte bekommen, die über wiedervernässbare, organische Böden verfügen – für diese wäre die Wiedervernässung ein tiefgreifender Eingriff in das Bodeneigentum.

Die Bioenergiestrategie ermöglicht eine Einkommenssteigerung für die Landwirtschaft und wird daher große Akzeptanz bei den Produzenten finden. Für den Staat bedeuten die Förderung der Bioenergieproduktion erhöhte Ausgaben für ein Folgeregime des EEG sowie zusätzliche Mitigationzahlungen, welche auf den Konsumenten übertragen werden müssten; somit stünden diese Maßnahmen im Wettbewerb zu Minderungsmaßnahmen anderer Sektoren, die weniger kostenintensiv sind. Die enorme Ausdehnung der Energie-maisflächen mit den damit verbundenen negativen Umweltwirkungen wie die hohe Stickstoffbelastung, das gesteigerte Erosionsrisiko und der Einfluss auf die Biodiversität muss mit den hohen Vermeidungsleistungen durch die gewonnene Bioenergie abgewogen

Tab. 4.19 Akzeptanzmatrix. (Quelle: Thünen-Institut)

	Strategien		
	Klimaschutz	Bioenergie	Naturschutz
Produzenten Agrarsektor	–	++	--
Politik	+	–	+
Umweltschutz	++	–	++

Erwartete Akzeptanz: +: Akzeptanz, ++: hohe Akzeptanz, –: Ablehnung, --: hohe Ablehnung

werden. Aufgrund der intensiven, negativen Umweltwirkungen dürfte diese Strategie in der öffentlichen Diskussion bei Vertretern des Umwelt- und Naturschutzes auf nur eingeschränkte Akzeptanz stoßen.

Die Natur- und Umweltschutzstrategie schreibt eine Mindestflächenstilllegung vor. Diese führt bundesweit zu einer Verringerung der Produktionsfläche, was sich positiv auf die Emissionsreduzierung und andere Umweltindikatoren auswirkt und die gesellschaftliche Akzeptanz der Strategie fördern dürfte. Für die Landwirtschaft sind solche restriktiven Maßnahmen wenig attraktiv, da sie ihre Anpassungsmöglichkeiten begrenzen. Unter Umständen erfolgt eine Intensivierung der Produktion auf den nicht stillgelegten Flächen, um die Produktionsverluste zu kompensieren. Dann wären auch die positiven Aspekte für den Umweltschutz in Frage gestellt. Für den Staat ergeben sich zwar Ausgaben für die Wiedervernässung, aber die zahlreichen, damit verbundenen positiven Umweltwirkungen dürften für Zustimmung sorgen.

Bei Überlegungen zu geeigneten Maßnahmen und Strategien muss immer beachtet werden, dass ihre hiesige Umsetzung anderenorts zu Landnutzungsänderungen (iLUC) und Intensivierungen führen kann, die weitreichende, negative Effekte mit sich ziehen können.

Fazit Landwirtschaft

Die untersuchten Maßnahmen folgen unterschiedlichen Vermeidungsansätzen: der quellenbezogenen THG-Minderung, der Substitution fossiler Energien und der CO₂-Sequestrierung. Dabei unterscheiden sich die Maßnahmen deutlich in ihren Vermeidungsleistungen und den Auswirkungen auf Umwelt, landwirtschaftliche Produktion und Einkommen sowie in ihrer regionalen Umsetzbarkeit. Die Indikatoren zur Flächen- und Kosteneffizienz ermöglichen einen ökonomischen Vergleich der Maßnahmen.

Mit Hinblick auf die Flächen- und Kosteneffizienz schneiden die Wiedervernässung von organischen Böden (mit und ohne Paludikulturanbau) und die Aufforstung gut ab. Diese Maßnahmen haben einen relativ geringen Einfluss auf die Produktion sowie das landwirtschaftliche Einkommen und bringen positive Umweltwirkungen. Allerdings sind diese Maßnahmen regional nur begrenzt umsetzbar. Die Maßnahmen, welche deutschlandweit umgesetzt werden können (Energimaisanbau, Stickstoffabgabe und Flächenstilllegung), zeigen relativ hohe Vermeidungskosten und haben zum Teil deutlich negative Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion und Einkommen (Flächenstilllegung, Stickstoffabgabe) oder die Umwelt (Energimaisproduktion).

Die Umsetzung von Vermeidungsmaßnahmen sollte daher in Kombination erfolgen, in denen sich die Vorteile der kombinierten Maßnahmen ergänzen bzw. sich die Nachteile zum Teil aufheben. Desweiteren sind neben der sektoralen Betrachtung regionale Wirkungsanalysen anzustellen.

In den untersuchten Strategien werden Einzelmaßnahmen kombiniert, die aufgrund ihrer Vermeidungsansätze und Wirkungen in die jeweilige Strategie passen. Die Klimaschutzstrategie kombiniert die kosteneffizientesten regionalen Maßnahmen (Wiedervernässung organischer Böden und Aufforstung) mit der deutschlandweit

umsetzbaren Stickstoffabgabe. Die Kombination dieser ausgewählten Maßnahmen führt zur höchsten Flächen- und Kosteneffizienz der untersuchten Strategien, und ist somit durch einen effizienten Klimaschutz gekennzeichnet. In der Strategie „Bioenergie“ wird die Produktion von Biomasse zur Energiegewinnung gefördert. Die Vermeidungswirkung wird vornehmlich durch die Substitution fossiler Energieträger erzielt. Bei mittlerer Flächeneffizienz ist diese Strategie vorzüglich für die Erhaltung des landwirtschaftlichen Einkommens, hat allerdings durch den intensiven Pflanzenbau negative Auswirkungen auf die Umwelt. Durch den hohen Förderbedarf der Biomasseproduktion ist die Strategie durch mittlere Vermeidungskosten gekennzeichnet. Die Strategie „Natur- und Umweltschutz“ erreicht die Vermeidung durch eine verpflichtende Flächenstilllegung und durch Förderung von Moorzunahme. Beide Maßnahmen haben positive Auswirkungen auf die Umwelt, allerdings wirken sich die produktionsmindernden Effekte stark negativ auf das landwirtschaftliche Einkommen aus. Die Strategie mit dem größten Flächenanspruch erreicht die geringste Flächeneffizienz und die geringste Kosteneffizienz.

Neben der Sektoranalyse sollte zur vollständigen Bewertung der einzelnen Maßnahmen und Strategien eine regionale Wirkungsanalyse vertieft werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Präferenz von Maßnahmen und Strategien stark von den jeweils betroffenen Interessensgruppen abhängt. Die Natur- und Umweltschutzstrategie repräsentiert deutlich Ziele des Umweltschutzes und führt zu geringeren landwirtschaftlichen Einkommen. Die Strategie „Bioenergie“ begünstigt die Einkommenserhaltung der Landwirte, aber behindert den Umweltschutz. Als Strategie, welche die Produzenten wenig benachteiligt und den Umweltschutz wenig begünstigt, kann die Klimaschutzstrategie bewertet werden, welche gleichzeitig auch die flächen- und kosteneffizienteste Strategie darstellt.

4.6 Analyse der forstlichen Landnutzung

Nils Ermisch, Hermann Englert, Margret Köthke und Peter Elsasser

Zusammenfassung

In Abschn. 4.6 werden Datenbasis, zusätzliche Annahmen und Simulationsergebnisse der forstlichen Referenzprojektion auf Basis des Modells FoBeSiMo für den Modellierungszeitraum 2015–2055 beschrieben und erläutert, und anschließend vier alternative Bewirtschaftungsstrategien („Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Umwelt- und Naturschutz“ sowie „Klimaanpassung“) gegenübergestellt. In zwei Exkursen wird zusätzlich auf die Auswirkungen von Aufforstungen sowie von Nutzungsverzichten eingegangen. Holzeinschläge, Deckungsbeiträge sowie Struktur und Höhe der Kohlenstoffsequestrierung verändern sich im Zeitverlauf und unterscheiden sich teilweise deutlich zwischen den vier Strategien.

4.6.1 Forstliche Referenzprojektion

Hauptziel der forstbetrieblichen Untersuchung ist es, die Rohholzproduktion und darauf aufbauend finanzielle Erträge sowie Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz für jede Landnutzungsstrategie zu berechnen und zu bewerten. Die Referenzprojektion bildet hierbei den Zustand und die Entwicklung des Waldes unter der aktuellen Waldbewirtschaftung ab und schreibt diese unter gleichbleibenden Verhältnissen fort. Dabei geben die jeweiligen Waldbaulichen Richtlinien (WBRL) in den Bundesländern die Rahmenbedingungen der Waldbewirtschaftung für den Staatsforst vor. Für kommunale und private Waldbesitzer sind die WBRL nicht verbindlich; gleichwohl bieten sie Orientierungshilfen auch für diese Waldbesitzer. Für die forstbetrieblichen Simulationen wurden die in Tab. 4.20 beschriebenen ökonomischen Rahmenbedingungen unterstellt.

Ausgangspunkt der Analysen ist die in Abschn. 4.4.1 ermittelte Waldfläche von rund 11 Mio. ha in der Referenzprojektion. Für jeden Modellbetrieb (d. h. jedes der 13 Flächenbundesländer) liegt eine eigene, auf den in Abschn. 3.3 erläuterten Bewirtschaftungsmaßnahmen basierende Bewirtschaftung in der Referenzprojektion vor. Im Folgenden werden jeweils die auf das gesamte Bundesgebiet aggregierten Ergebnisse dargestellt. Zur Einordnung der nachfolgend beschriebenen Ergebnisse wird vorab auf einige modellimmanente Besonderheiten hingewiesen:

1. Der Modellierungshorizont von (nur) 40 Jahren¹³ hat Auswirkungen auf die ökonomische Bewertung und damit auf die Interpretation der forstlichen Ergebnisse. Insbesondere die Auswirkungen langfristiger Investitionen (z. B. Baumartenwechsel) fallen dadurch nur z. T. in den Betrachtungszeitraum. Beispielsweise werden zwar die anfänglichen Begründungskosten, nicht jedoch die späteren Enderträge solcher Investitionen vollumfänglich erfasst.
2. Das Zusammenspiel des Waldwachstums- mit dem Betriebssimulator erforderte eine pragmatische Herangehensweise bezüglich der jeweiligen Eingangsannahmen. Es wird in den Modellierungen des Waldwachstums davon ausgegangen, dass die Landnutzungsstrategien bereits zu Beginn der Modellierung umgesetzt sind. Daraus folgend wurde für jede Hauptbaumart (Startalter 30 Jahre) auf jedem Standort in jedem Klimaszenario eine Wachstumskurve berechnet (vgl. Abschn. 4.2.2.4). Dadurch liegt der Fokus auf den Auswirkungen der Strategien. Die Endnutzung – als primäre wirtschaftliche Entscheidung – wird vom Betriebssimulator über die Zielstärke gesteuert. Da die flächenmäßige Altersklassenausstattung im Startjahr 2015 der BWI entspricht, startet die Modellierung mit Beständen, deren Bäume teilweise die in den Strategien

¹³Dies geht auf den allgemeinen Betrachtungshorizont des vorliegenden Projektes zurück, welcher mit 40 Jahren für forstliche Verhältnisse relativ kurz ist. Eine längere Simulationszeit wäre zwar modelltechnisch möglich gewesen, wäre aber nicht mit dem genannten Betrachtungshorizont kompatibel und hätte den verfügbaren Zeitrahmen gesprengt.

Tab. 4.20 Ökonomische Annahmen der forstbetrieblichen Berechnungen. (Quelle: N. Ermisch)

	Eiche	Buche	Fichte (Douglasie)	Kiefer
Holzerntekostenfreier Erlös [€/Fm]	57,1	27,8	41,7	29,5
Anteil nvD-Holz [%]	7,6	7,6	3,6	3,6
Kulturkosten bei Baumartenerhalt [€/ha]	3800	1460	620	2850
Kulturkosten bei Baumartenwechsel [€/ha]	7600	7300	3100	5700
Läuterungskosten [€/ha]	500	500	500	500
Umrechnung Volumen- in Erntefestmeter	0,82	0,74	0,80	0,75

Fm = Festmeter, nvD-Holz = nicht verwertbares Derbholz

vorgegebenen Zielstärken überschreiten. Dadurch ergeben sich in diesen Strategien hohe Anfangseinschläge in der ersten Periode und entsprechend hohe Umbau- und Wiederbegründungskosten in der darauffolgenden Periode. Je niedriger dabei die Zielstärken der jeweiligen Bewirtschaftungsstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion sind, desto höher sind die in der ersten Periode eingeschlagenen Holzmengen sowie die Wiederbegründungskosten. Dies ist durchaus realistisch, da beim Wechsel von einer Bewirtschaftungsstrategie zu einer anderen (beispielsweise zu einer Strategie mit geringeren Umtriebszeiten/Zielstärken) tatsächlich entsprechende Überhänge anfallen würden.

3. In der Referenzprojektion wurde als Durchforstungskonzept die Z-Baumdurchforstung gewählt, da diese von Forstbetrieben überwiegend durchgeführt wird. In den vier Bewirtschaftungsstrategien wurde hingegen die systematische Hochdurchforstung angewandt. Das Problem der hohen Anfangseinschläge in der ersten 5-Jahres-Periode konnte durch dieses Vorgehen abgeschwächt werden. Der Vergleich der Referenzprojektion mit den vier Landnutzungsstrategien wird dadurch jedoch erschwert, Vergleiche zwischen den Strategien sind hiervon nicht betroffen.

Die Ergebnisse für die Referenzprojektion zeigen (Abb. 4.38, 4.39 und 4.40), dass die Naturalproduktion und infolgedessen auch die Holzeinschläge, die finanziellen Erträge und die Kohlenstoffvorräte in Wald und Holz unter Klimaerwärmung (Szenario „RCP 8.5“) geringer ausfallen als bei gleichbleibendem Klimatrend ohne Temperaturerhöhung (Szenario OK). Für den Betrachtungszeitraum bedeutet dies, dass unter jetziger Baumartenverteilung wie auch unter einer der alternativ untersuchten Baumartenverteilungen eine Klimaerwärmung um konstante 2 °C zu einem reduzierten Gesamtbaumwachstum führt.

Nach den Modellergebnissen werden in der Referenzprojektion zwischen etwa 65 und 80 Mio. m³ Holz pro Jahr eingeschlagen und damit etwa so viel wie in den letzten Jahren (BMEL 2014). Der erhöhte Holzeinschlag in der ersten Einschlagsperiode (vgl. Abb. 4.38) beruht darauf, dass Bäume im aktuellen Bestand laut BWI 2002 bereits

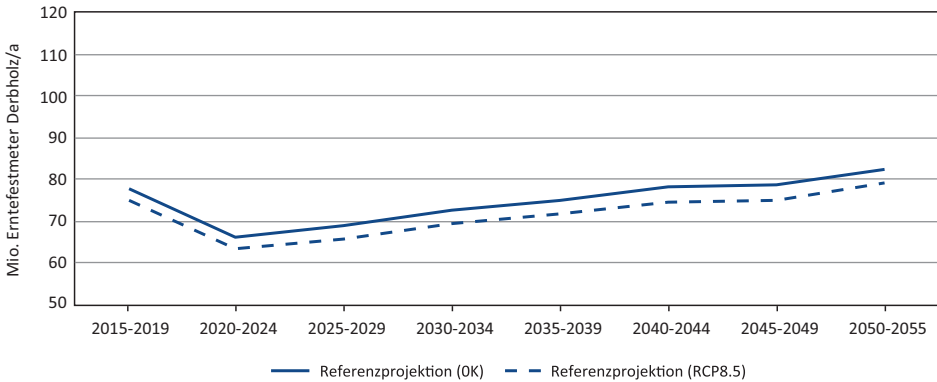


Abb. 4.38 Entwicklung des Rohholzeinschlages in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien 0K und RCP 8.5)

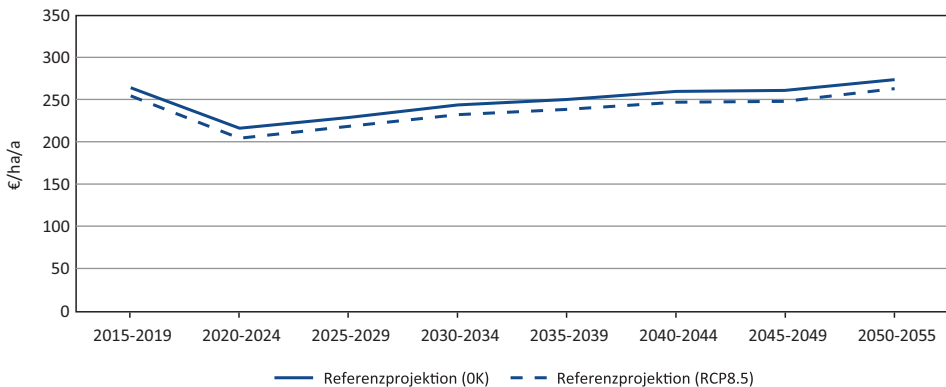


Abb. 4.39 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien 0K und RCP 8.5)

die in den Waldbaurichtlinien der Bundesländer angestrebten Zieldurchmesser überschritten haben. Die Ursachen dafür liegen u. a. in Naturschutzrestriktionen, Einzelbaum-Schutzmaßnahmen und Einschränkungen der Befahrbarkeit von Beständen. Diese Spezialbedingungen konnten in den Modellanalysen nur bedingt berücksichtigt werden. Der Anstieg des Einschlages im Betrachtungszeitraum ergibt sich z. T. aus der aktuellen Altersklassenverteilung. In der Nachkriegszeit wurden Aufforstungen überwiegend mit Nadelholz durchgeführt. Dies bedingt, dass in Deutschland in den nächsten Jahren bzw. Jahrzehnten ein weiterer (zeitlich begrenzter) Vorratsaufbau im Wald zu erwarten ist, sofern die bisherigen Bewirtschaftungsgrundsätze weitergeführt werden.

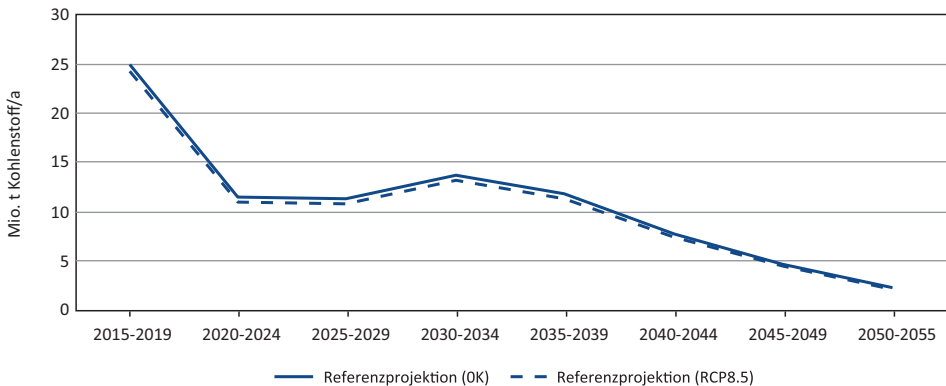


Abb. 4.40 Entwicklung der forstlichen Senkenleistung (lebende Baumbiomasse, Totholz- und Holzproduktespeicher) ohne Substitution in Deutschland (Referenzprojektion für die Klimaszenarien „OK“ und „RCP 8.5“)

Die finanziellen Erträge der Modellbetriebe (vgl. Abb. 4.39) weisen im Betrachtungszeitraum einen ähnlichen Verlauf wie der Holzeinschlag auf. Durch die erhöhten Holzeinschläge realisieren die Modellbetriebe in der ersten 5-Jahres-Periode (2015–2019) höhere Erlöse und dadurch auch höhere Deckungsbeiträge. Dagegen werden in der zweiten 5-Jahres-Periode (2020–2025) die niedrigsten Deckungsbeiträge pro Hektar generiert, was auf die Wiederbegründungskosten¹⁴ der zuvor endgenutzten Bäume zurückzuführen ist. Die Deckungsbeiträge (DB I) der Modellbetriebe liegen zwischen 200 bis 250 €/ha*a⁻¹ und erreichen das Niveau der im Testbetriebsnetzes Forst des BMEL ausgewiesenen Ergebnisse (Ermisch et al. 2014). Wie schon beim Holzeinschlag, zeigt sich beim Deckungsbeitrag I im Vergleich des OK-Szenarios und des RCP 8.5-Szenarios, dass die Deckungsbeiträge unter Klimaerwärmung geringer ausfallen.

Die Kohlenstoffsenkenleistung in der lebenden Baumbiomasse, im Totholz- und im Holzproduktespeicher nimmt bedingt durch die Altersstruktur der Wälder über den gesamten Betrachtungszeitraum ab (vgl. Abb. 4.40) und geht gegen Ende des Betrachtungszeitraumes gegen null. Für die spätere Zukunft ist sogar eine negative Senkenleistung zu erwarten, d. h., der Wald wird dann per Saldo Kohlenstoff-Emissionen verursachen (vgl. Abschn. 2.3.2.2). Bei einer Klimaerwärmung, wie im Szenario „RCP 8.5“ wäre dieser Speicheraufbau durchgehend geringfügig schwächer ausgeprägt.

Bei der Interpretation der Entwicklung der Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holz sei darauf hingewiesen, dass die in lebender Baumbiomasse, Holzproduktespeicher und Totholz akkumulierten Kohlenstoffmengen der Vorperioden nicht berücksichtigt wurden. Dies ermöglicht einen besseren Überblick über die verschiedenen Entwicklungen der

¹⁴Hier sind ausschließlich Wiederbegründungskosten mit der identischen Baumart berücksichtigt; Waldumbau findet in der Referenzprojektion nicht statt.

Senkenleistung in den Strategien im Betrachtungszeitraum. Jedoch besteht auch die Problematik, dass den in der ersten Periode anfallenden Totholz- und Holzproduktemengen nicht der Abbau der Totholz- und Holzproduktespeicher der Vorperioden entgegengerechnet wird; das führt in den ersten Jahren zu einem (erhöhten) Aufbau dieser beiden Speicher. Im Laufe des Betrachtungszeitraums nivelliert sich dies, da sowohl Totholz wie auch Holzprodukte – aufgrund verwendeter Abbauraten – diese Speicherkompartimente auch wieder verlassen. Dies kann ein Grund sein, warum im Vergleich zu früheren Projektionen der zukünftigen Senkenleistung (z. B. Dieter et al. 2005) das Niveau in dieser Modellierung insgesamt höher ist und bis 2055 noch nicht unter null absinkt. Beides kann auch darauf zurückzuführen sein, dass die hier berechnete Senkenleistung auch den Speicheraufbau in Holzprodukten und Totholz berücksichtigt, wogegen frühere Berechnungen häufig allein auf die Entwicklung der Baumbiomassespeicher beschränkt waren.

4.6.2 Strategien im Bereich „Forstwirtschaft“

Aufgrund der langen Produktionszyklen in der Forstwirtschaft und langfristigen Waldumbauprozesse im Zeitverlauf beeinflussen sich die einzelnen in Abschn. 3.3 erläuterten waldbaulichen Maßnahmen gegenseitig. Wirkungsanalysen isolierter Einzelmaßnahmen sind daher – abgesehen von einigen Ausnahmen wie dem Nutzungsverzicht (Stilllegung) oder Erstaufforstungen (Neubegründungen) – wenig sinnvoll und wurden für die Forstwirtschaft nicht durchgeführt. Ferner dürften isolierte waldbauliche Maßnahmen nur geringe und in der Regel für die waldbauliche Praxis nicht zu interpretierende Effekte bewirken. Vor diesem Hintergrund wurden die untersuchten forstlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen jeweils zu in sich konsistenten Maßnahmenbündeln zusammengefasst, die die nachfolgend erläuterten Strategien repräsentieren.

4.6.2.1 Ausgestaltung der Strategien

In Rahmen der Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Natur- und Umweltschutz“ sowie „Klimaanpassung“ werden unterschiedliche Ziele der Waldnutzung untersucht. Um diese Ziele zu erreichen, wurden die in Abschn. 3.3 beschriebenen waldbaulichen Maßnahmen jeweils unterschiedlich ausgestaltet und aufeinander abgestimmt. Einen Überblick über die resultierenden waldbaulichen Bewirtschaftungsregime in den betrachteten Strategien vermittelt Tab. 4.21. Diese Bewirtschaftungsregime stellen bundesweit einheitliche Änderungen der Waldbewirtschaftung gegenüber der Referenzprojektion dar. Die Waldbewirtschaftung erfolgt in der Referenzprojektion betriebsspezifisch und regional unterschiedlich. Während für die Nutzung des Privatwaldes betriebsspezifische Prioritäten im Vordergrund stehen, gelten für die Bewirtschaftung des Staatswaldes in den Bundesländern jeweils Richtlinien (WBRL), die in WEHAM berücksichtigt sind.

Tab. 4.21 Zuordnung der untersuchten forstlichen Einzelmaßnahmen zu Strategien. (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	Referenzprojektion	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
Baumartenwahl	Status quo	Dgl (bis 15 %) für Ei und Bu	Dgl (bis 30 %) für Ei und Ki	Bu (bis 50 %) für Fi und Ki	Bu (bis 25 %) für Fi und Ei
Durchforstungshäufigkeit	WBRL/WEHAM	10 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	5 Jahre
Durchforstungsstärke	Grundfl.-leitkurve (mäßig)	+2,5 %	-10 %	+5 %	-7,5 %
Zielstärke	WBRL/WEHAM	±0 cm	-10 cm	+5 cm	-10 cm
Endnutzungsmenge	WBRL/WEHAM	-2,5 %	+10 %	-5 %	+7,5 %
Endnutzungszeitraum	WBRL/WEHAM	+5 Jahre	-20 Jahre	+10 Jahre	-15 Jahre
Holzbereitstellung	Status quo	Bauholz (mittlere ZS)	Energieholz (niedrige ZS)	Starkholz (hohe ZS)	Bauholz (mittlere ZS)
Nutzungsverzicht*	Status quo	Status quo	Status quo	10 % der Waldfläche*	Status quo*
Erstaufforstung*	Status quo	10 % mehr Wald*	Status quo	Status quo	Status quo
Ziel der Strategie		Niedriger Va Hoher Vv Hohe Uz	Sehr hoher Va Sehr niedriger Vv Sehr niedrige Uz	Sehr niedriger Va Sehr hoher Vv Sehr hohe Uz	Hoher Va Niedriger Vv Niedrige Uz

*Die beiden Maßnahmen Erstaufforstung und Nutzungsverzicht wurden jeweils als abtrennbare Module der Klimaschutz- bzw. Natur- und Umweltschutzstrategie berechnet und sind in Abschn. 4.6.2.3 dargestellt

Die Referenzprojektion bezieht sich hier auf die Baumarten und Waldflächenverteilung der BWI 2002

Dgl = Douglasie, Ei = Eiche, Bu = Buche, Fi = Fichte, Ki = Kiefer, WBRL = Waldbaurichtlinie, WEHAM = Waldentwicklungs- und Holzaufkommensmodellierung, sZS = Zielstärke, Va = Vorrat ausscheidend, Vv = Vorrat verbleibend, Uz = Umtriebszeit

In der **Klimaschutzstrategie** besteht das Ziel, den Holzvorrat im Wald zu erhöhen. Dazu wird die Endnutzungsmenge gegenüber der Bewirtschaftung in der Referenzprojektion um 2,5 % verringert und der Endnutzungszeitraum um fünf Jahre verlängert. Eichen und Buchen werden bei einer vergleichsweise geringen Durchforstungshäufig-

keit von zehn Jahren zu 15 % durch Douglasien ersetzt. Zusätzlich wurde in der Klimaschutzstrategie untersucht, wie die Maßnahme „Erstaufforstung“ wirkt. Konkret wurde eine Ausdehnung der Waldfläche um 10 % unterstellt (vgl. Tab. 4.21), auf deren Auswirkungen in Abschn. 4.6.2.2 eingegangen wird. Entsprechend der Maßnahmenvorgaben der Klimaschutzstrategie wurde diese Aufforstung zu 100 % mit Douglasie durchgeführt.

Bei der **Bioenergiestrategie** hat eine hohe Biomasseproduktion Priorität, um möglichst viel Energieholz bereitzustellen. Das soll durch eine hohe Endnutzungsmenge, stark verkürzte Endnutzungszeiträume und niedrige Umtriebszeiten bei reduzierter Zielstärke erreicht werden. Es wird auf zuwachsstarke Baumarten wie die Douglasie gesetzt, die geerntete Eichen und Kiefern zu 30 % ersetzen soll.

Das leitende Prinzip der **Natur- und Umweltschutzstrategie** ist der Aufbau hoher Vorräte im Bestand. Dazu werden hohe Umtriebszeiten bzw. Zielstärken avisiert, was mit einer vergleichsweise niedrigen Holznutzung einhergeht. Die Baumartenwahl orientiert sich an der in Deutschland aktuellen potenziellen natürlichen Vegetation und an hohen Laubholzanteilen, insbesondere der Buche. Zusätzlich wurde eine Flächenstilllegung von 10 % der heutigen Waldfläche unterstellt.

In der **Klimaanpassungsstrategie** gilt es, klimabedingte Risiken zu vermeiden. Die Bestände sollen durch erhöhte Buchenanteile stabilisiert werden, die als Laubbäume weniger anfällig bei Herbststürmen sind und sich aufgrund geringerer Transpiration im Winterhalbjahr positiv auf die Grundwasserneubildung auswirken. Da mit zunehmendem Alter und Größe das klimabedingte Kalamitätsrisiko steigt, liegt der Fokus der Waldbewirtschaftung in der Klimaanpassungsstrategie auf kürzeren Nutzungszeiträumen, d. h. einer geringeren Zielstärke, höheren Endnutzungsmenge und verkürzten Endnutzungszeiträumen.

4.6.2.2 Ergebnisse der forstbetrieblichen Modellierung für die Strategien

Die Bewirtschaftungsmaßnahmen ergaben deutlich unterschiedliche Baumartenanteile in den Strategien (vgl. Tab. 4.22). Während die Baumartenanteile in der Klimaschutzstrategie im Vergleich zu 2015 nur geringfügige Unterschiede aufweisen, führten die Bewirtschaftungsmaßnahmen in den drei anderen Strategien teilweise zu erheblichen

Tab. 4.22 Verteilung der Holzartengruppen in % im Ausgangsjahr 2015 sowie in den untersuchten Strategien 2055. (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	2015	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umwelt	Klimaanpassung
Eiche	10	9	6	10	6
Buche	31	29	31	46	52
Fichte	30	30	29	21	13
<i>Douglasie</i>	2	5	21	2	2
Kiefer	27	27	13	21	27
Gesamt	100	100	100	100	100

Tab. 4.23 Durchschnittlicher jährlicher Holzeinschlag, Deckungsbeitrag I und Kohlenstoff-sequestrierung durch die ober- und unterirdische lebende Baumbiomasse in den Strategien (ohne Totholz- und Holzproduktespeicher und ohne Substitution; Zeitraum 2015–2055; jeweils für Klimaszenario 0K und RCP 8.5). (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahmen	Klima schutz ^a	Bioenergie	Natur- und Umwelt ^b	Klima anpassung
0K				
Einschlag [EfmD/ha/a]	8,51	8,34	7,95	8,34
DB I [€/ha/a]	289,33	271,96	252,33	236,58
C-Sequestrierung [tC/ha/a]	0,374	0,290	0,552	0,183
RCP 8.5				
Einschlag [EfmD/ha/a]	8,10	8,11	7,51	8,03
DB I [€/ha/a]	274,51	263,80	236,28	226,70
C-Sequestrierung [tC/ha/a]	0,363	0,289	0,534	0,179

EfmD = Erntefestmeter Derbholz, DB I = Deckungsbeitrag I, C = Kohlenstoff

^aOhne Modul „Erstaufforstung“

^bOhne Modul „Nutzungsverzicht“

Verschiebungen einzelner Baumartenanteile. Bei einer Umsetzung der Bioenergiestrategie wäre im Jahr 2055 mehr als jeder fünfte Baum eine Douglasie, die vor allem Kiefern, aber auch Eichen substituiert. In der Natur- und Umweltschutzstrategie und auch der Klimaanpassungsstrategie stellt sich der beabsichtigt hohe Laubbaumanteil ein. Dieser ist bei der Klimaanpassungsstrategie aufgrund der kürzeren Umtriebszeit, die einen früheren Baumartenwechsel ermöglicht, am höchsten.

Die Auswirkungen der untersuchten Strategien auf den Holzeinschlag, die finanziellen Konsequenzen für Forstbetriebe sowie die Kohlenstoffsequestrierung sind in Tab. 4.23 dargestellt. Die Auswirkungen weisen bei den Bewirtschaftungsregimen im zeitlichen Verlauf unterschiedliche Dynamiken auf. Um eine Vergleichbarkeit der Strategien herzustellen, werden die über den gesamten Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2055 gemittelten durchschnittlich zu erwartenden jährlichen Effekte, jeweils für die beiden unterstellten Klimaszenarien, dargestellt. Trotz der Durchschnittsbildung über 40 Jahre wirken sich manche Effekte, auf die in den nachfolgenden Erläuterungen der Ergebnisse eingegangen wird, auch über den Betrachtungszeitraum hinaus aus.

Die mittleren jährlichen Holzeinschläge weisen in den vier Strategien ein ähnliches Niveau auf. Die Klimaschutzstrategie erzielt im Szenario „0K“ mit jährlich 8,5 Efm/ha den höchsten durchschnittlichen Einschlag, gefolgt von der Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie, in denen etwas geringere Holzeinschläge realisiert werden. Die maßnahmebedingt

niedrigsten Holzeinschläge in Höhe von 8 Efm/ha und Jahr sind in der Natur- und Umweltschutzstrategie zu verzeichnen. Somit zeigen die Bewirtschaftungsstrategien in Bezug auf den Holzeinschlag Unterschiede von bis zu 10 %. In allen Strategien führt eine Temperaturerhöhung wie im Szenario „RCP 8.5“ zu einem verringerten Holzeinschlag. Dieser Rückgang beträgt je nach Strategie 3 bis 5 %.

Betrachtet man die Entwicklung der Holzeinschläge über den Betrachtungszeitraum, so zeigen sich weitere Unterschiede zwischen den Strategien. In Abb. 4.41 lassen sich zum einen die unterschiedlichen Endnutzungsrhythmen von fünf bzw. zehn Jahren erkennen. Auffällig sind aber v. a. die sehr hohen Holzeinschläge im ersten 5-Jahres-Zeitraum (2015–2019) der Bioenergie- sowie der Klimaanpassungsstrategie. Der Hauptgrund dafür sind die gegenüber dem Basisjahr 2015 bzw. der Referenzprojektion deutlich reduzierten Zielstärken, sodass durch den Bewirtschaftungswechsel viele der unter derzeitigen Bewirtschaftungszielen noch nicht hiebreifen Bäume eingeschlagen werden. Beispielsweise werden in der Bioenergiestrategie im zweiten 5-Jahres-Zeitraum (2020–2024) über 2 Mio. ha wieder aufgeforstet. Dies bewirkt in der Folge hohe Wiederbegründungskosten sowie niedrigere Zuwächse, deren Auswirkungen auf Holznutzung, finanzielle Erträge wie auch Kohlenstoffspeicherung während des Betrachtungszeitraumes nicht voll kompensiert werden.

Ab dem zweiten 5-Jahres-Zeitraum ist zu erkennen, dass in der Klimaschutz- sowie der Natur- und Umweltschutzstrategie mehr Holz eingeschlagen wird als in der

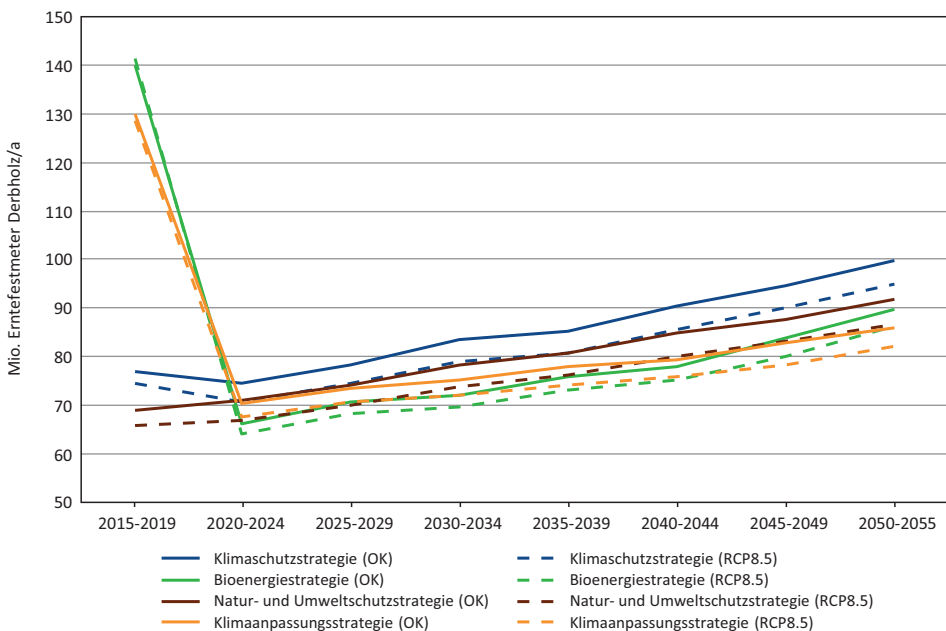


Abb. 4.41 Entwicklung des Holzeinschlages in Deutschland in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie. Das liegt vor allem an den hohen Einschlägen im ersten 5-Jahres-Zeitraum in der Bioenergie- bzw. Klimaanpassungsstrategie. Die dadurch entstehenden umfangreichen Wiederaufforstungsflächen produzieren in den Folgeperioden weniger erntereifes Holz. Auch der in der Bioenergiestrategie avisierte Wechsel zu ertragsstärkeren Baumarten kann dies innerhalb des Betrachtungszeitraums von 40 Jahren nicht kompensieren, da die Bäume das Erntealter innerhalb dieses Zeitraums trotz reduzierter Zielstärken nicht erreichen werden.

Grundsätzlich befinden sich die deutschen Wälder derzeit noch in einer Aufbauphase. Insofern verursachen die in der Klimaschutz- sowie Natur- und Umweltschutzstrategie festgelegten vergleichsweise gemäßigten Holznutzungen keine Diskontinuitäten innerhalb des Betrachtungszeitraums von 2015–2055. Des Weiteren sind in der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie die fünfjährigen Durchforstungsintervalle zu erkennen, die nach den Einstellungen des Waldwachstumssimulators SILVA auf eine Periode mit etwas niedrigeren Einschlägen immer eine Periode mit etwas höheren Einschlägen folgen lässt.

Die finanziellen Auswirkungen auf die forstwirtschaftlichen Betriebe stellen sich gemessen am mittleren jährlichen Deckungsbeitrag im Betrachtungszeitraum in der Klimaschutzstrategie am vorzüglichsten dar und liegen bei rund 289 € je ha und Jahr, gefolgt von der Bioenergiestrategie (vgl. Tab. 4.23). Die Deckungsbeiträge bei der Natur- und Umweltschutz- sowie Klimaanpassungsstrategie fallen gegenüber der Klimaschutzstrategie um 13 bzw. 18 % geringer aus. Die niedrigen gesamtbetrieblichen Deckungsbeiträge ergeben sich aus den baumartspezifisch unterschiedlichen Kosten und Erlösen (vgl. Tab. 4.20) und den jeweiligen Anteilen der Baumarten. So sind die Natur- und Umweltschutz- sowie die Klimaanpassungsstrategie durch einen hohen Anteil an Buchen gekennzeichnet, deren Deckungsbeitrag im Vergleich zu Fichten niedriger ist (vgl. Tab. 4.23).

Die durchschnittlichen Deckungsbeiträge entwickeln sich bei den Strategien im Betrachtungszeitraum sehr unterschiedlich. Während sie in der Klimaschutz- sowie Natur- und Umweltschutzstrategie nahezu kontinuierlich steigen, führen die hohen Holzeinschläge in der ersten 5-Jahres-Periode der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie zu hohen Deckungsbeiträgen (vgl. Abb. 4.42). Diese gehen jedoch in der zweiten 5-Jahres-Periode vorübergehend auf 150 bzw. 62 €/ha zurück, vor allem aufgrund der umfangreichen Wiederaufforstungsflächen, die hohe Bestandesbegründungskosten verursachen. Diese sind in der Klimaanpassungsstrategie trotz der etwas kleineren Wiederaufforstungsfläche von 1,8 Mio. ha gegenüber ca. 2 Mio. ha in der Bioenergiestrategie höher, weil die Erhöhung des Buchenanteils in der Klimaanpassungsstrategie sowohl bei Baumartenwechsel als auch bei Baumarterhalt höhere Kulturkosten bedingt (vgl. dazu Tab. 4.20).

Ab der zweiten 5-Jahres-Periode werden durchgehend bis zum Jahr 2055 in der Klimaschutzstrategie die höchsten Deckungsbeiträge erzielt. Das liegt vor allem an den vergleichsweise geringen Anfangseinschlägen und Umbaukosten, wodurch konstant hohe Einschläge erzielt werden können. Mit einem moderaten Umbau hin zur Douglasie

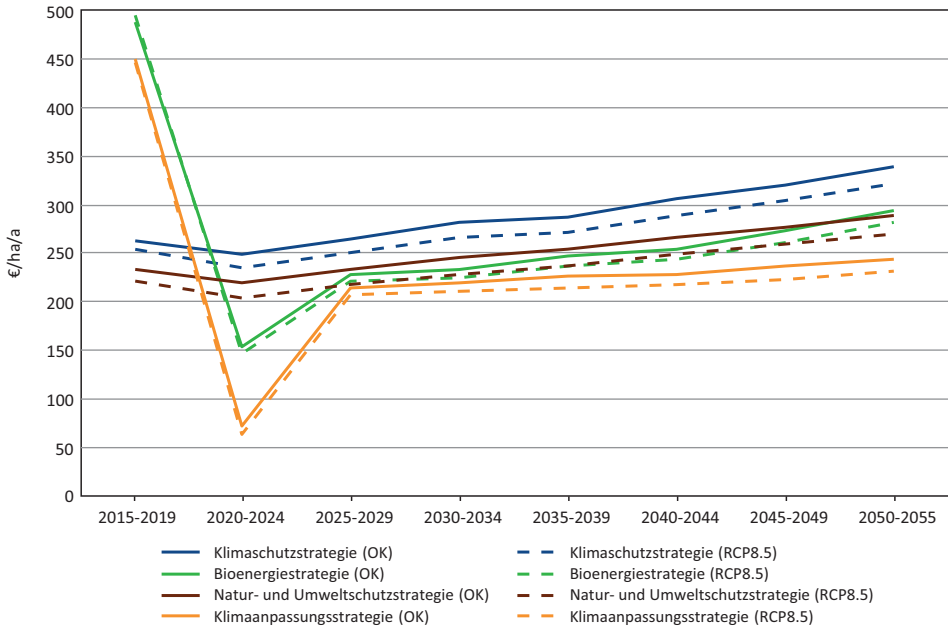


Abb. 4.42 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

und den nicht veränderten Zielstärken profitieren die Forstbetriebe in dieser Strategie deutlich von den sich derzeit im Wuchsoptimum befindlichen Fichtenbeständen der Nachkriegsaufforstungen, die innerhalb des Betrachtungszeitraums die Hiebsreife erreichen. Dagegen erreichen die Bestände in der Natur- und Umweltschutzstrategie aufgrund der um 5 cm erhöhten Zielstärken den angestrebten Zieldurchmesser nur teilweise im Betrachtungszeitraum. Die Berücksichtigung einer Klimaerwärmung führt zu keinen strukturellen Änderungen der Ergebnisse. Die Deckungsbeiträge liegen beim RCP 8.5-Szenario durchgehend etwas niedriger als beim OK-Szenario.

Die Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung 2015–2055 (vgl. Tab. 4.24 sowie Abb. 4.43) ist mit dem von Schweinle et al. (2018) beschriebenen Modell durchgeführt worden. Es sei daran erinnert, dass der bis 2015 aufgebaute Kohlenstoffspeicher in keinem der Speicherkompartimente außer der lebenden Baumbiomasse berücksichtigt wurde, um so eine bessere Vergleichbarkeit der Strategien zu gewährleisten. Die Abb. 4.43 zeigt, dass die durchschnittliche jährliche Senken- und Substitutionsleistung in den Strategien „Klimaschutz“ sowie „Natur- und Umweltschutz“ am höchsten, in den Strategien „Klimaanpassung“ und „Bioenergie“ dagegen am geringsten ist. Auf die einzelnen Kompartimente entfallen dabei sehr unterschiedliche Anteile.

Tab. 4.24 Durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055). (Quelle: N. Ermisch)

	Speicherveränderungen			Substitution		Summe
	Biomasse	Totholz- speicher	HWP	Material	Energie	
Bioenergie- strategie (OK)	2.923.375	4.241.878	5.133.309	17.332.690	9.871.979	39.503.231
Bioenergie- strategie (RCP8.5)	2.917.807	4.128.135	4.983.388	16.957.688	9.665.236	38.652.255
Klima- anpassungs- strategie (OK)	1.847.919	4.378.579	5.304.408	17.629.309	10.000.322	39.160.539
Klima- anpassungs- strategie (RCP8.5)	1.807.660	4.222.584	5.107.402	17.065.230	9.670.242	37.873.117
Klimaschutz- strategie (OK)	3.776.366	5.399.158	5.744.562	17.501.088	9.600.385	42.021.559
Klimaschutz- strategie (RCP8.5)	3.667.073	5.214.428	5.518.224	16.837.092	9.208.108	40.444.924
Natur- und Umweltschutz- strategie (OK)	5.568.644	5.385.579	5.430.186	16.485.949	8.979.449	41.849.808
Natur- und Umweltschutz- strategie (RCP8.5)	5.388.582	5.183.587	5.185.817	15.745.537	8.536.656	40.040.179

Angaben in t C/a

Insbesondere die Unterschiede der durchschnittlichen jährlichen Senkenleistung der lebenden Baumbiomasse sind deutlich zu erkennen. Diese belaufen sich in der Natur- und Umweltschutz- sowie der Klimaschutzstrategie auf jährlich knapp 0,6 bzw. knapp 0,4 tC je ha und Jahr. Die hohen Senkenleistungen sind zum einen durch die deutlich höhere Ausgangsvorräte in den beiden Strategien zu erklären und zum anderen dadurch, dass keine umfangreichen Aufforstungsflächen in der ersten 5-Jahres-Periode entstanden sind wie in der Bioenergie- und Klimaanpassungsstrategie.

Auch der Totholzspeicher ist aufgrund der anfänglich höheren Totholzanteile in der Natur- und Umweltschutz- sowie in der Klimaschutzstrategie größer als in der Bioenergie- und der Anpassungsstrategie (vgl. Abb. 4.43). Dies liegt daran, dass die Totholzmenge im Modell stark von der Höhe des Anfangsvorrates an Baumbiomasse abhängt.

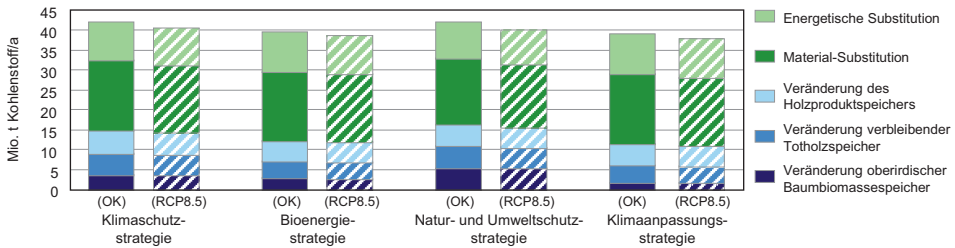


Abb. 4.43 Durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung in den vier alternativen Bewirtschaftungsstrategien (2015–2055)

Die durchschnittliche Senkenleistung des Holzproduktespeichers weist dagegen keine größeren Unterschiede zwischen den Strategien auf. Der größte Teil der Senkenleistung entfällt auf die Materialsubstitution und die energetische Substitution. Die jeweiligen Substitutionspotenziale unterscheiden sich zwischen den Strategien jedoch vergleichsweise wenig und können daher die Unterschiede der Speicherung in der Baubiomasse nicht vollständig kompensieren, zumindest nicht während des Betrachtungszeitraums. Die durchschnittliche jährliche Kohlenstoffsenken- und -substitutionsleistung des RCP 8.5-Szenarios liegt jeweils unterhalb der des OK-Szenarios. Inwieweit sich dies nach dem Betrachtungszeitraum ändern wird, kann aus den Ergebnissen des Modells nicht abgeleitet werden.

4.6.2.3 Exkurs: Klimaschutz durch Ausdehnung der Waldfläche und durch Nutzungsverzichte im Wald

Modul „Aufforstung“ (Klimaschutz durch Ausdehnung der Waldfläche)

Zusätzlich zu den in den vier Strategien zusammengefassten waldbaulichen Maßnahmenbündeln wurden zwei Maßnahmen als separate Module untersucht, die sich isoliert von den genannten Maßnahmenbündeln gestalten lassen. Im ersten dieser Module geht es um die Auswirkungen einer Ausdehnung der Waldfläche, vor allem mit Blick auf die Kohlenstoffsequestrierung. Dazu wurde eine Mehrung der Waldfläche um 10 % unterstellt, der besseren Illustration halber ausschließlich mit Douglasien. Im zweiten Modul geht es um den Verzicht einer Nutzung des Waldes.

Die finanziellen Auswirkungen einer solchen Aufforstung sind dadurch gekennzeichnet, dass die neubegründeten Waldflächen hohe Anfangsinvestitionen aufwerfen, denen zunächst (im ersten 5-Jahres-Zeitraum) noch keine Erlöse gegenüberstehen. Rechnet man das Modul „Aufforstung“ der Klimaschutzstrategie zu und unterstellt man, dass die Kosten der Aufforstung von den forstlichen (Modell-)Betrieben selbst getragen werden müssen, dann schlagen sich diese Kosten im gesamtbetrieblichen Deckungsbeitrag der Klimaschutzstrategie nieder, der zu Beginn des Betrachtungszeitraumes um ca. 80 € je ha geringer ausfällt als ohne die Aufforstung (vgl. Abb. 4.44). Nach der

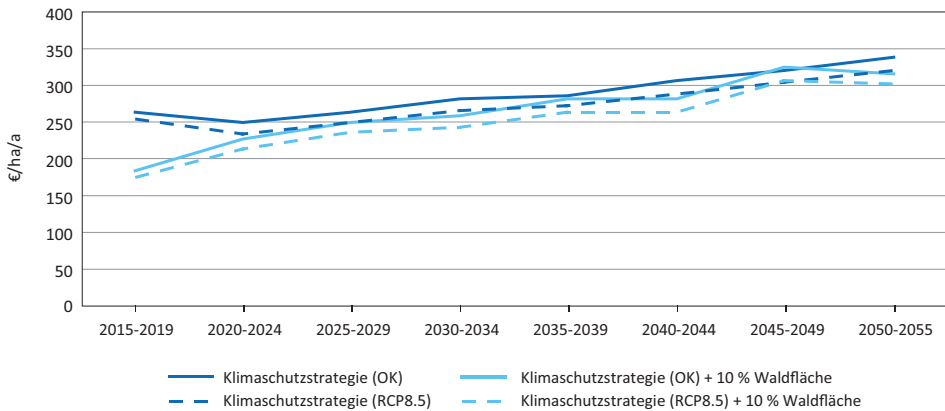


Abb. 4.44 Entwicklung des Deckungsbeitrages I in Deutschland bei einer Ausdehnung der Waldfläche um 10 % in der Klimaschutzstrategie (2015–2055)

ersten 5-Jahres-Periode nehmen die Deckungsbeiträge auf den neubegründeten Flächen zwar zu, fallen jedoch weiterhin unterdurchschnittlich aus, sodass der durchschnittliche Deckungsbeitrag der um 10 % vergrößerten gesamten deutschen Waldfläche über einen langen Zeitraum vermindert bleibt. Der Unterschied nivelliert sich erst zum Ende des Betrachtungszeitraumes, da die neubegründeten Douglasienflächen ein Alter erreichen, in dem Vornutzungserträge in nennenswerter Höhe generiert werden.

Im Durchschnitt des gesamten Betrachtungszeitraums entlastet das Modul „Aufforstung“ die Atmosphäre um zusätzliche 4,1 Mio. t C pro Jahr. Etwa die Hälfte dieses Betrages geht auf die Speicheränderung in der ober- und unterirdischen Biomasse zurück (2,0 Mio. tC/a), weitere wesentliche Anteile entfallen auf die materielle und die energetische Substitution (1,1 bzw. 0,6 Mio. tC/a). Die Vergrößerung des Totholz- sowie des Harvested-Wood-Products-Speichers (HWP-Speicher) tragen lediglich 0,2 bzw. 0,1 Mio. t C/a bei.

Rechnet man diese Wirkungen der Klimaschutzstrategie zu, so steigt die durch sie bewirkte Entlastung der Atmosphäre dadurch von durchschnittlich 123,5 auf durchschnittlich 127,6 Mio. tC pro Jahr. Diese Entlastung verteilt sich ungleich über den Betrachtungszeitraum. Im Jahr 2015 beträgt sie 49,6 Mio. tC/a und steigt bis 2055 nahezu linear auf 221,2 Mio. tC/a an (ohne Modul „Aufforstung“ nur auf 213,4 Mio. tC/a). Zudem verschieben sich auch die Anteile, die auf die einzelnen Speicherkompartimente einerseits sowie die Substitution andererseits entfallen: Gehen in der ersten 5-Jahres-Periode des Betrachtungszeitraums noch 55 % der gesamten THG-Wirkung auf die Speicheränderungen in Baumbiomasse, Totholz- und Holzprodukten zurück, so sinkt dieser Anteil bis 2055 auf lediglich 4 % ab (ohne das Modul „Aufforstung“ sogar auf 2 %); alles Übrige entfällt auf die materielle und energetische Substitution.

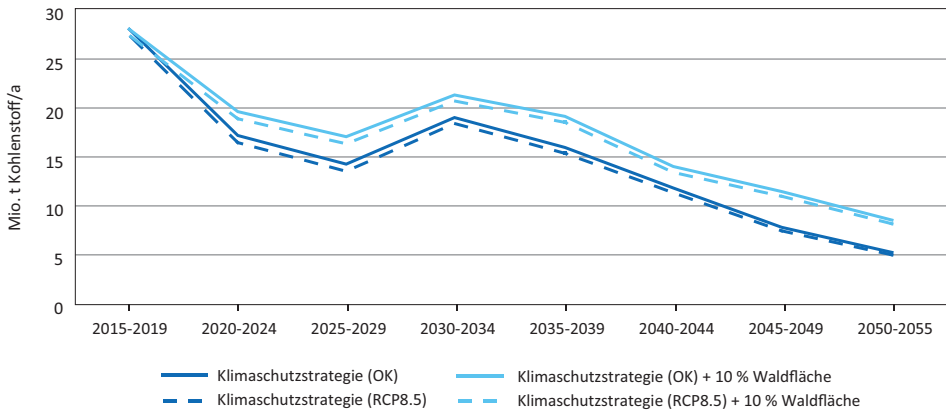


Abb. 4.45 Entwicklung der Kohlenstoffsequestrierung in Baumbiomasse, Totholz und Holzproduktespeicher in Deutschland bei einer Ausdehnung der Waldfläche um 10 % in der Klimaschutzstrategie (2015–2055; hier: ohne Substitution)

Dennoch lohnt sich auch ein Blick auf die zeitliche Entwicklung der durch die Ausdehnung der Waldfläche erzielbaren Kohlenstoffsequestrierung in lebender Baumbiomasse, Totholz- und Holzproduktespeicher allein. Sie ist (zu Illustrationszwecken ohne Berücksichtigung der Substitutionsleistung) in Abb. 4.45 dargestellt, wiederum am Beispiel der Klimaschutzstrategie. Durch die Waldflächenmehrung wird der im Zeitverlauf insgesamt abnehmenden Senkenleistung in den Wald- und Holzproduktespeichern Deutschlands entgegengewirkt, die durch die Altersstruktur des Waldes bedingt ist (vgl. Abschn. 1.2.4). Die neubegründeten Waldflächen weisen über den gesamten Betrachtungszeitraum eine zunehmende Senkenleistung auf, die ihr maximales Kohlenstoffsequestrierungspotenzial voraussichtlich erst nach 2055 erreichen werden.

Modul „Nutzungsverzicht“ (Klimaschutz durch Nutzungsverzichte im Wald)

Der Verzicht einer Nutzung des Waldes gehört nicht zu den klassischen waldbaulichen Maßnahmen; vielmehr dient er Zielen, die von Seiten des Natur- und Umweltschutzes gefordert werden. Die Auswirkungen eines Verzichtes auf Waldnutzung lassen sich isoliert von sonstigen waldbaulichen Maßnahmen untersuchen. Für die Analyse wird ein Verzicht auf forstliche Nutzung auf einer Waldfläche von 10 % unterstellt, der systematisch über alle Baumarten und Altersklassen verteilt wird.

Die finanziellen Auswirkungen dieses Nutzungsverzichtes gehen im Wesentlichen darauf zurück, dass auf gleichbleibender Fläche nur noch 90 % der Erträge erwirtschaftet werden. Rechnet man das Modul „Nutzungsverzicht“ der Natur- und Umweltschutzstrategie zu, so verringert sich der durchschnittliche Deckungsbeitrag in dieser Strategie von Beginn an um den genannten Prozentsatz (vgl. Abb. 4.46).

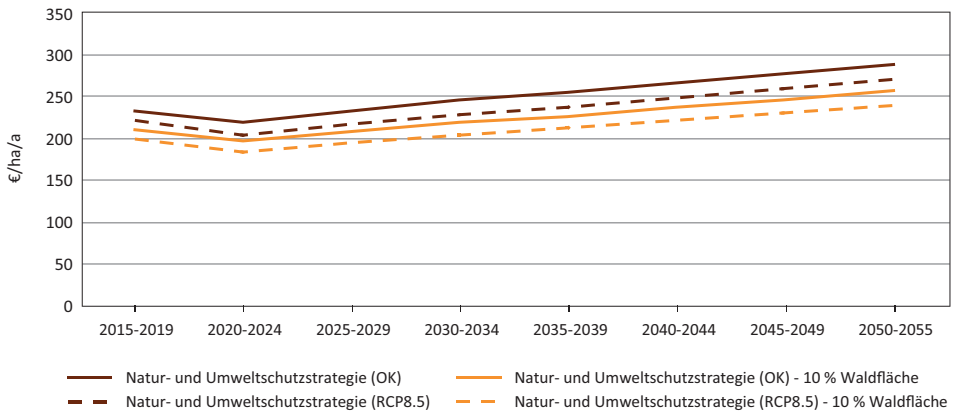


Abb. 4.46 Entwicklung des Deckungsbeitrages I bei einem Verzicht der Nutzung auf 10 % der Waldfläche in Deutschland in der Natur- und Umweltschutzstrategie (2015–2055)

Die Kohlenstoffsequestrierung in der Baumbiomasse wird durch eine Waldflächenstilllegung erwartungsgemäß erhöht, da auf 10 % der Flächen keine Holzernte mehr stattfindet. Das Speicherkompartiment „Totholz“ weist während des Betrachtungszeitraums eine nur leicht steigende Tendenz auf. Hierfür verantwortlich sind zwei gegenläufige Effekte, die sich im Modell weitgehend kompensieren: Zwar bewirkt der Nutzungsverzicht auch einen erhöhten Totholzfall, andererseits entfällt auf den stillgelegten Flächen aber die Nachlieferung von Totholz durch Einschlagsrückstände.¹⁵ Der positiven Entwicklung des Baumbiomasse- und des Totholzspeichers steht gegenüber, dass aus den stillgelegten Flächen kein Zufluss zum Holzproduktespeicher mehr erfolgt; der Aufbau dieses Speichers wird daher um 10 % vermindert. Gleichfalls entfallen alle Beiträge der stillgelegten Flächen zur materiellen und energetischen Substitution.

Quantitativ bedeutet dies, dass während des Betrachtungszeitraums durch den Nutzungsverzicht in den Speicherkompartimenten Baumbiomasse, Totholz und Holzprodukte insgesamt ein Speicheraufbau, also eine Sequestrierung, erfolgt. Im Beispiel der Natur- und Umweltschutzstrategie steigt diese Sequestrierung von 1,0 Mio. tC/a in der ersten 5-Jahres-Periode auf 2,5 Mio. tC/a in der letzten Periode an und beträgt im Durchschnitt des Betrachtungszeitraums 1,6 Mio. tC pro Jahr. Dem steht aber ein Verzicht auf Substitutionspotenziale i. H. v. durchschnittlich etwa 10 Mio. tC/a gegen-

¹⁵Es ist zu erwarten, dass diese weitgehende gegenseitige Kompensation in ferner Zukunft ein Ende findet, wenn die Bäume auf den stillgelegten Flächen ein deutlich höheres Alter erreichen, da sich dann der Totholzfall auf diesen Flächen erhöht – in diesem Fall zu Lasten des Baumbiomasse-Speichers. Generell sollte die Simulation der Totholzentwicklung aber nicht überinterpretiert werden, da das hier verwendete Modell nicht explizit auf eine Simulation von „nicht genutzten Flächen“, also einem Baumwachstum deutlich über den forstüblichen Umtriebszeiten, ausgelegt ist.

über.¹⁶ Betrachtet man daher den Klimaeffekt insgesamt einschließlich Substitution, so überwiegt per Saldo der Verzicht auf Substitutionspotenziale deutlich: Während die Natur- und Umweltschutzstrategie ohne Nutzungsverzichte im Durchschnitt eine Kohlenstoff-Einsparung von 122,8 Mio. tC/a erbringt, sinkt diese Einsparung durch die Nutzungsverzichte auf 113,7 Mio. tC/a, also um 9,1 Mio. tC jährlich.

4.7 Ergebnisse der Modellierung von Stoffflüssen im Forst

Martin Gutsch, Petra Lasch-Born und Felicitas Suckow

Zusammenfassung

Ziel der hier vorgestellten Modellergebnisse ist es, klimatische und bewirtschaftungsbezogene Auswirkungen auf die Kohlenstoff- und Wasserflüsse in den Wäldern bis zum Jahr 2050 zu untersuchen. Dazu wurde ein prozessbasiertes Waldwachstumsmodell mit den vorgestellten Klimaszenarien und Landnutzungsstrategien angewendet. Im Mittel (2011–2050) entwickeln sich die jährlichen Kohlenstoffflüsse unter der Referenzprojektion und -bewirtschaftung für den gesamten Wald wie folgt: Der in der gesamten Biomasse gespeicherte Kohlenstoff nimmt pro Jahr leicht ab ($-0,23 \text{ t C ha}^{-1}$), jedes Jahr werden $1,95 \text{ t C ha}^{-1}$ geerntet, $1,44 \text{ t C ha}^{-1}$ im Boden gespeichert und $0,43 \text{ t C ha}^{-1}$ im Totholz. Demgegenüber steigt der Kohlenstoffvorrat in der Natur- und Umweltschutzstrategie aufgrund geringerer Holzerntemengen ($1,71 \text{ t C ha}^{-1}$) leicht an. Besonders stark ist der Rückgang des Kohlenstoffvorrats in der Bioenergiestrategie und etwa gleichbleibend in der Klimaschutzstrategie. Das Klimaszenario „RCP 8.5“ führt im Mittel bis 2050 zu positiven Waldwachstumseffekten, die sich in höheren biomasse- und erntebezogenen Kohlenstoffflüssen ausdrücken. Die Kohlenstoffspeicherung des Bodens geht unter diesem Klimaszenario um etwa 8 % zurück, führt zu einer erhöhten Verdunstung und damit zu geringeren Versickerungsraten im Vergleich zur Referenzprojektion. Der Einfluss der Bewirtschaftungsstrategien auf die Wasserflüsse ist im Mittel über die Gesamtwaldfläche sehr gering. Diese Effekte werden erst auf der Skala von Waldbeständen und Landschaften sichtbar.

Die Simulation von Waldbeständen sowie Stoffflüssen im Forst erfolgte mit dem Modell 4C (vgl. Abschn. 4.2.2.5) von 2011–2050 für die Referenzbewirtschaftung, den vier Landnutzungsstrategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Natur- und Umweltschutz“ sowie „Klimaanpassung“ und den zwei Klimaszenarien „0K-Referenzprojektion“ und

¹⁶Im Modul „Nutzungsverzichte“ haben Substitutionspotenziale einen größeren Anteil an der gesamten Kohlenstoffeinsparung als im Modul „Aufforstung“. Dies ist plausibel, da Aufforstungsflächen in ihrer Jugend vergleichsweise weniger nutzbares Holz produzieren (welches andere Materialien substituieren könnte), und der hier berücksichtigte Betrachtungszeitraum von 40 Jahren lediglich die Jugendphase der aufgeforsteten Bestände umfasst.

„RCP 8.5-Standardszenario“ (vgl. Abschn. 4.3). Im Unterschied zu den Simulationen in Abschn. 4.6 wurde modellbedingt der akkumulierte Kohlenstoff in der Ausgangssituation (Vorperiode) berücksichtigt, nicht aber der Holzproduktespeicher (HWP), sodass die Ergebnisse nur eingeschränkt mit den in Abschn. 4.6 dargestellten Ergebnissen vergleichbar sind.

Die Maßnahmen der strategiespezifischen Bewirtschaftungsbündel wurden ebenfalls baumarten-, altersklassen- und bundeslandspezifisch in den Simulationen berücksichtigt. Daher ergab sich bei 40 Jahren Simulationszeit ein Altersklassenwechsel (eine Altersklasse umfasst 20 Jahre) mit entsprechenden Wechseln in den Maßnahmen. Der Anteil des Nutzungsverzichts beruht auf den Ergebnissen der Studie zum Stand der Flächenausweisung von Beständen mit natürlicher Waldentwicklung (vgl. Abschn. 4.4). Dabei wurde über alle Bestände eines Landkreises der strategiespezifische Anteil an Beständen ohne forstliche Eingriffe zufällig ausgewählt. Im Unterschied dazu wurden die prozentualen Vorgaben (vgl. Tab. 4.21) für einen Baumartenwechsel nur auf Beständen mit erfolgter Endnutzung realisiert.

Die Implementierung des Aufforstungsszenarios erfolgte mit den Ergebnisdaten des LUS (vgl. Abschn. 4.4). Aus diesen Daten wurde eine kreisspezifische jährliche Veränderungsrate der Waldfläche bis 2030 (ab 2030 keine Waldflächenänderung) berechnet und umgesetzt. Die so ermittelte Waldfläche wurde mit den kreis- und baumartenspezifischen 4C-Ergebnissen der Altersklassen 10–30 verschnitten, um die stoffflussbezogenen Analysen durchzuführen.

4.7.1 Ergebnisse der Referenzprojektion

Die Maßnahmenbündel in der Referenzprojektion und der vier forstlichen Bewirtschaftungsstrategien (vgl. Abschn. 4.6) wurden für die Analyse der Stoffflüsse mit dem Waldwachstumsmodell 4C angepasst, um eine größtmögliche Vergleichbarkeit der Simulationsergebnisse zu den Simulationen mit dem Modell FoBeSiMo zu gewährleisten. Die Maßnahmen „Bestandesbegründung“, „Durchforstungsart“ und „Nutzungsverzicht“ wurden analog zu FoBeSiMo umgesetzt. Die Maßnahmen „Z-Baumauswahl“, „Zielstärke“ und „Holzbereitstellung“ blieben in 4C unberücksichtigt. Die forstlichen Eingriffe wurden mit 4C jährlich simuliert, wobei der Durchforstungsbeginn im zweiten Jahr der Simulation angesetzt ist. Die strategiespezifischen prozentualen Unterschiede in der Durchforstungsstärke wurden durch verschiedene Nutzungsprozente realisiert. Der Endnutzungszeitraum wurde auf Basis der in Tab. 4.21 festgelegten strategiebezogenen Umtriebszeiten bundes- und baumartenspezifisch implementiert (vgl. Tab. 4.25) und in Form eines Kahlschlages mit einem Eingriff umgesetzt. Danach fand die strategiespezifische Bestandesbegründung in Form einer Pflanzung mit 2000 Pflanzen pro Hektar statt.

Die Bewirtschaftung in der Referenzprojektion bewirkt, gemittelt über alle betrachteten Waldbestände, für den Zeitraum 2011–2050 eine positive jährliche Kohlenstoffspeicherung (C-Speicherung) im Boden (C-Boden), im Totholz und im geernteten

Tab. 4.25 Umtriebszeiten der vier Hauptbaumarten für die Baumarten und Bewirtschaftungsstrategien. Minimum (Min), Maximum (Max) und Median (Med) beziehen sich auf die einzelnen Umtriebszeiten der Bundesländer (vgl. Abschn. 4.6). (Quelle: M. Gutsch und P. Lasch-Born)

Strategie	GFI			GKI			RBU			EI		
	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Med	Max
R	97	133	158	133	163	190	143	177	197	135	201	227
AS	75	98	118	88	107	137	113	138	164	109	140	176
BS	70	94	113	88	101	141	103	128	159	104	135	176
KS	127	153	193	146	174	216	177	198	332	188	225	267
NUS	112	153	220	127	198	222	167	187	214	120	207	221
Alle	70	133	220	88	163	222	103	177	332	104	201	267

GFI-Fichte, GKI-Kiefer, RBU-Buche, EI-Eiche

R – Referenzprojektion, NUS – Natur- und Umweltschutzstrategie, BS – Bioenergiestrategie, KS – Klimaschutzstrategie, AS – Klimaanpassungsstrategie

Holz (Ernte). Im Gegensatz dazu geht die C-Speicherung in der ober- und unterirdischen Biomasse (Biomasse; vgl. Abb. 4.47) bei den Baumarten Buche und Fichte zurück. Dies bedeutet, dass am Ende des Betrachtungszeitraums (2050) weniger Kohlenstoff in der Gesamtbiomasse in der Summe aller Buchen- und Fichtenbestände gespeichert ist als am Anfang. Die C-Speicherungen unter dem Klimaszenario „RCP 8.5“ unterscheiden sich nur geringfügig von denen für das 0K-Szenario, wenn man die Mittelwerte über alle Bestände betrachtet. Die C-Speicherung im Boden ist unter dem Szenario „RCP 8.5“ leicht rückgängig, die Speicherung in der Biomasse dagegen steigt leicht an (vgl. Abb. 4.47).

Die jährliche Verdunstungsrate steigt im Vergleich zum 0K-Szenario unter dem RCP 8.5-Szenario sowohl im Mittel über alle Baumarten als auch für jede einzelne Baumart, was vor allem auf die höheren Temperaturen zurückzuführen ist. Dagegen geht die Versickerungsrate unter dem RCP 8.5-Szenario für alle Baumarten zurück. Im

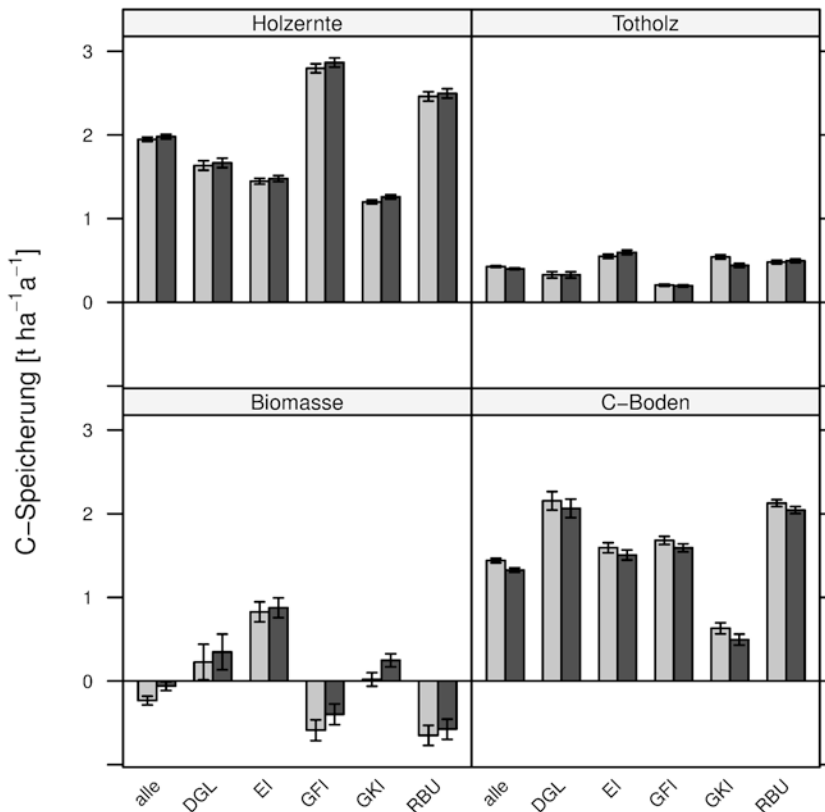


Abb. 4.47 Mittlere jährliche C-Speicherung unter der Referenzbewirtschaftung und den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel) für alle Wälder und getrennt nach Baumarten (DGL- Douglasie, EI- Eiche, GFI- Fichte, GKI- Kiefer, RBU- Buche). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

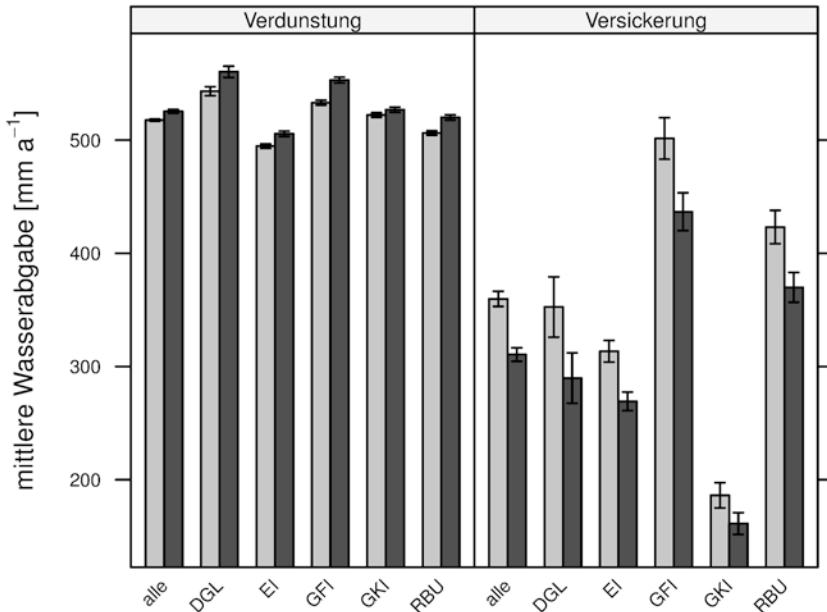


Abb. 4.48 Mittlere jährliche Verdunstung und Versickerung für 2011–2050 aller Waldbestände unter der Referenzbewirtschaftung und für die Klimaszenarien „OK“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel) und getrennt nach Baumarten (DGL- Douglasie, Ei-Eiche, GFI- Fichte, GKI- Kiefer, RBU- Buche). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

Vergleich der beiden Klimaszenarien nimmt die Verdunstung unter dem „RCP 8.5“ nur leicht zu, während die Versickerung stärker abnimmt (vgl. Abb. 4.48). Die Variabilität der Verdunstung und der Versickerung zwischen den Baumarten ist insbesondere durch die Standortvariabilität bedingt, da beispielsweise die Mehrzahl der Fichtenstandorte in Gebirgsregionen mit relativ hohem Niederschlag liegen, während Kiefernbestände auf Standorten mit geringen Niederschlägen dominieren.

4.7.2 Ergebnisse der Landnutzungsstrategien

4.7.2.1 Klimaschutzstrategie

Die Klimaschutzstrategie führt im Vergleich zur Bewirtschaftung in der Referenzprojektion nur zu einer geringen Änderung der Kohlenstoffflüsse in die untersuchten Kohlenstoffpools „ober- und unterirdische Biomasse“, „Boden“, „Ernteholz“ und „Totholz“ (Abb. 4.49). Das gilt auch für die betrachteten Wasserflüsse, die im Mittel über alle Waldbestände unter der Klimaschutzstrategie nur geringfügig von der Referenzprojektion abweichen. Für beide Bewirtschaftungen hat das Klimaszenario einen wesentlich deutlicheren Effekt auf die Verdunstung, aber vor allem auf die Versickerung. Diese geht unter

Abb. 4.49 Änderung in der mittleren jährlichen C-Speicherung unter der Klimaschutzstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion im Zeitraum 2011–2050 unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und dem „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

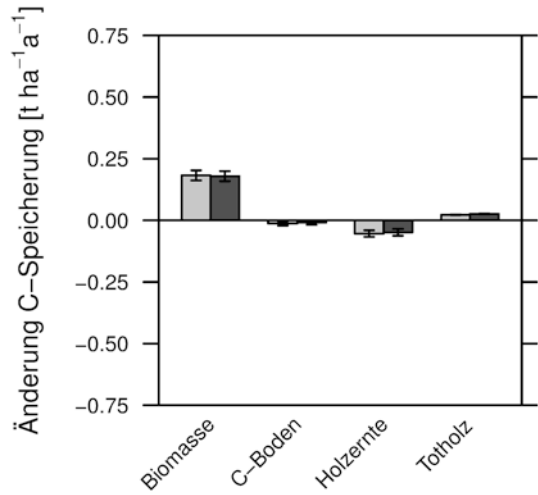
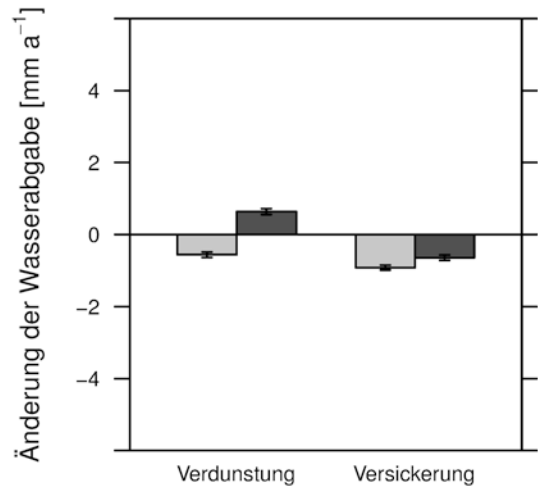


Abb. 4.50 Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung und Versickerung aller Waldbestände unter der Klimaschutzstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar



dem „RCP 8.5“ – sowohl unter der Referenzprojektion als auch unter der Klimaschutzstrategie – im Vergleich zum 0K-Szenario um circa 14 % zurück (Abb. 4.49 und 4.50).

4.7.2.2 Bioenergiestrategie

Der Fokus auf mehr Biomasse für die Energiegewinnung führt im Vergleich zur Referenzprojektion zu einer im Mittel über alle Waldbestände höheren jährlichen Ernte, aber zu einer geringeren C-Speicherung in der Biomasse (vgl. Abb. 4.51).

Durch die Bioenergiestrategie nimmt die Verdunstungsrate im Mittel im Vergleich zur Referenzbewirtschaftung leicht ab und die Versickerungsrate leicht zu, dies ist vor allem auf die geänderte Bestandsstruktur durch höhere Ernten zurückzuführen (Abb. 4.52).

Abb. 4.51 Änderungen der jährlichen mittleren C-Speicherung unter der Bioenergiestrategie im Vergleich zur Referenzprojektion für 2011–2050 unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

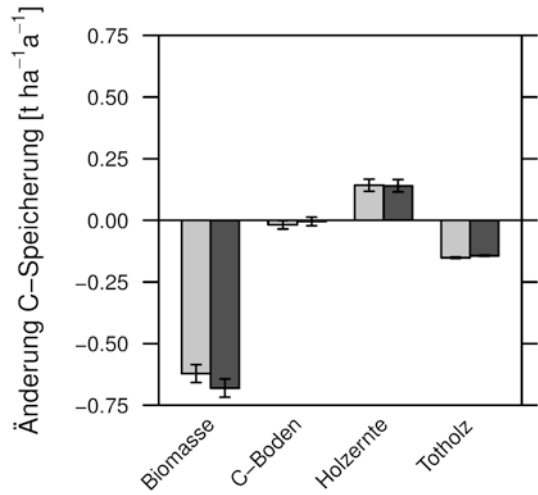
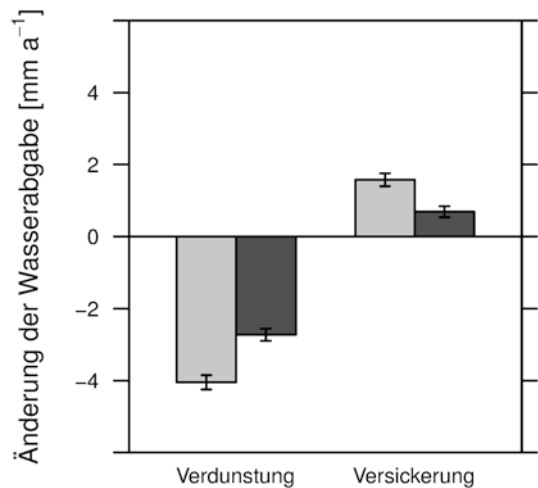


Abb. 4.52 Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung und Versickerung aller Waldbestände für 2011–2050 unter der Bioenergiestrategie im Vergleich zur Referenzprojektion und unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar



Das RCP 8.5-Szenario bewirkt eine etwas geringere mittlere jährliche C-Speicherung in der Biomasse im Vergleich zum 0K-Szenario und eine etwas höhere Verdunstungs- sowie eine geringere Versickerungsrate.

4.7.2.3 Natur- und Umweltschutzstrategie

Die Natur- und Umweltschutzstrategie führt im Mittel über alle Wälder zu einer Erhöhung der jährlichen C-Speicherung in den Wäldern (in der ober- und unterirdischen Biomasse und im Totholz) gegenüber der Referenzprojektion (Abb. 4.53). Im Mittel gehen durch die höhere Biomasse der Wälder die jährlichen Versickerungsraten im Vergleich zur Referenzprojektion zurück und die Verdunstungsraten steigen (vgl. Abb. 4.53).

Abb. 4.53 Änderungen der jährlichen mittleren C-Speicherung unter der Natur- und Umweltschutzstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion für 2011–2050 unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

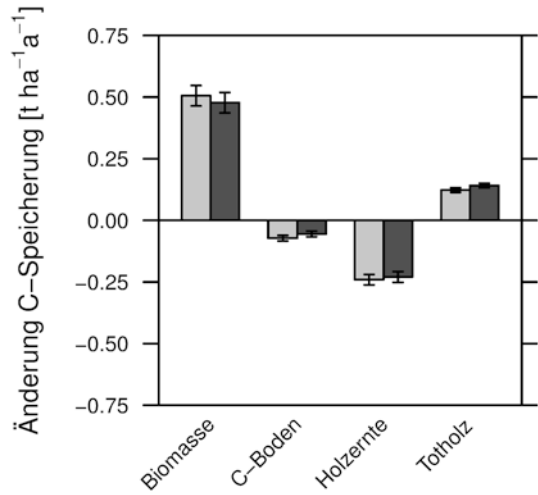
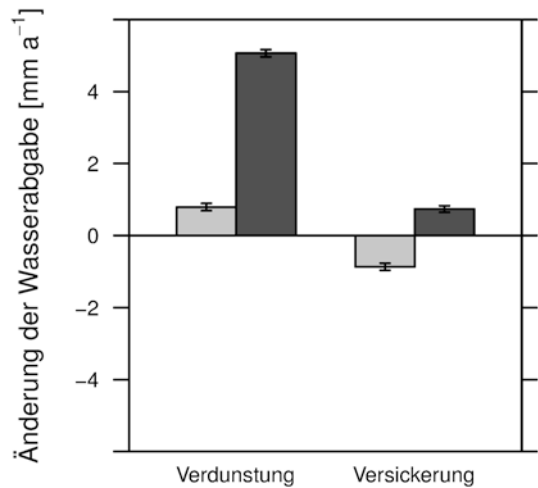


Abb. 4.54 Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung und Versickerung aller Waldbestände für 2011–2050 unter der Natur- und Umweltschutzstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion und unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar



Deutliche Unterschiede der C-Speicherungsraten unter dem 0K- und dem RCP 8.5-Szenario sind nicht festzustellen. Die jährlichen Verdunstungsraten sind unter dem RCP 8.5-Szenario aber höher als unter dem 0K-Szenario aufgrund der höheren Temperaturen und des damit verbundenen höheren Verdunstungsanspruchs der Atmosphäre (Abb. 4.54).

4.7.2.4 Klimaanpassungsstrategie

Die mit 4C simulierte Klimaanpassungsstrategie bewirkt bezüglich der Kohlenstoffflüsse, gemittelt über alle simulierten Waldbestände, ähnliche Veränderungen im Vergleich zur Referenzprojektion wie die Strategie „Bioenergie“. Die C-Speicherung in der Biomasse

Abb. 4.55 Änderungen der jährlichen mittleren C-Speicherungen unter der Klimaanpassungsstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion für 2011–2050 unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar

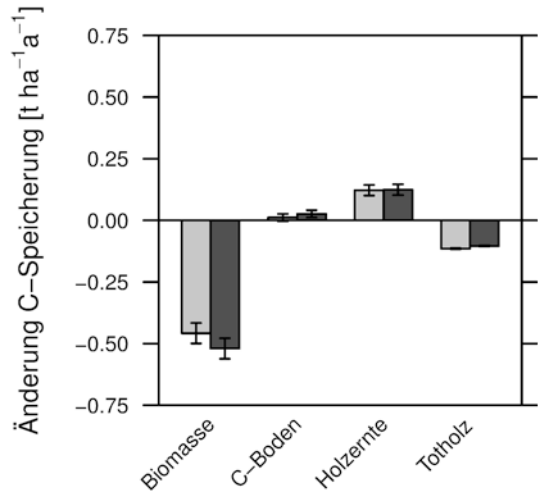
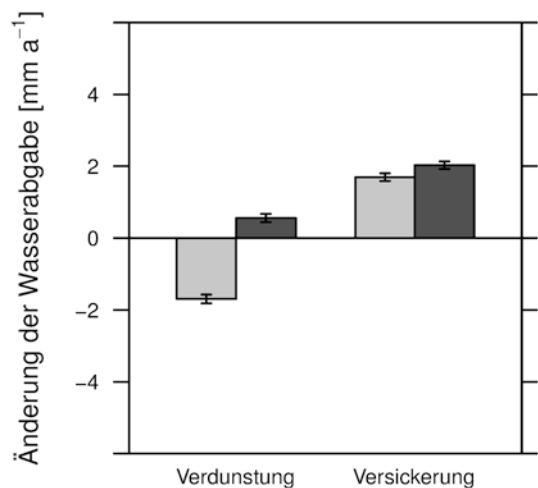


Abb. 4.56 Änderung der mittleren jährlichen Verdunstung und Versickerung aller Waldbestände für 2011–2050 unter der Klimaanpassungsstrategie im Vergleich zur Referenzprojektion und unter den Klimaszenarien „0K“ (hell) und „RCP 8.5“ (dunkel). Die Whisker stellen die Varianz der Mittelwerte dar



geht zurück, die im Ernteholz nimmt leicht zu. Diese Effekte sind unter beiden Klimaszenarien gleich (Abb. 4.55).

Die mittlere jährliche Verdunstungsrate ist bei der Klimaanpassungsstrategie etwas geringer als bei der Referenzprojektion und die Versickerungsrate nur minimal höher als unter der Referenzprojektion (vgl. Abb. 4.56). Auch hier führt das RCP 8.5-Szenario zu einer leicht höheren mittleren jährlichen Verdunstungsrate als das 0K-Szenario.

4.7.3 Vergleichende Beurteilung der Auswirkungen der Strategien

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Darstellungen der 4C-Ergebnisse (mittlere Änderungen zur Referenzprojektion) sind in der Tab. 4.26 die absoluten mittleren jährlichen Kohlenstoff- und Wasserflüsse im Simulationszeitraum gelistet. Der Vergleich der C-Speicherungen der Referenzprojektion und der vier Landnutzungsstrategien zeigt, dass die Natur- und Umweltschutzstrategie am deutlichsten von der Referenzprojektion abweicht, insbesondere bei der C-Speicherung im Totholz und in der Biomasse (vgl. Tab. 4.26). Vergleichsweise ähnlich der Referenzprojektion zeigen sich die Auswirkungen der Klimaschutzstrategie. Die Effekte der Bewirtschaftungsstrategien auf die Wasserflüsse sind im Vergleich zur Referenzprojektion im Mittel über alle Bestände sehr gering. Dieselben Aussagen treffen für die Flüsse unter dem Klimaszenario „RCP 8.5“ zu, unter dem aber die jährlichen mittleren C-Speicherungen für alle Strategien höher sind als unter dem OK-Szenario. Die jährliche Verdunstungsrate ist im Mittel leicht erhöht gegenüber dem OK-Szenario, während die Versickerungsrate deutlich geringer ist, unabhängig von der Bewirtschaftung (vgl. Tab. 4.26). Sie geht um circa 13 bis 14 % zurück.

Tab. 4.26 Mittlere jährliche Kohlenstoff- und Wasserflüsse, gemittelt über alle Waldbestände für 2011–2050 und die Klimaszenarien „OK“ und „RCP 8.5“. (Quelle: M. Gutsch und P. Lasch-Born)

Szen.	t C ha ⁻¹ a ⁻¹						mm a ⁻¹					
	R	NUS	BS	KS	AS		R	NUS	BS	KS	AS	
OK												
	Biomasse	-0,23	0,27	-0,85	-0,05	-0,69	Verd.	518	518	514	516	
	Ernte	1,95	1,71	2,09	1,89	2,07	Vers.	360	359	361	361	
	C-Boden	1,44	1,37	1,42	1,43	1,45						
	Totholz	0,43	0,55	0,27	0,45	0,31						
RCP 8.5												
	Biomasse	-0,06	0,42	-0,74	0,12	-0,58	Verd..	525	531	523	526	
	Ernte	1,98	1,75	2,12	1,93	2,10	Vers.	311	311	311	313	
	C-Boden	1,33	1,27	1,32	1,32	1,35						
	Totholz	0,40	0,54	0,26	0,43	0,30						

Szen. – Klimaszenario, R – Referenzprojektion, NUS – Natur- und Umweltschutzstrategie, BS – Bioenergiestrategie, KS – Klimaschutzstrategie, AS – Klimaanpassungsstrategie, Verd. – Verdunstung, Vers. – Versickerung

Literatur

- Batista e Silva F, Lavalley C, Koomen E (2013) A procedure to obtain a refined European land use/cover map. *J Land Use Sci* 3:255–283
- Bechtold M, Tiemeyer B, Laggner A, Leppelt T, Frahm E, Belting S (2014) Large-scale regionalization of water table depth in peatlands optimized for greenhouse gas emission upscaling. *Hydrol Earth Syst Sci* 18(9):3319–3339
- Bertelsmeier M, Gömann H, Kleinhanß W, Kreins P, Manegold D, Offermann F (2002) Modellanalysen zu den Auswirkungen der KOM-Vorschläge im Rahmen der Halbzeitbewertung der Agenda 2000. *SchrR Forschungsgesellsch Agrarpol Agrarsoz* 320:97
- Biber et al (2000) SILVA 2.2. Benutzerhandbuch. Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, München
- Bonn A, Berghöfer A, Couwenberg J, Drösler M, Jensen R, Kantelhardt J, Luthardt V, Permien T, Röder N, Schaller L, Schweppe-Kraft B, Tanneberger F, Trepel M, Wichmann S (2015) Klimaschutz durch Wiedervernässung von kohlenstoffreichen Böden. In: Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) *Naturkapital Deutschland – TEEB DE: Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte*. Technische Universität Berlin & Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin & Leipzig, S 124–147
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2004) Nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1:1.000.000 (Wald-BÜK 1000)
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2013) Innenentwicklungspotenziale in Deutschland. Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage und Möglichkeiten einer automatisierten Abschätzung. Unter Mitarbeit von Schiller G, Blum A, Hecht R, Meinel G, Oertel H, Ferber U, Petermann E (Hrsg.), Bonn, S 163
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015a) Raumordnungsprognose 2035 nach dem Zensus. BBSR-Analysen KOMPAKT 05/2015, Bonn
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2015b) Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung. Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte, Bonn, S 120
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2013) Die wirtschaftliche Lage der forstwirtschaftlichen Betriebe. Buchführungsergebnisse der Forsttestbetriebe, Forstwirtschaftsjahr 2013
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014) Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2005) Die zweite Bundeswaldinventur. Der Inventurbericht. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2010) Nationaler Biomasseaktionsplan für Deutschland – Beitrag der Biomasse für eine nachhaltige Energieversorgung. BMELV, Berlin
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Hrsg) (2012) Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. BMU, Berlin
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2011) 30-ha-Ziel realisiert – Konsequenzen des Szenarios Flächenverbrauchsreduktion auf 30 ha im Jahr 2020 für die Siedlungsentwicklung. *Forschungen* 148. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), Bonn, S 78

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2007) Nachhaltigkeitsbarometer Fläche. Regionale Schlüsselindikatoren nachhaltiger Flächennutzung für die Fortschrittsberichte der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie; Flächenziele; ein Projekt des Forschungsprogramms „Allgemeine Ressortforschung“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR), [Elektronische Ressource]. BMVBS & BBR, Berlin & Bonn
- Bundesregierung (2008) Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel vom Bundeskabinett am 17. Dezember 2008 beschlossen. https://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmub-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/das_gesamt_bf.pdf. Zugegriffen: 19. März 2019
- Burkett VR, Suarez AG, Bindi M, Conde C, Mukerji R, Prather MJ, Clair ALS, Yohe GW (2014) Point of departure. In: Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (Hrsg) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel of climate change. Cambridge University Press, Cambridge, S 169–194
- Collins M, Knutti R, Arblaster J, Dufresne J-L, Fichet T, Friedlingstein P, Gao X, Gutowski WJ, Johns T, Krinner G, Shongwe M, Tebaldi C, Weaver AJ, Wehner M (2013) Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Hrsg) Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, S 1029–1136
- Cypris C (2000) Positive Mathematische Programmierung (PMP) im Agrarsektormodell RAUMIS. Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e. V., Bonn
- Cypris C, Kreins P (1998) Das Agrar- und Umweltinformationssystem RAUMIS – ein Prototyp für Analysen des Transformationsprozesses in den MOE-Ländern? In: Heißenhuber A, Hoffmann H, von Urf W (Hrsg) Land- Und Ernährungswirtschaft in Einer Erweiterten EU. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e. V., Bd 34. Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup, S 53–61
- Dechow R, Freibauer A (2011) Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. *Nutr Cycl Agroecosyst* 91(3):235–254
- Delzeit R, Zabel F, Meyer C, Václavík T (2016) Addressing future trade-offs between biodiversity and cropland expansion to improve food security. *Reg Environ Change* 17(5):1429–1441
- Delzeit R, Zabel F, Meyer C, Václavík T (2017) Addressing future trade-offs between biodiversity and cropland expansion to improve food security. *Reg Environ Change* 17:1429
- Deutscher Wetterdienst (DWD) (2016) Mitteltemperaturen Deutschland 1881–2015. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihenuntrends/zeitreihenuntrends.html?nn=495662>. Zugegriffen: 25. Jan. 2016
- Dieter M, Elsasser P, Wiehler HA (2005) Anrechnung der deutschen Waldbewirtschaftung in der Klimapolitik? Ein Diskussionsbeitrag zur Wahlmöglichkeit nach Artikel 3.4 des Kyoto-Protokolls. *Forst Holz* 60(11):472–474
- DLR-DFD (2004) CORINE Land Cover (CLC2000)
- Dodman D (2009) Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emission inventories. *Environ Urbani* 21(1):85–201
- Drösler M, Freibauer A, Adelman W, Augustin J, Bergman L, Beyer C, Chojnicki B, Förster C, Giebels M, Görlich S, Höper H, Kantelhardt J, Liebersbach H, Hahn-Schöfl M, Minke M, Petschow U, Pfadenhauer J, Schaller L, Schägner P, Sommer M, Thuille A, Wehrhan M (2013)

- Klimaschutz durch Moorschutz. Schlussbericht des BMBF-Vorhabens: Klimaschutz-Moornutzungsstrategien 2006–2010
- Ermisch N, Seintsch B, Dög M (2014) Ergebnisse des Testbetriebsnetzes Forst des BMEL Das Jahr 2012 folgte dem positiven Trend der Vorjahre: Die drei Eigentumsarten des TBN-Forst erwirtschafteten ein positives Betriebsergebnis. *AFZ-DerWald* 23:18–20
- Fick J, Baum S, Dechow R, Elsasser P, Ermisch N, Goetzke R, Gömann H, Grabski-Kieron U, Gutsch M, Hellmich M, Henseler M, Hirschfeld J, Hoymann J, Kreins P, Lasch-Born P, Raabe M, Sagebiel J, Siebert R, Steinführer A, Steinhäuser R, Wechsung F, Weingarten P, Weller P, Gömann H (2016) Interdependencies between land use and climate changestrategies for a sustainable land use management in Germany(CC-LandStraD). Unpublished final report, Braunschweig
- Flato G, Marotzke J, Abiodun B, Braconnot P, Chou SC, Collins W, Cox P, Driouech F, Emori S, Eyring V, Forest C, Gleckler P, Guilyardi E, Jakob C, Kattsov V, Reason C, Rummukainen M (2013) Evaluation of climate models. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Hrsg) *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, S 741–866
- Fuhrich M, Dosch F, Pahl-Weber E, Zillmann K (2004) *Kompass für den Weg zur Stadt der Zukunft. Indikatoren-gestützte Erfolgskontrolle nachhaltiger Stadtentwicklung. Eine Orientierungshilfe für die kommunale Praxis*. Ein ExWoSt-Forschungsfeld. BBR, Bonn
- Gerstengarbe FW, Werner P (2013) Szenarios: Der Blick in eine mögliche Zukunft 2.1 Das Klimaszenario: Modellauswahl und Datengrundlage. In: Gerstengarbe FW, Welzer H (Hrsg) *Zwei Grad mehr in Deutschland*. Fischer Taschenbuch, Frankfurt a. M., S 31–43
- Gerstengarbe FW, Werner P, Österle H, Burghoff O (2013) Winter storm- and summer thunderstorm-related loss events with regard to climate change in Germany. *Theor Appl Climatol* 114(3–4):715–724
- Gobiet A, Suklitsch M, Heinrich G (2015) The effect of empirical-statistical correction of intensity-dependent model errors on the temperature climate change signal. *Hydrol Earth Syst Sci* 19(10):4055–4066
- Gömann H, Kreins P (2012) Landnutzungsänderungen in Deutschlands Landwirtschaft: rückläufige Anbaudiversität hat viele Ursachen. *Mais* 39:118–122
- Gömann H, Julius C, Kreins P (2002) Quantifying impacts of different agrienvironmental policies on the environment using the regional agri-environmental information system RAUMIS. In: *Environmental communication in the information society – proceedings of the 16th conference*, Wien (Austria), S 210–216
- Gömann H, Kreins P, Julius C, Wechsung F (2003) Landwirtschaft unter dem Einfluss des globalen Wandels sowie sich ändernde gesellschaftliche Anforderungen: interdisziplinäre Untersuchung künftiger Landnutzungsänderungen und resultierender Umwelt- und sozioökonomischer Aspekte. *Schr Gesellsch Wirtsch Sozialwiss Landbaues* 39:201–208
- Gömann H, Kreins P, Moeller C (2004) Impact of nitrogen reduction measures on nitrogen surplus, income and production of German agriculture. *Water Sci Technol* 49:81–90
- Gömann H, Kreins P, Breuer T (2007) Deutschland – Energie-Corn-Belt Europas? *Agrarwirtschaft* 56(5–6):263–271
- Gömann H, Kreins P, Osterburg B, Breuer T (2007) Nutzungskonkurrenzen durch die Förderung von Biogas und anderen Energieträgern. *Agrarspectrum SchrR* 40:135–150
- Gömann H, Kreins P, Münch J, Delzeit R (2010) Auswirkungen der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes auf die Landwirtschaft in Deutschland: Vortrag anlässlich der 50. Jahrestagung Der GEWISOLA „Möglichkeiten Und Grenzen Der Wissenschaftlichen Politik-analyse“, Braunschweig, 29.09.–01.10.2010, S 189–201

- Gömönn H, Kreins P, Heidecke C (2011) How global conditions impact regional agricultural production and nitrogen surpluses in the German Elbe River Basin. *Reg Environ Change* 11(3):663–678
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Freibauer A, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2016) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2014: report on methods and data (RMD) submission 2016, Thünen Rep 39. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Hamin EM, Gurren N (2009) Urban form and climate change: balancing adaptation and mitigation in the U.S. and Australia. *Habitat International* 33:238–245
- Hansen R, Heidebach M, Kuchler F, Pauleit S (2012) Brachflächen im Spannungsfeld zwischen Naturschutz und (baulicher) Wiedernutzung. BfN-Skripten 324, Bonn, S 151
- Haylock MR, Hofstra N, Klein Tank AMG, Klok EJ, Jones PD, New M (2008) A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J Geophys Res: Atmos* 113(D20):D20119
- Heiland S, Reinke M, Siedentop S, Träger T, Knigge M, Meyer-Ohlendorf N, Blobel D (2006) Beitrag naturschutzpolitischer Instrumente zur Steuerung der Flächeninanspruchnahme. BfN Skripten 176, Bonn, S 154
- Heinzlmaier F (2013) CO₂-Fußabdruck der Mineraldünger. BLW23, S 42. https://www.energieeffizienz-landwirtschaft.de/pb/site/pbs-bw/get/documents/MLR.Energieberatung/Unterlagen/03_Wissensbasis/Archiv%20Fachartikel/Klimagase/CO2%20Fussabdruck%20oder%20Minerald%C3%BCnger_BLW_23_2013.pdf. Zugegriffen: 19. März 2019
- Hempel S, Frieler K, Warszawski L, Schewe J, Piontek F (2013) A trend-preserving bias correction – the ISI-MIP approach. *Earth Syst Dynam* 4(2):219–236
- Henrichsmeyer W, Cypris C, Löhe W, Meudt M, Sander R, von Sothen F, Isermeyer F, Schefski A, Schleaf K, Neander E, Fasterding F, Helmke B, Neumann M, Nieberg H, Manegold D, Meier T (1996) Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt (Vervielfältigtes Manuskript), Forschungsbericht für das BML (94 HS 021), Bonn/Braunschweig (Germany)
- Henseler M, Dechow R (2014) Simulation of regional nitrous oxide emissions from German agricultural mineral soils: a linkage between an agro-economic model and an empirical emission model. *Agric Syst* 124:70–82
- Henseler M, Röder N, Liebersbach H, Kreins P, Osterburg B (2015) Mitigation potential and cost efficiency of abatement based subsidies for production of short rotation coppices in Germany. *Biomass Bioenerg* 81:592–601
- Hilferink M, Rietveld P (1999) Land use scanner: an integrated GIS based model for long term projections of land use in urban and rural areas. *J Geogr Inf Syst* 1(12):155–177
- Hirt U, Venohr M, Kreins P, Behrendt H (2008) Modelling nutrient emissions and the impact of nutrient reduction in the Weser river basin, Germany. *Water Sci Technol* 58:2251–2258
- Hoymann J (2013) Neuere Flächennutzungsdaten – Übersicht, Vergleich und Nutzungsmöglichkeiten. BBSR-Analysen KOMPAKT 2/2013, Bonn, S 16
- Hoymann J, Goetzke R (2014) Die Zukunft der Landnutzung in Deutschland – Darstellung eines methodischen Frameworks. *RaumforschRaumordn* 72(3):211–225
- Institut für angewandte Sozialwissenschaften GmbH (infas), DLR Institut für Verkehrsforschung (2010) Mobilität in Deutschland 2008. Ergebnisbericht Struktur – Aufkommen – Emissionen – Trends, Bonn, S 208
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013) Annex II: climate system scenario tables In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (Hrsg) *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of*

- working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, S 1395–1446
- Isermeyer F, Brockmeier M, Gömann H, Hargens R, Klepper R, Kreins P, Offermann F, Osterburg B, Pelikan J, Salamon P, Thiele H (2006) Analyse politischer Handlungsoptionen für den Milchmarkt (Landbauforsch Völknerode SH 300). FAL, Braunschweig
- Jacobs C, Bouwman AF, Koomen E, van der Burg A (2011) Lessons learned from using land-use simulation in regional planning. In: Koomen E, Borsboom-van Beurden J (Hrsg) Landuse modelling in planning practice. Springer Netherlands, Dordrecht, S 131–149
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen O, Bouwer L, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana J-F, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P (2013) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg Environ Change* 14:563–578
- Jenssen T (2009) Klimaschutz durch städtebauliche Dichte! Möglichkeiten und Grenzen der räumlichen Steuerung von THG-Emissionen. *RaumPlanung* 147:281–284
- Julius C, Moeller C, Osterburg B, Sieber S (2003) Indikatoren einer nachhaltigen Landwirtschaft im „Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland“ (RAUMIS). *Agrarwirtschaft* 52:1–10
- Koomen E, Rietveld P, de Nijs T (2008) Modelling land-use change for spatial planning support. *Ann Reg Sci* 42(1):1–10
- Koomen E, Hilferink M, Borsboom-van Beurden J (2011) Introducing land use scanner. In: Koomen E (Hrsg) Land-use modelling in planning practice. The GeoJournal Library 101. Springer, Dordrecht, S 3–21
- Kreins P, Gömann H (2008) Modellgestützte Abschätzung der regionalen landwirtschaftlichen Landnutzung und Produktion in Deutschland vor dem Hintergrund der „Gesundheitsüberprüfung“ der GAP. *Agrarwirtschaft* 57:195–206
- Kreins P, Gömann H, Henrichsmeyer W (2002) Auswirkungen der Vorschläge der EU-Kommission im Rahmen der Agenda 2000 Halbzeitbewertung auf Produktion, Faktoreinsatz und Einkommen der deutschen Landwirtschaft Modellanalysen auf der Grundlage des Agrarsektormodells RAUMIS, Arbeitsmaterial der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e. V.
- Kuhn U, Henneberg S, Gömann H, Kreins P, Seidel K, Tetzlaff B, Wendland F, Hirt U, Behrendt H (2008) Reduzierung diffuser Nährstoffeinträge von landwirtschaftlichen Flächen in der Flussgebietseinheit Weser. *Wasser Abfall* 10:20–23
- Kuhr P, Haider J, Kreins P, Kunkel R, Tetzlaff B, Vereecken H, Wendland F (2013) Model based assessment of nitrate pollution of water resources on a Federal State Level for the dimensioning of agro-environmental reduction strategies: the North Rhine-Westphalia (Germany). *Water Resource Manag* 27(3):885–909
- Kunkel R, Bogaen H, Gömann H, Kreins P, Wendland F (2005) Management of regional German river catchments (REGFLUD). *Water Sci Technol* 51:291–299
- Lasch P, Badeck FW, Suckow F, Lindner M, Mohr P (2005) Model-based analysis of management alternatives at stand and regional level in Brandenburg (Germany). *For Ecol Manage* 207(1–2):59–74
- Lasch-Born P, Suckow F, Gutsch M, Reyer C, Hauf Y, Murawski A, Pilz T (2015) Forests under climate change: potential risks and opportunities. *Meteorol Z* 24(2):157–172
- Lavalle C, Baranzelli C, Batista e Silva F, Mubareka S, Rocha Gomes C, Koomen E, Hilferink M (2011) A high resolution land use/cover modelling framework for Europe: introducing the EU-ClueScanner100 model. In: Murgante B, Gervasi O, Iglesias A, Taniar D, Apduhan BO (Hrsg)

- Computational science and its applications – ICCSA 2011, Part 1. Lecture notes in computer science, 6782. Springer, Berlin, S 60–75
- Leppelt T, Dechow R, Gebbert S, Freibauer A, Lohila A, Augustin J, Drösler M, Fiedler S, Glatzel S, Höper H, Järveoja J, Lærke PE, Maljanen M, Mander Ü, Mäkiranta P, Minkinen K, Ojanen P, Regina K, Strömberg M (2014) Nitrous oxide emission budgets and land-use-driven hotspots for organic soils in Europe. *Biogeosciences* 11(23):6595–6612
- Lülf M (2008) Bewältigung von Klimaschutz und Klimaanpassung in Städten und städtischen Agglomerationen durch die Raumplanung? In: Klee A, Knieling J, Scholich D, Weiland U (Hrsg) Städte und Regionen im Klimawandel. E-Paper der ARL 5. Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover, S 68–85
- Meehl GA, Stocker TF, Collins WD, Friedlingstein P, Gaye AT, Gregory JM, Kitoh A, Knutti R, Murphy JM, Noda A (2007) Global climate projections. In: *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge
- Offermann F, Deblitz C, Golla B, Gömann H, Haenel H-D, Kleinhanß W, Kreins P, von Ledebur O, Osterburg B, Pelikan J, Röder N, Rösemann C, Salamon P, Sanders J, de Witte T (2014) Thünen-Baseline 2013–2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland (Thünen Rep 19). Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, S 112
- Offermann F, Banse M, Deblitz C, Gocht A, Gonzalez Mellado A, Kreins P, Marquardt S, Osterburg B, Pelikan J, Rösemann C, Salamon P, Sanders J (2016) Thünen-Baseline 2015–2025: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland (Thünen Rep 40). Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Oke T (1997) Urban climates and global environmental change. In: Thompson R, Perry A (Hrsg) *Applied climatology: principles and practice*. Taylor and Francis, London, S 273–287
- Orlowsky B, Gerstengarbe FW, Werner PC (2008) A resampling scheme for regional climate simulations and its performance compared to a dynamical RCM. *Theor Appl Climatol* 92:209–223
- Osterburg B, Kätsch S, Wolff A (2013) Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050. No. 13. Thünen Report, 2013
- Polley H, Kroiher F (2006) Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht. Institut für Waldökologie und Waldinventuren, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg
- RAUMIS (2017) Modellergebnisse des Regionalen Agrar- und Umwelt Informationssystems RAUMIS
- Rittel K, Bredow L, Wanka ER, Hokema D, Schuppe G, Wilke T, Nowak D, Heiland S (2014) Grün, natürlich, gesund: Die Potenziale multifunktionaler städtischer Räume. Ergebnisse des gleichnamigen F+E-Vorhabens (FKZ 3511 82 0800), BfN-Skripten 371, Bonn, S 61
- Röder N, Henseler M, Liebersbach H, Kreins P, Osterburg B (2015) Evaluation of land use based greenhouse gas abatement measures in Germany. *Ecol Econ* 117:193–202
- Roers M, Wechsung F (2015) Neubewertung der Auswirkung des Klimawandels auf den Wasserhaushalt im Elbegebiet. *Hydrol Wasserbewirtsch* 59(3):109–119
- Rösemann C, Haenel H-D, Dämmgen U, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Bauer B, Osterburg B (2015) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2013: report on methods and data (RMD) submission 2015, Thünen Rep 27. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Scholten H, van de Velde R, Rietveld P, Hilferink M (1999) Spatial information infrastructure for scenario planning: the development of a land use planner for Holland. In: Stillwell J, Geertman S, Openshaw S (Hrsg) *Geographical information and planning*. Springer, Berlin, S 112–134

- Schotten C, Goetgeluk R, Hilferink M, Rietveld P, Scholten H (2001) Residential construction, land use and the environment. Simulations for the Netherlands using a GIS-based land use model. *Environ Model Assess* 6(2):133–143
- Schuler J, Bues A, Henseler M, Krämer C, Krampe L, Kreins P, Liebersbach H, Osterburg B, Röder N, Uckert G (2014) Instrumente zur Stärkung von Synergien zwischen Natur- und Klimaschutz im Bereich Landwirtschaft, BfN-Skripte. Bundesamt für Naturschutz, Bonn
- Schweinle J, Köthke M, Englert H, Dieter M (2018) Simulation of forest based carbon balances for Germany: a contribution to the ‘carbon debt’ debate. *WIREs Energy Environ* 7(1):1–15
- Schwermer S, Preiss P, Müller W (2012) Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmeerzeugung, Anhang B der „Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten“
- Sieber S (2003) Analyse des Risikopotenzials chemischer Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft – Entwicklung und Anwendung eines modellbasierten PSM-Indikators auf das Beispiel eines bundesweiten Uferrandstreifenprogramms. Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn
- Sieber S, Pannell D, Müller K, Holm-Müller K, Kreins P, Gutsche V (2010) Modelling pesticide risk: a marginal cost–benefit analysis of an environmental buffer-zone programme. *Land Use Policy (Forest transitions wind power planning, landscapes and publics)* 27:653–661
- Spiekermann J, Franck E (Hrsg) (2014) Anpassung an den Klimawandel in der räumlichen Planung. Handlungsempfehlungen für die niedersächsische Planungspraxis auf Landes- und Regional-ebene. Arbeitsberichte der ARL 11. Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL), S 188
- Stevens B, Giorgetta M, Esch M, Mauritsen T, Crueger T, Rast S, Salzmann M, Schmidt H, Bader J, Block K, Brokopf R, Fast I, Kinne S, Kornbluh L, Lohmann U, Pincus R, Reichler T, Roeckner E (2013) Atmospheric component of the MPI-M earth system model: ECHAM6. *J Adv Model Earth Syst* 5:146–172
- Staupendahl K (2011) Modellierung der Überlebenswahrscheinlichkeit von Waldbeständen mithilfe der neu parametrisierten Weibull-Funktion. *Forstarchiv* 82:10–19
- Strotmann B (1992) Analyse der Auswirkungen einer Stickstoffsteuer auf Produktion, Faktoreinsatz, Agrareinkommen und Stickstoffbilanz unter alternativen agrarpolitischen Rahmenbedingungen – Eine regionalisierte Sektoranalyse für Regionen der alten Länder der Bundesrepublik Deutschland. Wehle, Witterschick
- Tetzlaff B, Kunkel R, Schäffer W, Wendland F (2007) Determination and ranking of target areas in catchments for the implementation of nitrogen reduction measures. *Adv Geosci* 11:69–75
- Tetzlaff B, Kreins P, Kunkel R, Wendland F (2008) Area-differentiated modelling of P-fluxes in heterogeneous macroscale river basins. *Water Sci Technol* 55:123–131
- Thünen-Institut (2013) Die zweite Bundeswaldinventur: Ergebnisdatenbank. <https://bwi.info>. Zugegriffen: 19. März 2019
- Umweltbundesamt (UBA) (2013) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2011. Climate change 11/2011. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, S 885
- Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (WBA) (2007) Gutachten des Beirats für Agrarpolitik, November 2007, Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/GutachtenWBA.pdf?__blob=publicationFile. Zugegriffen: 19. März 2019
- Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (WBA) (2011) Stellungnahme zur geplanten Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Down->

- [loads/Ministerium/Beiraete/Agrarpolitik/StellungnahmeEEG.pdf?__blob=publicationFile](#).
Zugegriffen: 19. März 2019
- Wechsung F, Wechsung M (2015) Dryer years and brighter sky – the predictable simulation outcomes for Germany’s warmer climate from the weather resampling model STAR. *Int J Climatol* 35(12):3691–3700
- Wechsung F, Wechsung M (2015b) A methodological critique on using temperature-conditioned resampling for climate projections as in the paper of Gerstengarbe FW, Werner PC, Österle H, Burghoff O (Hrsg) (2013) winter storm- and summer thunderstorm-related loss events in *Theoretical and Applied Climatology (TAC)*. *Theor Appl Climatol* 126(3–4):611–615
- Weedon GP, Gomes S, Viterbo P, Shuttleworth WJ, Blyth E, Österle H, Adam JC, Bellouin N, Boucher O, Best M (2011) Creation of the WATCH forcing data and its use to assess global and regional reference crop evaporation over land during the twentieth century. *J Hydrometeorol* 12(5):823–848
- Weingarten P (1995) Das „Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem für die Bundesrepublik Deutschland“ (RAUMIS). *Berichte über Landwirtschaft* 73:272–303
- Weingarten P (1996) Grundwasserschutz und Landwirtschaft – Eine quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen. *Schriftenreihe Landwirtschaft und Umwelt*, 13, XVII, Vauk, Kiel, S 278
- Weingarten P, Kreins P (2003) Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers vor Nitrateinträgen aus der Landwirtschaft: umweltrechtliche und agrarpolitische Rahmenbedingungen. *Schr Gesellsch Wirtsch Sozialwiss Landbaues* 39:435–444
- Wendland F, Behrendt H, Gömann H, Hirt U, Kreins P, Kuhn U, Kunkel R, Tetzlaff B (2009) Determination of nitrogen reduction levels necessary to reach groundwater quality targets in large river basins: the Weser basin case study, Germany. *Nutr Cycl Agroecosyst* 85:63–78

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Gesellschaftliche Bewertung der Landnutzungsstrategien

5

Peter Elsasser, Ulrike Grabski-Kieron, Meike Hellmich, Jesko Hirschfeld, Mathias Raabe, Sandra Rajmis, Julian Sagebiel, Rosemaire Siebert, Annett Steinführer, Reimund Steinhäuser und Priska Weller

Inhaltsverzeichnis

5.1	Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung	301
5.1.1	Überblick über Daten und Methoden zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen	302
5.1.1.1	Bereitstellende Ökosystemleistungen	303
5.1.1.2	Regulierende Ökosystemleistungen	305
5.1.1.3	Kulturelle Ökosystemleistungen	306
5.1.2	Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen	309
5.1.2.1	Bereitstellende Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen	309
5.1.2.2	Regulierende Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen	311

P. Elsasser (✉) · P. Weller
Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie,
Hamburg-Bergedorf, Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

U. Grabski-Kieron · M. Raabe
Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Münster, Deutschland

M. Hellmich · A. Steinführer
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland

J. Hirschfeld · S. Rajmis · J. Sagebiel
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin, Deutschland

R. Siebert · R. Steinhäuser
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Müncheberg, Deutschland

5.1.2.3	Kulturelle Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen .	314
5.1.2.4	Aggregierte Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Landnutzungsstrategien	318
5.1.3	Ökonomische Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen des Waldes	321
5.1.3.1	Ergebnisse zu Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen im Wald	321
5.1.3.2	Einordnung der Ergebnisse und weiterer Leistungen des Waldes	328
5.1.3.3	Aggregierte Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der forstwirtschaftlichen Managementstrategien	331
5.1.4	Diskussion und Ausblick zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung	338
5.2	Institutionelle Gestaltungsoptionen für eine nachhaltige Landnutzung	341
5.2.1	Einführung, Zielsetzung und methodische Vorgehensweise	342
5.2.2	Ergebnisse der planungswissenschaftlichen Evaluierung	345
5.2.3	Übergeordnete Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement	346
5.2.4	Institutionelle Gestaltungsoptionen im Siedlungswesen	353
5.2.4.1	Beiträge zum Klimaschutz durch die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme	354
5.2.4.2	Ausgewählte Maßnahmen zur Klimaanpassung im Sektor Siedlung und Verkehr	360
5.2.5	Institutionelle Gestaltungsoptionen bei der landwirtschaftlichen Landnutzung . .	362
5.2.5.1	Nutzung organischer Böden	363
5.2.5.2	Anpassung des Düngemanagements	365
5.2.5.3	Substitution fossiler Energie durch Biomasse	367
5.2.5.4	Erhaltung und Schaffung von Treibhausgassenken	369
5.2.6	Institutionelle Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft	370
5.2.6.1	Übergeordnete Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft	370
5.2.6.2	Gestaltungsoptionen zur Erhöhung der Klimaschutzleistung der Wälder	371
5.2.6.3	Anpassung der Wälder an den Klimawandel und Vermeidung von Kohlenstoffverlusten	373
5.2.7	Fazit	374
5.3	Landnutzung und Klimawandel im transdisziplinären Diskurs: Wissenschaft und Stakeholder in Interaktion	375
5.3.1	Stakeholder-Beteiligung in der Umweltforschung	376
5.3.2	Ziele des transdisziplinären Diskurses	378
5.3.3	Wissenschaft und Praxis in Interaktion: der Prozess	381
5.3.3.1	Stakeholder-Auswahl	381
5.3.3.2	Beteiligungsformen und tatsächliche Beteiligung	383
5.3.3.3	Feedbackschleifen	389
5.3.4	Stakeholder-Interventionen	390
5.3.4.1	Sektor Landwirtschaft	391
5.3.4.2	Sektor Siedlung und Verkehr	394
5.3.4.3	Sektor Forstwirtschaft	396
5.3.5	Wissenschaft und Praxis in Interaktion: Prozessreflexionen	398
5.3.5.1	Der transdisziplinäre Diskurs aus Sicht der Stakeholder	398
5.3.5.2	Der transdisziplinäre Diskurs aus Sicht des Konsortiums	403

5.3.6	Der transdisziplinäre Diskurs: Was hat er gebracht?	405
5.3.6.1	Inhaltliche Aspekte des transdisziplinären Diskurses	405
5.3.6.2	Methodische Aspekte des transdisziplinären Diskurses	408
5.3.6.3	Prozessuale Aspekte	410
5.3.7	Schlussfolgerungen	411
Literatur	411

5.1 Ökonomische Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung

Jesko Hirschfeld, Priska Weller, Julian Sagebiel, Sandra Rajmis und Peter Elsasser

Zusammenfassung

Landnutzungsänderungen monetäre Werte zuzuweisen ist oft schwierig, da einerseits eine Vielzahl an Akteuren betroffen ist (u. a. Anwohner, Landwirte, Forstwirte, Touristen), andererseits einige Elemente der Landnutzung keinen direkt beobachtbaren monetären Wert aufweisen (Erholungsnutzen, CO₂-Speicherung). In diesem Kapitel wird das Konzept der Ökosystemleistungen genutzt, um die verschiedenen Effekte von Landnutzungsänderungen systematisch zu erfassen und anschließend monetär zu bewerten. Dabei werden verschiedene ökonomische Methoden (Vermeidungskostenansatz, Choice-Experimente, Änderungen der Nettowertschöpfung zu Faktorkosten) angewendet, die dann in einem Bewertungsrahmen zusammengeführt werden. Schließlich werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung in eine erweiterte Kosten-Nutzen-Analyse integriert und die in Kap. 4 erarbeiteten Strategien monetär bewertet. Die Bewertung wurde separat für landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Ökosystemleistungen durchgeführt.

Die in Kap. 4 umrissenen Landnutzungsstrategien haben zahlreiche Auswirkungen auf Ökosysteme und ihre für den Menschen relevanten Leistungen. Die verschiedenen Ökosystemleistungen (vgl. Abschn. 5.1.1) können in ihrer Menge oder Qualität mit naturwissenschaftlichen Methoden gemessen und quantifiziert werden – allerdings nur auf jeweils sehr unterschiedlichen Dimensionen. Um die jeweilige Relevanz dieser Daten für die menschliche Gesellschaft bewerten zu können, bedarf es häufig Expertenwissens und ist daher für Laien zumeist schwierig einzuschätzen. Eine Möglichkeit, die verschiedenen Dimensionen einfacher miteinander vergleichbar zu machen, liegt in ihrer ökonomischen Bewertung. Eine Vielzahl ökonomischer Bewertungsmethoden steht zur Verfügung, um den Wert der verschiedenen Ökosystemleistungen für die menschliche Gesellschaft in Geldwerte zu übersetzen – eine Vorgehensweise, die unter wissenschaftlichen, politischen und ethischen Gesichtspunkten jedoch nicht unumstritten ist (Hirschfeld und Sagebiel 2014; Unmüssig 2015; Hansjürgens 2015). Die ökonomische Forschung sozialökologischer Prägung bemüht sich, naturwissenschaftliche Erkenntnisse über Wirkungszusammenhänge und Informationen zu gesellschaftlichen Präferenzen im Hinblick auf die Wertschätzung der verschiedenen Ökosystemleistungen in der monetären Bewertung so weit wie möglich zu berücksichtigen. Die Abbildung

des Wertes der verschiedenen Ökosystemleistungen in Geldeinheiten soll es im Kontext der bearbeiteten Fragestellungen ermöglichen, die Auswirkungen verschiedener Landnutzungsstrategien untereinander leichter vergleichbar zu machen, um die Abwägung ihrer jeweiligen Vor- und Nachteile für Ökosysteme und Gesellschaft zu vereinfachen.

Bereitstellende Ökosystemleistungen – wie beispielsweise die Produktion von Weizen oder Holz – können über Marktbeobachtungen bewertet werden. Hierzu werden die Ergebnisse aus der Modellierung des Agrar- und Forstsektors in Kap. 4 einbezogen. Relevante regulierende Ökosystemleistungen sind in diesem Fall die Kompensation von THG-Emissionen sowie Nährstoffeinträge in Grundwasser und Oberflächengewässer. Der Wert kultureller Ökosystemleistungen kann nur schwierig monetarisiert werden, da die meisten kulturellen Leistungen nicht auf Märkten gehandelt werden. Wir haben daher eine deutschlandweite, repräsentative Befragungsstudie durchgeführt, mit der die hypothetischen Zahlungsbereitschaften der deutschen Bevölkerung für eine Vielzahl relevanter kultureller Ökosystemleistungen erhoben wurden.

5.1.1 Überblick über Daten und Methoden zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen

Jesko Hirschfeld, Julian Sagebiel und Sandra Rajmis

Das Millennium Ecosystem Assessment (2005) systematisiert diese vielfältigen Ökosystemleistungen in die vier Kategorien der bereitstellenden, regulierenden, kulturellen und unterstützenden Ökosystemleistungen (siehe Abb. 5.1). Bereitstellende Ökosystemleistungen umfassen alle direkt nutzbaren Produkte des Ökosystems, wie zum Beispiel Weizen oder Holz. Regulierende Ökosystemleistungen bezeichnen weniger direkt nutzbare Leistungen, die aber, wie die oben beschriebene Kohlenstoffbindung, einen wichtigen Beitrag zur Regulierung des Klimas, des Nährstoff- oder Wasserhaushaltes leistet. Kulturelle Ökosystemleistungen hingegen beziehen sich auf ästhetische, ideelle oder der Erholung dienende Leistungen, wie das Landschaftsbild, die Möglichkeit, bestimmte Arten in freier Wildbahn zu beobachten oder auch nur das Wissen um ihr

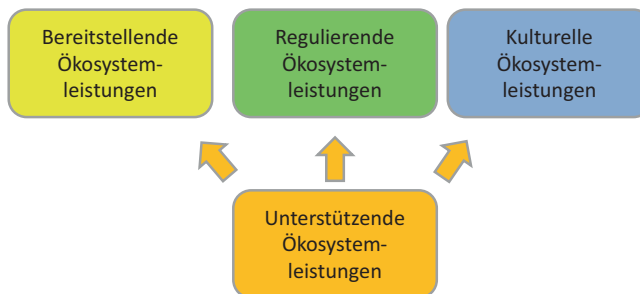


Abb. 5.1 Unterteilung der Ökosystemleistungen und Bewertungsansätze

Vorhandensein. Die unterstützenden Ökosystemleistungen werden in der hier vorgenommenen ökonomischen Bewertung nicht einbezogen, da sie ihrer Definition nach in die Bereitstellung der anderen Ökosystemleistungen eingehen und somit bei gesonderter Bewertung die Gefahr einer Doppelzählung bestünde.

Ökosystemleistungen sind zunächst in ihren physischen Ausprägungen zu erfassen, beispielsweise in Tonnen geernteter Weizen oder im Boden festgelegte Tonnen Kohlenstoff pro Hektar oder die Anzahl beobachteter Brutpaare bestimmter Vogelarten in einer Region. Die untersuchten Strategien zur nachhaltigen Landnutzung führen zu jeweils unterschiedlichen Auswirkungen auf die verschiedenen Ökosystemleistungen. Sollen nun die Effekte der verschiedenen Strategien untereinander abgewogen werden, um die aus Sicht des Betrachtenden „beste“ Strategie zu identifizieren, kann dies mit Hilfe einer Multikriterienanalyse direkt anhand ihrer Effekte auf die einzelnen Ökosystemleistungsdimensionen geschehen. Die Schwierigkeit dieser Bewertungsmethode besteht jedoch darin, die einzelnen und sehr verschiedenen Dimensionen von Ökosystemleistungen hinsichtlich ihrer Relevanz zu gewichten und aus diesen einzelnen Gewichtungen eine Rangfolge der Landnutzungsstrategien abzuleiten.

Eine monetäre Bewertung der Ökosystemleistungen erleichtert den Vergleich und die Abwägung zwischen den Effekten auf die jeweils unterschiedlichen Ökosystemleistungen, indem sie ihnen Geldwerte zuweist. Diese Geldwerte haben alle eine einheitliche Dimension (Euro), in der sie dann unmittelbar untereinander verglichen werden können. Diese „Monetarisierung der Natur“ ist als Bewertungsmethode nicht unumstritten (Unmüßig 2015). Wenn sie verantwortungsvoll durchgeführt und verwendet wird, kann sie jedoch dazu beitragen, im politischen Prozess häufig nachrangig behandelten Ökosystemleistungen, wie der Bewahrung der Biodiversität oder des Landschaftsbildes, einen angemesseneren Stellenwert zu verschaffen (Hirschfeld und Sagebiel 2014).

In den folgenden Abschn. 5.1.1.1 bis Abschn. 5.1.1.3 werden zunächst die Methoden zur ökonomischen Bewertung der verschiedenen Kategorien von Ökosystemleistungen vorgestellt. Auf dieser Grundlage werden dann in den Abschn. 5.1.2 und 5.1.3 die Ökosystemleistungen auf landwirtschaftlichen Flächen und auf Waldflächen bewertet. Abschn. 5.1.4 stellt dann die ökonomische Gesamtbewertung der Landnutzungsstrategien vor.

5.1.1.1 Bereitstellende Ökosystemleistungen

Jesko Hirschfeld

Die hier bewerteten bereitstellenden Ökosystemleistungen sind vor allem Produkte der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe, wie Weizen, Energiemais oder Holz. Da diese auf Märkten gehandelt werden, können die Kosten und Nutzen, die durch veränderte Landnutzung entstehen, mit Konsumenten- und Produzentenrenten abgebildet werden. Die Konsumentenrente ist die Differenz zwischen Zahlungsbereitschaft der Konsumenten (oder Nachfrager) und dem Marktpreis (p'), die Produzentenrente die Differenz zwischen Produktionskosten und Marktpreis, jeweils aggregiert über die produzierte Menge.

Führt beispielsweise eine Maßnahme zu einer Erhöhung der Produktionskosten, verschiebt sich die Angebotskurve nach oben – ein neues Gleichgewicht mit einem höheren

Preis und einer geringeren Produktionsmenge entsteht (bei Produktionsmenge x' und Marktpreis p'). Entsprechend ändern sich die Konsumenten- und Produzentenrenten. Die Differenz zwischen Konsumenten- und Produzentenrenten vor und nach der Maßnahme stellt dann die gesellschaftlichen Kosten (bzw. den Nutzenverlust) einer Maßnahme in der Dimension dieser bereitstellenden Ökosystemleistung (z. B. Einbuße an produzierter Maismenge) dar.

Die Berechnung von Konsumenten- und Produzentenrenten setzt voraus, dass die Nachfrage- und Angebotskurven bekannt sind. In vielen Fällen kann man diese jedoch nicht genau bestimmen. In dieser Analyse werden daher die Angebotskurven über die im regionalisierten Agrarsektormodell RAUMIS verwendeten Grenzkostenfunktionen (Abschn. 4.2.2.2, 4.5) approximiert, aus denen im Zusammenspiel mit dem Preisvektor die Nettowertschöpfung abgeleitet wird. Da die analysierten Politikmaßnahmen vor allem die Angebotsseite beeinflussen, nehmen wir die Nachfragefunktion jeweils als konstant an.

Abb. 5.2 zeichnet ein – allerdings stark vereinfachtes – Bild des Marktes für Mais. Tatsächlich sind die Agrarmärkte international, und eine Änderung der inländischen Angebotsfunktion hat eine nur sehr geringe Auswirkung auf den für die Abnehmer wirksamen Marktpreis, da die inländisch ausfallende Angebotsmenge durch Importe aus dem Ausland substituiert werden kann. Daher geht in einem solchen Fall nur die Produzentenrente zurück, während die Konsumentenrente nahezu konstant bleibt.

Aus diesem Grund können die Wohlfahrtswirkungen der landwirtschaftbezogenen Maßnahmen mit den jeweiligen Differenzen der Produzentenrenten approximiert

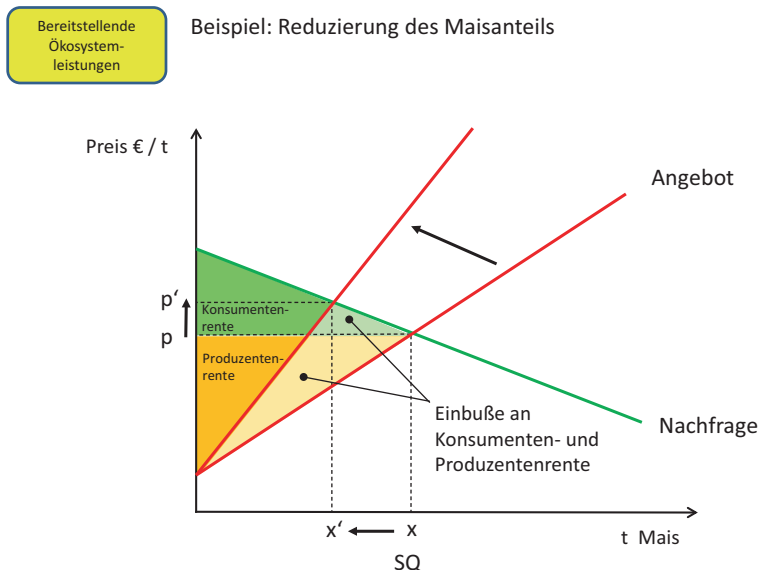


Abb. 5.2 Änderung der Konsumenten- und Produzentenrenten auf dem Markt für Mais bei einer Begrenzung des Maisanteils auf landwirtschaftlichen Flächen

werden, die der mit dem RAUMIS-Modell ermittelten Differenz der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung entspricht. So ergeben sich beispielsweise bei der Modellierung von Maßnahmen der Strategie „Klimaschutz“ Kosten in der landwirtschaftlichen Produktion (wie in Kap. 4 umrissen) in Form von Einbußen landwirtschaftlicher Nettowertschöpfung von über 1,7 Mrd. €/Jahr. Um gesamtgesellschaftlich wohlfahrtssteigernd zu wirken, müsste eine solche Strategie also in einem anderen Bereich der Ökosystemleistungen (beispielsweise durch verbesserte Klimaregulation oder verringerte Nährstoffausträge) gesellschaftliche Nutzen erzeugen, die mit über 1,7 Mrd. €/Jahr zu bewerten sind. Dies wird in den folgenden Schritten untersucht.

5.1.1.2 Regulierende Ökosystemleistungen

Jesko Hirschfeld

Regulierende Ökosystemleistungen – wie die Regulierung von Nährstoffflüssen, THG-Emissionen oder der Wasserrückhalt im Boden – können durch verschiedene kostenbasierte Methoden ökonomisch bewertet werden, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Reguliert beispielsweise eine natürliche Auenlandschaft durch die Bereitstellung von Überflutungsflächen den Wasserstand eines Flusses im Hochwasserfall, kann diese Ökosystemleistung durch die vermiedenen Schäden der Flussanlieger flussabwärts monetär bewertet werden (Schadenskostenansatz).

Wird durch eine Extensivierung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung weniger Stickstoff in Grundwasser und Oberflächengewässer ausgetragen, kann dies mit den an anderer Stelle eingesparten Kosten zum Erreichen des guten chemischen Gewässerzustandes bewertet werden (Vermeidungskostenansatz). Vermeidungskosten können als Näherungswert für die gesellschaftliche Zahlungsbereitschaft für die Reduzierung von Beeinträchtigungen von Ökosystemleistungen betrachtet werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass der politische Prozess individuelle Präferenzen soweit adäquat abbildet und in umweltpolitische Rahmensetzungen übersetzt, dass die damit verbundenen Kosten von einer deutlichen Mehrheit als angemessen empfunden werden (Schroeder 2010; Oates und Portney 2003; Aidt 1998). Der Vermeidungskostenansatz erfasst also diejenigen Kosten, die an anderer Stelle entstehen, um einen durch die Beeinträchtigung einer Ökosystemdienstleistung entstandenen negativen Effekt (z. B. Eutrophierung, Treibhauswirkung) wieder aufzuwiegen.

Beim Ersatzkostenansatz dagegen wird nach einem unmittelbaren Ersatz der Ökosystemleistung selber gesucht. Wird beispielsweise die Wasserrückhaltefunktion einer Flussaue durch den Bau eines Deiches eingeschränkt, kann zum Ausgleich ein Polder oder ein Hochwasserrückhaltebecken angelegt werden, der eine äquivalente Funktion erfüllt und die ursprüngliche, natürliche Ökosystemleistung der Aue ersetzt. Das von einer versiegelten Fläche abgeleitete Regenwasser kann auf einer angrenzenden Fläche mit Hilfe einer Mulde oder eines Schachtes gezielt versickern, wodurch versucht wird, die ursprüngliche natürliche Versickerungsleistung beispielsweise einer Wiese durch

eine über technische Infrastrukturen vermittelte Versickerung zu ersetzen. Ein Vorteil des Ansatzes besteht darin, dass Marktpreise des Substitutes für die Bewertung verwendet werden können (Bräuer und Marggraf 2004). Ein kritischer Punkt dieser Methode liegt in der Frage, inwiefern eine bestimmte Ökosystemleistung durch das betreffende Ersatzgut tatsächlich vollständig zu substituieren ist, d. h., ob der Nutzen annähernd derselbe bleibt – denn der Gesamtwert einer Wiese oder einer Flussaue liegt nicht allein in der Versickerungs- oder Wasserrückhaltewirkung, sondern beispielsweise auch in der Bewahrung der biologischen Vielfalt und in der Bereitstellung von Erholungsleistungen.

Bei der monetären Bewertung der näher untersuchten regulierenden Ökosystemleistungen „Regulation von Kohlendioxid und anderen Treibhausgasen“ sowie „Regulation des Stickstoffkreislaufs“ wird hier der Vermeidungskostenansatz verwendet. Diese Auswahl wurde getroffen, um eine größtmögliche methodische Kohärenz der in den drei untersuchten Ökosystemleistungskategorien ermittelten monetären Werte zu erreichen.

5.1.1.3 Kulturelle Ökosystemleistungen

Priska Weller, Julian Sagebiel und Sandra Rajmis

Kulturelle Ökosystemleistungen sind im Allgemeinen keine Güter, die auf Märkten gehandelt werden. Deshalb haben sie keinen Preis, der für ihre Bewertung herangezogen werden könnte. Daher werden zur Bewertung von kulturellen Ökosystemleistungen mit Hilfe von Befragungen offenbarte bzw. geäußerte Präferenzen erhoben. Offenbarte Präferenzen werden u. a. über Marktpreise und Reisekosten erfasst. Geäußerte Präferenzen werden zum Beispiel durch Kontingente Bewertungen sowie Auswahl-experimente („Choice-Experimente“) erhoben, in denen eine repräsentativ ausgewählte Stichprobengruppe anhand von strukturierten Interviews befragt wird. Daraus werden Zahlungsbereitschaften (ZB) abgeleitet.

Choice-Experimente sind eine mittlerweile etablierte Methode zur Bewertung von Landschafts- und Landnutzungsänderungen (van Zanten et al. 2014). Die Methode eignet sich vor allem, weil einzelne Ökosystemleistungen individuell bewertet werden können. So kann beispielsweise eine individuelle Zahlungsbereitschaft für einen höheren Waldanteil an der Landschaft einer Zahlungsbereitschaft für einen geringeren Maisanteil gegenübergestellt werden. Weiterhin erlaubt die Methode, aggregierte Zahlungsbereitschaften für Maßnahmenbündel zu berechnen, die sich auf mehrere Ökosystemleistungen gleichzeitig auswirken.

Choice-Experimente sind meist in einen größeren Fragebogen eingebettet, in dem z. B. auch soziodemographische Merkmale abgefragt werden, die später zur Auswertung des Choice-Experiments herangezogen werden können. Beispielsweise kann dadurch die Auswertung auf eine bestimmte Altersgruppe oder auf eine bestimmte Befragungsregion fokussiert werden. Im Choice-Experiment entscheiden sich die Befragten wiederholt

zwischen verschiedenen Landnutzungsszenarien. Die Szenarien werden durch verschiedene Merkmale oder Attribute, die die Landnutzung beschreiben, dargestellt und unterscheiden sich in den Ausprägungen der Merkmale. Nimmt man ein Preismerkmal hinzu, kann man aus dem Abwägungsverhältnis zwischen einer zusätzlichen Einheit des Landschaftsmerkmals und einer zusätzlichen Preiseinheit Zahlungsbereitschaften berechnen. Bei einer Verbesserung eines Merkmals um eine Einheit ist der Befragte bereit, einen bestimmten Eurobetrag zu zahlen, ohne dass er besser oder schlechter gestellt wird – das Nutzenniveau bleibt konstant. Die einzelnen Befragten bekommen in der Regel zwischen vier und zwölf solcher Entscheidungssituationen vorgelegt, um eine hohe Anzahl an Beobachtungen zu erzielen. Die Zusammenstellung der Merkmalsausprägungen im Choice-Experiment basiert auf einem experimentellen Design. Ein gutes experimentelles Design lässt eine unabhängige Schätzung des Einflusses einzelner Merkmale auf die Entscheidung zu.

Mit Regressionsverfahren, insbesondere statistischen Antwortmodellen, können die Ergebnisse der Bevölkerungsbefragung ausgewertet werden. In der Literatur wird häufig das multinominale Logit-Modell genutzt. Dieses geht davon aus, dass die Präferenzen der Befragten stets homogen sind. Um realitätsnähere heterogene Präferenzen zu berücksichtigen, wurden in den letzten 20 Jahren Erweiterungen des Logit-Modells entwickelt.

Datenerhebung

Zur Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen der Landschaft wurde im Frühjahr 2013 eine große deutschlandweite Bevölkerungsbefragung durchgeführt. Die Befragten wurden aus der Adressdatei eines Befragungsinstituts gezogen. Quotiert wurde nach den Merkmalen Alter, Geschlecht, Bundesland, gefiltert nach privater Internetnutzung. Die Antwortrate betrug ca. 30 % der kontaktierten Panel-Teilnehmer, 8800 Fragebögen wurden vollständig beantwortet. Die Stichprobe ist bezüglich der für die Quotierung ausgewählten Merkmale weitgehend repräsentativ für die Gesamtbevölkerung Deutschlands. Einkommen und Bildungsstand der Befragten sind jedoch etwas überdurchschnittlich.

Für die Online-Befragung wurde ein Fragebogen mit sechs unterschiedlichen Versionen des Choice-Experiments erstellt. Die Befragten wurden zufällig auf die sechs verschiedenen Choice-Experiment-Versionen verteilt. Der restliche Fragebogen war bei allen Befragten identisch. Im Choice-Experiment gab es die drei unterschiedlichen Themenschwerpunkte „Wald“, „landwirtschaftlich genutzte Landschaft“ und „Landschaft allgemein (ohne besonderen forst- oder landwirtschaftlichen Schwerpunkt)“, jeweils unterteilt in mehrere Merkmale. Pro Thema gab es jeweils zwei Fragebogenversionen. Vor dem Choice-Experiment wurden Fragen zur Landschaftsnutzung der Befragten (Freizeitnutzung der Umgebung) gestellt sowie eine Einschätzung des jeweiligen aktuellen Zustands der wohnortnahen Landschaft erbeten. Nach dem Choice-Experiment wurden Landschaftspräferenzen und Einstellungen zu Landnutzung erfragt. Am Ende des Fragebogens wurden soziodemographische Merkmale der Befragten erhoben. Zuletzt wurden die Befragten gebeten, auf einer eingeblendeten Landkarte ihren Wohnort zu markieren, um bei der Auswertung des Choice-Experiments die

Wenn nur die folgenden Möglichkeiten für die Entwicklung der Landschaft im Umkreis von bis zu 15 Kilometern um den Ort, an dem Sie wohnen, zur Verfügung stünden, welche würden Sie wählen?
Wenn Sie in einer großen Stadt wohnen, denken Sie bitte an die Umgebung dieser Stadt.







	Landschaft A	Landschaft B	Landschaft C
 Anteil Wald an der Landschaft	10 % niedriger	10 % höher	Wie heute
 Größe einzelner Felder und Waldstücke	Halb so groß	Doppelt so groß	Wie heute
 Waldflächen mit Unterwuchs	Halb so viele	Doppelt so viele	Wie heute
 Nadelbaumanteil	30 % Nadelbaumanteil	70 % Nadelbaumanteil	Wie heute
 Erntealter der Wälder	20 Jahre später ernten	30 Jahre später ernten	Wie heute
 Finanzieller Jahresbeitrag zum Landschaftsfonds	25 €	80 €	0 €
Ich wähle...	O	O	O

Abb. 5.3 Beispiel für eine Choice-Karte

individuelle Landschaftsumgebung einzubeziehen. Vor der Durchführung der Interviews wurde der Fragebogen in Fokusgruppengesprächen geprüft, indem er Personen aus verschiedenen Alters-, Bildungs- und Berufsgruppen vorgelegt und auf Verständlichkeit und Relevanz getestet wurde.

Das Choice-Experiment war so strukturiert, dass mehrere Landschaftsmerkmale mit verschiedenen Ausprägungen spaltenweise zu „Landschaften“ kombiniert und den Befragten zur Auswahl gegeben wurden. Die Landschaftsmerkmale wurden bei der Erstellung der verschiedenen Auswahlkarten beibehalten, die Ausprägungen aber verändert, sodass sich pro Befragtem nacheinander neun unterschiedliche Auswahlentscheidungen ergaben. Die Befragten wurden gebeten, aus den jeweils drei vorgeschlagenen „Landschaften“ auf jeder Auswahlkarte die Landschaft A, B oder C auszuwählen (siehe Abb. 5.3). Diese Auswahl sollte in Bezug auf einen Umkreis von ca. 15 km um den jeweiligen individuellen Wohnort getroffen werden. Das Choice-Experiment in jeder Fragebogenversion bestand aus fünf Landschaftsmerkmalen und zusätzlich einem Preismerkmal zur Ermittlung der individuellen Zahlungsbereitschaft. Dieses Preismerkmal wurde konkret als „Finanzieller Jahresbeitrag zum Landschaftsfonds“ ausgestaltet. Zwei der fünf Landschaftsmerkmale waren aus methodischen Gründen in allen sechs Fragebogenversionen gleich, ebenso das Preismerkmal. Die verbleibenden drei Merkmale definierten die unterschiedlichen Themenschwerpunkte und unterschieden sich in den Versionen. Die Reihenfolge, in der die Merkmale visuell nacheinander präsentiert wurden, war immer identisch, weiterhin war die dritte präsentierte „Landschaft C“ immer die sogenannte Status quo-Alternative, in der sich nichts zum heutigen Zustand ändert. Alle Merkmale wurden im Fragebogen mit kleinen Piktogrammen illustriert, um die Unterscheidung zu erleichtern. Zusätzlich wurde jedes Merkmal mit einem kurzen Text erläutert (20 bis 30 Wörter), den die Befragten mit Hilfe eines Info-Buttons jederzeit während des Choice-Experiments aufrufen konnten. Abb. 5.3 ist

ein Beispiel für eine Auswahlkarte, wie sie für die Befragten auf dem Bildschirm sichtbar war.

Der nachfolgende Abschnitt befasst sich mit der Erläuterung der beiden Themenschwerpunkte „Wald“ und „Landwirtschaft“. In allen Fragebogenversionen waren die Merkmale „Anteil Wald an der Landschaft“ und „Größe einzelner Felder und Waldstücke“ sowie das Preismerkmal „Finanzieller Jahresbeitrag zum Landschaftsfonds“ enthalten. Im Themenschwerpunkt „Wald“ kamen die Merkmale „Waldflächen mit Unterwuchs“, „Nadelbaumanteil“ und „Erntealter der Wälder“ (Version 1) bzw. „Artenvielfalt im Wald“, „Anteil ungenutzter Waldflächen“ und „Anteil von Bäumen aus anderen Ländern“ (Version 2) hinzu. Im Themenschwerpunkt „Landwirtschaft“ wurden die Merkmale „Landwirtschaftliche Flächen mit hohem Naturwert“, „Heckenanteil an Acker- und Wiesenrändern“ und „Flaschenverbrauch“ (Version 3) bzw. „Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen“, „Maisanteil“ und „Anteil von Wiesen und Weiden“ (Version 4) zusätzlich aufgenommen. Manche der Merkmale haben Entsprechungen in den Fragebogenversionen zu den anderen Landschaftstypen, z. B. Artenvielfalt im Wald und Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen (Tab. 5.1).

5.1.2 Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen

Jesko Hirschfeld und Julian Sagebiel

5.1.2.1 Bereitstellende Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen

Jesko Hirschfeld

Die alternativen Strategien für eine nachhaltige Landnutzung mit den unterschiedlichen Fokussierungen auf Klimaschutz, Erzeugung von Biomasse und Umwelt- und Naturschutz haben Auswirkungen auf die durch die Landwirtschaft bereitstellbaren Mengen an Nahrungsmitteln und Biomasse. Die nachfolgend dargestellten Auswirkungen der unterschiedlichen Rahmensetzungen auf diese bereitstellenden Ökosystemleistungen sind mit Hilfe des RAUMIS-Modells abgebildet worden (vgl. Kap. 4). Alle drei untersuchten Strategien bewirken eine Reduzierung der Produktion von Nahrungsmitteln und einen Zuwachs an Biomasseproduktion jeweils unterschiedlicher Biomassearten (je nach Strategie Holz, Paludikulturen, Energiemais, alternative Energiepflanzen oder Grünland).

Für die ökonomische Bewertung dieser Produktionswirkungen stellt RAUMIS die regionale „Nettowertschöpfung zu Faktorkosten“ als Sektoreinkommen bereit. Die Differenzen zwischen der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung bei Umsetzung der jeweiligen Strategie und der Nettowertschöpfung in der Referenzprojektion 2030 werden hier als gesellschaftliche Kosten der jeweiligen Strategien interpretiert und in Tab. 5.5 in die erweiterte ökonomische Gesamtbewertung der Strategien einbezogen.

Tab. 5.1 Merkmale und ihre Ausprägungen. (Quelle: J. Hirschfeld, P. Weller, J. Sagebiel, S. Rajmis, P. Elsasser)

Fragebogenversion	Merkmale	Ausprägungen (Basis: wie heute)
Alle	Anteil Wald an der Landschaft	10 % niedriger, 10 % höher
	Größe einzelner Felder und Waldstücke	Halb so groß, Doppelt so groß
	Finanzieller Jahresbeitrag zum Landschaftsfonds (€/a)	0, 10, 25, 50, 80, 110, 160
Version 1	Waldflächen mit Unterwuchs	Halb so viele, doppelt so viele
	Nadelbaumanteil	30 % Nadelbaumanteil, 70 % Nadelbaumanteil
	Erntealter der Wälder	20 Jahre später ernten, 30 Jahre später ernten
Version 2	Artenvielfalt im Wald	Leicht erhöhen (85 Punkte), Deutlich erhöhen (105 Punkte)
	Anteil ungenutzter Waldflächen	0 % der Waldflächen, 10 % der Waldflächen
	Anteil von Bäumen aus anderen Ländern	Halb so hoch, Doppelt so hoch
Version 3	Landwirtschaftliche Flächen mit hohem Naturwert	Anteil verdoppeln, Anteil verdreifachen
	Heckenanteil an Acker- und Wiesenrändern	50 %, 90 %
	Flächenverbrauch	Flächenverbrauch halbieren, Flächenverbrauch stoppen
Version 4	Artenvielfalt auf landwirtschaftlichen Flächen	Leicht erhöhen (85 Punkte), Deutlich erhöhen (105 Punkte)
	Maisanteil	Max. 30 % der Ackerfläche, Max. 70 % der Ackerfläche
	Anteil von Wiesen und Weiden	25 % Wiesen und Weiden, 50 % Wiesen und Weiden

Da es für die Bevölkerung nicht trivial ist Artenvielfalt zu bewerten, wurde ein Indikator mit einer Punkteskala verwendet (Artenvielfalt: 85 Punkte, 105 Punkte), der dies erleichtern sollte. Die Bundesregierung hat 2002 in der Nachhaltigkeitsstrategie einen Indikator für „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ entwickelt, der über die Zählung relevanter Vogelarten die Artenvielfalt in sechs verschiedenen Landschaftstypen misst, da diese Vogelarten gleichzeitig Auskunft über das Vorhandensein anderer Tier- und Pflanzenarten geben (Bundesregierung 2002)

Zu beachten ist dabei, dass es sich hierbei um eine Bewertung aus gesellschaftlicher Perspektive handelt. Aus betrieblicher Perspektive sind noch die Transferzahlungen zu berücksichtigen, die entsprechend der Ausgestaltung der Szenarien vorgesehen sind – wie beispielsweise Prämien für die Mitigationsleistungen. Dadurch fällt die ökonomische Bewertung aus gesellschaftlicher und aus betrieblicher Perspektive auseinander. Insbesondere die Bioenergiestrategie ist unter Einschluss der Mitigationsprämien aus sektoraler Sicht (betriebswirtschaftlich) sehr vorteilhaft.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht ergeben sich bei konventioneller ökonomischer Bewertung für alle drei Strategien auf der Betrachtungsdimension der bereitstellenden Leistungen negative Effekte – diese sind bei der Bioenergiestrategie am geringsten (–141 Mio. € gegenüber –1,4 Mrd. € bei der Natur- und Umweltschutzstrategie und –1,7 Mrd. €/Jahr bei der Klimaschutzstrategie). Für die erweiterte ökonomische Gesamtbewertung der Strategien müssen jedoch neben diesen ökonomischen Effekten im engeren Sinne auch die Effekte auf die regulierenden und kulturellen Ökosystemleistungen einbezogen werden (vgl. dazu die nachfolgenden Abschnitte und Tab. 5.5).

5.1.2.2 Regulierende Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen

Jesko Hirschfeld und Julian Sagebiel

Zur Erhebung der Kosten der Vermeidung von Stickstoff- und THG-Emissionen wurde eine umfangreiche Recherche durchgeführt, in deren Zuge vorliegende wissenschaftliche Studien, Veröffentlichungen von Verbänden und Umweltbehörden sowie technische Planungsdaten mit Kostenansätzen ausgewertet wurden. Auf dieser Grundlage wurden Spannbreiten für die jeweiligen Vermeidungskosten ermittelt, die (vgl. Abschn. 5.1.4) in die monetäre Gesamtbewertung der unterschiedlichen Landnutzungsstrategien einbezogen werden.

Klimaschutz ist der Bevölkerung sehr wichtig. Nach einer aktuellen repräsentativen Umfrage des Emnid Instituts (AEE 2015) befürworten 93 % der deutschen Bevölkerung den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien – und dies, obwohl sie aktuell bereits erhebliche Kosten der Förderung dieses Technologiewechsels tragen. 82 € pro vermiedene Tonne CO₂ (insgesamt 7,6 Mrd. €) wurden im Jahr 2009 über das Erneuerbare-Energien-Gesetz auf die privaten Haushalte umgelegt¹ – ein Betrag, der in den Folgejahren noch weiter gestiegen ist. Die Ergebnisse der Emnid-Umfrage aus dem Jahr 2015 legen den Schluss nahe, dass die Obergrenze der Zahlungsbereitschaft zur Vermeidung THG-Emissionen trotzdem noch nicht erreicht ist.

Eine Metastudie im Auftrag des Umweltbundesamtes (2012) wertete eine Vielzahl von Studien zur Abbildung der Kosten des Klimawandels und der Vermeidung von Treibhausgasen aus und erstellte eine Übersicht zu den Spannbreiten der Kostenwerte. Dabei

¹Berechnungen von J. Hirschfeld und J. Sagebiel auf Grundlage von ISI, GWS, IZES, DIW (2011).

ergaben sich aktuelle Kosten zwischen 40 und 120 €/t CO₂, mittelfristig (2030) zwischen 70 und 215 € und längerfristig (2050) zwischen 130 und 390 €/t CO₂ (vgl. Schwermer et al. 2012). Wille et al. (2012) ermittelten für 2010 durchschnittliche Vermeidungskosten von 77 €/t (mit einer Spannbreite von 44 bis 135 €). Vor dem Hintergrund dieser Studien zu Schadens- und Vermeidungskosten und der Maßgabe, eine vorsichtige Schätzung vorzunehmen, empfahl das Umweltbundesamt, den Wert von 80 €/t CO₂ als „Best-Practice-Kostensatz“ zu verwenden (vgl. Umweltbundesamt 2012, S. 5). Dieser Empfehlung sind wir in den in Abschn. 5.1.4 vorgenommenen Berechnungen der Kosten und Nutzen der untersuchten Landnutzungsstrategien für den mittleren Bewertungsansatz gefolgt. Als Mindestwert zur monetären Bewertung wird der Durchschnittswert des Preises für CO₂-Zertifikate auf dem europäischen Emissionshandelsmarkt in den Jahren 2010 bis 2015 (8 € pro Tonne CO₂) und als Obergrenze der vom Umweltbundesamt (2012, S. 5) empfohlene Wert von 120 € pro Tonne CO₂ angesetzt.²

Bei der Bewertung der Strategien sind neben den direkten Klimaeffekten (z. B. Kohlenstofffestlegung durch Wiedervernässung von Mooren oder durch C-Speicherung in Holzbiomasse bei Aufforstung) auch die indirekten Effekte zu berücksichtigen, die durch die Umsetzung der jeweiligen Strategien ausgelöst werden. So führen Aufforstungsmaßnahmen, die Ausweitung des Anbaus von Energiepflanzen oder Flächenstilllegungen zu einer Reduktion der für den Anbau von Nahrungsmitteln zur Verfügung stehenden Agrarflächen in Deutschland. Bleibt die Nachfrage nach Nahrungsmitteln derweil gleich, müssen mehr Nahrungsmittel importiert werden und führen zu einer Ausweitung der Flächennutzung durch die Landwirtschaft in anderen Ländern, die Nahrungsmittel nach Deutschland exportieren. Die Klimaeffekte dieser indirekten Landnutzungsänderungen müssen bei ganzheitlicher Betrachtung in die Bewertung der Strategien einbezogen werden.

Ein weiterer indirekter Effekt entsteht bei einer Reduzierung des Einsatzes von Mineraldünger: Neben dem direkten Effekt, dass von den gedüngten Flächen weniger Treibhausgase emittiert werden, gehen die Treibhaus-Emissionen indirekt noch weiter

²In Abschn. 6.1 werden zudem Bewertungsvarianten anhand derzeitiger Preise für CO₂-Zertifikate auf dem europäischen Emissionshandelsmarkt gerechnet und erläutert, um zusätzlich den privatnützigen Aspekt der Senkenleistung des Waldes abzubilden. Mittlerweile (im Jahr 2020) hat sich der europäische Zertifikatspreis bei circa 25 € pro Tonne CO₂-Äquivalente eingependelt und das Umweltbundesamt empfiehlt einen globalen Schadenskostensatz von 180 € pro Tonne CO₂-Äquivalent (Edenhofer et al. 2019; Umweltbundesamt 2019). Wir sind in dieser Veröffentlichung bei den Werten aus den Jahren 2010 bis 2015 geblieben, um die zur Zeit der Befragung herrschenden Marktbedingungen und Werthaltungen durch die Bevölkerung konsistent abzubilden. Aktuell hat sich die Sensibilität gegenüber dem Thema Klimawandel und CO₂-Emissionen deutlich erhöht – damit mutmaßlich auch die Wertschätzung und Zahlungsbereitschaft zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen. Eine Berücksichtigung dieser aktuellen Entwicklungen würde den Wert der Treibhausgasemissionsverringerungen der hier untersuchten Strategien weiter erhöhen.

zurück, weil damit zugleich ein Teil der energie- und treibhausgasemissionsintensiven Produktion von Düngemitteln zurückgeht.

In der ökonomischen Gesamtbewertung der Strategien (vgl. Abschn. 5.1.2.4 und Tab. 5.3) werden diese indirekten Effekte einbezogen.

Neben dem Klimaschutz betreibt die Gesellschaft in Deutschland gegenwärtig außerdem einen erheblichen Aufwand, um den ökologischen Zustand der Oberflächengewässer zu verbessern. In 9632 kommunalen Kläranlagen wurden im Jahr 2014 insgesamt gut 8,4 Mrd. m³ Abwasser gereinigt und dabei mehr als 350.000 t Stickstoff eliminiert (vgl. dazu Grünebaum et al. 2006; DWA 2015).³ In einer repräsentativen Umfrage antworteten 61 % der Wassernutzer in Deutschland, der Wasserpreis solle die Umweltauswirkungen des Wassergebrauchs reflektieren (European Commission, Directorate-General for Environment, Flash Eurobarometer 344, „Attitudes of Europeans towards water – related issues“, Mai 2012. Zitiert nach BDEW 2015, S. 129). Dies deutet darauf hin, dass die gegenwärtigen Bemühungen zur Vermeidung von Stickstoffeinträgen in die Gewässer die Präferenzen der Bevölkerung im Hinblick auf den Gewässerschutz zumindest annähernd widerspiegeln. In einer älteren Studie gibt Gren (1995) eine Grenzkostenspannbreite von 3,9 bis 35,1 €/kg N an. Da diese Werte inzwischen über zwanzig Jahre zurückliegen, ist davon auszugehen, dass aufgrund der unterdessen vorgenommenen Investitionen in den Ausbau von Reinigungsstufen der untere Rand dieser Spannbreite nicht mehr realisierbar ist und die aktuell relevanten Grenzkosten daher höher liegen. Darauf deutet auch eine jüngere Studie von Siewert (2010) hin, die für einen weiteren Ausbau der Kläranlagen im deutschen Teil des Oder-Einzugsgebietes Grenzkosten zwischen 15 und 430 €/kg N (Median bei 142 €) berechnet. Und Mutz et al. (2013) beziffern die Kosten der Vermeidung durch die weitere Aufrüstung von Kläranlagen auf Werte zwischen 3 und 50 €/kg zusätzlich eliminierten Stickstoffs.

Da zahlreiche Kommunen trotz dieser z. T. hohen Kosten in die weitere Aufrüstung der Kläranlagentechnik investieren und dies über die Abwassergebühren refinanzieren, könnte auch der obere Bereich dieser Grenzkosten der Vermeidung als Obergrenze der gesellschaftlichen Zahlungsbereitschaft in die Bewertung einbezogen werden. Theoretisch könnte die tatsächliche Zahlungsbereitschaft der Gesellschaft sogar noch höher liegen – in dem Fall nämlich, in dem der durch die 4. Reinigungsstufe erreichte Reinigungsgrad den ökologischen Zielsetzungen der Bevölkerung noch immer nicht genügt.

Zu Validierung dieses Bewertungsansatzes können zum Vergleich Zahlungsbereitschaftsstudien herangezogen werden, die eine repräsentative Stichprobe von Befragten direkt nach ihrer Zahlungsbereitschaft für eine Verbesserung der Gewässerqualität gefragt haben. Meyerhoff et al. (2014) ermitteln verlässlich positive Nutzen-Kosten-Verhältnisse für Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerqualität, deren

³Sie repräsentieren 92,3 % der Einwohnergleichwerte (vgl. Abschn. 6.1).

Vermeidungskosten bei 13 bis 15 €/kg N liegen. Ab Werten von über 20 €/kg N steht es je nach Annahme zu den Unsicherheiten in Frage, ob das Nutzen-Kosten-Verhältnis noch positiv ausfällt.

Im Sinne eines konservativen Bewertungsansatzes, der eine Überbewertung vermeiden möchte, werden zur Bewertung der Stickstoff-Emissionsdifferenzen der verschiedenen Strategien (vgl. Abschn. 5.1.4) die aktuell realisierten Durchschnittskosten der Vermeidung verwendet (6,30 €/kg N), die von den Bürgerinnen und Bürgern akzeptiert sind und über die Abwassergebühren getragen werden. Als Spannbreite der alternativ möglichen Werte wird für die Sensitivitätsanalyse der untere Wert (3 €/kg N) aus der Studie von Mutz et al. (2013) und der obere Wert aus der Studie von Meyerhoff et al. (2014) verwendet, der gerade noch ein positives Nutzen-Kosten-Verhältnis garantiert (15 €/kg N).

Der hier gewählte Ansatz bewegt sich also in einem von den benannten Studien bestätigten Rahmen und kann damit als empirisch gut abgesichert betrachtet werden. Insbesondere kann damit auch mit großer Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich bei dem für die Gesamtbewertung in Abschn. 5.1.2.4 verwendeten Referenzwert von 6,30 €/kg N um eine Überschätzung der gesellschaftlichen Zahlungsbereitschaft zur Verminderung von Stickstoffeinträgen in die Oberflächengewässer, sondern eher um eine Untergrenze handelt. Die Randwerte der hier herausgearbeiteten Spannbreite werden in Abschn. 5.1.2.4 jedoch zur Einordnung ergänzend berechnet.

5.1.2.3 Kulturelle Ökosystemleistungen landwirtschaftlicher Landnutzungen

Julian Sagebiel und Jesko Hirschfeld

Änderungen der kulturellen Ökosystemleistungen werden mit Hilfe von Wohlfahrtsänderungen, die aus dem landwirtschaftlichen Teil des Choice-Experiments berechnet wurden, bewertet. In einem ersten Schritt wird die funktionale Form der Nutzenfunktion spezifiziert. Die einfachste Spezifikation ist eine lineare Form, d. h., eine Erhöhung eines Attributes um eine Einheit erbringt immer denselben Nutzenszuwachs, unabhängig von der Ausgangssituation. Da von einem linearen Zusammenhang nicht ausgegangen werden kann, ist eine nichtlineare Spezifikation erforderlich. Eine Möglichkeit, nicht-lineare Effekte in die Nutzenfunktion zu integrieren, ist die Erstellung von Dummy-Variablen. Dabei wird für jede Ausprägung eines Attributes eine neue Variable erstellt, die den Wert 1 annimmt, wenn die Ausprägung gegeben ist, und sonst null ist. Das ermöglicht, den Einfluss jeder Ausprägung auf den Nutzen separat zu schätzen. Der Vorteil bei dieser Spezifikation liegt vor allem darin, keine weiteren Annahmen über die funktionale Form treffen zu müssen. Allerdings ist es dann nicht möglich, konkrete Aussagen über den Effekt von Ausprägungen zu treffen, die nicht im Choice-Experiment integriert wurden. Falls das notwendig ist, muss auf parametrische Funktionen zurückgegriffen werden. Für die Modellierung der landwirtschaftlichen Landnutzung ist die parametrische Darstellung der Nichtlinearität erforderlich, da die in Kap. 4 erarbeiteten

Strategien nicht durchgehend den im Choice-Experiment angebotenen Ausprägungen entsprechen. Daher wurden für Attribute, deren Ausprägungen ein prozentuales Maß darstellen (Maisanteil an der Ackerfläche, Grünlandanteil an der landwirtschaftlich genutzten Fläche, Waldanteil an der Gesamtfläche), eine quadratische Nutzenfunktion unterstellt, sodass der Nutzen bei steigendem Flächenanteil des jeweiligen Attributes bis zu einem optimalen Wert steigt, und nach Erreichen dieses Schwellenwertes wieder abnimmt. Beispielsweise ist bei einem geringen Grünlandanteil eine Erhöhung nutzensteigernd, bei einem sehr hohen Grünlandanteil allerdings nutzenmindernd. Die übrigen zwei Attribute – Größe von Wald- und Feldstücken und Vogelindikator – wurden Dummy-kodiert. Dabei wurde der Status quo als Referenzsituation genommen, sodass die Werte mit positivem Vorzeichen den Eurobetrag darstellen, den der Befragte durchschnittlich bereit ist, für die Veränderung zu zahlen, ausgehend von seiner heutigen Situation. Beispielsweise wäre ein Befragter bereit, durchschnittlich 22 € zu zahlen, wenn der Vogelindikator in seinem Wohnumkreis auf 85 Punkte erhöht wird, und 53 € für eine Erhöhung auf 105 Punkte. Ein negatives Vorzeichen der Zahlungsbereitschaft entspricht dem Betrag, den der Befragte zahlen würde, um von einer hypothetischen Verschlechterung zurück in den Status quo zu wechseln. Beispielsweise liegt die Zahlungsbereitschaft für eine Verdopplung der derzeitigen Feldflächengrößen bei minus 30 €. Würde man also die Größe der Wald- und Feldflächen verdoppeln, würde er 30 € zu zahlen bereit sein, um wieder in seinen Ausgangszustand zu gelangen. Bei den Attributen „Waldanteil“, „Maisanteil“ und „Grünlandanteil“ können die marginalen Zahlungsbereitschaften bei deutlich höheren oder niedrigeren Status quo-Anteilen unterschiedlich sein. Die marginale Zahlungsbereitschaft für 10 % mehr Waldanteil liegt bei einem Status quo-Waldanteil von unter 5 % zwischen 90 und 100 €, bei einem Waldanteil von 80 % dagegen bei nahezu null.

Für eine Halbierung sowie für eine Verdopplung der durchschnittlichen Größe von Feldern und Waldstücken bestehen negative Zahlungsbereitschaften von 34 bzw. 30 €. Im Durchschnitt möchten Befragte bei diesem Attribut lieber keine Veränderung des heutigen Zustandes.

Eine Erhöhung der Biodiversität, gemessen mit Hilfe des Vogelindikators bezogen auf landwirtschaftliche Flächen, wird als positiv wahrgenommen. Der aktuelle deutschlandweite Wert liegt bei 65 Punkten. Eine Erhöhung auf 85 Punkte ist den Befragten im Durchschnitt 22 € wert, eine Erhöhung auf 105 Punkte 53 €. Die Zahlungsbereitschaft für eine Erhöhung des Maisanteils hängt vom Status quo ab. In unserem Sample haben die Befragten im Durchschnitt einen Maisanteil von 15 %. An dieser Stelle besteht eine geringe Zahlungsbereitschaft für eine Erhöhung des Maisanteils (Abb. 5.4). Bei ca. 20 % liegt der optimale Maisanteil – hier liegt die Zahlungsbereitschaft für eine Erhöhung bei null. Bei Anteilen oberhalb des Optimums besteht eine Zahlungsbereitschaft für eine Verringerung. Je höher der Status quo-Maisanteil des Befragten, desto höher ist seine Zahlungsbereitschaft für eine 10-%ige Verringerung. Bei 50 % Maisanteil wird eine 10-%ige Verringerung mit unter 20 € bewertet, bei 80 % sind es knapp 40 €.

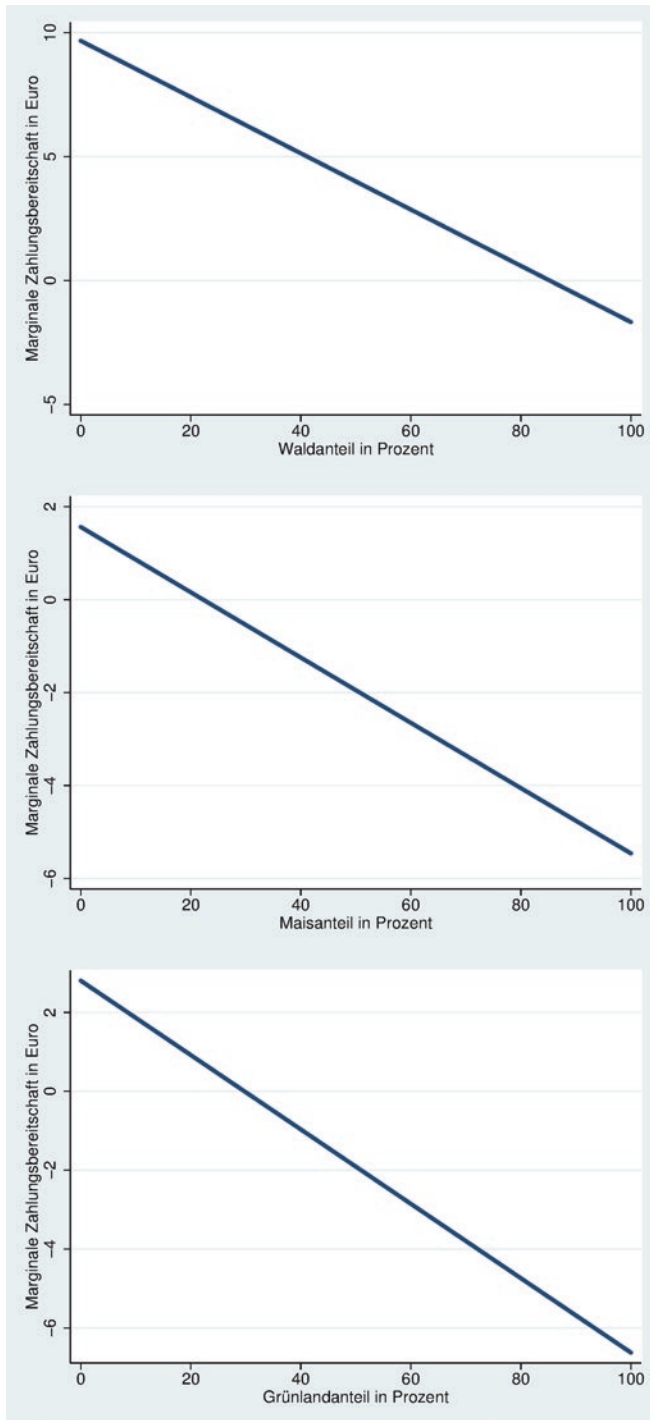


Abb. 5.4 Marginale Zahlungsbereitschaften in Abhängigkeit vom Status quo für Waldanteil (1), Maisanteil (2) und Grünlandanteil (3)

Eine Erhöhung des Anteils von Wiesen und Weiden auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wird überwiegend in Regionen mit geringem Grünlandanteil positiv bewertet. Der heutige Wert liegt in der Umgebung der Befragten bei 17 % und damit deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt von 28 % (Statistisches Bundesamt). Eine Erhöhung des Grünlandanteils wird an dieser Stelle als positiv wahrgenommen, was sich in einer positiven Zahlungsbereitschaft von 14 € pro 10 % mehr Grünland ausdrückt. Wie in Abb. 5.4 ersichtlich, ändert sich das Vorzeichen der marginalen Zahlungsbereitschaft jedoch bei ca. 22 %. Eine Erhöhung auf über 30 % ist von den Befragten offenbar nicht gewollt. Tab. 5.2 gibt die durchschnittlichen Zahlungsbereitschaften für die Attribute wieder und Abb. 5.4 zeigt die marginale Zahlungsbereitschaft für Waldanteil, Maisanteil und Grünlandanteil in Abhängigkeit zum Status quo-Anteil graslich.

Zusammengenommen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Landnutzungsänderungen – v. a. solche, die den Waldanteil und die Biodiversität erhöhen – zusätzlichen Nutzen in nicht zu vernachlässigender Höhe generieren könnten, während Landnutzungsänderungen, die den Waldanteil reduzieren und den Maisanteil erhöhen, Nutzeneinbußen verursachen, die den zusätzlichen landwirtschaftlichen Erträgen gegenüberstehen. In Abschn. 5.1.2.4 werden die Nutzen- und Kostenänderungen der kulturellen Ökosystemleistungen für die in Kap. 4 entwickelten Strategien berechnet und den Kosten- und Nutzenänderungen der bereitstellenden und regulierenden Ökosystemleistungen gegenübergestellt.

Tab. 5.2 Zahlungsbereitschaft (ZB) pro Kopf für landwirtschaftliche Merkmale, gemessen am durchschnittlichen Status quo in € (Fragebogenversionen 3 und 4). (Quelle: J. Sagebiel)

Merkmalsausprägung	Zahlungsbereitschaft in € pro Kopf pro Jahr	95 % Konfidenzintervall	
		Unteres Limit	Oberes Limit
Waldanteil an Gesamtfläche (10 % Erhöhung)	75***	66	93
Feldgrößen halbieren	-34***	-46	-20
Feldgrößen verdoppeln	-30***	-46	-17
Vogelindikator für Biodiversität 85 Punkte	22***	11	33
Vogelindikator für Biodiversität 105 Punkte	53***	40	67
Maisanteil auf Ackerfläche (10 % Erhöhung)	5,1	-3,5	14
Grünlandanteil auf landwirtschaftlichen Flächen (10 % Erhöhung)	14*	-1,7	29

*Signifikanzniveau: $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

5.1.2.4 Aggregierte Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Landnutzungsstrategien

Jesko Hirschfeld und Julian Sagebiel

Nachfolgend werden die Gesamtkosten und -nutzen der drei landwirtschaftlichen Strategien berechnet, die in Tab. 5.3 im Hinblick auf die Ausprägungen der jeweiligen Attribute für die landwirtschaftlichen Landnutzungen wiedergegeben sind. Eine analoge Berechnung der waldbezogenen Strategien findet sich in Abschn. 5.1.3.3.

Tab. 5.3 zeigt die aggregierten Bewertungsergebnisse in Bezug auf die untersuchten landwirtschaftlichen Strategien. Zur Bewertung der bereitstellenden Ökosystemleistungen wurden die Ergebnisse der agrarökonomischen Analysen aus Kap. 4, und zur Bewertung der regulierenden Ökosystemleistungen Ergebnisse aus Abschn. 5.1.2.2 genutzt. Zur Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen wurde die sogenannte „Kompensierende Variation“ berechnet. Das ist ein Wohlfahrtsmaß, welches für die jeweilige Strategie die notwendige monetäre Kompensation (z. B. als pauschal ausgezahlte Subvention oder erhobene Steuerzahlung) beschreibt, die notwendig ist, damit die Person weder besser noch schlechter gestellt wird als ohne die gewählte Strategie (Hanley und Barbier 2009, S. 16 ff.).

Hieraus ergibt sich für die auf größtmöglichen Klimaschutz orientierte Strategie im Bereich Landwirtschaft eine über die volljährige Bevölkerung in Deutschland aggregierte Zahlungsbereitschaft von 4 Mrd. €/Jahr. Dabei schlägt vor allem die hohe Wertschätzung einer Erhöhung des Waldanteils und die deutliche Reduzierung der durch die Landwirtschaft verursachten direkten und indirekten THG-Emissionen positiv zu Buche und vermag die betrieblichen Verluste durch Ertragseinbußen und Verringerung der landwirtschaftlich zu nutzenden Fläche mehr als zu kompensieren.

Die auf die Erzeugung von Biomasse zur energetischen Verwertung orientierte Strategie trifft auf eine geringere Zahlungsbereitschaft (0,4 Mrd. €). Auch hier kommt ein starker Klimaschutzeffekt zustande, doch die negativen Effekte durch höhere Nährstoffausträge ins Grundwasser und die Ablehnung von mehr Mais im Landschaftsbild durch die Bevölkerung ab einem Maisanteil von 20 % führen zu einem insgesamt nur leicht positiven Gesamtnutzen dieser Strategie. Dies gilt allerdings nur unter der Annahme, dass durch eine weitere Zunahme des Maisanteils die Biodiversität auf den landwirtschaftlichen Flächen nicht noch weiter beeinträchtigt wird. Sollte der Vogelindikator sich durch eine Zunahme von Maisflächen dagegen weiter verschlechtern, würde die Strategie „Bioenergie“ in eine eindeutig negative Gesamtbewertung abrutschen.

Ebenfalls sehr positiv bewerteten die Bürger die umwelt- und naturschutzorientierte Strategie. Für die Umsetzung dieser Strategie besteht nach den Ergebnissen der Befragungsstudie eine Zahlungsbereitschaft von jährlich 2,7 Mrd. €. Diese Strategie punktet vor allem durch ihren positiven Effekt auf die Biodiversität auf Agrarflächen, was durch eine 10-%ige Flächenstilllegung und eine Reduktion des Dünge- und

Tab. 5.3 Ökonomische Gesamtbewertung der Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“ und „Umwelt- und Naturschutz“ für den Landwirtschaftssektor. (Quelle: J. Hirschfeld und J. Sagebiel)

Strategien		Klimaschutz	Biomasse	Umwelt- und Naturschutz
Effekte im Vergleich zur Referenzprojektion	Einheit			
<i>Bereitstellende Ökosystemleistungen</i>				
Änderung der landwirtschaftlichen Nettowertschöpfung zu Faktorkosten	Mio. €	-1.715	-141	-1.393
<i>Regulierende Ökosystemleistungen</i>				
Änderung Stickstoffges.-Bilanz	Mio. t	-0,051	+0,041	-0,051
Änderung Stickstoffges.-Austräge ins Sickerwasser	Mio. t	-0,025	+0,033	-0,049
Geldwerter Nutzen der Veränderung der Stickstoffausträge	Mio. €	160 76 ; 509	-206 -98 ; -653	306 146 ; 971
Änderung der THG-Emissionen ohne indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC) in Mio. t CO ₂ -Äqu.	Mio. t	-15,3	-18,1	-10,1
Änderung THG-Emissionen durch indirekte Landnutzungsänderungen in Mio. t CO ₂ -Äqu.	Mio. t	+3,5	+3,6	+4,2
Gesamte Änderung der THG-Emissionen (inkl. iLUC) in Mio. t CO ₂ -Äqu.	Mio. t	-11,8	-14,5	-5,8
Geldwerter Nutzen der Verringerung der THG-Emissionen	Mio. €	944 94 ; 1.416	1.160 116 ; 1.740	464 46 ; 696
<i>kulturelle Ökosystemleistungen</i>				
Landschaftsbild Waldanteil	%	+10 %	konstant	konstant
Zahlungsbereitschaft Landschaftsbild (Wald)	Mio. €	4.635 4.079 ; 5.747	0	0
Biodiversität (Vogelindikator)	Pkte.	konstant	konstant	deutlich erhöht
Zahlungsbereitschaft Biodiversität (Vogelindikator)	Mio. €	0	0	3.275 2.472 ; 4.141
Maisanteil bis zu x % der LF	%	konstant	30 %	konstant
Zahlungsbereitschaft Landschaftsbild (Mais)	Mio. €	0	-375 -1.121 ; 372	0
Ökonomischer Gesamtnutzen pro Jahr	Mio. €	4.024 2.535 ; 5.958	439 -1.244 ; 1.319	2.652 1.271 ; 4.415
Die Effekte der Strategien auf bereitstellende, regulierende und kulturelle Ökosystemleistungen und ihre ökonomische Bewertung, aggregiert über die volljährige Bevölkerung in Deutschland (monetäre Werte grau unterlegt, Spannbreite der monetären Bewertungen jeweils zweite Zeile der Bewertungszellen: Untergrenze; Obergrenze). Eine analoge Berechnung der forstwirtschaftlichen Strategien findet sich in Abschn. 5.1.3.3				

Pflanzenschutzmitteleinsatzes erreicht werden kann. Sehr positiv wird der deutliche Beitrag zur Verringerung der Nitrateinträge ins Grundwasser bewertet. Die Emissionen von Treibhausgasen werden nach den hier getroffenen Annahmen nicht so stark vermindert wie in den beiden anderen Strategien – dies vor allem, weil durch die Flächenstilllegungen und Intensitätsverringering auf deutschen Agrarflächen bei gleichbleibendem Konsum die Importe von Nahrungsmitteln aus dem Ausland dort Landnutzungsänderungen anstoßen könnten, die dort zu mehr THG-Emissionen führen würden. Gleichwohl kommt trotz dieser Gegenrechnung noch ein deutlicher Klimaschutzeffekt zustande: 5,8 Mio. t CO₂-Äqu. können durch diese Strategie vermieden werden.⁴ Würde diese Strategie um eine Aufforstungskomponente ergänzt, könnte ein noch höherer gesamtgesellschaftlicher Nutzen erzielt werden (bis zu etwa 6 Mrd. € jährlich).

Zur Abbildung der Streuung der monetären Bewertungsergebnisse aus der Perspektive unterschiedlicher, extrem geringer oder extrem hoher Wertschätzungen werden in den grauen Zeilen, in denen die monetären Bewertungsergebnisse wiedergegeben werden, jeweils in der zweiten Zeile die Unter- und Obergrenzen der jeweiligen Bewertungen angegeben. Im Fall der Bewertung der Nährstoffausträge ins Grundwasser wird die Untergrenze von 3 €/kg N und eine Obergrenze von 20 €/kg N, bezüglich der Vermeidung von THG-Emissionen eine Spanne von 8 €/t CO₂-Äqu. bis 120 €/t CO₂-Äqu. angesetzt (vgl. dazu Abschn. 5.1.2.2). Bei den kulturellen Ökosystemleistungen werden dafür aus der Zahlungsbereitschaftsstudie die Ober- und Untergrenzen des 95 %-Konfidenzintervalls genutzt, d. h., nur 5 % der Befragten haben eine noch niedrigere oder noch höhere Zahlungsbereitschaft als die Befragten innerhalb dieses Intervalls.

Diese Sensitivitätsanalyse der Gesamtbewertung zeigt die klimaschutzfokussierte sowie die natur- und umweltschutzorientierte Strategie sehr robust im deutlich positiven Bereich, während die Bioenergiestrategie im Fall extremerer Bewertungen sowohl auf eine positive als auch auf eine negative Gesamtbewertung kommen kann. Im Falle einer (hier nicht berücksichtigten) negativen Auswirkung auf die Biodiversität, würde die Bioenergiestrategie in den klar negativen Bereich fallen.

Um die Transparenz der Bewertung zu erhöhen, gibt Tab. 5.3 nicht nur die monetarisierten Werte wieder (in den grau unterlegten Zeilen), sondern auch die physischen Ausgangswerte, auf die die monetären Bewertungen Bezug nehmen. Damit bleibt es den Rezipienten dieser Untersuchung offen, ob sie sich den durch die Autoren ermittelten Spannbreiten der gesellschaftlichen Wertschätzung (übersetzt in monetäre Werte) anschließen möchten – oder aber die verschiedenen Kriterien lieber einer davon unabhängigen eigenen multikriteriellen Bewertung unterziehen wollen.

⁴Im Inland könnten durch eine Umsetzung der Natur- und Umweltschutzstrategie 10,1 Mio. t CO₂-Äqu. vermieden werden.

5.1.3 Ökonomische Bewertung der kulturellen Ökosystemleistungen des Waldes

Priska Weller und Peter Elsasser

5.1.3.1 Ergebnisse zu Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen im Wald

Priska Weller und Peter Elsasser

Zur Bewertung der forstlichen Landnutzung wurden Maßnahmenbündel identifiziert, die die Strategien „Klimaschutz“, „Bioenergie“, „Natur- und Umweltschutz“ und „Klimaanpassung“ sowie die Referenzprojektion konkretisieren (vgl. Abschn. 4.6.1 und 4.6.2). Diese Maßnahmenbündel bestehen aus Einzelmaßnahmen, welche dann, je nach Zielsetzung in unterschiedlicher Ausprägung, im Wald umgesetzt werden. Die Maßnahmen wiederum haben neben den Klimawirkungen und betrieblichen Wirkungen auch Wirkungen auf die kulturellen Ökosystemleistungen des Waldes. Diese sollen mittels Präferenzoffenbarungsmethoden, insbesondere Choice-Experimenten, bewertet werden. Der Fokus liegt auf den kulturellen Ökosystemleistungen des Waldes, insbesondere Naturschutz (Artenvielfalt) und Landschaftsqualität. Dafür werden speziell die in Abschn. 5.1.1.3 erläuterten acht Merkmale des Themenschwerpunkts „Wald“ herangezogen.

Merkmale im Themenschwerpunkt „Wald“

Die Merkmale des Waldes wurden so gewählt, dass sie Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen des Waldes abbilden. Zur Bewertung der Naturschutzleistung des Waldes (d. h. der Beitrag des Waldes zum Naturschutz am Wohnort der Befragten) werden die Artenvielfalt im Wald und der Anteil ungenutzter Waldflächen herangezogen. Zur Bewertung der Artenvielfalt wurde (analog zum Themenfeld „Landwirtschaft“) ein Indikator mit einer Punkteskala verwendet (vgl. Tab. 5.1) (Artenvielfalt: wie heute; 85 Punkte; 105 Punkte). Dieser Indikator wird auch in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (2002) verwendet und misst über die Zählung relevanter Vogelarten die Artenvielfalt in sechs verschiedenen Landschaftstypen, da diese Vogelarten gleichzeitig Auskunft über das Vorhandensein anderer Tier- und Pflanzenarten geben (Bundesregierung 2002). Außerdem wird das Merkmal „Anteil ungenutzter Waldflächen“ zur Bewertung der Naturschutzleistung herangezogen. Dies ist der aktuellen politischen Diskussion geschuldet⁵ sowie der Annahme, dass biologische Prozesse in ungenutzten Wäldern natürlicher ablaufen und dies zu einer naturnäheren Entwicklung führt.

Die Landschaftspflegeleistung des Waldes (d. h. der Einfluss des Waldes auf das Landschaftsbild am Wohnort der Befragten) wird durch die Merkmale „Anteil Wald an

⁵Nach der Nationalen Biodiversitätsstrategie sollen 5 % der deutschen Wälder bis 2020 der „natürlichen Waldentwicklung“ überlassen und dauerhaft aus der Nutzung genommen werden (BMU 2007).

der Landschaft“ sowie „Größe einzelner Felder und Waldstücke“ beschrieben. Weiterhin ist der innere Aufbau des Waldes nutzenrelevant für die Bevölkerung. Dies können mehr oder weniger Waldflächen mit Unterwuchs durch junge Bäume und Sträucher sein wie auch das Alter der Wälder. Des Weiteren kann die Baumartenwahl über den Nadelbaumanteil und den Anteil von Bäumen aus anderen Ländern den Landschaftseindruck stark beeinflussen. Sowohl die Merkmale zum „Äußeren“ des Waldes als auch die zum „Inneren“ des Waldes werden zur Bewertung herangezogen.

Allgemeine Ergebnisse der Befragung

Zusätzlich zu den soziodemographischen Angaben sind in der Befragung Angaben zu Einstellungen und Aktivitäten in der Wohnumgebung erhoben worden. Dabei stellte sich heraus, dass ca. 60 % der Befragten im Schnitt mindestens einmal pro Woche „in ihrer Freizeit in der freien Landschaft“ sind (d. h., Arbeitswege o. Ä. sind hierin nicht enthalten). Die Meisten halten sich dabei in einer Landschaft mit Wald oder mit Wald und Offenland auf, auch Gewässer (Seen, Flüsse) sind beliebt. Dabei finden die Meisten (70 %), dass der Zustand der Landschaft gleich geblieben ist, seit sie dort leben. Jeweils etwa 15 % bemerkten eine Verbesserung oder Verschlechterung.

Im Anschluss an das Choice-Experiment wurde die individuelle Bedeutung der einzelnen Merkmale für die Entscheidung der Befragten mittels fünfstufiger Skala erfragt. Dabei gaben 90 % der Befragten an, der Anteil von Wald an der Landschaft sei ihnen sehr wichtig oder wichtig. 83 % der Befragten finden Artenvielfalt im Wald sehr wichtig oder wichtig. Demgegenüber finden nur 23 % der Befragten den Anteil von Bäumen aus anderen Ländern sehr wichtig oder wichtig. Insgesamt kann man aber aus den Antworten schließen, dass die Fragen und Merkmale im Fragebogen von Relevanz für die Bevölkerung sind.

Zur besseren Einordnung der Befragungsergebnisse wurden die Befragten gebeten, den aktuellen Zustand der Landschaft in ihrer Wohnumgebung in Bezug auf die untersuchten Merkmale einzuschätzen und anhand einer fünfstufigen Skala zu bewerten. Die unterschiedlichen Wahrnehmungen bzw. die durch den Befragter bereitgestellten Ausgangssituationen haben Auswirkungen auf die Befragungsergebnisse, namentlich auch die Zahlungsbereitschaften (siehe dazu Marsh et al. 2011 oder Dominguez-Torreiro und Solino 2011). Da der wahrgenommene Status quo die Grundlage für die Bewertung im Choice-Experiment und die resultierenden Zahlungsbereitschaften ist, ist es wichtig, diese Größen zu betrachten. Dies geschieht unter der Annahme, dass die Befragten ihre Wohnumgebung realistisch einschätzen können. Es wird deutlich, dass die Mehrheit der Befragten zu einer „mittleren“ Einschätzung der meisten Merkmale tendiert, gleichwohl geben 40 % der Befragten an, nach ihrer persönlichen Einschätzung einen sehr hohen oder hohen Waldanteil in ihrer Wohnumgebung zu haben. Weiterhin bemerken 33 % eine sehr hohe oder hohe Artenvielfalt, und 55 % der Befragten geben an, dass nur ein niedriger oder sehr niedriger Anteil der Waldflächen in ihrer Umgebung ungenutzt ist. Der Anteil von Bäumen aus anderen Ländern wird von 83 % der Befragten als niedrig oder sehr niedrig angegeben.

Zusätzlich zu den soziodemographischen Angaben ist bekannt, dass etwa 4 % der Befragten Wald besitzen. Über die Hälfte dieser Personen bewirtschaften ihren Wald selbst. Etwa zwei Drittel besitzen zusätzlich zum Wald noch landwirtschaftliche Flächen. 5 % der Befragten arbeiten in einem Beruf mit Bezug zu Landnutzung (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz/Umweltschutz, Landschaftsplanung, Tourismus) und 12 % der Befragten sind Mitglied in einer Natur- oder Umweltschutzorganisation. Abb. 5.5 zeigt die auf freiwilliger Basis angegebenen Wohnorte der Befragten im Themenschwerpunkt „Wald“, dabei wird zwischen Stichprobe 1 und Stichprobe 2 unterschieden.

Bewertungsergebnisse

Die Modelle werden auf Grundlage des Datensatzes bzw. der beiden Stichproben berechnet und geben Durchschnittswerte über alle Befragten an. Da die Stichproben repräsentativ ausgewählt wurden, gelten die Ergebnisse durchschnittlich für die deutsche

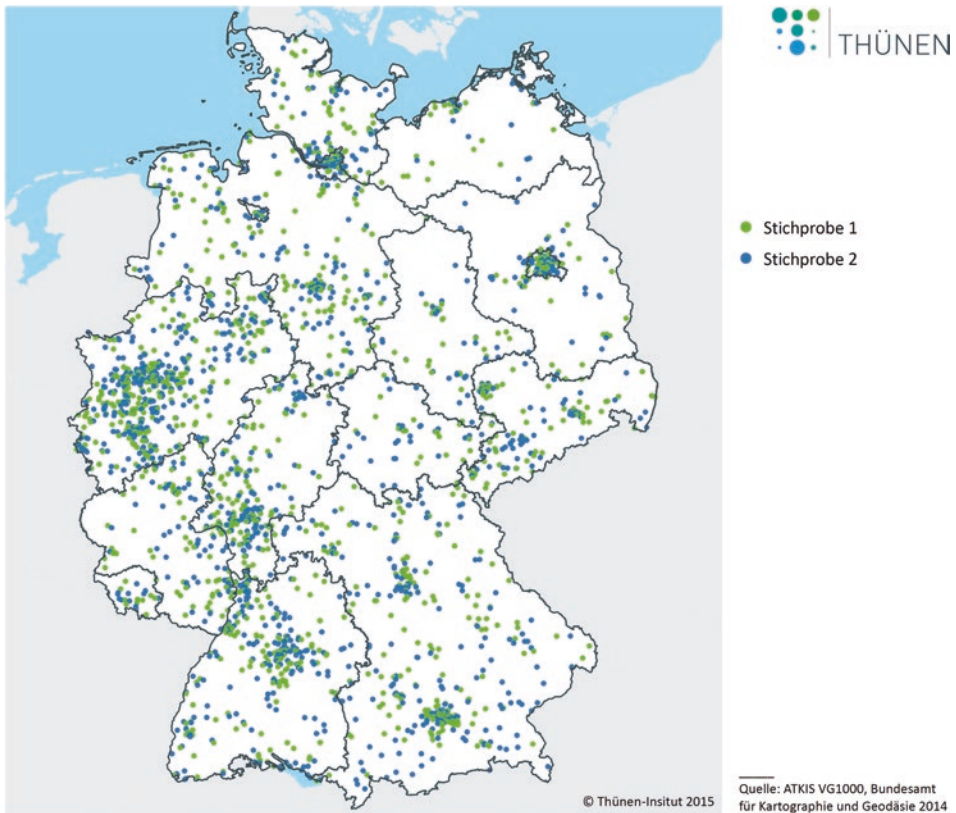


Abb. 5.5 Geografische Verortung der Befragten des Samples „Wald“

Bevölkerung. Für die Merkmale kann nicht automatisch ein linearer Zusammenhang zwischen der Erhöhung eines Merkmals und den Nutzenzuwachs angenommen werden, deshalb wurden die Merkmale als Dummy-Variablen in das Modell integriert. Des Weiteren sehen die zu bewertenden Strategien 10 % mehr Waldanteil an der Landschaft und 10 % ungenutzte Waldflächen vor, und die Ergebnisse der entsprechenden Dummy-Schätzungen können direkt in die Bewertung der Strategien einfließen.

Das verwendete „Conditional logit“-Modell zeigt signifikante Ergebnisse für die meisten Variablen in beiden Wald-Stichproben (vgl. Tab. 5.4). Der Preiskoeffizient ist in beiden Stichproben negativ, was eine sinkende Auswahlwahrscheinlichkeit mit steigendem Preis indiziert. Die alternativenspezifische Konstante ist nicht signifikant, was darauf hinweist, dass die Befragten keine ausdrückliche Präferenz für die Beibehaltung des aktuellen Status quo in ihrer Wohnumgebung haben. Dies schließt aber nicht aus, dass es Präferenzen für die Beibehaltung einzelner Aspekte des Status quo gibt. In beiden Stichproben wird die Verkleinerung des Waldanteils in der Landschaft negativ bewertet, eine Vergrößerung des Waldanteils um 10 % positiv bewertet. Die jeweiligen Werte der Koeffizienten liegen nah beieinander. Bei der Veränderung der Größe einzelner Felder und Waldstücke werden in beiden Stichproben sowohl Vergrößerungen als auch Verkleinerungen negativ bewertet. Dies kann man als Zufriedenheit der Befragten mit der Landschaft in ihrer Wohnumgebung interpretieren.

In Stichprobe 1 hat eine mögliche Halbierung der Menge an Unterwuchs, jungen Bäumen und Sträuchern einen negativen Einfluss auf die Auswahlwahrscheinlichkeit der entsprechenden Landschaftsoption, während eine Verdopplung kein signifikantes Ergebnis zeigt. Den Anteil von Nadelbäumen auf 70 % zu verändern⁶ hat einen negativen Einfluss auf den Nutzen der Befragten, während eine Veränderung auf 30 % nicht signifikant positiv oder negativ bewertet wurde. Hierbei ist der Status quo zu berücksichtigen, von dem aus die Veränderung jeweils vorgenommen wird, da dies dann entsprechend eine Erhöhung oder Reduktion bedeuten kann. Das Erntealter von Wäldern im Durchschnitt um 20 Jahre zu erhöhen, hat einen positiven Einfluss auf die Zahlungsbereitschaft, während die Erhöhung im Durchschnitt um 30 Jahre keinen signifikanten Einfluss hat.

In Stichprobe 2 werden sowohl eine leichte als auch eine deutliche Erhöhung der Artenvielfalt in deutschen Wäldern positiv bewertet. Eine deutliche Erhöhung wird dabei (wie erwartet) stärker positiv bewertet als eine leichte Erhöhung. Den Anteil ungenutzter Waldflächen auf 0 % zu verändern (d. h. zu reduzieren) und folglich die gesamte Waldfläche zu nutzen, wird von den Befragten negativ bewertet. Der Koeffizient für 10 % ungenutzte Waldflächen ist nicht signifikant. Den Anteil von Bäumen aus anderen Ländern zu halbieren sowie zu verdoppeln wird von den Befragten jeweils negativ bewertet. Sowohl eine starke Ausweitung als auch der komplette Verzicht auf den Anbau

⁶Angesichts der derzeitigen Verteilung von Laub- und Nadelbäumen bedeutet dies i. d. R. eine Erhöhung des Nadelbaumanteils (BMEL 2015).

Tab. 5.4 Koeffizienten aus dem Modell für einzelne Waldmerkmale (Fragebogenversionen 1 und 2). (Quelle: P. Weller)

Stichprobe 1	Koeffizient	Teststatistik (z)
Alternativspez. Konstante	0,0717	0,97
Anteil Wald (-10 %)	-0,4529	-9,19
Anteil Wald (+10 %)	0,3571	9,47
Feldgröße (Halbierung)	-0,2555	-5,86
Feldgröße (Verdopplung)	-0,2310	-6,10
Unterwuchs (Halbierung)	-0,3872	-8,17
Unterwuchs (Verdopplung)	-0,0300	-0,72
Nadelbaumanteil (30 %)	-0,0859	-1,88
Nadelbaumanteil (70 %)	-0,7020	-15,23
Erntealter (+20 Jahre)	0,2129	4,18
Erntealter (+30 Jahre)	0,0226	0,49
Preis	-0,0056	-13,24
Stichprobe 2		
Alternativspez. Konstante	0,0941	1,28
Anteil Wald (-10 %)	-0,4354	-8,49
Anteil Wald (+10 %)	0,3115	8,26
Feldgröße (Halbierung)	-0,2550	-5,84
Feldgröße (Verdopplung)	-0,1805	-4,78
Artenvielfalt (leicht erhöhen auf 85 P.)	0,2601	5,60
Artenvielfalt (stark erhöhen auf 105 P.)	0,2967	7,28
Ungenutzte Waldflächen (0 %)	-0,2798	-6,01
Ungenutzte Waldflächen (10 %)	-0,0225	-0,52
Bäume aus anderen Ländern (Halbierung)	-0,1590	-3,38
Bäume aus anderen Ländern (Verdopplung)	-0,8631	-18,15
Preis	-0,0047	-11,46

Hinweis: Statistische Signifikanz (abhängig von z-Wert) wird durch **Fettdruck** angezeigt

solcher Baumarten wäre also nutzenmindernd. Insgesamt sind die Ergebnisse nicht immer linear über die Merkmalsausprägungen verteilt.

Das Netto-Haushaltseinkommen der Befragten wurde testweise ebenfalls in die Liste der Erklärungsvariablen bei der Modellberechnung aufgenommen und somit der Einfluss auf die Präferenzen getestet. Entgegen der ökonomischen Erwartungen war die

Einkommensvariable allerdings in beiden Stichproben nicht signifikant, d. h., der Einfluss des Einkommens auf die Präferenzen der Bevölkerung war nicht eindeutig identifizierbar. Sie wird daher in den weiteren Modellanalysen nicht mehr berücksichtigt.

Zahlungsbereitschaften pro Person für einzelne Waldmerkmale

Die Zahlungsbereitschaftsanalyse betrachtet die gewählten Waldmerkmale im Abwägungsverhältnis gegen Geld. Dabei bezieht sie sich auf Euro, die eine Person pro Jahr zu bezahlen bereit ist. Die errechneten Zahlungsbereitschaften lassen sich für die Betrachtung von Landnutzungsstrategien oder Maßnahmenbündeln aggregieren.

Die Zahlungsbereitschaft der Befragten für Veränderungen einzelner Merkmale des Waldes ergibt sich aus dem Quotienten:

$$- \text{Koeffizient}_{\text{Merkmal}} / \text{Koeffizient}_{\text{Preis}} \quad (5.1)$$

Daher ändern sich die oben dargestellten Signifikanzen und Muster in der daraus abgeleiteten Zahlungsbereitschaftsanalyse nicht (vgl. Tab. 5.5). Die negative Zahlungsbereitschaft, also die Entschädigungsforderung für eine Verringerung des Waldanteils um 10 %, liegt in den beiden Stichproben bei 80 bzw. 92 €/p/a (Person und Jahr), während eine Vergrößerung des Waldanteils um 10 % eine positive Zahlungsbereitschaft von jeweils ca. 65 €/p/a generiert.⁷ Halbierung wie auch Verdopplung der Größe von Feldern und Waldstücken generiert Entschädigungsforderungen zwischen 40 und 55 €/p/a. Die Reduktion von Unterwuchs im Wald führt ebenso zu einer Entschädigungsforderung wie ein Nadelbaumanteil von 70 % (69 bzw. 125 €/p/a). Die Erhöhung des Erntealters um 20 Jahre generiert eine Zahlungsbereitschaft von 38 €/p/a. Die Erhöhung der Artenvielfalt im Wald ist der Bevölkerung 55 bis 63 €/p/a wert, je nach Ausmaß der Erhöhung. Die Entschädigungsforderung für 0 % ungenutzte Waldflächen, also Nutzung aller zur Verfügung stehenden Waldflächen, beträgt etwa 60 €/p/a, während eine Halbierung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern mit 34 €/p/a und eine Verdopplung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern sogar mit 180 €/p/a abgegolten werden müssten.

Diese Werte geben Größenordnungen an, deren Relationen zueinander von besonderem Interesse sind. Beispielsweise ist der Waldanteil eins der höchstbewerteten Merkmale, da seine Veränderung mit die höchsten positiven und negativen Zahlungsbereitschaften generiert. Insgesamt wird sichtbar, dass die Bevölkerung die meisten Änderungen an Merkmalen der Landschaft oder des Waldes mit negativem Nutzen bewertet. Lediglich Vergrößerungen des Waldanteils und der Artenvielfalt stiften durchgehend positiven Nutzen. Darüber hinaus unterliegen manche der Bewertungsergebnisse

⁷Diese Schätzungen entsprechen weitgehend der unabhängigen Schätzung aus dem landwirtschaftlichen Untersuchungsteil, obwohl diese auf anderen Stichproben basieren und mit einer anderen Spezifikation des Regressionsmodells berechnet wurden; insbesondere liegt die dortige Mittelwertschätzung (noch) in den hier angegebenen Konfidenzbereichen.

Tab. 5.5 Zahlungsbereitschaften für einzelne Waldmerkmale (€/p/a) (Fragebogenversionen 1 und 2). (Quelle: P. Weller)

Stichprobe 1	Zahlungsbereitschaft (ZB)	Untere Konfidenzgrenze der ZB	Obere Konfidenzgrenze der ZB
Anteil Wald (–10 %)	–80,32	–100,96	–59,67
Anteil Wald (+10 %)	63,33	49,67	77,00
Feldgröße (Halbierung)	–45,31	–62,85	–27,76
Feldgröße (Verdopplung)	–40,96	–57,03	–24,89
Unterwuchs (Halbierung)	–68,67	–90,35	–46,99
Unterwuchs (Verdopplung)	–5,33	–20,31	9,66
Nadelbaumanteil (30 %)	–15,23	–32,19	1,73
Nadelbaumanteil (70 %)	–124,48	–153,81	–95,15
Erntealter (+20 Jahre)	37,75	20,51	54,98
Erntealter (+30 Jahre)	4,01	–11,63	19,64
Stichprobe 2			
Anteil Wald (–10 %)	–91,99	–117,80	–66,18
Anteil Wald (+10 %)	65,82	49,40	82,23
Feldgröße (Halbierung)	–53,87	–75,80	–31,94
Feldgröße (Verdopplung)	–38,13	–56,63	–19,63
Artenvielfalt (leicht erhöhen auf 85 P.)	54,96	35,93	73,98
Artenvielfalt (stark erhöhen auf 105 P.)	62,68	48,33	77,04
Ungenutzte Waldflächen (0 %)	–59,11	–84,30	–33,92
Ungenutzte Waldflächen (10 %)	–4,75	–23,07	13,57
Bäume aus anderen Ländern (Halbierung)	–33,58	–55,27	–11,90
Bäume aus anderen Ländern (Verdopplung)	–182,35	–226,41	–138,28

Hinweis: Statistische Signifikanz wird durch **Fettdruck** angezeigt

Unsicherheiten aufseiten der Bevölkerung und sollten mit Vorsicht interpretiert werden. Insbesondere bei den Merkmalen „Anteil von Bäumen aus anderen Ländern“ sowie „ungenutzte Waldflächen“ geben die Befragten an, dass sie den aktuellen Zustand der einzelnen Merkmale nicht kennen und es bevorzugen, keine Einschätzung darüber abzugeben (jeweils 21 und 8 % der Befragten). Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass eine Verdopplung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern bei jedem Ausgangsanteil abgelehnt wird, auch bei einem aktuell niedrigen Anteil. Veränderungen werden insgesamt aber abgelehnt, einschließlich einer Halbierung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern. Bezüglich der Ablehnung der 10 % ungenutzten Waldflächen liegt die Interpretation nahe, dass dieser Wert von der Bevölkerung als Reduktion eingeschätzt und deshalb abgelehnt (n. s.) und negativ bewertet wurde. Aus anderen Studien ist bekannt, dass Befragte oft eher weniger Nutzung bevorzugen (z. B. Elsasser und Weller 2013), dazu passt auch die Ablehnung der 0 % ungenutzten Waldflächen.

Die Befragungsergebnisse können im nächsten Schritt zu Strategien zusammengefasst werden (Abschn. 5.1.3.3) und auf die Bevölkerung hochgerechnet werden. Als Basis dienen die Eingangsdaten und Simulationsergebnisse aus Abschn. 4.6. Wie dort beschrieben, basieren diese Daten auf durchschnittlichen Verhältnissen in den Bundesländern. Von dieser Datenbasis ausgehend, wurde jeweils auf Bundesebene aggregiert. In einzelnen Fällen sind dazu zusätzliche Annahmen nötig, auf die an entsprechender Stelle hingewiesen wird.

5.1.3.2 Einordnung der Ergebnisse und weiterer Leistungen des Waldes

Priska Weller und Peter Elsasser

Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen

In der Vergangenheit hat es einige Studien zu Leistungen der Landschaft und insbesondere des Waldes gegeben, in denen Präferenzoffenbarungsmethoden verwendet wurden, und die nun zur Einordnung der beschriebenen Ergebnisse herangezogen werden sollen. Da der Fokus der Befragung auf der Bewertung von Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen lag, wird hier zunächst auf einige exemplarische Studien zu diesen beiden Themen eingegangen.

Für die Bewertung von Naturschutzmaßnahmen in Deutschland ist beispielsweise die Studie von Meyerhoff et al. (2012) wichtig. Meyerhoff et al. bewerten die Umsetzung der Nationalen Biodiversitätsstrategie in verschiedenen Ökosystemen und finden positive Ergebnisse, insbesondere für die den Wald betreffenden Maßnahmen. Sie ermitteln eine aggregierte Zahlungsbereitschaft (für 40,1 Mio. zahlungswillige Haushalte) in Höhe von 2,22 Mrd. €/Jahr für ein Wald-Maßnahmenbündel. Dieses besteht aus dem Zulassen natürlicher Waldentwicklung, Umbau in naturnahe Laub- und Mischbestände, Erhöhung der Strukturvielfalt durch Totholzreicherung, Biotopbäume und Waldränder sowie dem Schutz bestehender Nieder- und Mittelwälder. Zusätzliche Vorsorgemaßnahmen zur Anpassung an Klimaänderungen erhöhten die Zahlungsbereitschaft nicht signifikant.

Die Vorliebe für Naturnähe und die resultierende Präferenz für ökologisch unberührten Wald geht so weit, dass in einer Bevölkerungsbefragung von Müller und Job (2009) die Befragten dem Borkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald gegenüber mehrheitlich neutral bis schützend (keine Bekämpfung gewünscht) eingestellt sind. Dies deckt sich mit den hier vorliegenden Befragungsergebnissen, nach denen die Bevölkerung insgesamt sehr naturschutzorientiert eingestellt ist und dies in den entsprechenden Zahlungsbereitschaften deutlich gemacht hat: Eine Erhöhung der Artenvielfalt wurde durchweg positiv bewertet, und die ungenutzten Waldflächen auf 0 % der verfügbaren Fläche zu reduzieren wurde negativ bewertet, d. h., aus Sicht der Bevölkerung sollten ungenutzte Waldflächen erhalten bleiben.

Bei einer Bewertung des Landschaftsbildes im Nordosten Deutschlands haben Elsasser et al. (2010) mittels Befragung eine Bevorzugung von Laub- oder Mischwäldern gegenüber Nadelwäldern gefunden, die per Saldo ebenfalls mit einer positiven Zahlungsbereitschaft einhergeht. Rajmis et al. (2009) haben ebenfalls eine positive Zahlungsbereitschaft für artenreiche Mischwälder in Thüringen ermittelt. Ähnliches berichten Roovers et al. (2002), die bei ihrer Untersuchung von Besuchern eines stadtnahen Waldes in Belgien Präferenzen für gemischte Wälder fanden. Empfohlen wird (für Großbritannien von Bateman et al. 2011), die Präferenzen der Bevölkerung bei der Umsetzung von Waldbaumaßnahmen einzubeziehen. Die konkurrierenden Ziele „Erholung“ und „Ökologie“ sollten auf verschiedenen entsprechend geeigneten Flächen umgesetzt werden. Auch in der vorliegenden Befragung zeigte sich insgesamt eine Präferenz für Vielfalt: mehr Wald, keine Änderung der Flächengrößen, nicht weniger Unterwuchs, keinen größeren Anteil Nadelbäume (70 %), aber höheres Erntealter. Nur in der stärkeren Beimischung von Bäumen aus anderen Ländern sieht die Bevölkerung mehr Nachteil als Vorteil und bewertet diese negativ.

Weitere Leistungen des Waldes

Eine weitere wichtige kulturelle Leistung des Waldes in Deutschland ist die Erholungsleistung. Nachfolgend soll zusätzlich auf ein paar wesentliche Eigenschaften dieser kulturellen Ökosystemleistung des Waldes eingegangen werden, da sie für die Bevölkerung sehr wichtig ist. Das Betreten des Waldes zur Erholung ist durch das Bundeswaldgesetz ausdrücklich gestattet (BWaldG §14). Des Weiteren ist die Erholungsleistung potenziell von den beschriebenen Waldumbaumaßnahmen betroffen. Elsasser und Weller (2013) zeigen, dass die mittlere Zahlungsbereitschaft von Waldbesuchern für Walderholung in Deutschland im Durchschnitt bei 32 €/Besucher/Jahr liegt. Im Hinblick auf potenzielle Steigerungsmöglichkeiten des Erholungswertes des Waldes wurden größere Unberührtheit und Natürlichkeit sowie Infrastrukturmaßnahmen zwar als Verbesserungsmöglichkeiten identifiziert, setzte man diese Verbesserungen alle um, würde sich die Zahlungsbereitschaft jedoch nicht substantiell erhöhen. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass Veränderungen an den o. g. Merkmalen zwar Änderungen bei der Bewertung der Landschaft durch die Bevölkerung nach sich ziehen, nicht aber Änderungen bei der Bewertung der Erholungsleistung der Wälder durch

die Bevölkerung. Letztere müssen also beim Vergleich der Strategien nicht zwingend berücksichtigt werden.

Auch zu weiteren Leistungen des Waldes liegen z. T. Ergebnisse aus der Literatur vor, die im Folgenden zu Vergleichszwecken sowie als Ergänzung referiert werden. Für die Klimaschutzleistung des Waldes, die durch die Maßnahmen im weitesten Sinne erhöht werden soll, gibt es sowohl sehr unterschiedliche Bewertungsansätze als auch sehr unterschiedliche Bewertungsergebnisse. Sie kann u. a. über die vermiedenen Schäden durch die vorhandene Senkenleistung des Waldes bewertet werden. Die globalen IPCC-Schätzungen zu Schadenskosten liegen zwischen -10 und $+350$ US\$/t Kohlenstoff (Yohe et al. 2007). Da sie auch in den negativen Bereich ragen, wird auch von teilweise positiven Wirkungen durch den Klimawandel ausgegangen. Das Umweltbundesamt empfiehlt, von durchschnittlichen Kosten in Höhe von 80 €/emittierter t CO_2 auszugehen (UBA 2012; vgl. auch Abschn. 5.1.2.2). Volkswirtschaftlich sichtbar (und auch einzelwirtschaftlich spürbar) wird der Wert von Klimaschutzmaßnahmen im Europäischen Emissionszertifikatehandel bzw. den dortigen Preisen. Der Zertifikatspreis lag seit 2012 stets unter 10 €/t CO_2 (European Energy Exchange 2016).⁸ Der Preis pro Tonne CO_2 wird zwar an der Börse ausgehandelt, die Menge an zu handelnden Zertifikaten wird aber politisch festgesetzt und verknappt. Die vergleichsweise geringe Höhe der Zertifikatspreise im Vergleich zu weltweiten Schadenskosten kann als Hinweis darauf gedeutet werden, dass diese politisch gesetzte Verknappung unter Effizienzgesichtspunkten nicht hinreichend ist. Die entsprechenden Preise sollten daher nicht mit dem volkswirtschaftlichen Nutzen einer eingesparten oder der Atmosphäre entzogenen Tonne CO_2 verwechselt werden. Dieser volkswirtschaftliche Nutzen wäre durch einen Blick auf Zahlungsbereitschaften der Bevölkerung ermittelbar. Leider ist uns hierzu keine umfassende empirische Untersuchung bekannt. Einen Hinweis gibt eine (nicht repräsentative) Pilotuntersuchung aus Mannheim. Dabei führten Löschel et al. (2013) ein Experiment mit 202 Personen aus der Mannheimer Bevölkerung durch, bei dem diese Geld zur Verfügung gestellt bekamen, mit dem sie CO_2 -Zertifikate kaufen bzw. eventuell vorhandene Zahlungsbereitschaft zum Ausdruck bringen konnten. Dabei kristallisierte sich eine Median-Zahlungsbereitschaft von 0 heraus, die durchschnittliche Zahlungsbereitschaft lag bei 12 €/t CO_2 . Im Anschluss an das Experiment wurden die Zertifikate tatsächlich gekauft und endgültig aus dem Markt entfernt. Die Zahlungsbereitschaft war stark abhängig (negativ) von aufgerufenen Preisen sowie dem Alter der Befragten und (positiv) von Einkommen und Bildungsgrad der Befragten sowie persönlichem Engagement für Klimaschutz.

Eine weitere wichtige Leistung des Waldes ist die Bereitstellung von (qualitativ hochwertigem) Wasser. Da es bereits einen Markt für Trinkwasser gibt, auf dem die Wasserversorgungsunternehmen als Anbieter auftreten, kann die Bewertung dieser Waldleistung

⁸Diese Schwelle wurde erst Ende Februar 2018 wieder überschritten, also lang nach Redaktionsschluss für dieses Buch.

über die reduzierten Wasserbereitstellungskosten angenähert werden. So kommt man (in Frankreich) auf Einsparungen in Höhe von 138 €/Jahr/Haushalt, wenn 1 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche durch 1 ha Wald ersetzt wird (Abildtrup et al. 2013). In Südamerika wurden von Núñez et al. (2006) ökonomische Vorteile für die regionalen Haushalte in Höhe von 49 bis 129,50 € (abhängig von der Wasser-Abundanz der jeweiligen Jahreszeit) pro Hektar Waldfläche berechnet.

Der Nutzen weiterer Leistungen geht teils auf (direkten oder indirekten) Gebrauch, teils aber auch auf Options-, Existenz- und altruistische Werte zurück, welche unter Umständen auch über weite Entfernungen als nützlich und schützenswert angesehen werden. Konkrete Beispiele dafür sind im ersten Fall ein lokaler Lawinen- und regionaler Hochwasserschutz und im zweiten Fall der von der eigenen Region losgelöste und trotzdem als wichtig bewertete Erhalt von Tier- und Pflanzenarten in anderen Ländern.

Zum Lawinenschutz haben Olschewski et al. (2012) in der Schweiz eine lokale Untersuchung durchgeführt, in der sie den Lawinenschutz des Waldes in der Gemeinde Andermatt analysierten. Die Zahlungsbereitschaft der Gemeindemitglieder für verschiedene Programme zum Schutz vor Lawineneignissen lag dabei zwischen 110 und 390 US\$ (Einmalzahlung, Verwendung über mehrere Jahre für jeweilige Programmlaufzeit). Die Kosten für waldbauliche Maßnahmen zur Stärkung des Schutzwaldes waren in jedem Fall abgedeckt durch die Zahlungsbereitschaft. In einer weiteren Schweizer Studie wurde der Hochwasserschutz in Teilen der Alpen untersucht (Ryffel et al. 2014). Die Befragten aus dem Kanton Luzern waren bereit, verschiedene (kostenträchtige) Landnutzungswechsel in Kauf zu nehmen, um Hochwasserereignisse zu verhindern, etwa durch Schaffung von Überflutungsflächen. Da diese Leistungen jeweils nur von lokalem oder regionalem Interesse sind, wurden sie in diesem Projekt nicht näher analysiert.

5.1.3.3 Aggregierte Ergebnisse der ökonomischen Bewertung der forstwirtschaftlichen Managementstrategien

Peter Elsasser und Priska Weller

Im Vorstehenden wurden forstliche Maßnahmen zu abgestimmten Bündeln (Strategien) zusammengefasst (vgl. Abschn. 4.6.2) und mit forstbetrieblichen wie auch umwelt-ökonomischen Methoden (Abschn. 4.2.2.4, 5.1.1) bewertet. Diese Ergebnisse liegen in unterschiedlichen Einheiten vor (Hektardurchschnitte auf der einen, mittlere Zahlungsbereitschaften pro Person auf der anderen Seite). Um direkt miteinander vergleichbar zu sein sowie um Aussagen über die Auswirkungen der vier untersuchten Strategien im Gesamtgebiet Deutschlands treffen zu können, müssen die jeweiligen Durchschnittsergebnisse auf die Gesamtfläche bzw. -bevölkerung hochgerechnet werden.

Eine solche Aggregation erfordert insbesondere über die physischen Auswirkungen der jeweiligen Strategien ergänzende Informationen, die teilweise nicht in der nötigen

Differenzierung vorliegen und daher durch zusätzliche Annahmen überbrückt werden müssen. Diese Annahmen bewirken, dass die im Folgenden dargestellten Hochrechnungsergebnisse weniger belastbar sind als die Einzelergebnisse in den o. g. Bewertungskapiteln. Die wesentlichen Annahmen werden nachfolgend erläutert.

Annahmen für die Hochrechnung der Bewertungsergebnisse im Bereich „Wälder“

Eine wesentliche Annahme betrifft den Zeitpunkt, für den die jeweiligen Bewertungsergebnisse gelten. Die in Abschn. 4.6 mit FoBeSiMo modellierten Waldwachstumsimulationen berücksichtigen zwar periodisch veränderliche Holzzuwächse und -entnahmen über den gesamten Betrachtungszeitraum; die zugehörigen Preise und Kosten wurden aber, wie forstüblich, als konstant angenommen (dies impliziert, dass für die Zukunft heutige Marktstrukturen unterstellt werden). Konsistent dazu wurde bei der umweltökonomischen Bewertung erfragt, wie die Bevölkerung die jeweils beschriebenen Waldveränderungen *heute* bewerten würde, und es wurde unterstellt, dass sich diese Bewertungen über die Zeit nicht ändern. Zusätzlich ist zu beachten, dass die physischen Auswirkungen einer veränderten Waldbewirtschaftung nur allmählich eintreten. Um dies bei der Hochrechnung zu berücksichtigen, wurde unterstellt, dass sämtliche physischen Umweltwirkungen erst am Ende der Betrachtungsperiode 2055 in voller Höhe auftreten und am Anfang null betragen; dazwischen wurde zur Vereinfachung linear interpoliert. Sowohl bei der betrieblichen als auch der umweltökonomischen Bewertung wird zudem keine Diskontierung durchgeführt (weder für zukünftige Zahlungs- noch für Nutzenströme). Berechnet werden jeweils jährliche Flussgrößen (jährliche Deckungsbeiträge sowie jährliche Zahlungsbereitschaften, jeweils im Durchschnitt des Betrachtungszeitraums).

Eine weitere Annahme wird für die Bewertung der Klimaschutzleistung des Waldes nötig, da Schätzungen des Nutzens einer der Atmosphäre entzogenen Tonne CO₂ unterschiedlich begründet werden und über einen sehr weiten Bereich streuen (s. o.; zu Details siehe Ring et al. 2015 sowie Elsasser et al. 2015; Hartje et al. 2015). Des Weiteren kommen sie auch ganz unterschiedlichen Nutznießern zugute. Da die forstliche Senkenleistung im Europäischen Emissionshandelssystem (ETS) nicht anerkannt wird (und die Substitutionsleistung sich nur indirekt auf Preise auswirkt), beträgt der Handelswert der Klimaschutzleistung für die Forstbetriebe im ETS null. Einen Gegenpol bietet die Bewertung zu (weltweiten) Schadenskosten, die das deutsche Umweltbundesamt mit einem Richtwert von 80 €/t CO₂ beziffert (UBA 2012). Danach werden die durch die forstliche Klimaschutzleistung vermiedenen Schäden als volkswirtschaftlicher Nutzen dieser Leistung interpretiert, unabhängig davon, wo sie vermieden werden. Zwischen diesen Extremen liegen u. a. die Zahlungsbereitschaften nicht-repräsentativer Subgruppen der deutschen Bevölkerung (z. B. Löschel et al. 2013) wie auch die derzeitigen Marktpreise im Europäischen Emissionshandel. Um die Spannweite möglicher Bewertungen und die unterschiedlichen Auswirkungen auf die verschiedenen Nutznießer aufzuzeigen, wird hier in einer „mittleren“ Bewertungsvariante

lediglich die Substitutionsleistung als Mengenbasis herangezogen und anhand des ETS-Durchschnittspreises der vergangenen fünf Jahre bewertet ($\approx 8,00 \text{ €/t CO}_2$).⁹ Damit wird sehr vereinfachend unterstellt, dass die Senkenleistung der Forst- und Holzwirtschaft mangels Anerkennung im ETS zwar für die Forstbetriebe finanziell irrelevant ist, die Substitutionsleistungen der Holzverwendung jedoch komplett¹⁰ den ETS-unterworfenen Sektoren der Volkswirtschaft zugutekommt, welche folglich den Ankauf entsprechender Zertifikate einsparen können. Diese Abschätzung wird zusätzlich von zwei weiteren Bewertungsvarianten eingerahmt: einerseits dem Handelswert der forstlichen Klimaschutzleistung (0 €/t CO_2) sowie andererseits dem UBA-Richtwert für weltweite Schadenskosten (80 €/t CO_2). Als Mengenbasis werden in den letztgenannten beiden Fällen jeweils die durchschnittliche jährliche Speicherveränderung in Wald und Holz (Sequestrierung) und die jährliche stoffliche und energetische Substitution summiert, wie sie aus der Simulation mit FoBeSiMo hervorgehen.

Da im Choice-Experiment die meisten dort untersuchten Merkmale als Veränderungen des jeweiligen Status quo bewertet wurden, ist dieser zu quantifizieren. Generell werden dazu die jeweiligen Durchschnitte des jeweiligen Bundeslandes herangezogen. Für die einzelnen Merkmale gelten zudem folgende Setzungen:

- Die Merkmale „Größe von Feldern und Wäldern“ sowie „Unterwuchs im Wald“ werden an dieser Stelle nicht berücksichtigt, weil davon auszugehen ist, dass keine der hier untersuchten vier Strategien einen systematischen Einfluss auf das Wald-Feld-Mosaik und auf die Schichtigkeit der Bestände ausübt.
- In Bezug auf die Baumartenmischung (Merkmal „Nadelbaumanteil“) liegen aus dem Choice-Experiment Zahlungsbereitschaften für einen 30-%igen sowie einen 70-%igen Nadelbaumanteil vor. Für die meisten Bundesländer impliziert der untere Wert eine Senkung des Nadelbaumanteils im Vergleich zu heute, der obere eine Steigerung (mit Ausnahme von Brandenburg, das derzeit 77 % Nadelbäume aufweist, und dem Saarland mit 28 %). Im Normalfall werden daher Senkungen des Nadelbaumanteils anteilig anhand des unteren, Steigerungen anhand des oberen Schätzwertes der Zahlungsbereitschaft bewertet. Für die beiden Ausnahmen liegen jedoch jeweils zwei Schätzungen für eine Verkleinerung (Brandenburg) bzw. Vergrößerung (Saarland) des Nadelbaumanteils vor. Im Interesse einer vorsichtigen Bewertung wird hier jeweils lediglich der niedrigere Schätzwert der Zahlungsbereitschaft herangezogen.

⁹Nach den täglichen Preisangaben der Emissionsbörse EEX (www.eex.com/en/market-data/emission-allowances/spot-market/european-emission-allowances) betrug der Preis einer EEA zwischen 01.11.2010 und 30.12.2015 im Durchschnitt $7,94 \approx 8,00 \text{ €/t CO}_2$.

¹⁰Dies führt zu einer Überschätzung, da ein erheblicher Teil der Substitutionswirkungen außerhalb der ETS-pflichtigen Sektoren anfallen dürfte. Gegenüber den erwähnten generellen Unsicherheiten bei der Bewertung der Klimaschutzleistung tritt dieses Problem allerdings in den Hintergrund.

- Der Anteil von Bäumen aus anderen Ländern wird über den Anteil von Douglasien im Wald angenähert, da diese in der BWI³ (BMEL 2015) erfasst werden und den größten Anteil von Bäumen aus anderen Ländern ausmachen. Ausgehend von den in der BWI³ gemessenen Ist-Zuständen in den Bundesländern werden strategieinduzierte Änderungen in der Baumartenzusammensetzung zugunsten des Nadelbaumanteils einem steigenden Douglasienanteil zugerechnet, um diese in die Modellierungsergebnisse einzuhängen. Im Interesse einer vorsichtigen Schätzung wird maximal die Zahlungsbereitschaft für eine Verdopplung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern angesetzt (d. h., es wird ignoriert, dass die Strategien „Klimaschutz“ sowie „Bioenergie“ den Douglasienanteil bis 2055 mehr als verdoppeln). Eine Halbierung des Anteils von Bäumen aus anderen Ländern ist in keiner Strategie vorgesehen, deshalb werden die dafür vorliegenden Bewertungsergebnisse hier nicht verwendet.
- Aus dem Choice-Experiment liegen Bewertungen für Erhöhungen des Erntealters der Waldbestände vor. Aus den Ergebnissen der Wachstumssimulation lassen sich mit vertretbarem Aufwand aber nur Durchschnittsalter berechnen. Da bei regelmäßigem Altersaufbau Durchschnitts- und Erntealter im Verhältnis 1:2 stehen, wurde dieses Verhältnis vereinfachend hier unterstellt (d. h., Unregelmäßigkeiten im Altersaufbau der deutschen Wälder wurden vernachlässigt).
- Für Erhöhungen der Artenvielfalt im Wald liegen aus dem Choice-Experiment zwar Zahlungsbereitschaften vor, aber es ist nicht bekannt, wie die Artenvielfalt durch die jeweiligen Waldbewirtschaftungsstrategien physisch beeinflusst wird. Diese Einflüsse wurden mit Hilfe einer Expertenbefragung gutachtlich abgeschätzt. Im Ergebnis wurde vermutet, dass der Index der Artenvielfalt in der Referenzprojektion auf 80 Punkten verbleibt, in der Natur- und Umweltschutzstrategie bis zum Jahr 2055 auf 90 Punkte ansteigt und in der Bioenergiestrategie auf 70 Punkte absinkt; den Strategien „Klimaschutz“ sowie „Klimaanpassung“ wurden jeweils Zwischenwerte zugerechnet (85 bzw. 75 Punkte). Die zugehörigen Zahlungsbereitschaften wurden, wo nötig, linear interpoliert. Zudem wurde unterstellt, dass Verringerungen der Artenvielfalt (die nach der Experteneinschätzung bei den beiden letztgenannten Strategien zu erwarten sind) seitens der Bevölkerung wie Erhöhungen bewertet werden, sodass sich hier lediglich das Vorzeichen der Zahlungsbereitschaft umkehrt.
- Nutzungsverzichte (Merkmal „Ungenutzte Waldflächen“) wurden in der Simulation als separates Modul behandelt, das ggf. der Natur- und Umweltschutzstrategie zugerechnet wird. Da in diesem Modul ein Anteil von 10 % ungenutzter Waldflächen vorgesehen ist und auch in der Befragung Nutzungsverzichte auf 10 % der Waldflächen bewertet wurden, können die erhobenen Zahlungsbereitschaften ohne weitere Umrechnung verwendet werden. Ein vollständiger Verzicht auf ungenutzte Waldflächen (0 % ungenutzte Waldflächen) ist in keiner der Strategien vorgesehen, sodass die Schätzung der entsprechenden Entschädigungsforderung in der vorliegenden Hochrechnung keine Verwendung findet.
- Die Vergrößerung der Waldfläche um 10 % (Merkmal „Anteil Wald an der Landschaft“) wurde als separates Modul behandelt und ggf. der Klimaschutz-

strategie zugerechnet. Die entsprechende Zahlungsbereitschaft für eine 10-%ige Waldflächenvergrößerung geht direkt aus der Befragung hervor. Eine Verkleinerung sieht keine der Strategien vor.

Schließlich erfolgt die Hochrechnung auf die erwachsene Bevölkerung der Bundesrepublik (Kinder und Jugendliche werden also im Interesse einer vorsichtigen Schätzung nicht berücksichtigt). Dies sind insgesamt 67,23 Mio. Menschen ab 18 Jahren (Destatis 2014).

Aggregierte Ergebnisse

Tab. 5.6 zeigt die aggregierten Ergebnisse für die Deckungsbeiträge aus Holznutzung sowie die drei unterschiedlichen Bewertungsvarianten für die Klimaschutzleistung, Tab. 5.7 die Hochrechnungsergebnisse für die durch die Strategien veränderten Umweltleistungen. Die in beiden Tabellen ausgewiesenen Summen können einander zum Zwecke der Interpretation gegenübergestellt werden, aber sie sollten nicht saldiert werden – zum einen aufgrund der konzeptionellen Differenzen der jeweiligen Bewertungsmaße (preisbasierte Bewertungen in Tab. 5.6 versus Konsumentenrenten in Tab. 5.7), und zum anderen wegen der unterschiedlichen Eigentumsverhältnisse an

Tab. 5.6 Hochrechnungsergebnisse der forstlichen Strategien: Monetäre Bewertung von Holz-erträgen und Klimaschutzleistung im Durchschnitt der Jahre 2015–2055 (Mrd. €/Jahr). (Quelle: P. Weller)

	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz	Klima- anpassung
Waldbaulicher Deckungsbeitrag	2,92	2,74	2,55	2,39
Klimaschutzleistung ^a	0 0,79 12,33	0 0,80 11,59	0 0,75 12,28	0 0,81 11,49
Summe	2,92 3,72 15,25	2,74 3,54 14,33	2,55 3,29 14,82	2,39 3,20 13,87
Einschließlich Zusatzoption: Anteil Wald an der Landschaft/Aufforstung (+10 %)				
Waldbaulicher Deckungsbeitrag	+0,03	–	–	–
Klimaschutzleistung ^a	0 +0,05 +1,20	–	–	–
Einschließlich Zusatzoption: ungenutzte Waldflächen/Holznutzungsverzicht (10 %)				
Waldbaulicher Deckungsbeitrag	–	–	–0,25	–
Klimaschutzleistung ^a	–	–	0 –0,29 –1,02	–
Summe inkl. Zusatz- optionen	2,95 3,80 16,48	2,74 3,54 14,33	2,30 2,99 13,79	2,39 3,20 13,87

^aUntere Variante: null (mangels Anerkennungsfähigkeit im ETS); mittlere Variante: Bewertung der Substitutionsleistung anhand mittleren ETS-Preises i.H.v. 8 €/t CO₂; obere Variante: Bewertung von Sequestrierungs- und Substitutionsleistung anhand von Schadenskosten i.H.v. 80 €/t CO₂

Tab. 5.7 Hochrechnungsergebnisse der forstlichen Strategien: Monetäre Bewertung veränderter Umweltleistungen (Mrd. €/Jahr). (Quelle: P. Weller)

	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
Anteil Wald an der Landschaft	0	0	0	0
(Feldgröße, Unterwuchs)	–	–	–	–
Nadelbaumanteil	–3,86	–5,14	–0,58	–0,68
Erntealter	3,97	–3,36	5,02	–1,34
Artenvielfalt	3,69	–3,82	3,82	–3,69
Ungenutzte Waldflächen	0	0	0	0
Bäume aus anderen Ländern (Douglasie) ^a	0 –12,09	0 –12,39	0	0
Summe^a	3,80 –8,29	–12,32 –24,71	8,26	–5,71
Zusatzoption: Anteil Wald an der Landschaft (+10 %)	4,26 ^b	–	–	–
Zusatzoption: ungenutzte Waldflächen (10 %)	–	–	–0,32	–
Summe inkl. Zusatzoptionen^a	8,06 –4,03	–12,32 –24,71	7,94	–5,71

^aDa die (negativen) Bewertungen eines vergrößerten Anteils von Bäume aus anderen Ländern das Ergebnis stark dominieren, werden die Ergebnisse sowohl mit als auch ohne deren Berücksichtigung ausgewiesen

^bDieser Hochrechnung liegt lediglich die Zahlungsbereitschaft für eine Ausweitung der Waldfläche zugrunde. Aus welchen Baumarten diese besteht, wurde an dieser Stelle nicht thematisiert

den bewerteten Leistungen: Tab. 5.6 weist grundsätzlich monetäre Werte für *private* Güter aus (in Bezug auf die Bewertung der Klimaschutzleistung gilt dies allerdings nur für die untere und mittlere Bewertungsvariante), Tab. 5.7 hingegen monetäre Werte für *öffentliche* Güter. Eine Saldierung würde zwangsläufig die Frage nach wechselseitigen Kompensationszahlungen aufwerfen, die im vorliegenden Zusammenhang nicht Thema ist. Eine gemeinsame Betrachtung der verschiedenen Bewertungsergebnisse erlaubt aber erstmals eine grobe Gegenüberstellung der Kosten und des Nutzens der verschiedenen Strategien.

Wie aus dem oberen Teil von Tab. 5.6 ersichtlich, unterscheiden sich waldbauliche Deckungsbeiträge zwischen den Strategien um bis zu etwa 20 %, die Werte der Klimaschutzleistung um unter 10 % (unabhängig davon, welches Verfahren jeweils zur

Bewertung der Klimaschutzleistung verwendet wird). Ferner ist zu sehen, dass der Wert der Klimaschutzleistung in beiden Bewertungsansätzen, die den finanziellen Nutzen des Klimaschutzes für Betriebe in Deutschland auf Basis von ETS-Preisen abbilden, gegenüber den entsprechenden Deckungsbeiträgen stark in den Hintergrund tritt. Nur anhand einer Bewertung zu weltweiten Schadenskosten erscheint der Wert der Klimaschutzleistung substanzial. Er übertrifft dann sogar jeweils den Wert der Holzproduktion.¹¹ Die Rangfolge der Strategien wird entsprechend stark durch die Deckungsbeiträge geprägt. In der Summe erweist sich die Klimaschutzstrategie als insgesamt leicht überlegen, die Klimaanpassungsstrategie bildet hingegen das Schlusslicht; die beiden anderen Strategien finden sich dazwischen.

Die beiden modularen Zusatzoptionen in den Strategien „Klimaschutz“ sowie „Natur- und Umweltschutz“ modifizieren dieses Bild in unterschiedlicher Richtung. Die Aufforstung vergrößert sowohl die Deckungsbeiträge als auch die Klimaschutzleistung, wenn auch im ersteren Fall nur sehr schwach. Dabei ist zu bedenken, dass die Auswirkungen der Aufforstung innerhalb des nur 40-jährigen Betrachtungszeitraumes noch nicht voll zum Tragen kommen. Die Option „Nutzungsverzicht“ vermindert hingegen sowohl Deckungsbeiträge als auch Klimaschutzleistung spürbar. Rechnet man beide Zusatzoptionen den entsprechenden Strategien zu, so schlägt dies in der Summe auch auf die Rangfolge der vier Strategien durch: Einschließlich Zusatzoptionen verbleibt die Klimaschutzstrategie zwar an erster Stelle, die Natur- und Umweltschutzstrategie erweist sich dann aber sowohl in Bezug auf die Deckungsbeiträge als auch auf ihre Klimaschutzleistung allen anderen Strategien unterlegen.

Hinsichtlich ihres Einflusses auf den Nutzen der jeweiligen Umweltleistungen für die Bevölkerung unterscheiden sich die vier Strategien stärker (Tab. 5.7). Die Bioenergiestrategie wird insgesamt stark negativ bewertet, gefolgt von der Klimaanpassungsstrategie, welche insgesamt ebenfalls negativ bewertet wird. In beiden Strategien führen die vorgesehenen Änderungen am Nadelbaumanteil und am Ernte- bzw. Durchschnittsalter der Bestände wie auch die voraussichtlichen Auswirkungen auf die Artenvielfalt zu negativen Zahlungsbereitschaften (die als Entschädigungsforderungen interpretiert werden können). Dies gilt umso mehr, wenn man bei der Bioenergiestrategie zusätzlich die dort geplante Erhöhung des Douglasienanteils berücksichtigt: Da ein vergrößerter Anteil von Bäumen aus anderen Ländern in der Bevölkerung eine hohe Entschädigungsforderung auslöst, dominiert diese das Gesamtergebnis (obwohl sie hier nicht zur Gänze angerechnet worden ist; s. o.). Hingegen führen die Strategien „Klimaschutz“ sowie

¹¹Die Bewertung zu weltweiten Schadenskosten ist gängig (s. z. B. den deutschen TEEB-Bericht zur Klimapolitik (Hartje et al. 2015)) und wurde hier im Interesse der Anschlussfähigkeit aufgenommen. Sie impliziert aber starke Annahmen (nämlich entweder, dass Deutschland für alle Folgeschäden hier emittierten Kohlenstoffs weltweit entschädigungspflichtig sei, oder, dass die deutsche Bevölkerung den Nutzen einer entsprechenden Schadensvermeidung innerhalb wie außerhalb Deutschlands gleich hoch bewerte).

„Natur- und Umweltschutz“ per Saldo zu positiven Nutzenänderungen in Höhe von 3,80 bzw. 8,26 Mrd. €/Jahr (sofern bei der Klimaschutzstrategie auf eine starke Zunahme des Douglasienanteils verzichtet wird), die zurückzuführen ist auf die Erhöhung des jeweiligen Erntealters und der Artenvielfalt. Berücksichtigt man zusätzlich die beiden modular behandelten Maßnahmen „Erstaufforstung“ und „Nutzungsverzichte“, dann gleicht sich der Nutzen beider Strategien an und beträgt jeweils um 8 Mrd. €/Jahr. Auffällig ist dabei, dass Nutzungsverzichte auf 10 % der existierenden Waldfläche auch aus Sicht der Bevölkerung den Nutzen der Natur- und Umweltschutzstrategie schmälern (vgl. Tab. 5.5).

Aufgrund der o. g. vielfältigen Unsicherheiten bei der Hochrechnung dieser Zahlen sollte deren jeweilige absolute Höhe nur mit äußerster Vorsicht interpretiert werden. Interessant erscheinen vielmehr die Relationen zwischen den Strategien. In der umweltökonomischen Bewertung erweisen sich insbesondere die Bioenergie-, abgeschwächt auch die Klimaanpassungsstrategie als wenig bevorzugenswert. Im Falle der Klimaanpassungsstrategie ist dies kongruent mit der Bewertung aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Umgekehrt zeigen die Klimaschutz- wie die Natur- und Umweltschutzstrategie, je nach zugrundegelegten Annahmen, aus Sicht der Gesellschaft positiv bewertete Nutzenänderungen. Auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht erwies sich die Klimaschutzstrategie im Vergleich zu den Alternativen als überlegen. Diese Strategie scheint eine konfliktarme Option zu bieten. Sie weist das stärkste Potenzial auf, sowohl aus betrieblicher als auch aus gesellschaftlicher Sicht akzeptiert zu werden.

5.1.4 Diskussion und Ausblick zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemleistungen der Landnutzung

Jesko Hirschfeld und Julian Sagebiel

Bei den in Abschn. 5.1 vorgestellten Ergebnissen zu den jährlichen Zahlungsbereitschaften für unterschiedliche Landnutzungsstrategien ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den hier ermittelten Zahlen um Näherungswerte handelt, die nicht als exakte Messwerte missverstanden werden sollten, die unmittelbar in politische Maßnahmen übersetzbar sind. Unsicherheiten bestehen in unterschiedlichem Ausmaß hinsichtlich der Formulierung der untersuchten Attribute, der modellhaft und annahmegestützt abgebildeten Wirkungszusammenhänge und in Bezug auf das Antwortverhalten der Befragten. Trotzdem sind die in Abschn. 5.1.2 und 5.1.3 vorgestellten Ergebnisse alles andere als irrelevant. Sie weisen auf erhebliche Zahlungsbereitschaften u. a. für eine Reduzierung von THG-Emissionen, für eine Verringerung der Nährstoffbelastung von Grund- und Oberflächengewässern, für mehr Wald und mehr Biodiversität hin – und damit auf starke Präferenzen in Richtung mehr Klima-, Umwelt- und Naturschutz.

Die damit verbundene Botschaft an die Politik liegt nicht darin, dass sie nun in Zukunft jährlich Steuermittel exakt in der hier ermittelten Höhe in zusätzliche Agrarumwelt-

und Klimaschutzmaßnahmen investieren soll, sondern, dass es aus gesamtgesellschaftlicher Sicht politisch gewollt ist, dass solche Maßnahmen verstärkt ergriffen werden. Aus dieser gesellschaftlichen Präferenzäußerung ergibt sich ein Auftrag an die Politik, diese gesellschaftlichen Interessen in Ausgleich zu bringen mit den privaten, betriebswirtschaftlichen Interessen der land- und forstwirtschaftlichen Betriebe. Die ermittelten Zahlungsbereitschaften weisen dabei einerseits auf die relative Stärke der Präferenzen und Werthaltungen der Bevölkerung hin, andererseits umreißen sie Größenordnungen, was die bundesdeutsche Gesellschaft gegebenenfalls bereit wäre, zur Durchsetzung geeigneter Maßnahmen zu investieren – möglicherweise auch auf dem Wege einer entsprechenden Kompensation der Einbußen landnutzender Betriebe, die mit der Umsetzung von klima-, umwelt- und naturschutzorientierten Maßnahmen verbunden sein können.

Die Ergebnisse weisen außerdem darauf hin, welche der Strategien aus gesellschaftlicher Sicht robust positiv bewertet werden und welche hinsichtlich ihrer Akzeptanz „auf der Kippe stehen“. Und ein Blick auf die einzelnen Zielgrößen zeigt, in welche Richtungen die einzelnen, hier zunächst aus Gründen der wissenschaftlichen Analyse klar unterscheidbar und unterschiedlich formulierten Strategien weiter optimiert werden könnten.

Die auf den Anbau von mehr Biomasse zur Erzeugung von mehr Bioenergie zur Substitution fossiler Energieträger orientierte Strategie wird zwar im Hinblick auf ihre Klimaschutzbeiträge als sehr positiv bewertet. Dem stehen aber gravierende negative Effekte auf die Nährstoffbelastung des Grundwassers, auf das Landschaftsbild und je nach konkreter Ausgestaltung der Anbauverfahren gegebenenfalls auch auf die Biodiversität auf landwirtschaftlichen Flächen gegenüber, sodass die Gesamtbewertung dieser Strategie ambivalent und damit aus gesellschaftlicher Sicht deutlich schlechter ausfällt als die anderen untersuchten Strategien.

Am anderen Ende der Skala erhalten die klimaschutzfokussierte sowie die natur- und umweltschutzorientierte Strategie aus gesamtgesellschaftlicher Sicht eine deutlich positive Bewertung. Die erheblichen Nutzen, die in den Dimensionen „Klima- und Gewässerschutz“, „Landschaftsbild“ sowie „Erhaltung und Erhöhung der Biodiversität“ erzielt werden können, übertreffen die jeweiligen betriebswirtschaftlichen Einbußen deutlich. Würde die umwelt- und naturschutzorientierte Strategie kombiniert mit einer Vermehrung von Waldflächen und weiteren Klimaschutzmaßnahmen, die mit Naturschutzziele gut zu verbinden wären (beispielsweise den Anbau von Paludikulturen auf wiedervernässten Moorflächen), ergäbe sich ein noch größerer positiver volkswirtschaftlicher Gesamteffekt (bis zu 6 Mrd. € pro Jahr) – dabei wäre eine vollständige Kompensation der damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Einbußen der landwirtschaftlichen Betriebe bereits berücksichtigt.

Bei allen Ungenauigkeiten und Unsicherheiten der in den Abschn. 5.1.2 und 5.1.3 präsentierten Zahlen können nachstehende Aussagen gefolgert werden: Aus gesamtgesellschaftlicher Sicht ist deutlich mehr Klima-, Gewässer- und Naturschutz gut begründbar. Die Erzeugung von mehr Biomasse zur energetischen Verwertung wird dabei als ambivalent bis kritisch beurteilt. Eine Ausweitung von Waldflächen, eine

Reduzierung des Einsatzes von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft und eine Wiedervernässung von Mooren sowie weitere Maßnahmen zur Steigerung der Biodiversität in Land- und Forstwirtschaft werden deutlich befürwortet.

Die in der Befragungsstudie erhobenen Daten erlauben weitergehende Auswertungen hinsichtlich der regionalen Vorzüglichkeit einzelner Maßnahmen, indem Kosten und Nutzen räumlich explizit dargestellt und auf administrative Ebenen wie Landkreise oder Gemeinden interpoliert werden. Wenn beispielsweise eine Erhöhung des Waldanteils um 10 % politisch gewollt ist, kann eine regionale Kosten-Nutzen-Analyse helfen, Gegenden zu identifizieren, in denen der Nettonutzen einer Aufforstung am höchsten ist. Die Veränderungen der bereitstellenden Ökosystemleistungen – insbesondere die Opportunitätskosten der Landwirte – werden im RAUMIS-Modell auf Landkreisebene berechnet. Ähnlich lassen sich auch die Zahlungsbereitschaften für die untersuchten kulturellen Ökosystemleistungen aufbereiten.

Abb. 5.6 zeigt beispielhaft die Ergebnisse einer regional differenzierteren Analyse: Ganz links sind die Waldanteile in den jeweiligen Landkreisen und kreisfreien Städten wiedergegeben. Es finden sich hohe Waldanteile (von z. T. über 50 % der Landkreisfläche), vor allem im Südwesten (z. B. Schwarzwald), in der Mitte und im Südosten Deutschlands (u. a. Bayerischer Wald). Sehr niedrige Waldanteile von z. T. unter 1 % der Landkreisfläche finden sich vor allem in Nordwestdeutschland.

Die mittlere Karte von Abb. 5.6 zeigt die Zahlungsbereitschaft pro Kopf für eine Erhöhung des Waldanteils im unmittelbaren Umfeld des Wohnortes (15 km-Radius), basierend auf den Ergebnissen aus Abschn. 5.1.2.3. Deutlich erkennbar sind hohe Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaften vor allem in waldarmen Regionen. Aggregiert man die regionalen Pro-Kopf-Zahlungsbereitschaften mit den jeweiligen Einwohnerzahlen, ergeben sich regional stark differenzierte Gesamtzahlungsbereitschaften (vgl. rechte Karte in Abb. 5.6). Durch eine entsprechende regionale Differenzierung der Maßnahmen zur Erhöhung des Waldanteils kann der gesamtgesellschaftliche Nutzen also gegenüber einer bundeseinheitlichen Lösung deutlich erhöht werden.

Die regional differenzierte Analyse der Nutzen von Landnutzungsmaßnahmen ist hier exemplarisch für die Erhöhung von Waldanteilen dargestellt. Sie lässt sich prinzipiell auch für andere Maßnahmen durchführen, beispielsweise für eine Begrenzung des Maisanteils, eine Erhöhung der Biodiversität oder die Begrenzung von Nährstoffbilanzüberschüssen. Sie kann auf der anderen Seite den ebenfalls regional differenzierten Kosten gegenübergestellt werden. Diese Analysen zeigen, dass eine regionale Differenzierung von Maßnahmen, die sich an den räumlichen Mustern der Verteilung von Nutzen und Kosten orientiert, für eine gesamtgesellschaftlich optimale Lösung unabdingbar ist.

Der für die Analyse von Landnutzungsstrategien in Deutschland innovative Ansatz regional differenzierter, ökologisch erweiterter Nutzen-Kosten-Analysen konnte methodisch und empirisch erarbeitet und für einzelne Attribute exemplarisch umgesetzt werden. Die erhobenen Daten bieten über das hinaus noch erhebliche zusätzliche Potenziale für weitere räumlich differenzierte Auswertungen, die durch weitergehende Forschungsarbeiten erschlossen werden können.

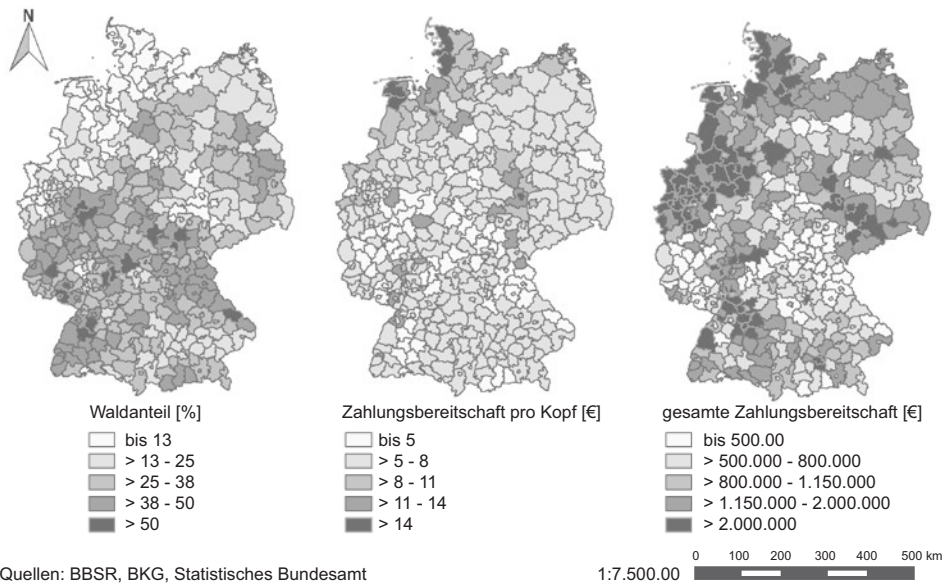


Abb. 5.6 Waldanteil und Marginale Zahlungsbereitschaft für Wald auf Kreisebene

5.2 Institutionelle Gestaltungsoptionen für eine nachhaltige Landnutzung

Ulrike Grabski-Kieron und Mathias Raabe

Zusammenfassung

Landnutzungsentscheidungen orientieren sich nicht nur an gegebenen Standortpotenzialen, sondern unterliegen auch Rahmensetzungen des Umwelt- und Planungsrechts, den Anreizsetzungen verschiedener Förderpolitiken sowie den Einflüssen privater und öffentlicher Akteure und Institutionen durch Aushandlungsprozesse und eigene Strategieentwicklungen (Governance). Diese Regelungs- und Steuerungssysteme der Landnutzung gilt es unter den Vorzeichen des Klimawandels anzupassen und weiterzuentwickeln, um den Herausforderungen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung sektorspezifisch und sektorübergreifend begegnen zu können. Hierzu erfolgt eine umfängliche planungswissenschaftliche Evaluierung der vorhandenen Steuerungselemente, ergänzt durch Literatur- und Dokumentenrecherchen sowie die Ergebnisse der nationalen und regionalen Stakeholder-Beteiligung. Darauf aufbauend können sowohl maßnahmenspezifische als auch übergeordnete institutionelle Gestaltungsoptionen für das Management einer nachhaltigen Landnutzung abgeleitet werden.

5.2.1 Einführung, Zielsetzung und methodische Vorgehensweise

Landnutzungsentscheidungen orientieren sich nicht nur an gegebenen Standortpotenzialen. Sie sind vielmehr Ergebnis komplexer Steuerungs- und Entscheidungsprozesse, die sich auf verschiedenen Handlungsebenen entfalten. Im örtlichen, regionalen, nationalen und auch im europäischen Bezugsrahmen unterliegen Landnutzungsentscheidungen Rahmensetzungen des Umwelt- und Planungsrechts und sind Einflüssen verschiedener sektoraler Anreiz- und Förderpolitiken ausgesetzt. Gleichzeitig sind sie Ausdruck kooperativer, strategischer wie auch umsetzungsorientierter Aushandlungsprozesse zwischen öffentlichen und privaten Akteuren. Diese komplexen hybriden, flexiblen Governancestrukturen (vgl. Fürst und Scholles 2008a, b) bilden zusammen die aktuellen Regelungs- und Steuerungssysteme der Landnutzung (vgl. Abb. 5.7).

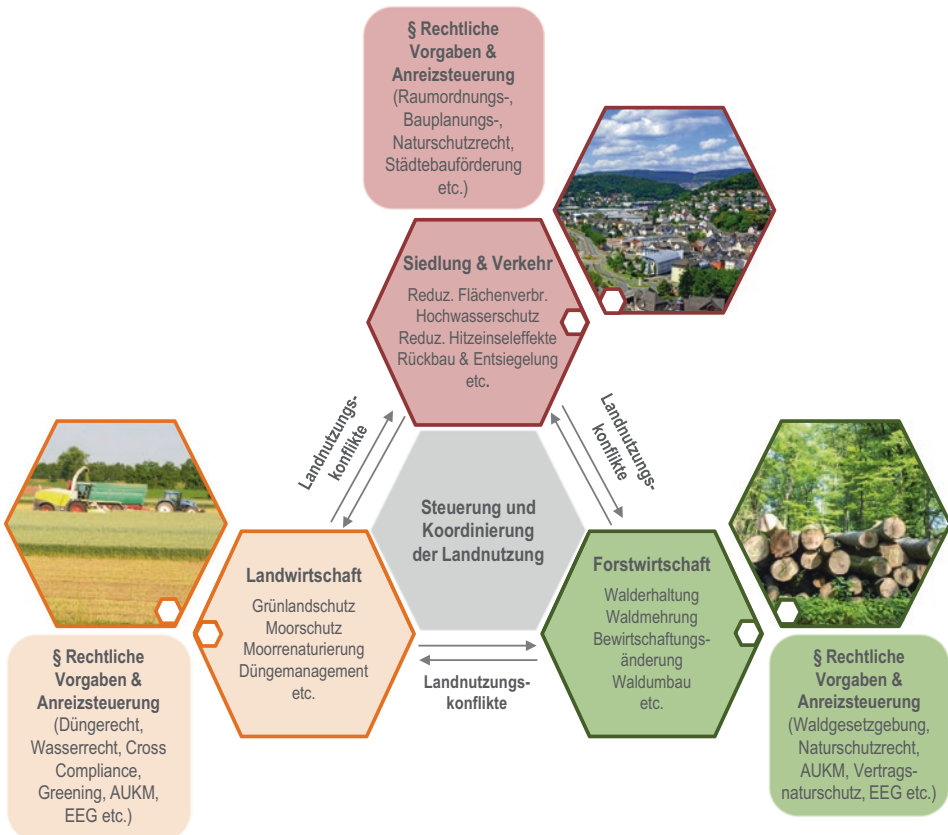


Abb. 5.7 Landnutzungssteuerung im Klimawandel

Die sich abzeichnenden klimatischen Veränderungen und die dadurch notwendigen Anpassungen in der Landnutzung stellen neue Herausforderungen an ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement. Insofern stellt sich die Frage, ob die aktuellen Regelungs- und Steuerungssysteme der Landnutzung diesen Herausforderungen gerecht werden und hinreichend geeignet sind, um die herausgearbeiteten Landnutzungsstrategien und die dort umfassten Maßnahmen umzusetzen. Um institutionelle Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement herauszuarbeiten, wurden zusätzlich zur Akteursbeteiligung die umwelt- und planungsrechtlichen sowie anreiztechnischen Steuerungsmöglichkeiten der Landnutzung in den Mittelpunkt gestellt. So soll ein Beitrag für das Verständnis der Wechselbeziehungen zwischen Landnutzungsentscheidungen einerseits und rechtlichen Rahmenbedingungen andererseits geleistet werden. Gleichzeitig wird gewährleistet, dass in die Erarbeitung nachhaltiger Landnutzungsstrategien über die naturwissenschaftlichen Aspekte hinaus planungsbezogene und sozioökonomische Steuerungsbelange mit einfließen.

Das Ziel ist, übergeordnete institutionelle Gestaltungsoptionen zu formulieren sowie maßnahmespezifische Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement abzuleiten. Die Betrachtung institutioneller Gestaltungsoptionen erfolgt für die Maßnahmen, die in Kap. 4 zu Landnutzungsstrategien gebündelt und analysiert wurden. Es wird nicht der Frage nachgegangen, ob eine spezifische Maßnahme sinnvoll ist oder nicht, sondern welche Handlungsoptionen bestehen, wenn die Maßnahme (als Teil einer der formulierten Strategien) zur Umsetzung kommt bzw. befördert werden soll. Hierzu werden die Maßnahmen hinsichtlich der rechtlich-instrumentellen und politisch-gesellschaftlichen Umsetzbarkeit bewertet (vgl. Abb. 5.8).

Die einschlägigen Regelungsinhalte, Handlungsansätze und Instrumentarien wurden zunächst im Rahmen einer planungswissenschaftlichen Evaluierungsforschung auf Basis eines Kriteriensystems in ihrer Adaptionfähigkeit an sich wandelnde Anforderungen wie auch hinsichtlich ihrer Potenziale zur Weiterentwicklung einer Bewertung unterzogen. Berücksichtigung fanden dabei alle diejenigen Instrumente, die als rechtliche Regelungssachverhalte, Verfahren, Anreizmechanismen, Strategien, Konzepte und informelle Kooperationsformen zu einer Steuerung, Einflussnahme oder zu einer konkreten Umsetzung von Entscheidungen in der Landnutzung führen und denen in formal-rechtlichen wie auch informellen Governance-Kontexten strukturell-gestaltende und funktional-differenzierende Wirkungen in der Raumnutzung zukommen. Als Kriterien zur Bewertung der vorhandenen Regelungssysteme wurden herangezogen:

- die Passgenauigkeit: Bewertung der Einflussnahme rechtlicher Regelungen oder Instrumente auf Klimaschutz und/oder Klimaanpassung;
- der Umsetzungsbezug: Bewertung der Wirkungsweise einzelner Instrumente mit Bezug auf die Frage, welche Impulse vom Instrument/seinem Steuerungsansatz und/oder



Abb. 5.8 Zielsetzung und methodisches Vorgehen

seinem Einflusselement ausgehen, um Klimaschutz-/Klimaanpassungsmaßnahmen im Landnutzungsmanagement umzusetzen¹²;

- die Bindungswirkung: Bewertung der rechtlichen Bindungswirkung eines Regelungs- und Steuerungsansatzes/eines Einflusselements zur Umsetzung von Maßnahmen für Klimaschutz/Klimaanpassung in der Landnutzung;
- die Umsetzungsrelevanz: Bewertung der theoretischen und praktischen Bedeutung, die einem Regelungs- und Steuerungsansatz/Einflusselement für eine nachhaltige, klimawandelangepasste Landnutzung zukommt.

¹²Beispielsweise unmittelbar wirksame Verbote versus Festlegungen in Raumordnungsplänen, die der Konkretisierung durch nachgelagerte Planungen bedürfen.

Zudem wurde festgehalten, welche Zielgruppen von einzelnen Instrumenten und Regelungsinhalten angesprochen werden und welche Bezüge zu den modellierten Maßnahmen bestehen. Die Ergebnisse der eigenen fachlich-inhaltlichen Analyse wurden mit Aussagen der begleitenden rechts- und planungswissenschaftlichen Literatur- und Dokumentenrecherche abgeglichen und ergänzt. Darüber hinaus flossen Kernaussagen der nationalen und regionalen Stakeholder-Beteiligung sowie eines Experten-Workshops in die Analyse mit ein, was eine weitere Validierung der Ergebnisse ermöglichte. Die abgeleiteten Handlungsoptionen zur Modifikation einzelner Steuerungsinstrumente wurden ferner auf ihre rechtliche Umsetzbarkeit hin juristisch überprüft¹³ und mit den sektoralen Projektpartnern fachlich abgestimmt. Somit ergibt sich ein ganzheitlicher Bewertungsansatz, in den mehrere methodische Bausteine einfließen.

5.2.2 Ergebnisse der planungswissenschaftlichen Evaluierung

Die Ergebnisse der planungswissenschaftlichen Evaluierung der landnutzungsrelevanten Regelungs- und Steuerungssysteme des Planungs- und Umweltrechts sowie der wichtigsten anreiztechnischen Förderpolitiken dienten als Ausgangsbasis der weiteren Arbeiten und waren handlungsleitend bei der Ableitung institutioneller Gestaltungsoptionen.

Im Kern kann festgehalten werden, dass das deutsche Planungs- und Umweltrecht bereits durch eine weitgehende rechtliche Verankerung von Klimaschutz und Klimaanpassung gekennzeichnet ist und in den vergangenen Jahren ein breit aufgestellter Instrumentenkasten mit unterschiedlichen Instrumententypen entwickelt wurde. Mit deren Hilfe können bereits heute klimawandelangepasste Raumstrukturen entwickelt werden (vgl. Abb. 5.9). Gleichzeitig kann konstatiert werden, dass in Teilen eine Weiterentwicklung einzelner Instrumente im Sinne des Klimaschutzes und der Klimaanpassung notwendig sein wird und in verschiedenen Bereichen deutliche Vollzugs- und Umsetzungsdefizite vorhandener Instrumente festzustellen sind. Die hohe Bedeutung informeller Handlungs- und Planungsansätze hat sich bestätigt. Zudem sind im Ergebnis der Analyse Instrumente in den Vordergrund gerückt, die in fachlichen Diskursen bisher nur vereinzelt mit der Umsetzung von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen in Verbindung gebracht werden. Sektorübergreifend hat sich gezeigt, dass das Zusammenwirken einzelner Instrumente und die konkrete Ausgestaltung der Governance-Systeme (Kooperation und Koordination zwischen Akteuren, Institutionen) für die erfolgreiche Umsetzung klimawandelrelevanter Maßnahmen von zentraler Bedeutung sind.

¹³Zusammenarbeit mit dem Zentralinstitut für Raumplanung (ZIR) an der Universität Münster.

Unterschiedliche Instrumententypen zur Steuerung der Landnutzung		
€	Anreize & Fördermittel	zum Beispiel... – Gemeinsame Agrarpolitik (Direktzahlungen, CC, Greening, AUKM) – Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz – Städtebauförderung – Innovative Finanzierungsmodelle (z. B. MoorFutures)
i	Information & Beratung	zum Beispiel... – Düngeberatung – Waldbauliche Handlungsempfehlungen – Infrastrukturfolgekostenberechnungen – Brachflächenmonitoring
§	Rechtliche Vorgaben	zum Beispiel... – Walderhaltungsgebot – Naturschutzrechtliche Grünlandumbruchverbote – Kompensation von Eingriffen – Umweltverträglichkeitsprüfung
	Kooperation & Zusammenarbeit	zum Beispiel... – Landwirtschaft & kommunale Wasserversorger (Düngung) – Interkommunale Kooperation – Forstwirtschaftliche Zusammenschlüsse – Public Private Partnership
	Planerische Steuerung	zum Beispiel... – Räumliche Gesamtplanung (z. B. Regionalplanung, Bauleitplanung) – Fachplanung (z. B. Landschaftsplanung, Verkehrsplanung) – Stadtplanung/Quartiersplanung – Flurbereinigung
€ / §	Ökonomische & fiskalische Instrumente	zum Beispiel... – Finanzausgleich – Entfernungspauschale – Emissionshandel – Flächenhandel (perspektivisch)

Abb. 5.9 Unterschiedliche Instrumententypen zur Steuerung der Landnutzung

5.2.3 Übergeordnete Gestaltungsoptionen für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement

Bevor maßnahmenbezogene Handlungsoptionen thematisiert werden, soll zunächst auf sektorübergreifende Gestaltungsoptionen für ein nachhaltigeres Landnutzungsmanagement in Deutschland eingegangen werden. Diese greifen die Notwendigkeit auf, Landnutzung effektiver als bisher zu steuern und zu koordinieren und dabei die Herausforderungen des Klimawandels stärker als bisher zu berücksichtigen.

Effektivere Steuerung und Koordinierung der Landnutzung durch räumliche Gesamtplanung

Im Kontext der Ausgestaltung eines nachhaltigen Landnutzungsmanagements ist auf die Notwendigkeit hinzuweisen, stärker als bisher die integrierenden und koordinierenden Potenziale der räumlichen Gesamtplanung auszunutzen. Diese kann auf überörtlicher Ebene im Rahmen der Landesentwicklungs- und Regionalplanung sowie dann auf Ebene der Kommunalplanung wesentlich dazu beitragen, die im Zuge des Klimawandels und der Energiewende zunehmenden Flächennutzungskonflikte frühzeitig zu erkennen und koordinierend auf diese einzuwirken. Zudem kann sie Klimaschutzmaßnahmen¹⁴ sowie Maßnahmen zur Strategie „Klimaanpassung“¹⁵ vorbereiten und entsprechende Flächen sichern.

Bei der Umsetzung einer klimawandelgerechten Raumordnung kommt der Regionalplanung eine Schlüsselfunktion zu. Dies liegt darin begründet, dass sie aufgrund ihrer im Vergleich zur kommunalen Bauleitplanung größeren Maßstäblichkeit bei gleichzeitig hinreichendem räumlichen Konkretisierungsgrad die am besten geeignete Handlungsebene zur Erarbeitung überörtlicher und querschnittbezogener Strategien und Maßnahmen darstellt. Ihre theoretische Relevanz wird in der Planungspraxis – länderspezifisch unterschiedlich – durch eine begrenzte finanzielle und personelle Ausstattung eingeschränkt. Eine explizite Aufarbeitung klimaschutz- oder klimaanpassungsrelevanter Belange vollzieht sich jedoch mehr und mehr.

Vor dem Hintergrund der vielfältigen Anforderungen, die der Klimawandel an die künftige Ausgestaltung der Landnutzung stellt, erscheint auch eine stärkere Einbeziehung und bessere Verknüpfung der formal-rechtlichen Regionalplanung mit informellen Planungs- und Handlungsansätzen¹⁶ notwendig (s. u.). Diese sind dazu in der Lage, klimawandelbezogene Themen und Inhalte zu transportieren und formal-rechtliche Planungen vorzubereiten. Vor diesem Hintergrund ist auch die Forderung der Akademie für Raumforschung und Landesplanung (vgl. Spiekermann und Franck 2014, S. 21) zu unterstützen, die klassische Regionalplanung zu einer strategischen Regionalplanung weiterzuentwickeln und um Aufgaben und Handlungsmöglichkeiten des Regionalmanagements zu erweitern. Dies sollte u. a. die Ausstattung der Regionalplanung mit eigenen investiven Mitteln sowie ausreichenden Kapazitäten und Kompetenzen, das verstärkte Arbeiten mit Szenarien und die bereits angesprochene intensivere Berücksichtigung informeller regionaler Entwicklungsprozesse umfassen.

¹⁴Etwa die Umsetzung einer flächensparenden und verkehrsvermeidenden Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung, die räumliche Vorsorge für eine klimaverträgliche Energieversorgung oder auch die raumordnerische Sicherung von CO₂-Senken.

¹⁵Beispielsweise im Hochwasser- und Küstenschutz sowie bei der Verringerung städtischer Hitzefolgen.

¹⁶Dies können etwa regionale Entwicklungskonzepte sein oder regionale Klimaschutzkonzepte sowie themenspezifische Konzepte zum Einsatz erneuerbarer Energien.

Verstärkte Berücksichtigung von Klimawandelfolgen in der räumlichen Planung

Im Rahmen von Umweltverträglichkeitsprüfungen für Projekte sowie für Pläne und Programme nach Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) in Verbindung mit dem Raumordnungsgesetz (ROG) und dem Baugesetzbuch (BauGB) wird sichergestellt, dass bei öffentlichen und privaten Vorhaben zur wirksamen Umweltvorsorge nach einheitlichen Grundsätzen die Auswirkungen auf die Umwelt frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet und die Ergebnisse der durchgeführten Umweltprüfungen in planerischen Entscheidungen berücksichtigt werden. Dabei ist festzustellen, dass das UVPG in seiner jetzigen Fassung keine Klimafolgenprüfung vorsieht, sondern lediglich die Auswirkungen des prüfpflichtigen Vorhabens auf das Klima untersucht werden.

Zur stärkeren Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels auf Planungsprozesse bedarf es insofern der Etablierung einer Klimafolgenverträglichkeitsprüfung¹⁷, in deren Rahmen im Sinne eines Perspektivenwechsels künftig die Folgen des Klimawandels bei der Projektplanung und Planaufstellung Berücksichtigung finden. Da bei der Planung einzelner Projekte (z. B. eines Kraftwerkes) entsprechende Risiken bereits über das Anlagenrecht hinreichend Berücksichtigung finden, ist die Etablierung einer Klimafolgenverträglichkeitsprüfung in erster Linie für die Strategische Umweltprüfung (SUP) angezeigt. Dabei sollte ein solches Prüfverfahren bestenfalls in die SUP integriert werden, um die Planungspraxis nicht durch ein weiteres Prüfinstrument zu überfrachten (so auch MKRO 2013, S. 34). Besondere Relevanz erzielte das Prüfverfahren auf regionaler Ebene bei der Aufstellung regionaler Raumordnungspläne. Hier könnten die Klimawandelfolgen bereits auf überörtlicher Ebene ermittelt und bewertet werden, was gleichzeitig die informatorische Funktion der Regionalplanung deutlich aufwerten würde.

Weiterentwicklung der Landschaftsplanung

In Bezug auf die fachplanerische Aufbereitung und Bearbeitung klimawandelrelevanter Aufgaben und Inhalte ist festzuhalten, dass in Deutschland keine eigenständige Klimafachplanung existiert, in deren Rahmen Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung hinreichend Berücksichtigung finden. Der Landschaftsplanung wird in diesem Zusammenhang das Potenzial zugesprochen, wichtige Ermittlungs-, Koordinierungs- und Abwägungsaufgaben zu übernehmen (vgl. Wilke et al. 2011, S. 128 ff.), was jedoch aufgrund der geltenden Rechtslage nicht zu erwarten ist (vgl. Reese et al. 2010, S. 394). Es zeigt sich, dass Belange des Klimawandels zwar vermehrt Eingang in die Landschaftsplanungspraxis auf regionaler Ebene finden, jedoch erfolgt bisher die Bearbeitung in sehr unterschiedlicher Intensität, wobei eine stringente, systematische und strukturierte Bearbeitung zurzeit nicht stattfindet (vgl. Radtke et al. 2015). Dabei könnte sie bei der Erfüllung neuer (und alter) Aufgaben wesentliche Beiträge zur Ausgestaltung

¹⁷Das sogenannte „Climate Proofing“, zurückgehend auf Kabat et al. (2005).

eines klimawandelgerechten und nachhaltigen Landnutzungsmanagements leisten, zum Beispiel durch

- die Bewertung der Senkenfunktion von Ökosystemen (Quantifizierung des Kohlenstoffgehaltes),
- die räumliche Steuerung und Bündelung von Kompensationsmaßnahmen sowie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM),
- die Informationsbereitstellung zur Erarbeitung von Klimafolgenverträglichkeitsprüfungen sowie
- die Zusammenführung fachbehördlicher Einzelinteressen zu einem integrativen landschaftlichen Ansatz.

Hierzu bedürfte es rechtlicher und prozessualer Modifikationen, um die Landschaftsplanung im Sinne einer mehrstufigen, integrierten Umweltplanung auszugestalten, die schutzgutübergreifend Ermittlungs-, Koordinierungs- und Abwägungsaufgaben übernehmen kann und diese mit entsprechender Bindungswirkung zur Umsetzung führt. Im Einzelnen würde die Weiterentwicklung der Landschaftsplanung u. a. folgende Modifikationen erfordern (vgl. vertiefend auch Marschall et al. 2012):

- Erhöhung der rechtlichen Bindungswirkung landschaftsplanerischer Festlegungen;¹⁸
- Festschreibung regelmäßiger Überprüfungsintervalle der Landschaftspläne und Wiedereinführung der Pflicht zur flächendeckenden Landschaftsplanung auf örtlicher Ebene;
- klarstellende Ergänzung der Klimaanpassung als Ziel der Landschaftsplanung im BNatSchG;
- vermehrter Einsatz von Szenarien und (Klima-)Projektionen;
- Sicherstellung einer ausreichenden Ressourcenausstattung der Landschaftsplanung.

So ließe sich ein bestehendes und grundsätzlich erprobtes und bewährtes Instrumentarium dazu nutzen, ein rechtliches Planungsinstrument zu etablieren, welches der Tatsache Rechnung trägt, dass die Risiken des Klimawandels – abgesehen von Extremwetterereignissen mit nur kurzzeitig erhöhtem Problembewusstsein – oftmals keinen unmittelbaren Handlungsdruck erzeugen und somit meist keine hinreichende planerische Berücksichtigung finden.

Weiterentwicklung des Kompensationsflächenmanagements

Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG, § 13) besagt, dass Eingriffe in Natur und Landschaft durch Kompensationsmaßnahmen auszugleichen sind, sofern sie nicht ver-

¹⁸Etwa durch eindeutigere Berücksichtigungs- und Beachtungspflichten sowie Beteiligungs-, Behemmens- und Einvernehmensvorbehalte.

meidbar sind. Die Realisierung dieser Kompensationsmaßnahmen erfolgt aufgrund der allgemeinen Flächenknappheit zu einem Großteil auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Diese weisen infolgedessen deutliche Flächenverluste auf, zusätzlich zur ohnehin hohen Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen (vgl. Abschn. 2.2). Dadurch wird zum einen das landwirtschaftliche Produktionspotenzial eingeschränkt, zum anderen sind deutliche Umsetzungsdefizite bei der Planung und Unterhaltung der Kompensationsflächen zu diagnostizieren, was deren naturschutzfachliche Wirkung deutlich einschränkt (vgl. etwa LUWG¹⁹ 2005 am Beispiel Rheinland-Pfalz).

Es ergibt sich daher die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung des Kompensationsflächenmanagements, um einerseits bestehende Umsetzungsdefizite abzubauen und andererseits flächensparende und innovative Kompensationsmaßnahmen verstärkt zu etablieren. Hier sind neben Aufwertungsmaßnahmen bestehender Ökosysteme vor allem Entsiegelungsmaßnahmen und produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen²⁰ zu nennen. Insbesondere Letztere sind grundsätzlich dazu geeignet, eine naturschutzfachlich hochwertige Kompensation zu gewährleisten, gleichzeitig aber die Fortführung der landwirtschaftlichen Nutzung zu ermöglichen. Dies trägt zur Akzeptanzsteigerung entsprechender Maßnahmen bei und sichert deren langfristige Unterhaltung (vgl. Czybulka et al. 2012). Zur Umsetzung des Kompensationsflächenmanagements bedarf es innovativer Kompensationsflächenkataster und der Stärkung entsprechender Institutionen zur Planung, Koordinierung und Umsetzung der Maßnahmen. Um einen bundeseinheitlichen rechtlichen Rahmen zu schaffen und mit einheitlichen Bewertungsverfahren auch länderübergreifende Kompensationen zu ermöglichen, bietet sich die Verabschiedung einer bundeseinheitlichen Kompensationsverordnung an, um einer fortschreitenden Rechtszersplitterung durch weitere Länderverordnungen vorzubeugen.²¹

Weiterentwicklung der Gemeinsamen Agrarpolitik

Die EU-Agrarpolitik ist eines der zentralen Steuerungs- und Anreizinstrumente der Landnutzung, wobei nicht nur die Land- und Forstwirtschaft gefördert wird, sondern auch die wirtschaftliche Entwicklung in ländlichen Gebieten sowie lokale Dorfentwicklungsprozesse adressiert sind. Sie setzt dabei in der Förderperiode ab 2014 nach wie vor den größten Teil der Finanzmittel für entkoppelte, flächengebundene Direktzahlungen an die Landwirtschaft ein (erste Säule), die eine nur geringe Steuerungswirkung entfalten.

¹⁹Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz.

²⁰Über produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen in der Landwirtschaft wird mit Hilfe zeitlich befristeter und genau definierter Leistungen des bewirtschaftenden Landwirts eine Aufwertung für den biotischen oder abiotischen Ressourcenschutz angestrebt, ohne die Fläche der landwirtschaftlichen Nutzung zu entziehen.

²¹Der aktuell zweite Entwurf der Bundes-Kompensationsverordnung stellt in diesem Zusammenhang einen deutlichen Rückschritt gegenüber dem ursprünglichen Entwurf dar. Zudem ist aktuell ungewiss, ob generell eine Ländermehrheit zur Verabschiedung einer Bundesverordnung erreicht werden wird.

Perspektivisch erscheint daher die Beibehaltung der Flächenprämien im Rahmen der GAP nicht zielführend und auch nicht notwendig, da die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Landwirtschaft auch bei einem schrittweisen Abbau der Direktzahlungen nicht gefährdet wäre (vgl. Isermeyer 2012, S. 58). In Regionen, in denen dies nicht der Fall wäre, stünden dann aufzustockende Mittel der heutigen zweiten Säule in Form von Ausgleichszulagen für benachteiligte Regionen zur Verfügung (vgl. WBA 2010, S. 28). Erfolg versprechender und gesellschaftlich akzeptabler wäre der zielgerichtete Mitteleinsatz für Instrumente der zweiten Säule der GAP, die dann nicht mehr wie bisher von den Mitgliedstaaten kofinanziert werden müssten, sondern ähnlich wie die aktuellen Flächenprämien zu 100 % aus dem EU-Haushalt finanziert werden könnten.²² Da viele Herausforderungen im Agrarbereich jedoch auch über die derzeitige zweite Säule nicht zu bewältigen sind, wird neben dem schrittweisen Abbau der ersten und der finanziellen Aufstockung der zweiten Säule der GAP eine Aufteilung der zweiten Säule in eine ländliche Entwicklungspolitik (dezentral betrieben, sektorübergreifend konzipiert) sowie eine Agrarstrukturpolitik diskutiert (vgl. Isermeyer 2014, S. 11 f.; Weingarten 2014).

Vermehrter Einsatz informeller Planungs- und Handlungsansätze im Klimawandel

Die Rolle informeller Planungs- und Handlungsansätze wurde bereits in Zusammenhang mit der Raum- und Umweltplanung angesprochen. Auch die Instrumente der zweiten Säule der GAP weisen großes Potenzial zur Bearbeitung von Themen der Klimaanpassung und des Klimaschutzes auf.

Eine der drei Prioritäten der Förderung der ländlichen Entwicklung im Rahmen der GAP ist die Gewährleistung der nachhaltigen Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen und des Klimaschutzes. Hierzu werden neben Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen auch regionale Entwicklungsprozesse in ländlichen Räumen gefördert. In Deutschland erfolgt die Förderung solcher Prozesse über die Integrierte Ländliche Entwicklung (ILE)²³ sowie das europaweit bedeutsame Strukturförderprogramm LEADER²⁴. Informelle Instrumente der ländlichen Regionalentwicklung könnten und sollten künftig stärker als bisher Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung aufgreifen. Frelih-Larsen et al. (2014, S. 50 ff.) stellen für das Beispiel LEADER zwar fest, dass in der Förderperiode 2007 bis 2013 klimawandelbezogene Themen nach wie vor deutlich hinter klassischen Themen ländlicher Entwicklung zurückstanden, identifizieren jedoch auch ein deutliches Potenzial dieses

²²Vgl. hierzu beispielhaft die gleichlautenden Empfehlungen des Thünen-Instituts (Isermeyer 2012; Isermeyer et al. 2014), des Bioökonomierates (Birner et al. 2014) sowie des Bundesamtes für Naturschutz (vgl. Oppermann et al. 2013, S. 192).

²³Zum Beispiel über Integrierte ländliche Entwicklungskonzepte (ILEK), Pläne für die Entwicklung von Gemeinden sowie Dorferneuerung und -entwicklung.

²⁴LEADER ist ein Förderprogramm der Europäischen Union zur Entwicklung des ländlichen Raumes. Ziel der Förderung ist die Unterstützung einer eigenständigen und nachhaltigen Regionalentwicklung in ländlichen Gebieten, gefördert über den europäischen Landwirtschaftsfonds ELER.

Instrumentariums in diesem Kontext. Um ein vermehrtes Aufgreifen entsprechender Projekte in den Regionen zu erreichen, wird es darauf ankommen, die vielfältigen Synergieeffekte von Klimaschutz- und Klimaanpassungsprojekten besser zu kommunizieren, den lokalen Aktionsgruppen methodische Hilfestellungen zur erfolgreichen Umsetzung von Klimaschutzprojekten anzubieten sowie über die Programmgestaltung der einzelnen Bundesländer Klimaschutz und Klimaanpassung prominenter zu verankern (vgl. – zu Hemmnissen und Handlungsoptionen bei der Integration von Klimaschutz und Klimaanpassung in die ländliche Regionalentwicklung – Neubert 2014).

Von besonderem Interesse für den Sektor Landwirtschaft ist die neu geschaffene Europäische Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP Agri). Diese soll eine bessere Verknüpfung der Forschung mit der landwirtschaftlichen Praxis sowie einen breiteren Einsatz verfügbarer Innovationsmaßnahmen gewährleisten. EIP Agri eröffnet das Potenzial, über kooperative Handlungsansätze eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft zu erhalten und weiterzuentwickeln und dabei beispielsweise Belange des Moorschutzes, innovative Düngeverfahren oder auch den Anbau alternativer Energiepflanzen voranzubringen.²⁵

Stärkung des integrierten Flächenmanagements als Teil einer vorsorgenden Flächenhaushaltspolitik

Maßnahmenübergreifend bestätigt sich die hohe Bedeutung eines integrierten Flächenmanagements. Zahlreiche dem Klimaschutz und der Klimaanpassung dienende Maßnahmen bedürfen des Landerwerbs und der Bodenbevorratung sowie der Betreuung und Durchführung geeigneter Maßnahmen der Flurbereinigung und ländlichen Bodenordnung. Beispielhaft sei an dieser Stelle auf großflächige Moorerenaturierungen, den vorbeugenden Hochwasserschutz durch Deichrückverlegungen sowie das Kompensationsflächenmanagement verwiesen. Institutionen und Einrichtungen, die Aufgaben eines integrierten Flächenmanagements übernehmen, Landnutzungskonflikte entschärfen und einen Ausgleich unterschiedlicher Nutzungsansprüche befördern, gilt es zu stärken und mit ausreichenden Ressourcen auszustatten.

Etablierung einer integrierten Umweltbeobachtung

Die Entwicklung und rechtliche Begründung von Strategien und Maßnahmen zum Umgang mit den Folgen des Klimawandels bedürfen einer hinreichend belastbaren und aktuellen Informationsgrundlage zur Entwicklung der Umwelt sowie der zu erwartenden klimatischen Veränderungen und deren Folgewirkungen. Insofern kommt einer integrierten und schutzgutübergreifenden Umweltbeobachtung eine zentrale Bedeutung zu. Nur so können Wirkungszusammenhänge hergeleitet und Projektionen und Prognosen für die zu erwartenden regionalen Klimafolgenentwicklungen erstellt werden. Aktuell herrscht jedoch z. T. die unkoordinierte Betrachtung einzelner Umweltmedien

²⁵Weitere Informationen unter www.netzwerk-laendlicher-raum.de/themen/eip-agri.

vor²⁶, ohne dass eine bundeseinheitliche Datenerhebung, -auswertung und -bearbeitung stattfindet (vgl. auch Möckel und Reese 2010, S. 406). Notwendig sind jedoch – wo sinnvoll und zielführend – eine bessere Integration, Systematisierung und Harmonisierung der bestehenden sektoralen bzw. medialen Beobachtungs- und Monitoringprogramme sowie eine integrative und ökosystemare Datenauswertung. Koordinierungsbedarf besteht dabei zwischen Bund, Ländern und Kommunen ebenso wie zwischen den einzelnen Sektoren und Fachplanungen.

Netzwerk Vulnerabilität

Im Kontext der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) wurde als eine Maßnahme des Aktionsplans ein Behördennetzwerk Vulnerabilitätsbetrachtung definiert (Bundesregierung 2011). Dieses Netzwerk von 16 Behörden und Institutionen aus neun Ressorts zielt darauf übergreifend die Verwundbarkeit Deutschlands gegenüber dem Klimawandel als Grundlage für eine Priorisierung der Klimarisiken für Deutschland zusammenzutragen. Die inter- und transdisziplinäre Kooperation zwischen allen Beteiligten des Netzwerkes Vulnerabilität erlaubt das bestehende Wissen zusammenzuführen und ein gemeinsames Verständnis bezüglich der Risiken des Klimawandels sowie der Vulnerabilität der verschiedenen Sektoren und Regionen zu entwickeln. Es wurden vierzehn sektorale Handlungsfelder identifiziert Bauwesen, Biologische Vielfalt, Boden, Energiewirtschaft, Finanzwirtschaft, Fischerei, Industrie und Gewerbe, Küsten- und Meeresschutz, Landwirtschaft, menschliche Gesundheit, Tourismuswirtschaft, Verkehr und -infrastruktur, Wald- und Forstwirtschaft sowie Wasserhaushalt und -wirtschaft. Als Querschnittsthemen wurden die Themenbereiche Raumordnung, Regional- und Bauleitplanung sowie Bevölkerungs- und Katastrophenschutz benannt (adelphi/PRC/EURAC 2015).

5.2.4 Institutionelle Gestaltungsoptionen im Siedlungswesen

Im Sektor Siedlung und Verkehr liegt der Fokus auf Maßnahmen zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme, insbesondere durch eine forcierte Innenentwicklung, die Ausschöpfung baulicher Dichten im Neubau, den „Rückzug aus der Fläche“, einen restriktiveren Freiraumschutz, die Reduktion der Flächeninanspruchnahme für Verkehrsinfrastruktur sowie die Eindämmung des Individualverkehrs durch geeignete Maßnahmen wie z. B. die Stärkung des ÖPNV. Mit Blick auf die Notwendigkeit zur Klimaanpassung im Siedlungssektor befassen sich weitere Maßnahmen mit einem verbesserten Hochwasserschutz sowie dem Erhalt und der Entwicklung innerstädtischer Freiflächen.

²⁶Zum Beispiel FFH-Monitoring, Monitoring Luftqualität und Lärmbelastung, Gewässerqualität nach Wasserrahmenrichtlinie, Bundeswaldinventur etc.

5.2.4.1 Beiträge zum Klimaschutz durch die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme

Die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme ist als gesellschaftliches Ziel gesetzt und hat in den vergangenen Jahren – getragen durch die politische Willensbekundung der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung – umfänglich Eingang gefunden in das Raumordnungs- und Bauplanungsrecht sowie ergänzendes Fachrecht. Zur Umsetzung steht ein breites Spektrum formal-rechtlicher und informeller Instrumente zur Verfügung, die in vielen Regionen und Kommunen erfolgreich zur Umsetzung kommen. Gespeist wird die Planungspraxis dabei aus vielfältigen innovativen Handlungsansätzen, die aus verschiedensten Forschungsprojekten und Modellvorhaben hervorgegangen sind. Gleichwohl wird das 30-ha-Ziel bis 2020 nicht erreicht werden (vgl. Abschn. 4.4), da die zur Verfügung stehenden Instrumente in den einzelnen Bundesländern bisher nicht flächendeckend und hinreichend konsequent zum Einsatz kommen und eine nachhaltige Flächenpolitik in vielen Kommunen kein prioritäres Ziel darstellt (vgl. Einig 2011).

Wesentliche Beiträge zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme könnte vor allem die Raumordnung leisten, insbesondere durch den verstärkten Einsatz restriktiver, flächeverknappender Ansätze in der Landes- und Regionalplanung²⁷, die jedoch vielfach als zu starker Eingriff in die kommunale Selbstverwaltung angesehen und daher nur zögerlich angewendet werden. Zudem erscheinen verstärkte Anstrengungen für innovative und integrativ arbeitende regionale Kooperationen²⁸ notwendig, da nur auf dieser Ebene Fragen einer nachhaltigen und regional abgestimmten Flächenhaushaltspolitik zielgerichtet und kooperativ gelöst werden können. Perspektivisch steht die Ergänzung des Instrumentenkastens um weitere anreiztechnische Instrumente wie beispielsweise handelbare Flächenzertifikate²⁹ zur Diskussion. Hierzu besteht jedoch weiterer Forschungsbedarf. Zudem ist im Falle einer Implementierung eine instrumentelle Überfrachtung des Planungssystems zu vermeiden. Entlang der einzel-

²⁷Negativ-restriktiver Freiraumschutz (z. B. Vorranggebiete für Natur und Landschaft), ergänzt durch positiv-planerische Instrumente (z. B. Dichtewerte für Wohnbauflächen, positiv-allokative Siedlungssteuerung durch Vorranggebiete, Vorgaben zur Innenentwicklung, Vorgaben zur Eigenentwicklung; vgl. vertiefend BMVBS 2012).

²⁸Beispielhafter Verweis auf den Regionalverband Ruhr, der als Regionalplanungsbehörde auch regionale Wirtschafts- und Tourismusförderung sowie die Öffentlichkeitsarbeit für das Gebiet der Metropole Ruhr wahrnimmt.

²⁹Seit geraumer Zeit wird die Einführung handelbarer Flächenzertifikate in Anlehnung an den Emissions-Zertifikatehandel diskutiert und von F+E-Vorhaben begleitet, z. B. „Planspiel Flächenhandel“ im Auftrag des Umweltbundesamtes (Laufzeit 10/2012 bis 12/2015; www.flaechenhandel.de). Grundidee des Konzeptes ist es, dass Kommunen für die Baulandausweisung im Außenbereich eine entsprechende Menge an Zertifikaten aufbringen müssen. Diese sind zwischen den Kommunen frei handelbar. Weist eine Kommune kein Bauland aus, kann es die ihm zugeteilten ungenutzten Zertifikate an andere Kommunen veräußern, die mehr Zertifikate benötigen, als ihnen zugeteilt wurden.

nen modellierten Maßnahmen, die zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme beitragen können, werden im Folgenden konkrete Handlungsoptionen aufgezeigt, die einer weiteren Maßnahmenbeförderung zuträglich sein können.

Stärkung der Innenentwicklung

Für eine konsequentere Lenkung der Siedlungsflächenentwicklung auf den Innenbereich im Sinne der Innenentwicklung steht ein umfangreiches Instrumentarium zur Verfügung, das durch die kommunalen Planungsträger jedoch oftmals nicht voll ausgeschöpft wird. Hinzu treten Grenzen der Innenentwicklung, die den Beitrag dieser planerischen Handlungsmaxime zur Erreichung der Flächensparziele der Bundesregierung einschränken. Diese Hemmnisse umfassen insbesondere

- die schwierige Aktivierbarkeit von Innenentwicklungspotenzialen,
- die regionale Persistenz der Wachstumsorientierung in der kommunalen Baulandpolitik,
- die der Innenentwicklung entgegenstehenden Präferenzen der Wohnraumnachfrager,
- räumliche Divergenzen zwischen vorhandenen Innenentwicklungspotenzialen und der Baulandnachfrage,
- die oftmals unzureichenden finanziellen und personellen Kapazitäten der Kommunen sowie
- städtebauliche, ökologische und immissionsschutzrechtliche Grenzen der Innenentwicklung.

Für eine weitere Beförderung der Innenentwicklung bedarf es neben der konsequenten Anwendung der Bodenschutzklausel des BauGB vor allem verstärkter Bemühungen zur weitergehenden Etablierung kommunaler und regionaler Flächenmanagementstrategien. In diesem Zusammenhang relevante informatorische Instrumente, wie beispielsweise regionale und kommunale Innenentwicklungskataster, sind konsequenter als bisher zu erarbeiten. Zudem erscheint die Einführung obligatorischer Infrastrukturfolgekosten-Berechnungen als verpflichtender Bestandteil planerischer Entscheidungen zielführend, was durch eine entsprechende Modifikation der Bodenschutzklausel des BauGB möglich wäre.

Zur Überwindung der regional nach wie vor persistenten angebotsorientierten Baulandpolitik vieler Kommunen ist der verstärkte Einsatz interkommunal abgestimmter Baulandstrategien angezeigt, deren Erarbeitung durch informelle Handlungs- und Planungsansätze eingeleitet werden kann. Wichtige Impulse können durch eine intensivierete Öffentlichkeitsarbeit und Sensibilisierung zum Thema Innenentwicklung auf regionaler und kommunaler Ebene ergehen. Flankierend bedarf es dringend der weitergehenden Befähigung der Kommunen zur Umsetzung von Innenentwicklungsstrategien sowie des Abbaus hemmender Faktoren und instrumenteller Schwächen. Hier ist vor allem auf die notwendige Stärkung bzw. konsequente Anwendung des städtebaulichen Instrumentariums für einen effektiveren Flächen- und Gebäudezugriff zur

Aktivierung von Innenentwicklungspotenzialen hinzuweisen.³⁰ Zusätzlich ist die Überprüfung lärmschutzrechtlicher Regelungen im Zusammenspiel mit dem Städtebaurecht angezeigt, da diese häufig ein Hemmnis für Innenentwicklungsvorhaben darstellen können (vgl. Bunzel et al. 2014, S. 10).

Notwendig ist zudem eine verstärkte Ausrichtung des vorhandenen Förderinstrumentariums auf die Innenentwicklung sowie die Sicherstellung einer ausreichenden personellen und finanziellen Mittelausstattung der Kommunen, um den Mehraufwand für die erweiterten Ermittlungsaufgaben und die Umsetzung von Aktivierungskonzepten auszugleichen. Perspektivisch ergibt sich die Notwendigkeit der Berücksichtigung flächenbezogener Komponenten im kommunalen Finanzausgleich, der bisher zu sehr durch die Einwohnerorientierung geprägt ist und so flächenpolitische Fehlanreize induziert.

Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau

Auf die vermehrte Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau können die Kommunen direkten Einfluss nehmen, indem sie das zur Verfügung stehende Instrumentarium der Bauleitplanung ausnutzen und eine flächensparende Siedlungsentwicklung umsetzen, insbesondere durch die Festsetzung von Minstdichten des Maßes der baulichen Nutzung nach Baunutzungsverordnung (BauNVO). Eine solche flächensparende Siedlungsentwicklung kann durch einen kommunalen Baulandbeschluss nach außen kommuniziert und als Selbstbindung zum Flächensparen verstanden werden. In den Teilräumen, in denen auf kommunaler Ebene keine hinreichende Ausschöpfung der baulichen Dichten erfolgt, kann auf übergeordneter Ebene die Raumordnung Einfluss auf das kommunale Planungsgeschehen nehmen, indem flächeverknappende Instrumente der Landes- und Regionalplanung zum Einsatz kommen (s. o.) und vermehrt Dichtewerte für Wohnbauflächen durch die Regionalplanung vorgegeben werden.³¹ Weitere Handlungsoptionen ergeben sich durch die verstärkte Einbeziehung von Infrastrukturfolgekosten-Berechnungen in planerische Entscheidungen (s. o.), die weitere Etablierung planerisch-architektonischer Lösungen flächensparenden Bauens sowie die informatorische Beeinflussung der Wohnraumnachfrage, hin zu flächensparenden und gleichzeitig den Ansprüchen modernen Wohnens genügenden baulichen Lösungen.

³⁰Beispielsweise durch einen zielgerichteten Einsatz gemeindlicher Vorkaufsrechte, den vermehrten Einsatz von Entwicklungs- und Sanierungsmaßnahmen sowie die Schärfung des Wohnungsaufsichtsrechts für einen zielgerichteteren Umgang mit verwahrlosten Immobilien.

³¹So findet sich beispielsweise im Regionalplan der Region Stuttgart (vgl. Verband Region Stuttgart 2009, S. 56) ein raumordnerisches Ziel zur Freiraumsicherung/Bruttowohndichte. Dieses besagt, dass zur Reduzierung der Belastung von Freiräumen durch neue Siedlungsflächeninanspruchnahme bei allen Neubebauungen eine angemessene Bruttowohndichte einzuhalten ist, die entlang der zentralörtlichen Stufen variiert. Hinzuweisen ist an dieser Stelle auf die Tatsache, dass die Ausweisung von Mengenzielen häufig zu Konflikten mit dem Bestimmtheitserfordernis in der Raumordnung führt.

Rückzug aus der Fläche (dezentrale Konzentration)

Mit einem „Rückzug aus der Fläche“ können durch eine raumordnerisch gesteuerte Siedlungsentwicklung im Sinne der dezentralen Konzentration und die Ausschöpfung von Rückbaupotenzialen sowie schrumpfungsbewingter Siedlungsdepressionen Beiträge zum Klimaschutz geleistet werden. Für eine restriktivere Umsetzung des Konzeptes der dezentralen Konzentration durch die Lenkung der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung auf zentrale Orte bedarf es differenzierter Betrachtungsweisen in Abhängigkeit der jeweiligen regionalen raumstrukturellen Ausgangssituation und den zu erwartenden demographischen Entwicklungen. Darauf aufbauend ist in erster Linie die Anpassung und Weiterentwicklung raumordnerischer Steuerungsansätze (z. B. durch eine restriktivere Steuerung der Eigenentwicklung) anzustreben sowie eine Weiterentwicklung des zentralörtlichen Systems als Grundgerüst zur Steuerung der Raum- und Siedlungsstruktur. Insbesondere kommt es auf eine Straffung des Systems, die ortsteilscharfe Ausweisung der zentralörtlichen Funktionen sowie die Förderung zentralörtlicher Kooperationsformen an. Von Relevanz ist zudem die Förderung des regionalen Diskurses bei der Weiterentwicklung des Instrumentariums (Akzeptanzschaffung und damit erhöhte Effektivität) sowie die Bereitstellung ausreichender finanzieller und personeller Ressourcen auf Ebene der Landes- und Regionalplanung, die zur Umsetzung einer aufwändigen Standortsteuerung notwendig sind.

Hinsichtlich eines möglichen Rückbaus ländlich-peripherer Siedlungen mit Schrumpfungstendenzen ist zunächst auf den weiteren Forschungsbedarf zur besseren Erschließung der Thematik hinzuweisen. Hierzu ist die Bereitstellung von Fördermitteln für innovative Pilotprojekte und Erprobungsvorhaben sowie die Fortführung der Neuinterpretation der Gleichwertigkeit der Lebensverhältnisse im Sinne des § 1 (2) ROG erforderlich. Unabhängig davon erscheint es unabdingbar, eine aktive Begleitung der ablaufenden Schrumpfungsprozesse anstelle eines passiven Zulassens zu gewährleisten. Hierzu kommt es nach Küpper et al. (2013) vor allem darauf an,

- Dorferneuerungs- und/oder Städtebaufördermittel verstärkt an die Erarbeitung und Fortschreibung regionaler integrierter Siedlungsentwicklungskonzepte zu knüpfen,
- analog zum Stadtbau in schrumpfenden ländlichen Räumen einen regionalen Siedlungsumbau zu etablieren,
- neuere gesellschaftliche Trends (Energiewende, regionale Produkte) als Chance für schrumpfende Regionen zu erkennen,
- öffentliche Investitionen in Infrastruktur und Einrichtungen der Daseinsvorsorge stärker als bisher dahingehend zu überprüfen, ob sie langfristig tragfähig sind,
- Regionaletats für einen effizienten Fördermitteleinsatz einzuführen und im Sinne des „zulassenden Staates“ rechtliche Standards zu lockern, um regional angepasste und innovative Lösungen von Grundversorgungsleistungen zu ermöglichen.

Sollte perspektivisch eine aktive Rückbaupolitik für Teilräume oder einzelne Ortslagen in Frage kommen, ergäbe sich die Notwendigkeit, neue planerische, ökonomische und informelle Instrumente zu implementieren.³² Weitergehende Erkenntnisse können perspektivisch aus der MORO-Vorstudie des BBSR als Vorbereitung eines Planspiels zur „Anpassung peripherer Siedlungsstrukturen“ hervorgehen.

Restriktiverer Freiraumschutz

Ein restriktiverer Freiraumschutz kann ebenfalls zur effektiveren Steuerung der Flächeninanspruchnahme beitragen. Um die standortsteuernde Wirkung von Schutzgebietsausweisungen zu erhöhen, bedarf es weniger der Änderung des bestehenden Naturschutzrechtes als vielmehr der zielgerichteten Ausgestaltung der Schutzgebietsverordnungen. Dies betrifft insbesondere Landschaftsschutzgebiete, die häufig in Siedlungsrandbereichen liegen und in denen flächenrelevante Zielsetzungen vermehrt aufgenommen werden könnten. Eine Stärkung der Regionalplanung zum Schutz von Natur und Landschaft kann durch die prioritäre Ausweisung von Vorrang- gegenüber Vorbehaltsgebieten erreicht werden. Dabei ist jedoch abzuwägen zwischen der höheren Bindungswirkung eines Vorranggebietes auf der einen und der höheren Akzeptanz und Flexibilität eines Vorbehaltsgebietes auf der anderen Seite. Für die Ausweisung von Pufferflächen rund um Naturschutzgebiete und Nationalparks kommen in erster Linie Landschaftsschutzgebiete in Frage. Deren tatsächliche Schutzwirkung hängt von der konkreten Ausgestaltung der einzelnen Schutzgebietsverordnungen sowie allgemein von der konsequenten Ausgestaltung und Akzeptanz der Kategorie „Landschaftsschutz“ ab.

Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr

Soll eine Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr realisiert werden, rückt zunächst der Verzicht auf neue Trassenplanungen in den Fokus. In diesem Zusammenhang ist vor allem der Bundesverkehrswegeplan (BVWP) von Relevanz, da bereits auf dieser Ebene wichtige Weichenstellungen für die Planung der Bundes-schiene- und Bundesfernstraßen getroffen werden. Für den BVWP 2015 musste erstmals eine Strategische Umweltprüfung (SUP) nach Umweltverträglichkeitsprüfungsgesetz (UVPG) durchgeführt werden.³³ Die Durchführung einer SUP für den

³²Aktuelle Fachdiskurse (z. B. Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung 2011) befassen sich in diesem Zusammenhang mit Überlegungen zur Umsetzung einer aktiveren Siedlungspolitik und der gezielten Aufgabe einzelner Dörfer, der raumordnerischen Identifizierung und Festlegung von Rückzugsräumen, der Etablierung von Rückbau-Fonds sowie der Entwicklung von Umzugsmanagements für ausgewählte Rückzugsräume.

³³Bisher wurden Umweltbelange lediglich über die Monetarisierung bestimmter Umweltkriterien im Rahmen der Nutzen-Kosten-Analyse (NKA) berücksichtigt und die Umweltrisikoeinschätzung (URE) mit integrierter FFH-Verträglichkeitseinschätzung.

BVWP ist zu begrüßen und kann dazu beigetragen, die Umweltfolgen durch vorsorgliche Umplanungen und einschränkende Nebenbestimmungen zu begrenzen, sofern Aspekte des Flächenverbrauchs hinreichend Berücksichtigung finden. Letztlich bleibt die Ausweisung neuer Trassen jedoch ein politischer Abwägungsprozess, in dessen Rahmen klima- und umweltpolitische Fragestellungen häufig unterliegen. Gleiches gilt für Raumordnungsverfahren nach § 15 ROG, über die eine Prüfung der Raumverträglichkeit raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen erfolgt. Insofern obliegt es den politischen Entscheidungsträgern, bei der Entscheidung über den Bundesverkehrswegeplan umwelt- und naturschutzfachlichen Auswirkungen ein besonderes Gewicht beizumessen, um unnötige Flächeninanspruchnahmen zu vermeiden. Dies entspräche der Umsetzung der Grundkonzeption für den BVWP 2015 (vgl. BMVI 2014), die unter Punkt 1 eindeutig Erhaltungsinvestitionen gegenüber Aus- und Neubauvorhaben priorisiert.

Damit einher geht die notwendige Reduktion des innerstädtischen Flächenbedarfs für Verkehrsflächen entsprechend des städtebaulichen Leitbildes der Stadt der kurzen Wege. Anzustreben ist eine flächensparende Siedlungsentwicklung, wobei sich Anknüpfungspunkte an die Ausschöpfung der baulichen Dichte im Neubau sowie die Ausführungen zur Innenentwicklung ergeben. Auch die im nachfolgenden Abschnitt angesprochene Beförderung des ÖPNV wäre der Maßnahme zuträglich, da der Flächenbedarf pro Person und Verkehrsmittel im ÖPNV deutlich geringer ausfällt als im motorisierten Individualverkehr.³⁴

Gleichzeitig bestehen Potenziale hinsichtlich des Rückbaus nicht mehr benötigter Infrastrukturen. Zielgerichtete Rückbauprozesse könnten durch Anreizelemente der aktuell diskutierten Zertifikate basierten Flächenhandels über sogenannte „Weiße Zertifikate“ befördert werden. Alternativ wäre eine Anreizsteuerung über entsprechend aufzulegende bzw. auszubauende Förderprogramme in der Städtebauförderung bzw. der Förderung der Entwicklung ländlicher Räume möglich.

Stärkung des öffentlichen Personennahverkehrs

Um eine Verringerung des motorisierten Individualverkehrs und somit einen verringerten Flächenbedarf für Verkehrsinfrastrukturen sowie eine Reduzierung von THG-Emissionen zu erreichen, bedarf es der weiteren Stärkung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Hierzu ist insgesamt eine deutliche Attraktivitätssteigerung anzustreben, wie sie vielerorts bereits realisiert wird. Ein wesentliches Hemmnis für die weitere Stärkung des ÖPNV stellt die Finanzierung dar. Ein eigenes ÖPNV-Finanzierungsgesetz oder die Einbeziehung der Aufgaben des Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetzes in das Regionalisierungsgesetz könnten eine konsistente und verfassungsgerechte Finanzierung darstellen. In diesem Kontext sind weitere Über-

³⁴Basierend auf Berechnungen der Stadt Zürich, Tiefbauamt, Mobilität + Verkehr, 2011, vgl. Walter (2013, S. 6).

legungen zur Beitragsfinanzierung des ÖPNV anzustellen.³⁵ Unabhängig der drängenden Finanzierungsfragen wird es künftig vor allem darauf ankommen, eine nachhaltige Verkehrsentwicklungsplanung zu etablieren, eingebettet in das vertikale und horizontale Planungsgeflecht.³⁶ Wichtige Beiträge zur Stärkung des ÖPNV können zudem von informellen Handlungs- und Planungsansätzen ausgehen. So werden zum Beispiel im Rahmen des sogenannten Mobilitätsmanagements Ansätze zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage entwickelt, mit dem Ziel, den Personenverkehr effizienter, umwelt- und sozialverträglicher und damit nachhaltiger zu gestalten. Dabei kommen in erster Linie informatorische, kommunikative, motivierende und koordinierende Instrumente zum Einsatz, um das Verkehrsverhalten der Bevölkerung in Richtung umweltfreundlicher Verkehrsmittel zu beeinflussen und insbesondere den Anteil des motorisierten Individualverkehrs zu senken. Weiterhin könnten in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten weitere Lenkungsinstrumente mit einbezogen werden, etwa Umweltzonen oder auch ökonomische Anreizinstrumente wie das Road-Pricing und die City-Maut.

5.2.4.2 Ausgewählte Maßnahmen zur Klimaanpassung im Sektor Siedlung und Verkehr

Zusätzlich zu den Beiträgen des Siedlungssektors zum Klimaschutz (Reduzierung der Flächeninanspruchnahme) besteht Handlungsbedarf zur Anpassung der Siedlungs- und Verkehrsstrukturen an die Folgen des Klimawandels. Hierzu wird exemplarisch auf die Stärkung des Hochwasserschutzes sowie den Erhalt und die Entwicklung innerstädtischer Freiflächen eingegangen.

Stärkung des Hochwasserschutzes

Für eine Stärkung des Hochwasserschutzes in der räumlichen Planung bedarf es zuallererst einer konsequenteren Anwendung des zur Verfügung stehenden Instrumentariums entlang der Handlungsempfehlungen von ARGEBAU, LAWA und MKRO (2010) sowie einer konsequenten Auslegung der Vorschriften des § 78 Wasserhaushaltsgesetz (WHG) zur Siedlungsentwicklung in festgesetzten Überschwemmungsgebieten. Darüber hinaus sind neue und über die gängige Planungspraxis hinausgehende planerische Ansätze zu prüfen, insbesondere zur stärkeren Berücksichtigung extremer Hochwasserereignisse. Dies wäre beispielsweise möglich durch

³⁵Insbesondere Drittnutzer (Arbeitgeber, Einzelhändler mit Kundenverkehr etc.) könnten in die Finanzierung mit einbezogen werden (vgl. Bracher et al. 2014).

³⁶Hierzu bedarf es v. a. einer validen Datengrundlage über die Verkehrs-, Bevölkerungs- und Raumentwicklung, eines an Nachhaltigkeitsaspekten orientierten Zielsystems, einer sachgerechten Akteursbeteiligung sowie der Einbindung der Verkehrsentwicklungsplanung in regionale Kontexte (vgl. Wolfram et al. 2010).

- die Einbeziehung besiedelter Gebiete in ausgewiesene Vorranggebiete (zur Steuerung der Bautätigkeit im unbeplanten Innenbereich) sowie
- die Ausweisung von Vorranggebieten für Extremhochwassergebiete (HQ_{extrem}) (Ermöglichung von Vorgaben zum hochwasserangepassten Bauen; vgl. Seifert 2012).³⁷

Bei der Planung technischer Hochwasserschutzanlagen wird in der Regel ein Hochwasserereignis zugrunde gelegt, das statistisch gesehen alle 100 Jahre auftritt (HQ₁₀₀). Um den Auswirkungen des Klimawandels Rechnung zu tragen, erscheint die Anrechnung von Klimaänderungsfaktoren auf diesen vergangenheitsbezogenen Wert geboten, um der künftig erhöhten Eintrittswahrscheinlichkeit extremer Hochwasserereignisse gerecht zu werden. Gleichwohl muss der Fokus weiterhin auf dem vorbeugenden Hochwasserschutz liegen (Auenrenaturierung, Stärkung des natürlichen Wasserrückhalts etc.), da massive Investitionen in den technischen Hochwasserschutz langfristig paradoxe Folgen haben können, indem sie durch die Vermittlung eines vermeintlichen Sicherheitsgefühls (vor einem HQ₁₀₀) zu einem Rückgang des Risikobewusstseins sowie der Handlungsbereitschaft und -fähigkeit führen können und so zusätzliche private Vorsorgemaßnahmen hemmen. Damit gehen weitere Notwendigkeiten eines verbesserten Hochwasserrisikomanagements einher, in erster Linie

- die bessere Abstimmung zwischen Hochwasserplanung und räumlicher Gesamtplanung,
- die Forderung und Förderung privater Hochwasservorsorge,
- die Prüfung der Einführung einer Pflichtversicherung für Hochwasserschäden³⁸ sowie
- die Erhöhung des Hochwasserbewusstseins in der Bevölkerung.

Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen

Der Erhalt und die Entwicklung innerstädtischer Freiflächen bedürfen der planerischen und konzeptionellen Umsetzung einer klimawandelgerechten Freiraumplanung. Hierzu ist eine Erhöhung des städtebaupolitischen Stellenwerts der kommunalen

³⁷Entsprechende gesetzgeberische Aktivitäten sind in Sachsen bereits erfolgt. Die Neufassung des Sächsischen Wassergesetzes sieht zusätzlich zur Ausweisung von Überschwemmungsgebieten gemäß Wasserhaushaltsgesetz die Ausweisung von überschwemmungsgefährdeten Gebieten vor.

³⁸Für die Einführung einer Pflichtversicherung für Hochwasserschäden spricht, dass diese der jetzigen Politik der Ad-hoc-Hilfen die politische und ökonomische Grundlage entziehen würde und der Steuerzahler nicht mehr für die Entschädigung von Hochwasserrisiken aufkommen müsste, sondern – v. a. in Risikogebieten – die Gebäudeeigentümer. Darüber hinaus böte die Versicherungspflicht den Betroffenen einen Rechtsanspruch auf Entschädigung zu bezahlbaren Preisen, statt sie von aktuellen Wahlkampf- oder Konjunkturlagen und medialer Aufmerksamkeit abhängig zu machen (vgl. Kuhlicke et al. 2013; Reese 2011, S. 27).

Freiraumplanung notwendig. Darüber hinaus könnten folgende Maßnahmen dazu beitragen, den Erhalt und die Entwicklung innerstädtischer Freiflächen weiter zu befördern:

- Zielgerichteter Einsatz des vorhandenen planerischen Instrumentariums, insbesondere unter Einbeziehung konzeptioneller Planungen in Form informeller, raumbezogener Fachkonzepte;
- Erarbeitung und Bereitstellung methodischer Hilfestellungen für die Träger der kommunalen Freiraumplanung zur Berücksichtigung des Klimawandels;
- Schaffung relevanter Informationsgrundlagen zu Stadtklima und vorhandenem Grün-system;
- Berücksichtigung stadtklimatischer Belange bereits im Neubau;
- Ausschöpfung von Freiraumpotenzialen durch Rückbau, Entsiegelung und Konzentration gebauter Strukturen.

Um eine erfolgreiche Umsetzung der Freiraumplanung zu gewährleisten sowie den Erhalt und die Pflege innerstädtischer Freiflächen sicherzustellen, wird es zudem darauf ankommen, vermehrt kooperative Ansätze zum Erhalt und zur Entwicklung innerstädtischer Frei- und Grünflächen zu verfolgen (z. B. in Form von Pflegepatenschaften, vertraglich geregelten Beteiligungen von Investoren) und die Erschließung alternativer Grünflächenpotenziale (z. B. Dach- und Fassadenbegrünung) sowie Elemente der natürlichen Sukzession und der Industrienatur in planerische Konzeptionen mit einzu-beziehen. Auch ist die Attraktivität und Multifunktionalität von Freiflächen zu fördern. Darüber hinaus können durch die verstärkte energetische Nutzung von Grünschnitt und Pflegematerial in Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten deutliche Kostensenkungen in der kommunalen Grünpflege realisiert werden.³⁹

5.2.5 Institutionelle Gestaltungsoptionen bei der landwirtschaftlichen Landnutzung

Die hinsichtlich ihres THG-Einsparungspotenzials wichtigsten Maßnahmen bei der landwirtschaftlichen Landnutzung befassen sich mit der Nutzung organischer Böden, der Anpassung des Düngemanagements, der Substitution fossiler Energie durch Biomasse sowie der Erhaltung und Schaffung von THG-Senken. Im Gegensatz zu den Sektoren „Forstwirtschaft“ und „Siedlung und Verkehr“ erfolgt hier keine Untergliederung nach Aspekten des Klimaschutzes und der Klimaanpassung, da in der Landwirtschaft keine prospektiven Anpassungsmaßnahmen erfolgen, sondern jährlich u. a. durch Sortenwahl und Betriebsmitteleinsatz eine Anpassung an Veränderungen erfolgen kann.

³⁹Siehe hierzu etwa ein entsprechendes Pilotprojekt der Stadt Kassel: www.stadt-kassel.de/aktuelles/meldungen/20654/index_print.html.

5.2.5.1 Nutzung organischer Böden

Intakte Moore genießen im deutschen Naturschutzrecht einen sehr hohen Schutzstatus, der sich durch den gesetzlichen Biotopschutz des BNatSchG sowie die in Anhang 1 Nr. 7 der FFH-Richtlinie⁴⁰ benannten Moortypen ergibt. Jedoch bedarf es für einen besseren Moorschutz der dauerhaften Sicherung bzw. Erreichung des guten Erhaltungszustands aller noch intakten bzw. naturnahen Hoch- und Niedermoore durch eine konsequente Anwendung und Kontrolle nach BNatSchG sowie einer Ausweitung des gesetzlichen Biotopschutzes (§ 30 BNatSchG) und die Ergänzung des Anhang 1 der FFH-Richtlinie um weitere Mooregebietstypen.⁴¹ Auch zur standortangepassten Bewirtschaftung von Mooren bestehen zahlreiche gesetzliche Vorgaben. Zu nennen sind die gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft sowie beihilferechtliche Anforderungen im Rahmen von Cross Compliance und Greening.

Gleichwohl ergeben sich deutliche Umsetzungs- und Vollzugsdefizite. Vor allem der Schutz von Dauergrünland auf kohlenstoffreichen Böden ist unzureichend. Hier könnte von den Möglichkeiten der EU-Direktzahlungs-Verordnung Gebrauch gemacht werden, um Dauergrünland auf kohlenstoffreichen Böden auch außerhalb der FFH-Gebietskulisse zu umweltsensiblen Dauergrünland zu erklären und klimaschädliche Grünlandumbrüche einzuschränken⁴² (vgl. auch Abschn. 5.2.5.4). Die Umwandlung von Acker zu Grünland bzw. Grünlandextensivierungen auf Moorflächen (z. B. extensive Beweidungsformen) können über Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen angereizt werden. Diese Nutzungen erlauben höhere Grundwasserstände, die für die Reduzierung von THG-Emissionen erforderlich sind.

Stärker als bisher sollten kohlenstoffreiche Böden in Flussauen in den Fokus rücken. Hier ließen sich durch Deichrückverlegungen, Renaturierungen und Flächenextensivierungen neben positiven Klimaschutzwirkungen auch Ziele des Hochwasser-, Umwelt- und Naturschutzes realisieren. Voraussetzung hierfür wäre jedoch eine deutlich bessere Integration und Abstimmung der relevanten Politikbereiche⁴³ Hochwasserschutz, Naturschutz, Landwirtschaft und Klimaschutz (vgl. Naturkapital Deutschland TEEB DE 2015, S. 208).

⁴⁰Art. 6 der FFH-Richtlinie und der zugehörige Anhang 1 Nr. 7 beinhalten eine Liste zu schützender Hoch- und Niedermoore. Im Einzelnen unterliegen Hochmoore, Übergangs- und Schwinggrasmoore, Torfmoor-Schlenken, Moorwälder und kalkreiche Niedermoore dem Verschlechterungsverbot nach Art. 6 (2) FFH-Richtlinie, umgesetzt über die Regelungen des § 33 (1) BNatSchG.

⁴¹Zu nennen sind hier bodensaure Niedermoore, artenreiches Feuchtgrünland auf Moorstandorten, Großseggenrieder und Röhrichte (vgl. Ssymank und Scherfose 2012, S. 65 f.).

⁴²Vgl. Artikel 45 (1) S. 2 Direktzahlungs-Verordnung EU/1307/2013. Alternativ bestünde auch die Möglichkeit, einen entsprechenden GLÖZ-Standard einzuführen, wie er in den ersten Entwürfen der EU-Verordnungen auch vorgesehen war (vgl. vertiefend Freibauer et al. 2012).

⁴³Erste Ansätze hierzu beinhaltet das Nationale Hochwasserschutzprogramm (NHWS, vgl. LAWA 2014), welches am 24. Oktober 2014 von der Umweltministerkonferenz verabschiedet wurde.

Zentrales Hemmnis des Moorbodenschutzes ist die ökonomische Vorteilhaftigkeit der landwirtschaftlichen Nutzung degenerierter Moorflächen. Daher wird es darauf ankommen, verbesserte Rahmenbedingungen für alternative Bewirtschaftungsformen wie beispielsweise extensive Grünlandnutzung sowie Paludikulturen zu schaffen. Paludikulturen ermöglichen eine angepasste Fortführung der landwirtschaftlichen Nutzung auf wiedervernässten Moorflächen und tragen gleichzeitig zur Akzeptanzsteigerung von Moorrenaturierungen bei (vgl. Wichtmann und Haberl 2012, S. 6). Hier ist neben einem klaren politischen Bekenntnis zu Paludikulturen vor allem die Beihilfefähigkeit sicherzustellen und eine zielgerichtete Förderung über Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen sowie Investitionshilfen für angepasste Landtechnik bereitzustellen. Bei Jensen (2015, S. 197 f.) finden sich zudem konkrete Vorschläge zur Ausgestaltung eines Vertragsklimaschutzes auf degenerierten Moorflächen. Paludikultur-Bestände, die sich im Zuge von Sukzessionen langfristig zu schützenswerten Feuchtbiotopen weiterentwickeln können und damit dann dem gesetzlichen Biotopschutz unterliegen, sollten prinzipiell aus dem gesetzlichen Biotopschutz herausgenommen werden, um rechtliche Unsicherheiten diesbezüglich abzubauen⁴⁴. Eine Akzeptanz für diese Bewirtschaftungsform könnte damit erhöht werden (vgl. Joosten und Schröder 2014, S. 15 f.).

Für die flächenhafte Moorrenaturierung durch Wiedervernässung sind ausreichende finanzielle Mittel bereitzustellen, zum Beispiel durch die Einführung eines Moorschutzfonds und die weitere Etablierung innovativer Finanzierungskonzepte wie etwa der MoorFutures.⁴⁵ Da die Wiedervernässung von Mooren eine großflächige Veränderung der Landnutzung in einem bestimmten Gebiet erfordert, ergibt sich die Notwendigkeit einer planerischen Begleitung und des Einsatzes eines gut aufeinander abgestimmten Maßnahmen- und Instrumentenbündels im regionalen und lokalen Kontext. Zum Tragen kommen planerische Instrumente, gutachterliche Untersuchungen, Instrumente der Flurbereinigung, Beratung, Flächenankauf- und Flächensicherung sowie wasserbauliche Maßnahmen.

Um eine Bündelung und Koordinierung der vielfältigen Herausforderungen einer angepassten Nutzung organischer Böden inklusive der Etablierung alternativer Bewirtschaftungsformen sowie der Moorrenaturierung zu gewährleisten, erscheint die Initiierung einer Bundesinitiative Moorschutz (vgl. auch SRU 2012, S. 262 ff.) zielführend, in der nationale Moorschutzziele verankert, eine verlässliche Datengrundlage geschaffen und die Maßnahmenfinanzierung über einen neu einzurichtenden

⁴⁴Aus Paludikultur-Beständen können sich gesetzlich geschützte Biotope (Röhrichte/Moore) entwickeln, welche automatisch unter den gesetzlichen Biotopschutz gemäß § 30 (2) Nr. 2 BNatSchG fallen und zu deutlichen Bewirtschaftungseinschränkungen führen können.

⁴⁵MoorFutures sind auf dem freiwilligen Zertifikatemarkt erhältliche Emissionszertifikate, mit denen unternehmerisches Kapital für Moorrenaturierungen akquiriert wird (zurzeit etabliert in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein, siehe auch www.moorfutures.de).

Moorschutzfonds gesichert werden könnte. Auch könnte auf diese Weise eine verbesserte länderübergreifende Vernetzung der handelnden Akteure herbeigeführt und die Implementierung neuer Finanzierungsmodelle vorangetrieben werden. Eine solche Bundesinitiative könnte zudem die in mehreren Bundesländern etablierten Moorschutzprogramme aufgreifen und koordinieren. Das Land Niedersachsen hat in 2015 mit der Verabschiedung der Förderrichtlinie „Klimaschutz durch Moorentwicklung“ – als Baustein des Programms „Niedersächsische Moorlandschaften“ und finanziert über den EFRE-Fonds sowie Zuschüsse des Landes – bereits eine entsprechende Initiative gestartet. Gefördert werden freiwillige Maßnahmen zum Erhalt und zur Entwicklung von Hoch- und Niedermooren, die zu einer Reduzierung von THG-Emissionen beitragen, sowie auch innovative Ansätze zur klimaschonenden Bewirtschaftung von Moorböden.

Auch in der räumlichen Planung könnten Belange des Moorschutzes künftig verstärkt Berücksichtigung finden. Dies ist zum Beispiel möglich durch die Ausweisung raumordnerischer Vorranggebiete zur Torferhaltung und Moorschutz, die Rücknahme von Vorranggebieten zum Torfabbau oder auch die verstärkte Berücksichtigung kohlenstoffreicher Böden in der Landschaftsplanung.

5.2.5.2 Anpassung des Düngemanagements

Hinsichtlich der Anpassung des Düngemanagements in der Landwirtschaft stehen die Steigerung der Effizienz des Mineraldüngereinsatzes, der N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers sowie die Etablierung überregionaler Dünger-Transporte im Fokus.

Erhöhung der Effizienz des Düngereinsatzes

Steuerungsinstrumente zur Erhöhung der Effizienz des Wirtschaftsdüngereinsatzes wurden in erster Linie im Zuge der Novellierung der Düngeverordnung (DüV) geschärft und implementiert. Hier sind fachrechtliche Vorgaben zu vergrößerten Lagerkapazitäten, verlängerte Ausbringungssperrfristen, verschärfte Maßgaben zur unverzüglichen Einarbeitung des Wirtschaftsdüngers und anspruchsvollere Vorschriften zu technischen Mindeststandards zu emissionsarmen Ausbringungsverfahren möglich. Die einzelnen rechtlichen Modifikationen bringen z. T. erhebliche betriebliche Anpassungsbedarfe sowie im Falle emissionsarmer Ausbringungstechniken hohe Investitionskosten und finanzielle Belastungen der landwirtschaftlichen Unternehmen mit sich, die in der Regel nur im überbetrieblichen Einsatz dieser Techniken zu realisieren sind. Begleitend sind in jedem Falle entsprechende Beratungsangebote und Fördermittel für verbesserte Güllelagerung und bodennahe Düngerausbringungstechnik bereitzustellen. In vielen Bundesländern wird dies über Agrarinvestitionsförderungsprogramme angeboten.

Weitere Impulse können von der verstärkten Umsetzung kooperativer Maßnahmen ausgehen. In der Praxis haben sich vielerorts erfolgreiche Formen der Zusammenarbeit zwischen Wasserversorgern und örtlichen Landwirten herausgebildet, die gezielt zur Reduzierung von Stickstoffüberschüssen beitragen können. So fördern etwa kommunale

Wasserwerke gewässerschützende Bewirtschaftungsmaßnahmen der Landwirtschaft zur Reduzierung der Trinkwasseraufbereitungskosten und bewirtschaften eigene Flächen im wasserschutzoptimierten ökologischen Landbau.⁴⁶ Darüber hinaus wird in einigen Bundesländern eine landwirtschaftliche Gewässerschutzberatung auf ausgewählten Grundwasserkörpern, die die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie nicht erreichen, angeboten und durchgeführt.

Etablierung überregionaler Dünger-Transporte

Zur weiteren Etablierung überregionaler Dünger-Transporte aus Über- in Zuschussregionen bestehen verschiedene Handlungsoptionen. Zunächst bedarf es der Etablierung überregionaler Stoffkreisläufe durch interregionale Kooperationen zwischen abgebenden und aufnehmenden Regionen⁴⁷ sowie der Einrichtung weiterer Nährstoffbörsen.⁴⁸ Eine wichtige Voraussetzung für die Tragfähigkeit überregionaler Kooperationen stellt die Senkung der Transportkosten dar. Dies kann zum einen durch die Verbesserung der Transportwürdigkeit der Gülle selbst erfolgen (z. B. durch Separierung der nährstoffreichen Festphase), zum anderen durch den Einsatz sogenannter Kombiliner, welche sowohl Gülle (zur Verwendung in der Ackerbauregion) als auch Futtermittel (zur Verwendung in der Veredelungsregion) transportieren können und so Leerfahrten reduzieren. Für beide Maßnahmen kommen entsprechende Investitionshilfen in Frage. Darüber hinaus bedarf es eines Ausbaus der Güllelagerkapazitäten in den Ackerbauregionen, um den aufnehmenden Betrieben eine hinreichend flexible Anwendung des aufgenommenen Wirtschaftsdüngers zu ermöglichen.

Verteuerung des Stickstoffdüngereinsatzes

Der überregionale Transport organischer Düngemittel kann durch Substitutionseffekte wichtige Beiträge zur Senkung des Mineraldüngereinsatzes in Ackerbauregionen und damit zur Reduzierung von Emissionen aus der Düngerherstellung leisten. Sollen darüber hinaus weitere Impulse gesetzt werden, kommen ökonomische Instrumente wie die Einführung einer Abgabe auf mineralischen Stickstoff oder auf den betrieblichen Stickstoffüberschuss in Frage. Während die – von den Stakeholdern weitgehend abgelehnte – Stickstoffabgabe eine generelle Verteuerung des Inputfaktors (mineralischer Dünger) bewirken würde, zielt die Stickstoffüberschussabgabe auf eine Bepreisung der

⁴⁶Konkrete Praxisbeispiele finden sich unter www.naturkapital-teeb.de/fallbeispiele, www.landwirtschaftskammer.de, www.nlwkn.niedersachsen.de/wasserwirtschaft.

⁴⁷So etwa praktiziert zwischen der Bioenergieregion Süddoldenburg und der Partnerregion Braunschweig, siehe www.bioenergie-suedoldenburg.de.

⁴⁸Nährstoffbörsen (Güllebörsen) dienen in der Praxis der Vermittlung von Angebot und Nachfrage zwischen Überschuss- und Aufnahmeregionen. Grundlage sind meist Erlasse der jeweiligen Landesregierung, die die zentrale Datenverwaltung und die Kontrollmöglichkeiten durch die Landwirtschaftsbehörden regeln.

Stickstoffüberschüsse landwirtschaftlicher Betriebe ab. Letztere wird in fachlichen Diskursen aufgrund der hohen Zielgenauigkeit und Lenkungswirkung als das effektivere Instrument zur Reduzierung der Stickstoffüberschüsse auf landwirtschaftlichen Flächen angesehen (so etwa SRU 2015, S. 346). Die Einführung einer solchen Abgabe wäre zwar mit einem hohen Verwaltungsaufwand und Kontrollkosten verbunden (vgl. Möckel 2014, S. 32), könnte das bestehende Ordnungsrecht jedoch durch ökonomische Anreize zum verminderten Düngemiteleinsatz sinnvoll ergänzen. In jedem Falle wäre bei der Einführung ökonomischer Anreizinstrumente sicherzustellen, dass die aufgrund der Abgabe anfallenden Einnahmen nach Deckung der administrativen Kosten in den landwirtschaftlichen Sektor zurückfließen.

5.2.5.3 Substitution fossiler Energie durch Biomasse

Eine natur- und raumverträgliche Substitution fossiler Energien durch Biomasse kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden. Zunächst ist zur (regionalen) Verminderung des Maisanbaus – zusätzlich zur erfolgten Rücknahme überzogener Förderanreize des Erneuerbare-Energien-Gesetzes – eine anspruchsvollere Ausgestaltung sowie konsequentere Umsetzung umwelt- und agrarpolitischer Steuerungsinstrumente notwendig. Dies kann beispielsweise durch verschärfte Vorgaben zur Anbaudiversifizierung im Rahmen des Greening sowie eine intensivere Förderung der Anbaudiversifizierung über Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen erreicht werden. Hierzu bedarf es vor allem der stärkeren Etablierung alternativer Energiepflanzen (annuell und mehrjährig) und einer weiteren Priorisierung des Einsatzes von Substraten auf Basis von Abfall- und Reststoffen sowie landwirtschaftlicher Nebenprodukte. Weitere Effekte können von einer anspruchsvolleren Ausgestaltung der Düngeverordnung ausgehen (vgl. Abschn. 5.2.5.2).

Anbau alternativer einjähriger und mehrjähriger Energiepflanzen

Um einen verstärkten Anbau alternativer einjähriger Kulturen zur energetischen Verwendung zu erreichen, bedarf es neben Forschungsbemühungen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit entsprechender Kulturen und deren Gasausbeute in Biogasanlagen der Fortführung und des Ausbaus bestehender Informations- und Beratungsangebote. Für einen verstärkten Einsatz alternativer mehrjähriger Kulturen (z. B. Durchwachsene Silphie oder Miscanthus) kommt es darauf an, weitere Forschungen zur Saatgutzüchtung (Durchwachsene Silphie), Vermehrung, Anbau und Ernte sowie stofflicher und energetischer Nutzung voranzubringen, eine gezielte einzelbetriebliche Beratung zu gewährleisten und entsprechende Pilotprojekte zu fördern. So kann zur Etablierung regionaler Absatzmärkte beigetragen werden. Allerdings ist Mais die aus einzelbetrieblicher Sicht die vorzüglichste Pflanze für für Biogasanlagen.

Etablierung von Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen

Die ebenfalls diskutierte Etablierung von Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Agroforstsystemen (AFS) könnte befördert werden durch

- die Einführung eigenständiger GAK-Fördergrundsätze und deren Übernahme in die Länderprogramme, um die Hemmnisse der hohen Anfangsinvestitionen zu überwinden,
- die Anerkennung von KUP und AFS als produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen auf Ackerflächen (unter bestimmten naturschutzfachlichen Voraussetzungen),
- die Verbesserung der wasserrechtlichen Rahmenbedingungen für KUP und AFS an Gewässerrandstreifen und in Überschwemmungsgebieten sowie
- die gezielte landwirtschaftliche Beratung, einen verbesserten Wissenstransfer und die Deckung des KUP- und AFS-Forschungsbedarfs.

Das Wasserrecht erschwert den Anbau von KUP auf Gewässerrandstreifen und in Überschwemmungsgebieten, obwohl diese zahlreiche positive Umwelteffekte bedingen (z. B. Verringerung von Stoffeinträgen intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen in Gewässer, Verzögerung und Glättung von Abflussspitzen). Die §§ 38 und 78 WHG könnten dahingehend angepasst werden, dass der Anbau (bzw. die Ernte) von KUP auf Ackerflächen an Fließgewässern unter bestimmten Voraussetzungen ermöglicht wird. Da ein wirtschaftlicher Anbau von KUP-Streifen entlang von Fließgewässern aufgrund der notwendigen naturschutzfachlichen Anbaubeschränkungen nicht möglich ist, wären zusätzliche Anreize in Form einmaliger investiver Förderungen nötig.

Dabei ist vor allem für KUP eine räumliche Steuerung über die Landschaftsplanung notwendig, um positive Umweltwirkungen sicherzustellen und großflächige KUP-Monokulturen zu vermeiden (vgl. BfN 2012).

Verstärkte Biomassenutzung landwirtschaftlicher Nebenprodukte

Die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Nebenprodukte, z. B. Wirtschaftsdünger, Stroh, extensivem Grünlandschnitt oder Landschaftspflegematerial und Blühstreifenanwuchs, könnte angelehnt an die in 2014 aufgehobene Einsatzstoffvergütungskategorie II des EEG 2012 gefördert werden (vgl. KLU 2014, S. 16). Darüber hinaus kommen der landwirtschaftlichen Beratung sowie weiteren Forschungsbemühungen zur stofflichen und energetischen Nutzung und Verwertung landwirtschaftlicher Nebenprodukte Bedeutung zu. Da die Böden bei vollständiger Ernte (also der kompletten Entfernung der Reststoffe) Humus und Nährstoffe verlieren würden und zum Ertragserhalt gedüngt werden müssten, sind Förderanreize auf eine nachhaltige Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe auszurichten.

5.2.5.4 Erhaltung und Schaffung von Treibhausgassenken

Bei der Erhaltung und Schaffung von THG-Senken in der Landwirtschaft rückt in Deutschland neben der Moorrenaturierung der Schutz des Grünlandes in den Fokus. Für einen effektiveren Grünlanderhalt ist zunächst auf die grundsätzliche Tatsache hinzuweisen, dass Grünlandschutz zuallererst eine wirtschaftlich rentable Grünlandbewirtschaftung – z. B. durch Milchviehbetriebe und Rinder haltende Betriebe sowie Schafhalter – notwendig macht, wofür entsprechende Fördermittel bereitzustellen sind. Neben fachrechtlichen Vorgaben zur Erhaltung des Grünlands kommt seit 2015 insbesondere der Greening-Komponente zum Grünlandschutz eine zentrale Bedeutung zu. Hier bedarf es im Zuge der Halbzeitevaluierung der GAP-Reform einer Überprüfung der Gebietskulisse des umweltsensiblen Dauergrünlands. Dabei ist vor allem zu überlegen, wie die Einbeziehung kohlenstoffreicher Böden gewährleistet und wie der Abbau von Anreizen zum Grünlandumbruch durch andere Greening-Vorgaben unterbunden werden kann.⁴⁹ Hinzuweisen ist auf die Tatsache, dass über das Greening zum einen nur der Landnutzer, nicht jedoch der Landeigentümer adressiert werden kann und dass zum anderen die Gefahr besteht, dass bewusst die Kürzung oder der Verlust der Greening-Prämie hingenommen wird, um eine alternative Grünlandnutzung umzusetzen.

Neben instrumentellen Modifikationen in der GAP sollten daher auch ordnungs- und planungsrechtliche Möglichkeiten für einen effektiveren Grünlanderhalt berücksichtigt werden. Hierzu sind verschiedene Instrumente im Vollzug zu stärken, maßgeblich die gute fachliche Praxis im BNatSchG (besserer Schutz kohlenstoffreicher Böden, vermehrte Festschreibung von Umbruchverboten in Schutzgebietsverordnungen), die Eingriffsregelung (Umbrüche auch auf Niedermoorstandorten als Eingriff werten) sowie das Wasserrecht (vermehrte Festschreibung von Grünlandumbruchverboten in Wasserschutzgebieten).

Effektiv umsetzen ließe sich ein vermehrter Grünlandschutz über weitere Grünland-erhaltungsgesetze auf Länderebene. Diese können innerhalb regional differenzierter Gebietskulissen Umwandlungs- und Umbruchverbote (v. a. auf organischen Böden) aussprechen. Gleichzeitig bergen sie im Gegensatz zum Grünlandschutz über das GAP-Greening nicht die Gefahr, dass durch den Verzicht auf die Greening-Prämie eine Umgehung der Vorgaben zum Grünlandschutz erfolgt und weitere Grünlandverluste hingenommen werden müssen.

Um eine vermehrte Umwandlung von Ackerland in Grünland zu erreichen, könnte die entsprechende GAK-Förderung ausgeweitet, und verstärkt in die Länderprogramme aufgenommen werden. Die Vertragslaufzeiten der Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen

⁴⁹Diese können sich durch die Bereitstellung ökologischer Vorrangflächen auf zu Ackerland umgewandelten Grünlandflächen innerhalb des tolerierten 5-%igen Grünlandrückgangs sowie durch die Anforderungen an die Anbaudiversifizierung im Ackerland ergeben (vgl. Röder et al. 2014, S. 45).

sollten möglichst verlängert werden. Die Landschaftsplanung könnte für eine räumliche Lenkung der Maßnahmen auf kohlenstoffreichen Böden herangezogen werden.

5.2.6 Institutionelle Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft

Die folgenden Ausführungen zu institutionellen Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft greifen nicht die einzelnen modellierten betrieblichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf. Vielmehr sollen die sich aus den Maßnahmenbündeln ergebenden Handlungsfelder, wie sie in Abschn. 3.3 vorgestellt wurden, aufgegriffen werden.

5.2.6.1 Übergeordnete Gestaltungsoptionen im Sektor Forstwirtschaft

Es ist festzustellen, dass in Deutschland keine aktive, unmittelbar auf Klimaschutz ausgerichtete Politik zur Bewirtschaftung der Wälder existiert (so auch Naturkapital Deutschland – TEEB DE 2015, S. 156). Die verschiedenen den Sektor betreffenden Strategien sind meist wenig konkret und nur unzureichend untereinander abgestimmt. Das einzige konkrete Politikinstrument mit entsprechenden Ansätzen ist der Waldklimafonds⁵⁰, der jedoch aufgrund der geringen finanziellen Ausstattung nur eingeschränkte Effekte erwarten lässt.

Insgesamt ist zu konstatieren, dass die Klimaschutzleistung der Wälder als öffentliches Gut nicht hinreichend honoriert wird, sodass für forstliche Betriebe derzeit nur sehr geringe Anreize bestehen, nicht marktgängige Ökosystemleistungen bereitzustellen. Aktuell ist für den Landwirtschaftssektor eine um den Faktor 31,6 höhere Förderquote als in der Forstwirtschaft gegeben⁵¹, was keinesfalls die Bedeutung der Gemeinwohlleistungen des Waldes widerspiegelt (vgl. Möhring und Mestemacher 2009, S. 71). Insofern erscheint zur Honorierung der gesellschaftlichen Leistungen des Waldes eine Anpassung der bestehenden Förderinstrumente notwendig, um Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung im Privat- und Körperschaftswald stärker als

⁵⁰Im Juni 2013 wurde vom Deutschen Bundestag der Waldklimafonds als Programmbestandteil des Sondervermögens Energie- und Klimafonds (EKF) verabschiedet. Die Förderrichtlinie soll zum Erhalt und zum Ausbau des CO₂-Minderungspotenzials von Wald und Holz sowie zur Anpassung der Wälder an den Klimawandel beitragen und ist zunächst mit 7 Mio. € jährlich ausgestattet.

⁵¹In 2012 etwa betrug die durchschnittliche staatliche Förderung im Privatwald gemäß den Buchführungsergebnissen der Forstwirtschaft 13 €/ha Holzbodenfläche (vgl. BMEL 2013, S. 5). Für den Sektor Landwirtschaft hingegen ergibt eine Addition der EU-Direktzahlungen, Zins- und Investitionszuschüsse, Agrardieselvergütungen, Ausgleichszulagen, Zahlungen aus AUKM und sonstigen Zahlungen eine durchschnittliche Fördersumme von 411 €/ha für das Wirtschaftsjahr 2013/2014 (vgl. BMEL 2014, S. 25).

bisher anzureizen. In diesem Zusammenhang ist auch ein deutlicher Ausbau freiwilliger Vertragsnaturschutzprogramme im Wald anzusprechen. Diese können für vielfältige Maßnahmen flexibel eingesetzt werden, stehen jedoch bisher hinsichtlich der bereitgestellten Förderprogramme und -mittel deutlich hinter dem Vertragsnaturschutz in der Landwirtschaft zurück.

Zudem sind in der klimapolitischen Diskussion bei der Ausgestaltung von Förderinstrumenten und ordnungspolitischen Maßnahmen die Systemgrenzen des Waldes zu erweitern. Politische Entscheidungen, die lediglich die Senkenleistung des Waldes als Entscheidungsgrundlage heranziehen, lassen die Tatsache außer Acht, dass die Forstwirtschaft über den Holzproduktespeicher und Substitutionseffekte weitere Beiträge zum Klimaschutz leistet. In diesem Zusammenhang ist auf die Notwendigkeit hinzuweisen, verstärkt auf die Kaskadennutzung von Holzprodukten⁵² hinzuwirken. Die durch die Energiewende ausgelöste hohe Nachfrage nach Energieholz bedingt hingegen eine zunehmende energetische Holznutzung. Daher sollte mittels Fördermaßnahmen eine verstärkte stoffliche Nutzung von Holz angestrebt bzw. auf die Förderung der Ausweitung der energetischen Holznutzung zukünftig verzichtet werden, da hier bereits etablierte Märkte vorhanden sind.

5.2.6.2 Gestaltungsoptionen zur Erhöhung der Klimaschutzleistung der Wälder

Walderhaltung

Aus Klimaschutzsicht kommt zunächst der Walderhaltung eine hohe Bedeutung zu, da global gesehen die Entwaldung eine der größten THG-Quellen darstellt. In Deutschland ist die Walderhaltung durch den Schutz der Wälder nach § 9 Bundeswaldgesetz (BWaldG) gewährleistet. Demnach sind Waldumwandlungen zwar grundsätzlich möglich, jedoch müssen diese durch Ersatzaufforstungen kompensiert werden.⁵³

Erhöhung der Vorräte und Holzentnahmen durch Aufforstung

Zusätzliche Kohlenstoffsinken lassen sich über die Neuanlage von Wald generieren. Soll eine Steigerung der Waldfläche durch Erstaufforstung erreicht werden, sind entsprechende quantitative landespolitische Waldmehrungsziele als handlungsleitende Zielsetzung und insbesondere eine planerische Begleitung und Koordinierung der

⁵²Kaskadennutzung bedeutet, dass Holzprodukte im Idealfall zunächst stofflich und dann energetisch verwertet werden, da sich so eine wesentlich bessere CO₂-Bilanz als bei der alleinigen Holzverbrennung erzielen lässt (vgl. Knauf und Frühwald 2013, S. 28).

⁵³Aufgrund der langen Wuchszeiträume neu begründeter Wälder kann sich dabei trotz neutraler Flächenbilanz eine Reduktion der Kohlenstoffspeicherung im Wald einstellen, wenn z. B. bei einem Straßenneubau mit entsprechender Ersatzaufforstung vorratsreiche Wälder durch vorratsarme Jungbestände ersetzt werden.

Waldmehrung notwendig. In Landesentwicklungs- und Regionalplänen können Vorranggebiete für Waldmehrung mit raumordnerischem Zielcharakter festgelegt werden, gegebenenfalls unterstützt durch eine gesonderte Waldmehrungsplanung als Teil der forstlichen Rahmenplanung. Die Waldmehrung sieht sich jedoch verschiedenen Hemmnissen gegenüber, wobei vor allem das eingeschränkte Flächenpotenzial die Möglichkeiten einer solchen Klimaschutzmaßnahme limitiert. Zudem stehen rechtliche und anreiztechnische Rahmenbedingungen einer großflächigen Waldmehrung entgegen, beispielsweise die gegenüber der Landwirtschaft geringeren Flächenerträge sowie die permanente Flächenfestlegung aufgrund der rechtlichen Vorgaben zur Wald-erhaltung, sodass insbesondere auf landwirtschaftlichen Flächen Erstaufforstungen für den Flächeneigentümer oftmals nicht attraktiv erscheinen. Notwendig wäre daher die Wiedereinführung und verbesserte Mittelausstattung der Aufforstungsförderung in den Bundesländern, die neben der eigentlichen Erstaufforstungsförderung um die Zahlung einer Einkommensverlustprämie zu ergänzen wäre. Darüber hinaus könnten alternative Finanzierungssysteme – wie beispielsweise die Waldaktien in Mecklenburg-Vorpommern⁵⁴ – weiter ausgebaut werden.

Wiedervernässung von Moorwäldern

Die Wiedervernässung von Mooren auf landwirtschaftlich genutzten Flächen wurde in Abschn. 5.2.5.1 bereits angesprochen. Gleichfalls von Bedeutung ist die Wiedervernässung von Moorwäldern, die ebenfalls sowohl Zielen des Naturschutzes als auch des Klimaschutzes dient. Zudem weist die Maßnahme aufgrund der auf Waldmoorstandorten erzielbaren Bonitäten und Holzqualitäten vergleichsweise geringe Opportunitätskosten für die Forstbetriebe auf (vgl. Abschn. 3.3.2) und stellt demnach eine kostengünstige Klimaschutzmaßnahme dar.

Intakte Waldmoore verfügen aufgrund der Bestimmungen der FFH-Richtlinie und des Bundesnaturschutzgesetzes über einen hohen Schutzstatus. Weitere Anstrengungen sind jedoch zur Wiedervernässung degradiert Moorwälder notwendig. Entsprechende Renaturierungsmaßnahmen bedürfen in erster Linie entsprechender Finanzierungsinstrumente. Neben Fördermitteln aus dem Waldklimafonds stehen hierzu insbesondere Landesmittel zur Verfügung, beispielsweise über Fördermaßnahmen zur Lebensraumverbesserung im Wald oder Waldumbaumaßnahmen. Denkbar sind auch gesonderte Förderprogramme wie etwa das Waldmoorschutzprogramm Brandenburg. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, eine Finanzierung über Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen im Rahmen der Eingriffsregelung zu realisieren.

⁵⁴Sowohl Private als auch Unternehmen im Rahmen ihrer unternehmerischen Gesellschaftsverantwortung (*Corporate Social Responsibility*) können symbolische Waldaktien erwerben. So konnten seit 2007 auf einer Fläche von rund 70 ha mittlerweile 13 Klimawälder sukzessive aufgeforstet werden (siehe auch www.waldaktie.de).

Erhöhung der Holzentnahme aus dem Wald versus Erhöhung der Vorräte im Wald

Klimaschutzeffekte des Waldes könnten sich durch die Änderung der Bewirtschaftungsform bestehender Wälder ergeben. Dabei zeigt sich jedoch beim aktuellen Altersklassenaufbau der Wälder, dass weder eine Intensivierung (z. B. verkürzte Umtriebszeiten) noch eine Extensivierung (Akkumulation von Kohlenstoff in den Wäldern) vorzüglich ist, da sich die Wirkungen auf Wald- und Holzproduktespeicher wechselseitig beeinflussen und die aktuell vorherrschende Waldbewirtschaftung in Bezug auf die Kohlenstoffspeicherung die beste Bilanz aufweist (vgl. Rüter et al. 2011). Sollen dennoch waldbauliche Handlungsempfehlungen hinsichtlich Durchforstungshäufigkeit, Durchforstungsstärke, Zielstärke, Endnutzungsmenge etc. zur Umsetzung kommen, wäre dies über die Waldbaurichtlinien der Länder (mit Vorgaben für den Landesforst), Anpassungen der Zertifizierungssysteme oder Maßnahmen des Vertragsnaturschutzes möglich.

5.2.6.3 Anpassung der Wälder an den Klimawandel und Vermeidung von Kohlenstoffverlusten

Wälder können Beiträge zum Klimaschutz leisten und der Anpassung an die Klimaänderungen dienen (Erosionsschutz, Wasserrückhaltung etc.). Gleichzeitig sind sie selbst von den Klimawandelfolgen betroffen (Trockenheit, Extremwetterereignisse etc.). Dabei bestehen Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung, da stabile Wälder eine zentrale Voraussetzung für die Erhaltung der durch sie bereitgestellten Kohlenstoff-Sequestrierung darstellen.

Anpassungsmaßnahmen im Wald sind sehr vielfältig und umfassen die Baumartenwahl, Umtriebszeiten oder die Struktur der Wälder. Dabei werden recht gegensätzliche Ansatzpunkte der Klimaanpassung diskutiert, sodass keine allgemeingültigen Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden können. Vereinfachend lassen sich zwei gegensätzliche Anpassungsstrategien unterscheiden (vgl. Winkel 2015): Die erste Strategie fokussiert auf die Intensivierung der Bewirtschaftung, indem Bestandesrisiken durch eine Senkung der Produktionsalter minimiert werden und verstärkt auf nicht heimische Baumarten gesetzt wird. Die zweite Strategie zielt auf die Etablierung naturnaher, vielfältiger und strukturreicher Wälder ab, um so die Resilienz der Wälder zu verstärken.

Eine Einflussnahme auf die beiden Strategien erfolgt über Waldumbauprogramme, die forstliche Förderung und Beratung sowie die landesrechtlichen Waldbaurichtlinien für den öffentlichen Wald. Da der zweiten Strategie positivere Wirkungen für den Biodiversitätsschutz sowie kulturelle Leistungen des Waldes zugesprochen werden (vgl. ebd.), ist insbesondere die forstliche Förderung stark hierauf ausgerichtet. Hier wird der ökologische Waldumbau, also der Umbau von naturfernen Nadelbaumreinbeständen zu naturnäheren Laub- und Mischwäldern, gefördert und zunehmend mit Notwendigkeiten der Klimaanpassung begründet. Soll dieser Waldumbau weiter befördert werden, muss vor allem eine stärkere Einbeziehung der nichtstaatlichen Waldflächen durch die Bereitstellung ausreichender Finanzmittel zur Beförderung des Waldumbaus im Privat- und

Körperschaftswald gelingen. Ergänzend sind informelle Informations- und Beratungsangebote weiter auszubauen, um im Privat- und Körperschaftswald die Notwendigkeit und die langfristigen Vorteile des Waldumbaus zu verdeutlichen und entsprechende waldbauliche Handlungsempfehlungen vermitteln zu können.

Da im Waldumbau die Laubholzanteile tendenziell ansteigen, bedarf es einer verstärkten Substitution von Nadel- durch Laubholz im stofflichen Bereich, um den aktuellen Marktpräferenzen auch bei veränderten Laubholzanteilen gerecht werden zu können. Gleichzeitig gilt es, klimaangepasste Nadelholzarten zu kultivieren. Darüber hinaus ist eine Lösung des Wald-Wild-Konflikts⁵⁵ anzustreben. Hierzu wäre insbesondere eine Reduktion der Schalenwildbestände notwendig, die durch Wildverbiss einen Waldumbau hin zu Mischbeständen deutlich hemmen.

5.2.7 Fazit

Zur Umsetzung eines nachhaltige(re)n Landnutzungsmanagements besteht eine Vielzahl an Instrumenten innerhalb unterschiedlicher Politikbereiche und auf allen administrativen Ebenen. Belange des Klimaschutzes und der Klimaanpassung haben in den vergangenen Jahren bereits eine weitgehende Verankerung im europäischen und deutschen Umwelt- und Planungsrecht sowie in verschiedenen Förderpolitiken erfahren. Wenngleich rechtliche Anpassungsbedarfe oder die Notwendigkeit neuer Instrumente nur vereinzelt bestehen, zeichnet sich ein Weiterentwicklungsbedarf der Regelungs- und Steuerungssysteme ab. Dieser zielt in erster Linie auf den Abbau von Umsetzungsdefiziten und Fehlanreizen ab sowie auf die stärkere Implementierung klimawandelrelevanter Belange in verschiedenen Förderpolitiken, etwa der Gemeinsamen Agrarpolitik, der Städtebauförderung sowie der Integrierten Ländlichen Entwicklung. Insbesondere ist eine stärkere Berücksichtigung der nicht marktfähigen Ökosystemleistung Klimaschutz anzustreben, was für die Etablierung eines Fonds zur Finanzierung von Klimaschutzprojekten spricht (etwa in Anlehnung an die Funktionsweise des Waldklimafonds, vgl. auch Naturkapital Deutschland TEEB DE 2015, S. 207).

Entscheidend ist das Zusammenwirken unterschiedlicher Instrumente: So sollte der Fokus darauf liegen, Zielkonflikte aufzudecken und zu berücksichtigen sowie instrumentelle Synergien zu nutzen, etwa zwischen Klimaschutz und Naturschutz (vgl. Schuler et al. 2014). Bei der Ausgestaltung planerischer, ordnungsrechtlicher und anreiz-

⁵⁵In weiten Teilen Deutschlands sind deutlich überhöhte Schalenwildbestände zu verzeichnen. Der dadurch bedingte hohe Schalenwildverbiss führt zu Wachstumseinbußen, von dem in erster Linie die vitalen und wuchskräftigen Individuen der Baumverjüngung sowie Keimlinge betroffen sind. Aufgrund des selektiven Verbisses kommt es zudem zur Entmischung künftiger Bestände. Diese Wirkzusammenhänge erschweren einen Waldumbau hin zu Mischbeständen deutlich (vgl. Ammer et al. 2010).

technischer Instrumente ist eine instrumentelle Überfrachtung möglichst zu vermeiden. Insbesondere ordnungsrechtliche Vorgaben sollten maßvoll eingesetzt werden und nur dann zum Einsatz kommen, wenn kooperative, anreiztechnische und informative Ansätze nicht ausreichen. Vor dem Hintergrund knapper öffentlicher Gelder kann es zielführend sein, vor allem solche Maßnahmen prioritär umzusetzen, die auch losgelöst von Klimaschutz und Klimaanpassung positive Umweltwirkungen entfalten (no-regret-Maßnahmen).

Für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement ist vor dem Hintergrund der komplexen Wechselwirkungen und Zielkonflikte zwischen und innerhalb der Landnutzungssektoren darauf hinzuwirken, verstärkt integrierte und koordinierende Planungs- und Handlungsansätze zur Anwendung zu bringen. Besondere Bedeutung kommt hier der räumlichen Gesamtplanung zu. Diese kann im Rahmen der Raumordnung sowie der Kommunalplanung dazu beitragen, die im Zuge des Klimawandels und der Energiewende zunehmenden Flächennutzungskonflikte frühzeitig zu erkennen und koordinierend auf diese einzuwirken. Zudem können auf Ebene der Landes- und Regionalplanung Klimaschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Strategie „Klimaanpassung“ vorbereitet und entsprechende Flächen gesichert werden.

5.3 Landnutzung und Klimawandel im transdisziplinären Diskurs: Wissenschaft und Stakeholder in Interaktion

Annett Steinführer, Meike Hellmich, Rosemarie Siebert und Reimund Steinhäuser

Zusammenfassung

CC-LandStraD war nicht nur als inter-, sondern auch als transdisziplinäres Projekt konzipiert worden. Das Erfahrungs- und Praxiswissen relevanter, mit Landnutzung mindestens semiprofessionell befasster gesellschaftlicher Akteure wurde für den Forschungsprozess, die Validierung von Zwischenergebnissen und die Praxisrelevanz der zu erzielenden Ergebnisse für so relevant gehalten, dass bundesweite und regional tätige Stakeholder kontinuierlich zur Beteiligung am Projekt eingeladen wurden. Dies erfolgte durch Workshops, leitfadengestützte Interviews und Fokusgruppendifkussionen. Mittels Feedbackbögen und -interviews wurden Erwartungen und erzielte Ergebnisse vergleichend reflektiert. Inhaltlich leisteten die Stakeholder Beiträge insbesondere zu den landnutzungsbezogenen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen sowie deren Ausgestaltung in den Strategien (Klimaschutz, Bioenergie, Natur- und Umweltschutz, Klimaanpassung). Der Artikel stellt den Prozess und seine Ergebnisse dar und reflektiert die Beteiligung und inhaltlichen Anregungen der Stakeholder sowie methodische Fragen, wie etwa den Übersetzungsaufwand zwischen Modellierungswissenschaften und Anwendungserwartungen.

5.3.1 Stakeholder-Beteiligung in der Umweltforschung

Die Beteiligung unterschiedlicher Akteure von außerhalb der Wissenschaft ist in der sozialökologischen Forschung in den vergangenen Jahren nahezu zur Routine geworden. Die erkenntnistheoretischen und gesellschaftspolitischen Hintergründe dieses Paradigmenwechsels reichen in den Risikodiskurs der 1980er-Jahre zurück. Dieser hatte vor allem die Rückkopplungseffekte hochtechnisierter Systeme sowie ihre von der Wissenschaft nicht intendierten oder ihr unbekanntem Folgeprobleme thematisiert. Letztere spielten eine zentrale Rolle für die Erosion des Glaubens an den technischen Fortschritt und die Beherrschbarkeit der (Um-)Welt auf Grundlage naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns. So entstand eine neue anwendungsorientierte, inter- und transdisziplinäre Umweltforschung, die zur Lösung praktischer Probleme beitragen und dafür naturwissenschaftliche Expertise, sozialwissenschaftliche Methoden und Konzepte sowie das Erfahrungswissen der Praxis möglichst gleichberechtigt einbinden möchte. In Deutschland verbindet sich dieser Zugang bis heute in besonderer Weise mit dem sozialökologischen Paradigma, das explizit nach „neuen Wissensformen“ sucht, „die auf lebenspraktische gesellschaftliche Probleme bezogen sind und zu deren Bewältigung beitragen“ (Becker und Jahn 2006, S. 15). Eine neuere Entwicklung ist die Citizen Science, eine Forschung unter Bürgerbeteiligung, beispielsweise im Bereich gewünschter oder unerwünschter Biodiversität, wenn etwa die Bewohner einer Stadt oder Region gebeten werden, Wildtiere in urbanen Räumen zu zählen oder die Flora von Bergwiesen zu bestimmen (z. B. Finke 2014).

Parallel erfolgte neben der prinzipiellen Hinterfragung und kritischen Reflexion tradierter Wissensquellen und -formen eine Veränderung umweltpolitischer Governancestrukturen: Die „aktive Beteiligung aller interessierten Stellen“, wie die Formulierung beispielsweise in Artikel 14 der im Jahr 2000 verabschiedeten EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) heißt, hat sich mittlerweile als Standardanforderung an die europäische Umweltpolitik durchgesetzt und schlägt sich seit langem in konkreten Instrumenten (etwa der Strategischen Umweltprüfung (SUP) oder der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)) sowie verschiedenen europäischen Richtlinien (wie der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) oder bereits 1982 der Richtlinie zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (Seveso-RL)) nieder. Bürgerbeteiligung hat dabei im Zeitverlauf zweifellos an Bedeutung gewonnen. Inwiefern es sich aber bei den zahlreichen Beteiligungsprozessen in den unterschiedlichen Kontexten und Arenen um wirkliche Partizipation oder um Alibipolitik handelt, ist umstritten und im Einzelfall verschieden. Bereits 1969 hatte Sherry Arnstein zwischen echter und vermeintlicher Partizipation sowie Nicht-Beteiligung unterschieden. Lediglich die drei Stufen „Partnerschaft“, „Machtdelegation“ und „Bürgerkontrolle“ definierte sie in ihrer *ladder of participation* als wirkliche Beteiligung bzw. Mitwirkung. „Vorgänge der Konsultation“ und „Information der Bevölkerung“ zählte sie hingegen nicht dazu, da nicht

gesichert sei, dass die Hinweise und Anregungen der Bevölkerung von der Exekutive tatsächlich beachtet würden (Arnstein 1969, bes. S. 217).

Forschungsarbeiten begleiteten die Umsetzung der zahlreichen europäischen Richtlinien und deren praktische Probleme und trugen so ebenfalls zu einer neuen sozialwissenschaftlichen Umweltforschung bei, bei der partizipative Governance, Beteiligung und Nicht-Beteiligung unterschiedlicher sozialer Gruppen sowie deren Bedingungsfaktoren und Hindernisse im Mittelpunkt stehen, etwa im Hinblick auf Wassermanagement (Jessel und Jacobs 2005), Risikoanalysen (Glicken 2000), Prozesse der Risikokommunikation (De Marchi 1991) oder das Management von Hochwasserrisiken (Wehn et al. 2015; Begg et al. 2011; Steinführer et al. 2009). Die von den Umweltproblemen oder der Instrumentenumsetzung Betroffenen werden dabei in unterschiedlichem Maße in die Forschungen mit einbezogen. Ähnlich wie in Arnsteins *ladder of participation* lässt sich diese Beteiligung von Informiert- über Konsultiert-Werden bis hin zum Mit-Entscheiden abstufen.

In Deutschland hat sich für die Einbindung nichtwissenschaftlicher Akteure in Forschungsprojekte das Konzept der Transdisziplinarität etabliert. Darunter wird ein über Einzeldisziplinen hinausgehender, spezifischer erkenntnistheoretischer und methodologischer Zugang der Umwelt- und Raumwissenschaften verstanden, der sich an praktischen Problemen orientiert. Außerhalb der Wissenschaft tätige Akteure – sogenannte Stakeholder – werden als Praxisexperten und/oder als Vertreter bestimmter Interessen „in einer anderen Rolle als der des Wissenschaftlers an einem Problemlösungsprozess beteiligt“ (Förster et al. 2001, S. 146; vgl. auch Zierhofer und Burger 2007; Renn 2008; Haber und Bückmann 2013, S. 32 f.). Eine Quelle des Konzepts sind Betriebswirtschaft und Strategisches Management, die eine konzeptionelle Erweiterung vom Anteilseigner (*shareholder*) auf breitere Interessengruppen (*stakeholder*) vornahmen (Freeman 1984, 2004). Dies hatte zur Folge, dass das Stakeholder-Konzept im Laufe der letzten Jahre sowohl in weitere Felder der Management- und Organisationsforschung als auch in verschiedenste Bereiche der Politik- und Entwicklungsforschung sowie, wie bereits ausgeführt, der Umweltwissenschaften Eingang gefunden hat (Reed et al. 2009).⁵⁶ In den Sozialwissenschaften gilt der Stakeholder als Person oder Gruppe, deren Mitwirkung an politischen Entscheidungsprozessen aufgrund legislativer Vorgaben

⁵⁶Als „Stakeholder“ wird in älteren Englischwörterbüchern ein unparteiischer Verwalter von Wettinsätzen bezeichnet (vgl. z. B. Langenscheidts Enzyklopädisches Wörterbuch der englischen und deutschen Sprache; vgl. Springer 1963, S. 1366). In der Gegenwart bezieht sich seine Bedeutung im ökonomischen Kontext im Unterschied zu Anteilseignern etwa einer Aktiengesellschaft (*shareholder*) auf darüber hinausgehende Personenkreise (z. B. Beschäftigte oder Kunden), die ebenfalls ein legitimes Interesse am Unternehmen haben. Etymologisch ist es auf *stake* (Stab, der z. B. zum Abstecken von Land verwendet wurde) und *hold* (halten) zurückzuführen. Mit der abgeleiteten Verbform *to stake* verband sich ab dem frühen 16. Jahrhundert auch die Bedeutung von „etwas riskieren, um etwas wetten“. Daraus erklärt sich auch die Bedeutung von *stake* als „Anteil, (Wett-)Einsatz“ (Online Etymology Dictionary 2015).

als notwendig erachtet wird oder deren freiwillige Beteiligung zur Vermeidung oder Verminderung von Konflikten dient. Eine Definition jenseits der Bedeutung von „Anteil haben“ steht aus. Auch fehlt eine theoretische Orientierung, um abzugrenzen, wer woran zu beteiligen ist (Achterkamp und Vos 2008). Im internationalen und mittlerweile auch im deutschsprachigen Umwelt- und Nachhaltigkeitsdiskurs bezeichnet der Begriff „Stakeholder“ Personen oder Organisationen mit einem legitimen Interesse an einer Sache (Brugha und Varvasovszky 2000). Die Legitimität ergibt sich z. B. dadurch, dass diese Personen bzw. Organisationen von Entscheidungen in dieser Sache (etwa eines anderen Landnutzers) direkt oder indirekt in ihren eigenen Interessen (z. B. wirtschaftlicher Art) betroffen sind bzw. sein können.

Im hier dokumentierten Forschungsprozess des CC-LandStraD-Projektes wurden unter „Stakeholder“ einerseits alle organisierten Akteure (z. B. Behörden, Verbände oder andere Interessenvertretungen) verstanden, die ein (semi-)professionelles Interesse an Landnutzung haben und artikulieren, die Landnutzung in der einen oder anderen Form beeinflussen bzw. verändern oder von Landnutzungswandel betroffen sind (vgl. Abschn. 1.3). Dies sind zum einen im Rahmen formaler Organisationen handelnde Akteure, die nicht notwendigerweise selbst direkt von Landnutzungsveränderungen Betroffene sind, sondern als deren Vertreter bzw. in deren Auftrag agieren. Die Formulierung „(semi-)professionell“ zielt darauf, dass die individuellen Vertreter dieser Stakeholder in der Regel in ihrer beruflichen Tätigkeit als Akteure der Landnutzung handeln oder aber, im Falle einer ehrenamtlichen Tätigkeit, einen oft beträchtlichen Teil ihrer Freizeit in diese Aktivitäten investieren. Neben privaten berufsständischen Interessenvertretungen und Zusammenschlüssen in den verschiedenen Landnutzungssektoren wurden auch nicht-private Interessenvertretungen, wie z. B. Träger öffentlicher Belange oder Umweltverbände aus den Landnutzungssektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr, eingebunden. Zum anderen wurden auf regionaler Ebene, also in den beiden Fokusregionen, auch nicht-organisierte Akteure, z. B. individuelle Landnutzer wie Land- und Forstwirte, als Stakeholder verstanden und durch das Projekt adressiert.

5.3.2 Ziele des transdisziplinären Diskurses

Das Verbundprojekt CC-LandStraD hatte zum Ziel, nachhaltige und gesellschaftlich akzeptierte Landnutzungsstrategien im Kontext von Klimaschutz und Klimaanpassung zu entwickeln (vgl. Abschn. 1.1). Neben naturwissenschaftlicher und ökonomischer Expertise sowie punktuell den Einstellungen der Bevölkerung (vgl. Abschn. 5.1) sollte hierfür auch das Erfahrungs- und Praxiswissen relevanter – also mit Landnutzung mindestens semiprofessionell befasster – gesellschaftlicher Akteure eingebunden werden. Bei deren Auswahl war der spezifische räumliche Zuschnitt des Projektes mit seinem bundesweiten Ansatz einerseits und der vertiefenden Untersuchung in den beiden

Fokusregionen Rhein (Rhein-Sieg-Kreis und Rheinisch-Bergischer Kreis) und Altmark (Altmarkkreis Salzwedel und Landkreis Stendal) andererseits zu beachten (vgl. Abschn. 1.2).

Hauptziel der Stakeholder-Beteiligung war es, die vielfältigen Ansprüche und Erwartungen unterschiedlicher Akteure in Bezug auf aktuelle und zukünftige Landnutzungsentwicklungen zu berücksichtigen. Konkret waren im Projektverlauf Maßnahmen der Landbewirtschaftung (z. B. Ausweisung von Hochwasserschutzgebieten im Sektor Siedlung, bestimmte Durchforstungsstärken im Sektor Forst oder eine angepasste Grünlandnutzung auf organischen Böden im Sektor Landwirtschaft) zu beurteilen. Im zweiten Schritt sollten die Stakeholder die Maßnahmenbündel – also die im Projekt entwickelten und modellierten Landnutzungsstrategien (Klimaschutz/KS, Bioenergie/BE, Natur- und Umweltschutz/NUS sowie Klimaanpassung/KA; vgl. Abschn. 4.1) – anhand verschiedener Kriterien bewerten. Abschließend interessierte ihr Feedback zu den Forschungsergebnissen und deren Praxisrelevanz.

Der transdisziplinäre Diskurs wurde als projektbegleitender Austausch konzipiert, der im Wesentlichen auf sektoralen Workshops sowie Fokusgruppen basierte und durch Interviews ergänzt wurde. Die beiden Prozesse – auf bundesweiter Ebene und in den zwei Fokusregionen – folgten keinem vorab im Detail festgelegten Design, sondern wurden je nach Arbeitsstand und Zwischenergebnissen der Modellierungsbausteine und dem sich daraus gegebenenfalls ergebenden Bedarf der Fachwissenschaftler situativ weiterentwickelt. Die Beteiligungsprozesse auf den beiden räumlichen Ebenen waren aufeinander abgestimmt, unterschieden sich aber in einigen Details (vgl. Abb. 5.10 sowie die weiteren Ausführungen).

Neben der prozessualen Komponente – der Begleitung des Forschungsprojektes und der damit verbundenen kontinuierlichen Übersetzungsarbeit zwischen Modellierungswissenschaften und Praxisinteressen – standen aus einer sozialwissenschaftlichen Perspektive die Bedeutung des Klimawandels in der Tätigkeit relevanter Landnutzungsakteure in Deutschland sowie Fragen inter- und intrasektoraler Landnutzungskonflikte im Mittelpunkt des Forschungsinteresses (Hellmich und Steinführer 2012; Steinhäuser et al. 2015):

- *Klimawandel* wird in den Sozialwissenschaften unter zwei Gesichtspunkten diskutiert: als Anpassung an die als unausweichlich erachteten Folgen (wie häufigere und/oder stärker ausgeprägte Extremereignisse, wie Hitzewellen oder Hochwasser) sowie als Anstrengung von Individuen, Unternehmen, Verbänden, Kommunen und Nationalstaaten zur Senkung von THG-Emissionen (Voss 2010). Das Besondere an CC-LandStraD in diesem Zusammenhang war, dass erstmals alle drei großen flächennutzenden Sektoren in Deutschland in ihren Bemühungen um Klimaschutz und, in den Sektoren Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr, um Klimaanpassung betrachtet wurden (vgl. auch Gömann et al. 2015).

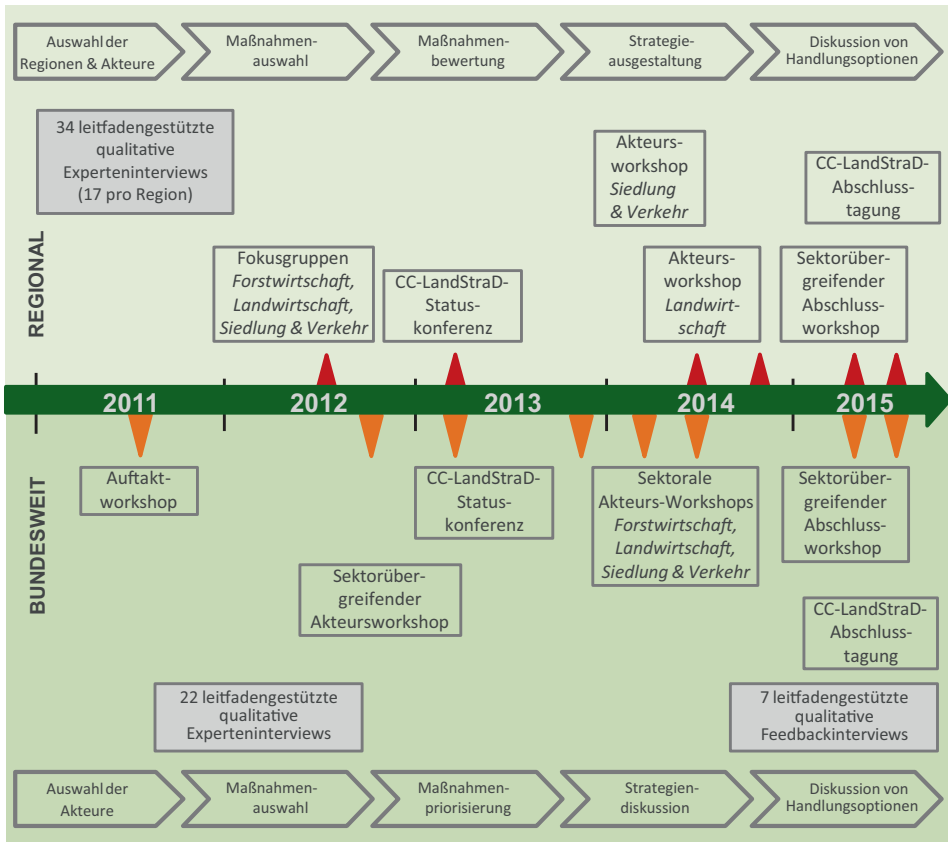


Abb. 5.10 Überblick über die Formen der Stakeholder-Beteiligung auf bundesweiter Ebene und in den Fokusregionen. (Quelle: Thünen-Institut/J. Fick, graphische Umsetzung: Nina Röhrig)

- *Landnutzungskonflikte* waren zunächst von Landnutzungskonkurrenzen abzugrenzen.⁵⁷ Letztere entstehen dadurch, dass Flächen meist für unterschiedliche Nutzungen geeignet sind. So kann ein Acker zur Biomasseproduktion für energetische Zwecke oder alternativ zur Nahrungsmittelerzeugung genutzt werden. Zu Landnutzungskonflikten kommt es, wenn a) unterschiedliche Akteure einander ausschließende Nutzungsinteressen an ein und dieselbe Fläche richten oder wenn b) gesellschaftliche Interessengruppen bestimmte Landnutzungen als Problem erklären und davon ausgehend Nutzungsveränderungen bzw. -einschränkungen oder einen Nutzungsverzicht erreichen wollen (vgl. auch Arlt und Pfeil 1996; von der Dunk et al.

⁵⁷Zum Teil werden beide Begriffe in der Literatur synonym oder zumindest nicht trennscharf verwendet (z. B. Rösch et al. 2008).

2011). Landnutzungskonflikte sind stets Interaktionen zwischen individuellen oder korporativen Akteuren, die entweder nicht kosten- oder nicht flächenneutral lösbar sind. In diesem Beitrag interessieren uns sowohl intra- als auch intersektorale Landnutzungskonflikte.

5.3.3 Wissenschaft und Praxis in Interaktion: der Prozess

5.3.3.1 Stakeholder-Auswahl

Bundesweiter Beteiligungsprozess

Die Auswahl der bundesweiten Stakeholder fand in einem iterativen Prozess statt. Zunächst erfolgte eine Kategorisierung von Akteuren der Landnutzung nach institutionellen Zugehörigkeiten (Politik, Verwaltung, Interessenverbände und wissenschaftliche Einrichtungen). Außerdem wurden, ausgehend von den drei aus Projektsicht relevanten Hauptsektoren der Landnutzung und unter Berücksichtigung weiterer Flächenansprüche, die Interessenverbände und Ämter in sieben inhaltliche Gruppen unterschieden: Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr, Natur- und Umweltschutz, Energie und Rohstoffe, Wasser sowie Sonstige (z. B. Tourismusverbände, Versicherungen, Wissenschaft u. a.).

Anhand dieser Systematisierung fand eine Internet- und Literaturrecherche statt, um bundesweit aktive Akteure der Landnutzung zu identifizieren. Diese Recherche ergab eine Liste von insgesamt 147 Organisationen. Diese Anzahl lag bei weitem über der Größenordnung, die für eine aktive Projektbeteiligung (etwa durch Workshops und Interviews) berücksichtigt werden konnte. Ein Auswahlprozess der erfassten Stakeholder nach ihrer Relevanz für das Forschungsvorhaben war notwendig. Deshalb wurde im Projektkonsortium eine Expertenbefragung durchgeführt. Zugleich konnte so sichergestellt werden, dass für alle Sektoren und Teilthemen des Projekts relevante Vertreter ausgewählt werden. Diese projektinterne Bewertung beschränkte sich auf den Bereich der Interessenverbände, da sich die Situation auf Politik- und Verwaltungsebene übersichtlicher darstellte und eine vergleichsweise geringe Anzahl relevanter Akteure identifiziert werden konnte. Für die Auswahl der Interessenverbände wurden drei Kriterien vorgegeben, von denen mindestens eines gelten musste: Die Organisation sollte 1) einen direkten oder indirekten Einfluss auf die Landnutzung in Deutschland haben, 2) in der Landnutzung selbst von Klimawandel betroffen oder Mitverursacher oder beides und schließlich 3) öffentlichkeitswirksam in Bezug auf Landnutzungsoptionen und/oder Landnutzungskonflikte tätig sein. Um auch kleine oder weniger bekannte Verbände zu berücksichtigen, wurde eine Zusatzfrage nach drei Stakeholdern gestellt, die aufgrund besonderer Aktivitäten oder Merkmale nicht vergessen werden sollten. Mit diesem „Joker“ bestand die Möglichkeit, auf Stakeholder zu verweisen, die beispielsweise eine bestimmte, anderweitig nicht berücksichtigte, Landnutzungsform oder Sichtweise auf Landnutzungs- bzw. Klimawandel vertreten. In diesem Zusammenhang trat

unter anderem die Frage auf, wie man mit Interessengruppen für Themen, die nur auf lokaler Ebene für bestimmte Regionen hohe Bedeutung haben, bundesweit aber eher vernachlässigt werden können, umgehen sollte. Ein typisches Beispiel hierfür ist der Abbau bestimmter Rohstoffe, wie Braunkohle, und damit verbundener Interessenlagen. Es wurde vor dem Hintergrund der Projektausrichtung und -ziele entschieden, solche Stakeholder nicht zu beteiligen.

Auf diese Weise wurden 62 Verbände und Organisationen als relevant bestimmt. Diese Expertenbewertung stellte die Grundlage für die Auswahl der im Projekt zu beteiligenden Akteure dar, wurde jedoch im späteren Projektverlauf noch geringfügig modifiziert, um ein möglichst vielfältiges und breites sowie aktuelles Spektrum der Landnutzung in Deutschland abzubilden. 70 organisierte Interessenvertreter bildeten den Ausgangspunkt für den bundesweiten Beteiligungsprozess. 51 von ihnen kamen aus den drei im Projekt vorrangig betrachteten Landnutzungssektoren Land- und Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr (mit Schwerpunkt auf der Siedlungsentwicklung). 17 Akteure des Natur- und Umweltschutzes wurden ebenfalls adressiert, ohne diesen weiterhin als „Sektor“ zu bezeichnen. Vielmehr wurde Naturschutz als ein an die drei Landnutzungssektoren gerichteter weiterer Anspruch verstanden und mit den sektoralen Perspektiven zusammengebracht (vgl. auch Tab. 5.8). Hinzu kamen zwei weitere Akteure der Kategorie „Andere“ mit einem übersektoralen Landnutzungsbezug.

Regionaler Beteiligungsprozess

Im Vorfeld der Forschungsarbeiten in den Fokusregionen Altmark und Rhein wurde auf Grundlage einer Internetrecherche der Kontakt mit Schlüsselpersonen und -organisationen gesucht. So entstand ein erster Überblick über die regionalen Akteurslandschaften. Als wichtiger Partner in der Region Altmark wurde der Regionalverein Altmark e. V. identifiziert. Er stellt mit über 60 Mitgliedern eine neue Form der regionalen Kooperation dar, in der Unternehmen mit Entscheidungsträgern aus Politik und Verwaltung sowie Verbänden und Vereinen zusammenarbeiten. Zu Projektbeginn wurden auf einer Sitzung des Regionalvereins das Projekt vorgestellt und erste regionale Problemstellungen aus Sicht der Akteure in die Forschungsarbeit aufgenommen. In der Fokusregion Rhein konnte kein in beiden Landkreisen agierender Partner identifiziert werden. Hier war die Unterstützung des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV) sehr hilfreich. Das Projekt und seine Ziele wurden 2011 im Ministerium vorgestellt und diskutiert.

In der Startphase wurden in beiden Fokusregionen relevante Experten aus den Bereichen Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz, Siedlung und Verkehr identifiziert, erste Ansprechpartner ausgewählt und kontaktiert. Diese stammten aus beruflichen Interessenvertretungen der Landwirtschaft, unteren Landesbehörden, Landesbetrieben sowie gemeinnützigen Unternehmen mit Landnutzungsbezug sowie aus Naturschutzverbänden. Die Auswahl der Stakeholder für die Altmark wurde mit Ansprechpartnern des Regionalvereins Altmark abgestimmt und auf Relevanz für Land-

Tab. 5.8 Beteiligungsformen und tatsächliche Beteiligung am bundesweiten Stakeholderprozess. (Quelle: Thünen-Institut/A. Steinführer)

Sektor/ Bereich	Identi- fiziert	Inter- views	Workshop 1 (2011)		Workshop 2 (2012)		Sektorale Workshops (2013/2014)		Abschluss- veranstaltung (2015)	
			Ein- ladung	Teil- nahme	Ein- ladung	Teil- nahme	Ein- ladung	Teil- nahme	Ein- ladung	Teil- nahme
Landwirt- schaft	21	7	9	3	13	2	19	5	18	12
Forst	13	5	5	1	9	2	12	5	10	5
Siedlung und Ver- kehr	17	3	8	2	6	2	15	3	7	4
Natur- und Umwelt- schutz	17	4	8	5	7	3	6	1	15	5
Energie und Roh- stoffe	25	1	2	1	0	0	1	0	2	1
Wasser	9	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Andere ^a	15	2	4	1	9	3	1	0	6	0
Gesamt	117	22	40	13	44	12	54	14	58	27

^aEinschließlich Wissenschaft

nutzungsentscheidungen in der Region geprüft. Für die Fokusregion Rhein erfolgte die Ansprache der Stakeholder in enger Kooperation mit Wissenschaftlern des Konsortiums, die über spezifische Kenntnisse der Region verfügten.

Nach dieser Startphase wurde die Stakeholder-Auswahl während der nachfolgend durchgeführten Experteninterviews mittels Schneeballverfahren fortgesetzt, indem die interviewten Experten am Ende des Gesprächs auf Nachfrage weitere Personen benannten, die für die Landnutzung der Region als relevant eingestuft wurden (Biernacki und Waldorf 1981).

5.3.3.2 Beteiligungsformen und tatsächliche Beteiligung

Der transdisziplinäre Ansatz in CC-LandStraD setzte vor allem auf interaktive Beteiligungsformen, wie sektorübergreifende und sektorale Workshops, Fokusgruppen, leitfadengestützte Interviews und Feedbackbögen. Ihre Funktionen reichten von wechselseitiger Information über Konsultation bis hin zur Beeinflussung wissenschaftlicher Entscheidungen im Projektverlauf. Darüber hinaus wurden die Stakeholder halbjährlich per Newsletter über den Stand des Projektes und die Fortschritte in den Teilprojekten

informiert. Weitere Informationen, etwa Hinweise auf Publikationen oder populärwissenschaftliche Projektergebnisse (z. B. Filme zur Landnutzung oder eine Ausstellung zum aktuellen und historischen Landnutzungswandel), standen auf der Projektwebseite zur Verfügung. Der folgende Abschnitt konzentriert sich auf die interaktiven Beteiligungsformen – also jene mit einem stärker partizipativen Charakter.

Bundesweiter Beteiligungsprozess

Auf Bundesebene wurden sektorübergreifende und sektorale Workshops sowie leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt.

Der sektorübergreifende Auftaktworkshop (2011) sollte die ausgewählten Stakeholder über das Projekt informieren und zur langfristigen Teilnahme am Beteiligungsprozess einladen. Außerdem erfolgte eine Kartenabfrage zu den aus Sicht der Stakeholder bedeutendsten aktuellen Landnutzungskonflikten, den Potenzialen der Landnutzung im Bereich Klimaschutz sowie erwarteten Folgen des Klimawandels. Zur inhaltlichen Vorbereitung der Stakeholder und zur Einstimmung auf das Forschungsprojekt wurde vorab eine Tischvorlage versendet. Diese stellte die Zielsetzung des Projektes sowie wesentliche Trends der Flächeninanspruchnahme in Deutschland dar.

Im Anschluss fanden leitfadengestützte Experteninterviews statt, deren Ziel es war, die Perspektiven und Bewertungen unterschiedlicher Interessengruppen hinsichtlich aktueller sowie für die Zukunft erwarteter sektorinterner und -übergreifender Landnutzungskonflikte im Detail zu erheben. Experteninterviews sind ein erprobtes Instrument in der Umweltforschung, die es Wissenschaftlern ermöglichen, tiefe Einblicke in ihren jeweiligen Untersuchungsgegenstand zu erhalten (Reed et al. 2009; vgl. Tab. 5.8). Der Schwerpunkt des Forschungsinteresses lag auf der Frage, welche flächenbezogenen Maßnahmen die Vertreter unterschiedlicher Landnutzungssektoren für sinnvoll erachten, um einerseits einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten und sich andererseits an erwartete Folgen des Klimawandels anzupassen. Da sich für das Gesamtprojekt zu diesem Zeitpunkt eine fachliche Konzentration auf die Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlungswesen sowie Natur- und Umweltschutz abzeichnete, konzentrierten sich auch die Interviews auf diese Landnutzungssektoren bzw. -ansprüche. 28 Interviewpartner aus diesen vier Bereichen (sowie zusätzlich ein Vertreter der Bioenergiebranche und zwei aus dem Wassersektor) wurden für ein Interview angefragt. Aufgrund von sechs Ablehnungen konnten 22 Interviews realisiert werden (vgl. Tab. 5.8). Befragt wurden sowohl Akteure von Nichtregierungsorganisationen, Beschäftigte von Bundesbehörden sowie eine Vertreterin einer Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft.

Die Interviewleitfäden basierten auf Sekundäranalysen vorhandener Forschungsliteratur, auf Selbstdarstellungen der jeweiligen Organisation im Internet und, wenn vorhanden, in Verbandszeitschriften sowie auf Diskussionen mit den jeweiligen Fachexperten des Projektkonsortiums. Für jeden Sektor wurde zunächst ein Leitfaden entwickelt, der anschließend auf den konkreten Gesprächspartner zugeschnitten wurde.

Dabei kamen weitgehend offene Fragen ohne Antwortvorgaben zur Anwendung – auch Maßnahmen des Klimaschutzes und der Klimaanpassung wurden den Befragten nicht detailliert vorgegeben. Mit einer Ausnahme konnten sich alle Akteure auf diese Interviewoffenheit einstellen. Die Interviews fanden überwiegend in den Geschäftsstellen der befragten Organisationen statt. Sie wurden mitgeschnitten und wörtlich transkribiert. Das auf diese Weise erzeugte Textmaterial umfasste etwa 500 Seiten. Die Auswertung der Interviews wurde mit einem inhaltsanalytischen Verfahren durchgeführt, bei dem eine Kombination aus deduktiver und induktiver Kategorienbildung zur Anwendung kam: Deduktive Kategorien ergaben sich aus den Themenfeldern des Leitfadens, zusätzliche induktive Kategorien entstanden während der Auswertung zu Themen, denen die Befragten im Interviewverlauf eine hohe Relevanz beimaßen.

Ein weiterer sektorübergreifender Workshop (2012) hatte zum Ziel, die Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung, welche in den Interviews und vom Konsortium genannt worden waren, den vier Landnutzungsstrategien von CC-LandStraD (Klimaschutz, Bioenergie, Natur- und Umweltschutz sowie Klimaanpassung) zuzuordnen. Im Anschluss daran wurden die Maßnahmen strategiebezogen in sektoralen Arbeitsgruppen priorisiert und das Ergebnis diskutiert. Hierzu wurden Interviewpartner, Teilnehmer bzw. Eingeladene des Auftaktworkshops und Personen, mit denen das Konsortium in Kontakt stand, sowie einige zusätzliche Stakeholder eingeladen und dabei auf eine relativ ausgewogene Anzahl von Stakeholdern aus den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Siedlung und Verkehr sowie Naturschutz geachtet. Erneut wurde vorab ein Informationstext versendet. Dieser umfasste neben einer kurzen Beschreibung der vier Landnutzungsstrategien die Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung. Diese waren sektoral und nach „modellierbar“ und „nicht-modellierbar“ gegliedert. Zusätzlich enthielt die Liste eine kurze Beschreibung jeder Maßnahme sowie gegebenenfalls eine kurze Begründung ihrer Einordnung als nicht-modellierbar.

Nach der Auswahl und Priorisierung der Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung durch das Konsortium und der Stakeholder begannen die Modellierungen für die jeweilige Referenzprojektion der Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr (vgl. Abschn. 4.1). Aufgrund der fachlichen Spezifika wurden diese Diskussionen in einer sektoralen Workshopreihe geführt. An drei Terminen 2013 und 2014 wurden Inhalte der land- und forstwirtschaftlichen Modellierung sowie der siedlungsbezogenen Fragestellungen mit Interessenvertretern des jeweiligen Sektors diskutiert. Zu den Workshops der Forstwirtschaft sowie der Landwirtschaft wurden zusätzlich naturschutzfachliche Stakeholder eingeladen. Kernpunkt war jeweils die Vorstellung der Modellierungsergebnisse bezogen auf die Referenzprojektion, um die Weichen für die Maßnahmenmodellierung in den vier Strategien zu stellen. Außerdem standen die Ausprägungen einzelner Maßnahmen in den Strategien, ihr Beitrag zum Klimaschutz und zur Klimaanpassung sowie die Ausgestaltung der Strategien zur Diskussion.

Alle Workshops wurden mittels Audioaufnahmen und eines Ergebnisprotokolls dokumentiert. Letzteres erhielten die Teilnehmer zunächst in der Entwurfsfassung, um Ergänzungen und gegebenenfalls Richtigstellungen von Aussagen zu ermöglichen. Die endgültige Version wurde allen Eingeladenen zugeleitet.

Die tatsächliche Beteiligung an den verschiedenen Workshops variierte teilweise stark (vgl. Tab. 5.8), ohne dass sich die Zahl der eingeladenen Stakeholder aus den einzelnen Sektoren signifikant änderte.

Regionaler Beteiligungsprozess

In den Fokusregionen wurden leitfadengestützte Experteninterviews, sektorale Fokusgruppendifkussionen und Workshops durchgeführt.

Die leitfadengestützten Experteninterviews zu Beginn der Forschungsarbeiten dienten dem Zweck, die individuelle Problemwahrnehmung und die damit verbundene Einschätzung durch die lokalen Experten zu ermitteln. Außerdem sollten Maßnahmen gesammelt werden, die auf regionaler Ebene dem Klimawandel entgegenwirken. Auch auf regionaler Ebene war das Ziel der Experteninterviews, genauere Einblicke in die Landnutzung, darauf bezogene Konflikte sowie in Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen zu erhalten (Reed et al. 2009).⁵⁸

In der Altmark wurden den Experten ein Anschreiben, eine Projektdarstellung und ein Interviewleitfaden mit Informationen über das geplante Interview zugesandt. Alle Angeschriebenen waren grundsätzlich zu einem Gespräch bereit. In einem Fall erfolgte ein Verweis an eine höhere behördliche Stelle. In der Rhein-Region wurden den Experten zunächst ein Anschreiben und eine kurze Projektvorstellung geschickt. Nach Terminabsprache erfolgte die Zusendung des Interviewleitfadens. Es gab lediglich eine Absage. Sieben Personen leiteten die Anfrage an aus ihrer Sicht kompetentere Ansprechpartner innerhalb ihrer Organisationen weiter. Die Interviews wurden digital aufgezeichnet und transkribiert, um diese gezielt auswerten zu können.

Im Anschluss an die Interviews wurden sechs sektorale Fokusgruppendifkussionen in den Sektoren Landwirtschaft, Forstwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr dazu genutzt, die Interviewergebnisse zu validieren, mögliche Maßnahmen für Klimaschutz und Klimawandel zu diskutieren und weitere, im Einzelgespräch nicht erschließbare Informationen zu gewinnen. Da Fragen des Natur- und Umweltschutzes in den Fokusregionen von erheblicher Bedeutung für die Flächennutzung sind und der Natur- und Umweltschutz damit in Konkurrenz zu den drei genannten Sektoren steht, wurde jeweils eine zusätzliche Fokusgruppendifkussion zu dieser Thematik durchgeführt. Zudem wurden die sektorspezifischen Landnutzungspräferenzen der Interessengruppen diskutiert. In der Diskussion ergänzten die Stakeholder die vom Konsortium vor-

⁵⁸Diese Interviews wurden von Wibke Crewett vorbereitet und durchgeführt. Ihre Auswertungen flossen in die nachfolgenden Darstellungen mit ein (vgl. auch Crewett et al. 2013).

geschlagenen Landnutzungsmaßnahmen um weitere Maßnahmen, die aus ihrer Sicht den Klimawandel beeinflussen können. In der qualitativen Sozialforschung hat sich die Fokusgruppe als Methode bewährt (insbesondere in der integrierten partizipativen Bewertung), um Interessen von Stakeholdergruppen zu identifizieren und zu analysieren (Morgan 1996; Krueger und Casey 2000).

Die Planung der Fokusgruppen erfolgte in enger Kooperation mit dem Konsortium, um ein Ineinandergreifen der einzelnen Teilprojekte und Arbeitsschritte sicherzustellen. Außerdem sollten Synergieeffekte erzeugt werden, indem die Projektpertise in Form von Kurzvorträgen während der Fokusgruppen genutzt wurde und so direkt in die Diskussionen einfließen konnte. Jede Fokusgruppe begann mit einem Einführungsteil, der die Ziele des Projektes und des Stakeholderprozesses vermittelte. Nachfolgend wurden die Bedeutung des Klimawandels in den Fokusregionen sowie anschließend mögliche Landnutzungsmaßnahmen vorgestellt, die dem Klimawandel entgegenwirken können. Die Aufgabe der Teilnehmer war es, zu bewerten, welche Maßnahmen als sinnvoll erachtet werden. Zum Abschluss wurden diese Maßnahmen in ein Ranking eingebracht. Die Fokusgruppengespräche wurden transkribiert und auf Basis der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2010) ausgewertet.

Ab 2014 wurden den Akteuren in vier sektoralen Workshops die Berechnungen der Modellierungen zu Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen vorgestellt. Die Workshops beschränkten sich auf die Sektoren Landwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr, da nur hier Modellierungen für die regionale Ebene erfolgten. Zudem wurde die Flächenwirksamkeit von Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen diskutiert, um weitere Optionen für die Integration der Maßnahmen in die Modellierung zu eröffnen. Auch Planungs- und weitere Steuerungsinstrumente im Spannungsfeld zwischen Klimawandel und Landnutzung wurden thematisiert. Zur Gewährleistung der Kontinuität des Beteiligungsprozesses wurden in erster Linie die Stakeholder eingeladen, die bereits in der ersten Projektphase involviert waren. So konnte der Anteil an neuen Informationen im Programm hoch gehalten und gleichzeitig die Attraktivität der Workshops gewährleistet werden. Die Einladungen enthielten beispielhaft jeweils ein Modellierungsergebnis, um die Motivation zur Teilnahme weiter zu erhöhen. Die Fokusgruppengespräche wurden mit Hilfe digitaler Audioaufnahmen und in Form eines Ergebnisprotokolls dokumentiert.

Das zahlenmäßige Verhältnis zwischen eingeladenen und tatsächlichen Teilnehmer für die einzelnen Beteiligungsformen im regionalen Beteiligungsprozess ist in Tab. 5.9 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Beteiligungsbereitschaft im Zeitverlauf in den Fokusregionen höher war als im nationalen Beteiligungsprozess. Dies könnte darin begründet sein, dass die (unmittelbare) Betroffenheit regional höher ist und dementsprechend eine Beteiligung aus intrinsischen Motiven heraus ausgeprägter war als auf Bundesebene.

Tab. 5.9 Beteiligungsformen und tatsächliche Beteiligung am regionalen Stakeholderprozess. (Quelle: ZALF/R. Siebert)

Sektor/ Bereich	Interviews (2011)		Fokusgruppen (2012)		Sektorale Workshops (2013/2014)		Abschlussveranstaltung (2015)	
	Potenzielle Interview-partner	Tatsächlich interviewt	Identifizierte und ein-geladene Teilnehmer	Tatsächliche Teilnehmer	Identifizierte und ein-geladene Teilnehmer	Tatsächliche Teilnehmer	Eingeladene Teilnehmer	Tatsächliche Teilnehmer
Forst	8	6	18	16	–	–	16	3
Landwirtschaft	12	12	28	22	19	13	14	5
Siedlung und Verkehr	6	5	17	11	16	11	12	4
Natur- und Umweltschutz	13	10	17	11	–	–	14	4
Wasser	2	1	–	–	–	–	–	–
Andere ^a	14	12	–	–	–	–	–	–
Summe	55	46	80	60	35	24	56	16

^aEinschließlich Wissenschaft

Ebenenübergreifende Aktivitäten

Eine erste Gesamtschau der Forschungsaktivitäten und -befunde fand 2013 nach zweieinhalb Jahren auf der Zwischenkonferenz statt. Hier wurden Zwischenergebnisse präsentiert und zur Diskussion gestellt, wobei die Veranstaltung einen vorrangig wissenschaftlichen und keinen Workshop-Charakter hatte. Von den eingeladenen 127 Praxispartnern der Bundesebene und aus den Regionen beteiligten sich 23.

Fünf Monate vor Projektabschluss fand 2015 ein sektorübergreifender Workshop statt, zu dem erstmals die Akteure des bundesweiten und des regionalen Beteiligungsprozesses gemeinsam eingeladen wurden. Der Zeitpunkt war so gewählt, dass wesentliche Ergebnisse der Modellierungen bereits vorlagen, zugleich aber noch die Möglichkeit bestand, die Anmerkungen und Kommentare der Stakeholder in die Endphase des Projektes und somit in mögliche Schlussfolgerungen einfließen zu lassen. Der Fokus dieser Veranstaltung lag, wie von einigen Stakeholdern im Feedback zur Zwischenkonferenz gewünscht, auf der Ergebnisdarstellung unter weitgehender Ausklammerung methodischer Details. Im Vorfeld des Workshops erhielten die Teilnehmer erneut eine Tischvorlage mit einem kompakten Überblick über erste zentrale Forschungsergebnisse. Auf dem Workshop wechselten sich Plenumspräsentationen und sektorale Arbeitsgruppen zur Ergebnisdiskussion ab.

Insgesamt wurden 114 Stakeholder eingeladen, wobei mit 58 bundesweit organisierten und 56 regionalen Stakeholdern eine gleichgewichtige Aufteilung zwischen den verschiedenen Ebenen bestand. Im Vorfeld hatte für die Bundesebene eine weitere Internetrecherche stattgefunden, um noch einmal eine breitere Beteiligung zu ermöglichen. 27 bundesweite und 16 regionale Akteure kamen der Einladung nach. Die geringere Beteiligung regionaler Akteure deutete sich im Vorfeld der Veranstaltung bereits an, da einige potenzielle Teilnehmer die Anreise nach Hannover als zu aufwendig erachteten. Die Fokusregionen liegen geographisch weit voneinander entfernt, deshalb musste ein Kompromiss bei der Auswahl des Veranstaltungsortes eingegangen werden. Die Tab. 5.8 und 5.9 zeigen ein verändertes Beteiligungsmuster an diesem Workshop: Während die bundesweiten Akteure im Vergleich zu den regionalen Praxispartnern bei den vorherigen Workshops in geringerem Maße teilnahmen, waren sie beim sektorübergreifenden Workshop stärker vertreten.⁵⁹

5.3.3.3 Feedbackschleifen

Prozessimmanent war eine Reflexion der dargestellten Aktivitäten. Größere Workshops des bundesweiten und regionalen Beteiligungsprozesses, die Zwischenkonferenz und die Abschlussveranstaltung wurden jeweils mit einem Feedbackbogen beendet. Außerdem erhielten die teilnehmenden Stakeholder stets die Gelegenheit, die Protokollentwürfe der

⁵⁹An den bundesweiten Workshops nahmen darüber hinaus meist auch einzelne Vertreter Nordrhein-Westfalens und Sachsen-Anhalts, also der Bundesländer, in denen die Fallbeispielregionen liegen, teil.

Veranstaltungen zu prüfen und zu kommentieren. Mehrfach wurden Einzelaussagen in den Protokollen daraufhin verändert oder ergänzt.

Von besonderer Bedeutung für den Gesamtprozess war das Feedback der Stakeholder während des sektorübergreifenden Abschlussworkshops – zum einen, weil damit die Gelegenheit für eine Reflexion der sich über viereinhalb Jahre erstreckenden Beteiligungsprozesse gegeben war, zum anderen, weil auch das Konsortium zeitgleich einen ähnlichen Fragebogen erhielt. 19 der 40 auf dem Abschlussworkshop anwesenden Stakeholder füllten einen Feedbackbogen aus. Gefragt wurde unter anderem nach der Praxisrelevanz des Projektes, der Bewertung der methodischen Umsetzung des transdisziplinären Ansatzes, der gesellschaftlichen Bedeutung der Projektergebnisse, der allgemeinen Bewertung transdisziplinärer Zusammenarbeit und Optimierungsmöglichkeiten bei der Zusammenarbeit mit Landnutzern. Aus dem CC-LandStraD-Konsortium beteiligten sich acht Wissenschaftler an der schriftlichen Pendantbefragung und beantworteten den Fragebogen.

Vertiefend wurden 2015 außerdem sieben Schlüsselstakeholder der bundesweiten Ebene – überwiegend solche, die kontinuierlich an den Workshops teilgenommen hatten – telefonisch nochmals intensiver zu ihren Reflexionen des Gesamtprozesses und den letztlich erzielten Ergebnissen im Vergleich zu ihren Erwartungen befragt.

5.3.4 Stakeholder-Interventionen

Die Beteiligungsinhalte und die auf den Workshops zur Diskussion gestellten Themenschwerpunkte wurden am jeweils aktuellen Projektstand und den anstehenden Arbeitsschritten ausgerichtet. Aus Sicht des Konsortiums bestanden die Inhalte des transdisziplinären Austauschs vor allem aus:

- der inhaltlichen Ausgestaltung, Interpretation und Benennung von Maßnahmen, Techniken und Instrumenten der Landnutzung (nachfolgend unter der Sammelbezeichnung „Maßnahmen“ zusammengefasst),
- der Zuweisung von Maßnahmen zu Landnutzungsstrategien (nur im bundesweiten Beteiligungsprozess für die Sektoren Landwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr) bzw. einer Diskussion der konkreten Maßnahmenausprägungen in den Strategien (nur für die nationale Ebene im Forstsektor) sowie
- einem besseren Verständnis von inter- und intrasektoralen Landnutzungskonflikten.

Als Diskussionsschwerpunkte aus Sicht der Stakeholder sind folgende Themen zu benennen:

- die in der Modellierung berücksichtigten Maßnahmen der Landnutzung und ihre Ausprägungen,

- die von CC-LandStraD zur Diskussion gestellten Landnutzungsstrategien (nur auf den Workshops auf Bundesebene sowie dem Abschlussworkshop thematisiert) sowie
- übergreifende Aspekte.

Anhand dieser Punkte werden nachfolgend, jeweils nach Sektor und räumlicher Ebene getrennt, beispielhaft einige der Diskussionspunkte und, wenn thematisiert, damit verbundene Landnutzungskonflikte nachvollzogen.

5.3.4.1 Sektor Landwirtschaft

Diskussionspunkte auf bundesweiter Ebene

Zentrales und im Prozessverlauf immer wieder angesprochenes Thema waren die für die Modellierung berücksichtigten Maßnahmen, ihre Ausgestaltung und Benennung. Als mehrdeutig wurde z. B. die Maßnahme „Erhöhung der Anbaudiversität“ empfunden, die einerseits die Erweiterung der Fruchtfolgen zur besseren Risikostreuung über das Jahr meinte, andererseits aber auch den Anbau alternativer Bioenergiepflanzen (wie Durchwachsene Silphie; *Silphium perfoliatum*) umfasste. Vielmehr, so einige Stakeholder, sollte jede Maßnahme nur ein Ziel beinhalten. Zugleich wurde angemerkt, dass das Spektrum der Alternativen zum Energiemais breiter als in der Modellierung berücksichtigt sei. Ein anderes Beispiel war die Maßnahme „Wiedervernässung von Mooren“, deren Benennung und Ausrichtung einzelne Stakeholder in den Diskussionen als zu pauschal und nicht überall umsetzbar bezeichneten, da Wiedervernässung auch negative Folgen für die bestehende Flora und Fauna haben könne. Deshalb gehe es eher um „lokale Strategien zur Bewirtschaftung und Entwicklung von Mooren“. Auch seien die Wechselwirkungen einer solchen Maßnahme mit ökonomischen Aspekten (v. a. den Einkommen der Landwirte) genauer zu prüfen und darzustellen.

Die Ausgestaltung der Landnutzungsstrategien war, obwohl ursprünglich vom Konsortium nicht so gedacht, Thema mehrerer Workshops. So kritisierten die Stakeholder unter anderem die inhaltliche Nähe der Strategien untereinander, die sich durch den Projektschwerpunkt auf die Minderung von Treibhausgasen ergab, und regten eine größere Trennschärfe an, auch wenn der Anwendungsbezug dann geringer wäre. Die relativ lange Laufzeit des Projektes führte dazu, dass die Bioenergiestrategie in ihrem Beitrag für den Klimaschutz im Projektverlauf von den Akteuren immer stärker hinterfragt wurde. Zwar war von Anfang an auf die negativen Auswirkungen der Flächeninanspruchnahme zur Bioenergiegewinnung und die damit verbundenen Landnutzungskonflikte („Tank oder Teller“) hingewiesen worden, doch problematisierten die Stakeholder zunehmend auch die unerwünschten Folgewirkungen und hier insbesondere die steigenden Agrarflächenpreise, die gegen eine Ausweitung der für die Bioenergie genutzten landwirtschaftlichen Flächen sprächen.

Damit im Zusammenhang wurde die Sicherung landwirtschaftlicher Flächen als übergreifendes Landnutzungsproblem aus Sicht der Stakeholder vor allem des Agrarsektors thematisiert. Sie problematisierten immer wieder den Druck auf landwirtschaftliche

Flächen durch Siedlungs- und Infrastrukturprojekte sowie durch naturschutzfachliche Kompensationsflächen. Dies führe, so die Stakeholder, zu einer stetigen Reduzierung landwirtschaftlicher Fläche. Die Erzeugung erneuerbarer Energien im Rahmen der Energiewende erhöhe den Flächendruck weiter. Um die Ernährungssicherheit zu gewährleisten, seien daher eine effiziente Ressourcennutzung und Flächensicherung notwendig. Gleichzeitig aber seien Verfahren bzw. Maßnahmen zu entwickeln, die auch den wachsenden gesellschaftlichen Ansprüchen an die Landwirtschaft, wie zum Beispiel Nachhaltigkeit und artgerechte Tierhaltung, genauso wie einer effizienten Bewirtschaftung gerecht werden. Hinsichtlich der Projektergebnisse regten einige Akteure an, dass die Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen nicht nur auf der landwirtschaftlichen Fläche betrachtet werden sollten, sondern auch die Produktionsketten im landwirtschaftlichen Sektor einen entscheidenden Beitrag leisten können.

Schließlich wiesen die Stakeholder wiederholt auf globale Rahmenbedingungen der Agrarproduktion und landwirtschaftlichen Flächennutzung sowie die damit verbundenen Unsicherheiten für eine Modellierung hin, z. B. auf die weltweite Fleischnachfrage, Importe von Futtermitteln oder Auswirkungen nationaler Politiken auf Landnutzungsänderungen in anderen Teilen der Welt.

Diskussionspunkte auf regionaler Ebene

Im Sektor Landwirtschaft fand eine sehr umfangreiche Maßnahmendiskussion statt. Als bedeutsam wurde die Errichtung von Güllelagern eingestuft. Bei diesem Vorgang kollidieren aus Sicht von Stakeholdern gesetzliche Vorgaben mit den Auffassungen von Politikern und Bürgerinitiativen. Die Akzeptanz in der Bevölkerung für Güllelager sei sehr gering, weil damit intensive Geruchsbelästigung verbunden werde. Die Medien unterstützen nach Meinung zahlreicher Stakeholder die Bevölkerung. Landwirte seien vor einem Bauprojekt gezwungen, „regelrechte Imagekampagnen“ zu starten. Mehr Güllelager bedeuten jedoch aus Sicht der Stakeholder eine effizientere Ausbringung des Wirtschaftsdüngers.

In der Altmark wurden vor allem folgende Aspekte und Maßnahmen diskutiert:

- Der Wasserhaushalt ist ein zentrales Thema in der Region und wurde sowohl von Stakeholdern der Landwirtschaft als auch des Natur- und Umweltschutzes hervorgehoben. Die Beregnung von Ackerflächen ist für Landwirte in der Altmark deshalb eine Maßnahme, die in Zukunft an Bedeutung gewinnen wird. Ebenfalls im Zusammenhang mit der Wasserthematik steht die Wiedervernässung von Mooren zu Ersatz- und Ausgleichszwecken. Die Wiedervernässung bleibt jedoch aus Sicht von Stakeholdern nicht auf ehemalige Moorflächen beschränkt und nimmt weitere landwirtschaftliche Flächen in Anspruch.
- Die Erzeugung und der Einsatz von Bioenergie stellten sich in der Perspektive der Stakeholder als besonders politikabhängig dar. Die sich stetig ändernden Rahmenbedingungen machten eine Nutzung zunehmend unattraktiv. Die Novellierung des EEG hat aus Sicht der Stakeholder den Neubau von Biogasanlagen zum Erliegen

gebracht. Da aber die bisher gebauten Anlagen eine Bestandsgarantie von 20 Jahren haben, bestehen positive und negative Auswirkungen fort.

- Die Auswahl von Maßnahmen für die Bodenbearbeitung (z. B. Mulchsaat) oder der Düngung sollte nach Auffassung vieler Stakeholder dem Sachverstand des Landwirts überlassen werden. So würde ein Landwirt beispielsweise nicht übermäßig düngen, da dies ökonomisch keinen Sinn ergäbe.

Im Vergleich zur Diskussion in der Altmark lagen die Themenschwerpunkte in der Rhein-Region in deutlich anderen Bereichen:

- Die Extensivierung landwirtschaftlicher Nutzfläche wurde von zahlreichen Stakeholdern abgelehnt, da diese keinen Beitrag zum Klimaschutz leiste.
- Ein Grünlandumbruchverbot wurde aus diesem Grund nicht als zielführend angesehen.
- Der Anbau von Kurzumtriebsplantagen ergibt im Rheinisch-Bergischen Kreis nach Darstellung vieler Stakeholder ebenso keinen Sinn und ist deshalb ihrer Ansicht nach als Klimaschutzmaßnahme uninteressant.

In den Fokusgruppen Umwelt- und Naturschutz wurde zusätzlich über die Maßnahmen Grünlanderhalt und die Neuanlage von Flächen zu Klimaschutzzwecken diskutiert. Die Stakeholder erachteten beides nur mit einer Förderung oder einer ordnungsrechtlichen Verankerung im Rahmen der guten fachlichen Praxis als umsetzbar.

Generell identifizierten die Stakeholder viele Zielkonflikte zwischen Klima-, Arten-, Umwelt- und Landschaftsschutz. In beiden Regionen bewerteten einige von ihnen die Neuausweisung von Schutzgebieten kritisch, da damit Grundeigentum entwertet und die landwirtschaftliche Produktion in der Regel eingeschränkt werde. In der Altmark wurde vor allem auf die Ausweisung neuer Natura 2000-Schutzgebiete in Sachsen-Anhalt verwiesen. Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen wurden ebenfalls kritisch gesehen. Eine Lösung können aus Sicht der Stakeholder produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen darstellen. In diesem Zusammenhang wurde generell die Nutzung von landwirtschaftlicher Fläche für Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen durch die Teilnehmer kritisiert (z. B. durch den Autobahnbau). Die damit verknüpfte Ökonomieverordnung bietet aus Sicht zahlreicher Stakeholder in der Altmark sehr viel Diskussionsstoff hinsichtlich der Flächeninanspruchnahme. Ein weiterer Konflikt entsteht in der Rhein-Region durch den Aufkauf landwirtschaftlicher Flächen durch externe Investoren, was zu einer Erhöhung der Pacht- und Kaufpreise führe.

Im Fokus der übergreifenden Diskussionen um den Klimawandel war auffällig, mit welchem globalen Ansatz dieser verbunden wurde. So stellten die Stakeholder die eigene regionale Situation immer wieder in einen weltweiten Zusammenhang. Aus Sicht zahlreicher landwirtschaftlicher Stakeholder würde es vor allem helfen, wenn die Verbraucher von Agrarprodukten ihr Kaufverhalten stärker am Klimaschutz orientierten und sich so die Nachfrage umstelle und regionale Wirtschaftskreisläufe gestärkt würden.

Stakeholder aus dem Natur- und Umweltschutz in der Rhein-Region betonten, dass THG-Emissionen aus der Landwirtschaft kaum eine Rolle für den Klimawandel spielen und dass die Energiewirtschaft entscheidend für die THG-Bilanz sei. Nicht Klimaschutz, sondern Biodiversität habe in der Region die höchste Priorität. Diese Akteure wünschten sich einen größeren Stellenwert des Themas Biodiversität im Projekt CC-LandStraD.

5.3.4.2 Sektor Siedlung und Verkehr

Diskussionspunkte auf bundesweiter Ebene

Als wichtigstes Ziel im Siedlungssektor wurde von den Stakeholdern die Reduktion der Flächenneuinanspruchnahme gesehen. Den darauf bezogenen Maßnahmen – Innenentwicklung (mit den Schwerpunkten Wiedernutzung von Brachen, Baulücken und Leerständen), Ausschöpfung baulicher Dichten im Neubau sowie Rückzug aus der Fläche – wurde deshalb bei allen Workshops sowie in den Interviews eine wichtige Rolle beigemessen. Die Akteure betonten in diesem Zusammenhang ein gewachsenes Bewusstsein bei den handelnden Praktikern – das sogenannte 30-ha-Ziel sei weithin bekannt –, aber Planungsinstrumente und Negativanreize stünden einer Umsetzung im Wege. Kontrovers diskutiert und für die Modellierung schließlich verworfen wurde eine Maßnahme „Verteuerung des Bodens“, da diese negative Folgewirkungen für die meisten beteiligten Akteure (Landwirte, Kommunen, private Bauinteressenten) habe. Bezogen auf die Maßnahme „Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen“ merkte ein Stakeholder an, dass durch zu viel urbanes Grün der städtische Charakter verloren gehen könne. Aus Praxisperspektive wurde betont, dass bei diesem Thema auf kommunaler Ebene bislang sowohl das Problembewusstsein als auch Instrumente und das methodische Rüstzeug fehlten. Als übergreifendes Problem der Maßnahmenausgestaltung thematisierte vor allem ein Vertreter ländlicher Räume, dass Ausprägungen und Auswirkungen der modellierten Maßnahmen in städtischen und ländlichen Räumen sowie in Schrumpfs- und Wachstumsregionen sehr unterschiedlich seien.

Auch an der Diskussion um die Landnutzungsstrategien beteiligten sich die Akteure des Sektors. Allgemein betonten die Stakeholder die Notwendigkeit realistischer Ausprägungen der Maßnahmen für die Strategien (z. B. hinsichtlich des tatsächlichen Versiegelungsgrades wiedergenutzter Brachflächen). Auf einem Workshop wurde zusätzlich zu den vier betrachteten Landnutzungsstrategien eine weitere Strategie „Flächensicherung“ vorgeschlagen – bezogen auf den Schutz agrarischer Flächen. Denn Flächenumwidmungen für Siedlungszwecke erfolgen vorrangig zu Lasten agrarischer Flächen. Hier wandte ein Stakeholder des Sektors Siedlung und Verkehr ein, dass die Bevorzugung einer Flächennutzung vor allen anderen aus seiner Sicht nicht gerechtfertigt sei. Vielmehr gäbe es legitime Flächennutzungsinteressen auch der nicht-agrarischen Sektoren. Zudem verwiesen die Flächendaten und -nachfrageprojektionen des BBSR auf große Veränderungen im Bereich der Siedlungs- und Freiflächen. Die Zahl der Strategien wurde im Nachgang dieses Workshops nicht verändert, aber die Thematik der Reduzierung des Flächenverbrauchs gewann weiter an Bedeutung. Schließlich wurden

Zielkonflikte zwischen den Strategien Klimaschutz und Klimaanpassung thematisiert: Auch bei einem Schwerpunkt auf der Innenentwicklung sei zu beachten, dass Freiflächen zur Naherholung und notwendige Frischluftschneisen zur Belüftung gesichert werden.

In übergreifender Perspektive war es den Stakeholdern dieses Sektors einerseits wichtig, Klimawandel nicht auf die Reduktion von Treibhausgasen zu beschränken – vielmehr wurden auch die negativen Auswirkungen des Klimawandels, vor allem die zu erwartende Zunahme von Extremereignissen (insbesondere Hochwasser), thematisiert. Andererseits bettet sie Fragen des Klimaschutzes als Forschungsschwerpunkt des Projektes in weitere gesellschaftliche Entwicklungen – wie den demographischen Wandel, die Frage regionaler Disparitäten oder die Notwendigkeit (und Grenzen) interkommunaler Kooperationen – ein.

Diskussionspunkte auf regionaler Ebene

Die Maßnahmendiskussion in der Altmark wurde von dem die Region seit langem prägenden Thema „Demographischer Wandel“ (vor allem durch Abwanderung) und die so verursachten veränderten Siedlungsstrukturen und Immobilienleerstände überlagert. Die insbesondere mit dem Städtebauförderprogramm „Stadtumbau Ost“ verbundene Förderung einer kompakten Siedlungsstruktur begünstigt nach Ansicht der Stakeholder gleichzeitig den Klimaschutz und die Innenentwicklung. Die Maßnahme „Erhalt von Freiflächen“ spiele demgegenüber in der Region keine Rolle, sondern eher der Umgang mit Brachen. Durch zahlreiche Stakeholder wurde kritisiert, dass Entsiegelungsmaßnahmen nicht für Ersatz und Ausgleich herangezogen werden, weil die Kosten dafür zu hoch sind. Dabei könnten ihrer Meinung nach landwirtschaftliche Flächen so geschont werden. Brachenentsiegelung und Lösung des Leerstandsproblems wurden als drängende Fragen thematisiert. Insgesamt stellten zahlreiche Stakeholder den Sinn von Ausgleichsmaßnahmen in Frage, da die Flächen oft nicht betreut und überwacht würden. Die Nutzung erneuerbarer Energien auf Siedlungsflächen ist aus Sicht der Stakeholder ein sinnvoller Weg, die THG-Emissionen zu verringern. Gleichzeitig wurde betont, dass speziell die Förderung der Bioenergie Verwerfungen im landwirtschaftlichen Flächenmarkt verursache. Schließlich betonten die Stakeholder aus der Altmark, dass bei der Landnutzung Prioritäten gesetzt werden müssten. Dies bezog sich auf die für die Region ebenfalls relevante Frage des Hochwasserschutzes: Siedlungsentwicklung führe zur Expansion in der Fläche, Hochwasserschutz fordere hingegen eine Konzentration der Bevölkerung.

In der Rhein-Region wurde die Maßnahmendiskussion bei unterschiedlicher Ausgangslage (hohe Flächennachfrage durch wirtschaftliches Wachstum und positives Wanderungssaldo) von ähnlichen Argumenten geleitet. Den Stakeholdern zufolge wird aus demographischen Gründen – also nicht aufgrund des Klimawandels – bereits auf eine Nachverdichtung hingearbeitet. Außerdem kollidiere die Nachverdichtung mit anderen Klimamaßnahmen: So sei eine Erhöhung des Grünflächenanteils damit nur schwer zu vereinbaren. Zudem wünschen sich viele potenzielle Zuzügler ein Einfamilienhaus. Weiterhin wird das zu erwartende Hitzeproblem mit einer Nachver-

dichtung aus Sicht der Stakeholder verschärft. Hier gibt es ihrer Meinung nach einen Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung. Baulückenkataster existieren bereits, um die Nachverdichtung zu unterstützen, aber diese helfen nicht immer, da die Grundstücke sehr oft aus ganz individuellen Gründen leerstehen. Das 30-ha-Ziel verschärfe die Flächenknappheit für Wohnbau land noch und ist deshalb aus Sicht einiger Stakeholder nicht sinnvoll. Die Konkurrenz um Flächen wird zudem zwischen Kommunen ausgetragen, die mit allen Mitteln versuchen, für Gewerbetreibende attraktiv zu sein. Klimaauflagen, wie begrünte Dachflächen, seien deshalb kaum durchsetzbar. Die Gebäudesanierung als Klimaschutzbeitrag wurde infrage gestellt. Hier wäre es aus Sicht der Stakeholder interessant, die THG-Emissionen für die Sanierung den Einsparungen gegenüberzustellen. Generell war in der Rhein-Region ein Umsetzungswille für die Maßnahmen vorhanden, aber ihre globale Wirkung wurde angezweifelt.

Übergreifende Landnutzungskonflikte wurden in der Rhein-Region insbesondere in Bezug auf Flächenverbrauch und Flächenknappheit sowie im Zusammenhang mit Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen thematisiert. In der Altmark spielen diese vor allem im Zusammenhang mit dem Ausbau der Bundesautobahn 14 eine Rolle. Die Stakeholder favorisierten für die Umsetzung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen die Entsiegelung von Industriebrachen oder produktionsintegrierte Maßnahmen. Auch der Ausbau der Bioenergie wurde problematisiert. Einerseits hielten die Stakeholder die Nutzung erneuerbarer Energien in den Siedlungen für einen geeigneten Weg, um den THG-Ausstoß zu reduzieren, andererseits betonten sie, dass die Bevölkerung der Ansiedlung von Biogasanlagen im Wohnumfeld negativ gegenüberstehe, da ihre Lebensqualität durch die Errichtung negativ beeinflusst werde.

5.3.4.3 Sektor Forstwirtschaft

Diskussionspunkte auf bundesweiter Ebene

Anders als in den Sektoren Landwirtschaft sowie Siedlung und Verkehr wurden auf den Workshops mit den Forstvertretern keine Einzelmaßnahmen unabhängig von der jeweils verfolgten Landnutzungsstrategie diskutiert. Vielmehr besteht jede der vier Strategien aus unterschiedlichen Ausprägungen von jeweils elf Maßnahmen. Jede Strategie ist somit zugleich ein Maßnahmenbündel (vgl. Abschn. 3.3.6). Die Maßnahmen waren erstmals in den Experteninterviews 2011/2012 erhoben worden, wurden anschließend mit denen der Wissenschaftler abgeglichen und soweit wie möglich in der weiteren Modellierung berücksichtigt. Ein Workshop wurde deshalb nur darauf verwendet, die von den Fachwissenschaftlern vorgeschlagenen Maßnahmenausprägungen in den drei Strategien Klimaschutz, Bioenergie, Natur- und Umweltschutz zu prüfen und gegebenenfalls Änderungsvorschläge zu äußern (die Klimaanpassungsstrategie im Forst wurde erst nachträglich entwickelt). Die Stakeholder ließen sich auf dieses Vorgehen ein, betonten aber, dass die Maßnahmen nicht nur je nach Ausprägung, sondern auch in Abhängigkeit von den spezifischen Standorteigenschaften unterschiedlich wirken, und dies bei der Interpretation der Modellierungsergebnisse zu berücksichtigen sei.

Bezogen auf die Strategien gab es unter anderem Kritik an der Bezeichnung der Strategie „Natur- und Umweltschutz“. Es wurde angemerkt, dass Naturschutz in der Forstwirtschaft nicht gleichzusetzen sei mit Umweltschutz – Naturschutz bedeute vielmehr Artenschutz, der in der Strategie nicht mit abgebildet werde. Auch über die Ziele der Strategien wurde diskutiert: So wiesen die Stakeholder für die Klimaschutzstrategie darauf hin, dass die Erhöhung des Zuwachses das entscheidende Kriterium sei und der Vorratsaufbau als zweitrangig angesehen werde. Die Beschreibung des Ziels wurde daraufhin angepasst. Ein Teil der Diskussion drehte sich des Weiteren darum, ob nicht auch „Extremstrategien“, wie z. B. 80 % Douglasie, modelliert werden könnten. Diese Anregung wurde vom Konsortium mit dem Verweis auf die durch das Projekt auch zu leistende glaubwürdige Politikberatung zurückgewiesen – eine solch extreme Maßnahmenausprägung sei demnach nicht vermittelbar. Weitere Hinweise bezogen sich auf die Baumartenwahl und die Anteile einzelner Baumarten.

Übergreifend diskutierten die nationalen Stakeholder im Sektor Forst so stark wie in keinem anderen Sektor über die Modellierung und ihre Grenzen. Dies war auch dem Umstand geschuldet, dass das genutzte Modell FoBeSiMo (vgl. Abschn. 4.2.2.4) neu entwickelt worden war. So wünschten sich die Stakeholder beispielsweise bestimmte Maßnahmen (z. B. eine verbesserte Ausschöpfung der Holzpotenziale im Kleinstprivatwald), die aus Sicht der Praxis von hoher Relevanz seien, aber in der Modellierung aufgrund unzureichender Daten nicht berücksichtigt werden konnten. Auch eine stärkere Regionalisierung wurde angemahnt, konnte jedoch wegen fehlender Datengrundlagen und aus Kapazitätsgründen – ebenso wie der Einbezug weiterer Maßnahmen oder Baumarten – in diesem Projekt nicht geleistet werden. Mehrfach wiesen die Stakeholder deshalb darauf hin, dass die Einschränkungen (einschließlich des begrenzten Modellierungszeitraums von 40 Jahren) bei Ergebnisvorstellungen und -interpretationen deutlich gemacht werden müssten, da sonst der Eindruck zu pauschaler Aussagen entstehen könne.

Diskussionspunkte auf regionaler Ebene

Die Entwicklung des Modells FoBeSiMo im Projektverlauf und die nur auf Bundeslandebene mögliche Regionalisierung des Modells machte seine Anwendung auf die Fokusregionen nicht möglich. Aus diesem Grund wurde auf regionaler Ebene nur in der ersten Projektphase im Rahmen von Fokusgruppen über die in den Experteninterviews gesammelten Maßnahmen zu Klimaschutz und Klimaanpassung sowie mögliche weitere Maßnahmen diskutiert. Diese bezogen sich vor allem auf die Baumartenwahl im Zusammenhang mit dem Klimawandel und die Holznachfrage. Ein wichtiger Aspekt war ein klimaangepasster Waldumbau. Die Akteure in den Fokusregionen waren der Meinung, dass heimische Baumarten keine Antwort auf den Klimawandel seien. „Standortheimisch“ wurde durch Teilnehmer der Fokusgruppen als „ideologisch“ bezeichnet, da sich die Standortbedingungen über die Zeit wandeln. „Standortpotenzialgerecht“ wurde als alternativer Begriff vorgeschlagen. Neue Baumarten könnten nach Aussagen von Stakeholdern der Atmosphäre deutlich mehr Kohlendioxid entziehen als heimische.

Außerdem können Schädlinge, die durch den Klimawandel begünstigt werden, ebenfalls durch die Nutzung neuer Baumarten zurückgedrängt werden. Die Alternative zur Schädlingsbekämpfung wäre nur die Neuzulassung von Insektiziden, und diese sei zu langwierig. Die notwendigen Bearbeitungszeiträume für die Neuzulassung lassen aus Sicht der Stakeholder die Zerstörung großer Waldflächen zu. Dies könne wiederum zu einer Störung des Mikroklimas führen, was Nebelbildung, stärkere Winde und Sandverwehungen nach sich ziehen könnte. Ferner wurde in beiden Regionen betont, dass Holz als Kohlenstoffspeicher nur effektiv zu nutzen sei, wenn eine Kaskadennutzung realisiert werde.

Des Weiteren gab es eine Reihe von unterschiedlichen Problemlagen in den Regionen. So wurde in der Fokusgruppe in der Region Rhein argumentiert, dass ein Waldumbau hin zu Laubgehölzen die Nachfrage nach Nadelholz missachte. Hinzu kommt, dass die Vielzahl von kleinen Waldbesitzern aus Perspektive einiger Stakeholder die ökologische Stabilität des Waldes fördere, da jeder Besitzer eine andere Strategie der Pflege verfolge und so ein Muster von vielen verschiedenen Baumarten entsteht. Regulierungsmaßnahmen vonseiten des Gesetzgebers störten nach Ansicht einiger Stakeholder diese Stabilität. Als Folge des Klimawandels wurde beschrieben, dass der Waldbestand durch Schneebruch gefährdet sei, wodurch vermehrt Schadholz anfalle.

Die Ergebnisvorstellung der Strategiemodellierung auf dem Abschlussworkshop führte zu Diskussionen über eine wünschenswerte Regionalisierung der Forschungsergebnisse. Die Stakeholder kommentierten die Aussagen für die Bundesebene mit ihren Kenntnissen über regionale Spezifika und verwiesen auf die Bedeutung des Projektes für die Politikberatung – zu pauschale Aussagen könnten falsche Schlüsse der Politik (etwa bezogen auf eine Ausweitung des Buchenbestandes) nach sich ziehen.

5.3.5 Wissenschaft und Praxis in Interaktion: Prozessreflexionen

Knapp fünf Jahre transdisziplinärer Diskurs mit einer Vielzahl von Einzelaktivitäten sollen in diesem Abschnitt einerseits aus Sicht der Stakeholder, andererseits aus der Perspektive des Forschungskonsortiums reflektiert werden. Dafür wird schwerpunktmäßig auf das Material aus den Experteninterviews sowie den Feedbackschleifen zurückgegriffen.

5.3.5.1 Der transdisziplinäre Diskurs aus Sicht der Stakeholder

Erwartungen an das Forschungsvorhaben

Zu Projektbeginn wurden in Interviews auch die Erwartungen der Stakeholder an das Forschungsprojekt erfragt. Diese lassen sich für die bundesweiten Akteure mit vier Stichworten zusammenfassen:

- **Komplexitätsreduktion:** Landnutzung und Klimawandel wurden als zwei umfassende Themen wahrgenommen, für die sich die Akteure eine Aufarbeitung bestehenden Wissens und seine Bewertung, aber auch möglichst kleinräumige Projektionen, vor allem in Bezug auf den Klimawandel, wünschten.
- **Wissenschaftliche Entscheidungshilfe:** Die Akteure erhofften sich von der Wissenschaft den notwendigen Input, um eigene Landnutzungsentscheidungen legitimieren oder politische Entscheidungen begründen zu können.
- **Handlungsempfehlungen:** Das Projekt solle möglichst konkrete Handlungsempfehlungen erarbeiten, bezogen darauf, was Landnutzer für Klimaschutz und Klimaanpassung tun können. Allgemeine Empfehlungen seien nicht ausreichend.
- **Vernetzung von Wissensbeständen und Akteuren:** Durch den interdisziplinären Forschungsverbund und den transdisziplinären Ansatz erhofften sich die Stakeholder zum einen ein Zusammenkommen unterschiedlicher Akteure, um den Wissensaustausch zu fördern. Zum anderen solle Deutschland nicht allein gesehen, sondern die Forschung müsse in globale Trends eingebettet werden. Schließlich sollten Erkenntnisse früherer Studien und bestehender Forschungen berücksichtigt werden, um auch als Forschung wirklich nachhaltig zu sein.

Auch die regionalen Stakeholder äußerten in zweierlei Hinsicht Erwartungen an das Projekt:

- **Entscheidungsunterstützung:** Die Erwartungen der Stakeholder richteten sich in erster Linie an mehr Wissen, z. B. bezogen auf regionale Klimadaten, den Beitrag unterschiedlicher Landnutzungssektoren zum Klimawandel sowie das Potenzial sektoraler Anstrengungen und konkreter Maßnahmen zur Senkung von Treibhausgasen und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels. Auch das Wechselspiel der unterschiedlichen Maßnahmen war von Interesse – je detaillierter, desto besser.
- **Netzwerkbildung:** Die Vernetzung der Akteure sahen viele Akteure als Mehrwert eines transdisziplinären Ansatzes. Von Interesse war für sie auch, über die eigene Region hinauszuschauen und die Probleme und Lösungsansätze der jeweils anderen Fokusregion kennenzulernen.

Neben der Forderung, dass Forschung möglichst konkrete Empfehlungen geben sollte, äußerten die bundesweiten und regionalen Stakeholder – in den Interviews, aber auch auf den Workshops und in den Fokusgruppen im weiteren Prozessverlauf – die Erwartung, nicht nur neues Wissen zu erhalten, sondern bestehende Erkenntnisse einzubetten, möglichst konkrete Ergebnisse zu erzielen und sich mit anderen Akteuren, gerade im übersektoralen Kontext, auszutauschen.

Rückschau am Projektende

Auf dem Abschlussworkshop wurden die teilnehmenden Stakeholder mittels eines Feedbackbogens befragt, wie sie die Methode der Workshops während des trans-

Tab. 5.10 Strukturdaten der feedbackgebenden Stakeholder (n = 19). (Quelle: Thünen-Institut/A. Steinführer)

Teilnahme		Sektoren		Institution		Geschlecht	
Erstmals teilgenommen	9	Landwirtschaft	9 ^a	Verwaltung	10	Männlich	14
Zweimal teilgenommen	3	Forstwirtschaft	1	Nichtstaatliche Organisationen	3	Weiblich	5
Mehr als zweimal teilgenommen	7	Siedlung	6	Privatwirtschaft	2		
		Natur- und Umweltschutz	6 ^a	Sonstige	4		

^aDrei Akteure gaben sowohl Landwirtschaft als auch Naturschutz an und werden deshalb zu beiden Sektoren gezählt

disziplinären Diskurses von CC-LandStraD bewerten, wie sie den Mehrwert insgesamt und für ihre Arbeit einschätzen und welche Verbesserungspotenziale sie sehen. Einige Strukturdaten der 19 Akteure, die einen Fragebogen ausfüllten, fasst Tab. 5.10 zusammen. Dass knapp die Hälfte von ihnen erstmals an einem Workshop teilgenommen hatte, war angesichts der Langfristigkeit des transdisziplinären Diskurses nicht zu erwarten gewesen. Unter diesen neun Stakeholdern befinden sich aber sowohl Akteure, die als Experten im ersten Teil des Projektes persönlich befragt worden waren, als auch Vertreter von Organisationen, die an vorherigen Workshops teilgenommen hatten, bei denen sich aber die Personalsituation im Projektverlauf verändert hatte.

Der überwiegende Teil der Stakeholder (17) hielt die durchgeführten Workshops für geeignet, um Wissen und Beiträge aus der wissenschaftlichen Arbeit und der Praxis miteinander zu verbinden. Ebenso viele Stakeholder (17) sahen einen Zusatznutzen durch eine enge Zusammenarbeit von Wissenschaftlern und Praktikern in solchen Projekten gegenüber anderen Forschungsansätzen. Der Transfer in beiden Bereichen wurde als wichtig erachtet und sollte noch intensiviert werden. Dabei gelte es, darauf zu achten, dass sich das Verständnis für die Arbeitsweisen gegenseitig verbessert. Problemstellungen, Folgen und Wirkungen werden zum Teil unterschiedlich bearbeitet und begründet. Der Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis trägt aus Sicht eines Akteurs zu einer sachlichen Diskussion und Bewertung von Lösungen bei. Der Austausch von Praxis, Forschung und Politik war aus Sicht der Stakeholder zwingend erforderlich, denn dadurch konnten Maßnahmen, die dann in der Praxis und konkret vor Ort umgesetzt werden sollten, besprochen und festgelegt werden. Durch diesen Rückkopplungsprozess könnten die Wissenschaftler erleben und erfahren, wo es in der Praxis „brennt“. In diesem Prozess sollte die Praxis „Stichwortgeber und Korrektiv“ sein, sie sollte aber den Lösungsraum auch nicht zu sehr einengen, um der Forschung entsprechend Raum zu geben. Ein Akteur kommentierte das wie folgt: „Sachzwang‘ und ‚Alternativlosigkeit‘ sind Gift für die ‚freie Forschung‘.“ Ein weiteres Argument war, dass die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und Praktikern einer Korrektur

von falschen Annahmen aus Sicht der Wissenschaft dienen kann und durch den Austausch gegebenenfalls korrigiert und geändert werden kann. Ein Akteur schätzte ein, dass Praktiker von Ergebnissen durch eine Zusammenarbeit sogar stärker profitieren.

Es gab nur wenige Stakeholder, die den Feedbackbogen ausfüllten, die kaum oder keinen Mehrwert durch diese Art der Zusammenarbeit gegenüber anderen Projekten sahen. Begründet wurde das nur durch einen Stakeholder. Sein Argument gegen diese Art von Projekten war, dass aus seiner Sicht nur wenige Lösungsansätze in der Praxis anwendbar seien.

Alle befragten Stakeholder gaben an, dass das Forschungsprojekt mit den Themen Klimawandel und Landnutzung praxisrelevante Problemstellungen aufgegriffen hat (davon 12 mit „eher ja“). Ein Stakeholder stellte dies explizit heraus und bezeichnete die Bedeutung der Landnutzung für den Klimaschutz und die Anpassung als sehr hoch und praxisrelevant. Positiv wurde der sektorübergreifende Ansatz hervorgehoben. Darüber hinaus wurde positiv bewertet, dass sich das Projekt mit den „Schnittstellen zwischen Naturschutz, Landwirtschaft und Treibhausgasen“ beschäftigt hat. Nach Meinung eines Stakeholders konnten praxisrelevante Fragestellungen in die Diskussion eingebracht werden, die im Ergebnis „eine umfassende Sammlung und Übersicht [...] für Praxis und Wissenschaft“ ergaben (gemeint war vermutlich die Maßnahmensammlung; Anm. d. Verf.). Die Diskussion zu Ursachen, Wirkungen und Folgen über die Maßnahmen habe zu einer sachlichen und ausgewogenen Betrachtung geführt. Flächenverbrauch, Landwirtschaft und Naturschutz, so gab ein Stakeholder an, hatte er bisher nicht so stark unter Klimaaspekten betrachtet, will das aber nun stärker in seine fachliche Praxis integrieren. Die behandelten Themen waren aus Sicht eines weiteren Praxisakteurs sehr komplex und aktuell, allerdings gäbe es für vieles oft keine einfachen Lösungen. Kritische Anmerkungen bezogen sich vor allem auf die Praxisrelevanz: So bedauerte ein Stakeholder, dass nicht alle praxisrelevanten Einflussfaktoren (z. B. abiotische und biotische Faktoren vor dem Hintergrund des Klimawandels) in ausreichendem Umfang berücksichtigt werden konnten. Ein anderer Akteur kritisierte, dass Modelle, die nur eine Projektion über 40 Jahre vornehmen, nicht praxisbezogen seien. Ein weiterer Stakeholder hatte sich eine stärkere Auswertung der Ergebnisse bis zur lokalen Ebene gewünscht.

Auf die hypothetische Frage, ob bei einem Neustart des Projektes in der Zusammenarbeit mit den Akteuren etwas anders gemacht werden sollte, gab es zahlreiche Vorschläge, z. B. Methoden des Gruppencoachings zu nutzen, Praktiker noch stärker einzubinden und eine engere Terminabfolge für den Austausch von Wissenschaftlern und Praktikern zu planen sowie lokale Workshops durchzuführen, um die Erfahrungen der Praxis noch stärker in die Ergebnisse einfließen zu lassen. Auch gab es Vorstellungen, statt einer bundesweiten Modellierung besser nur ausgewählte Regionen zu modellieren. Einige Stakeholder wünschten sich noch mehr Zeit für Diskussionen der Ergebnisse. Ein Akteur schlug vor, weitere Stakeholder (z. B. Vertreter des Gesundheitsbereichs) einzubinden, um auch der Frage nachzugehen, ob durch eine geänderte Landnutzung mög-

licherweise Gefahren durch Krankheitserreger, die längst ausgerottet waren, wieder Einzug finden könnten.

Eine weitere Möglichkeit für ein vertieftes Prozess- und Projektfeedback boten sieben Telefoninterviews mit Stakeholdern der Bundesebene sowie einem Ländervertreter nach dem Abschlussworkshop 2015. Deren Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

In Bezug auf die Motivation zur Teilnahme am transdisziplinären Diskurs wurde von den Stakeholdern in diesen Interviews darauf hingewiesen, dass ihre Institution den Besuch wissenschaftlicher Veranstaltungen als eine Aufgabe ihrer Arbeit sehe, um dort die eigenen Interessen zu vertreten. Ein Akteur fügte hinzu, dass sich seine Organisation als „Knotenpunkt“ zwischen Wissenschaft und Praxis verstehe und durch eine Teilnahme Erkenntnisse in die Praxis transportiert werden könnten. Ein anderer Stakeholder argumentierte in die Gegenrichtung: Forderungen an die Politik sollten seines Erachtens auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen, deshalb diene seine Teilnahme der laufenden Informationsgewinnung über aktuelle Forschungsdiskussionen.

Die Mehrzahl der Akteure hob den sektorübergreifenden Ansatz des Forschungsprojekts positiv hervor. Diese ganzheitliche Betrachtung habe es bisher noch nicht gegeben und weckte die Neugier der Stakeholder. Die Erwartungen der befragten Akteure an das Projekt sind auf unterschiedlichen Ebenen anzusiedeln. Einige Stakeholder hatten eine eher allgemeine Erwartungshaltung, die sich vor allem auf die sektorübergreifenden Diskussionen bezog. Diese Akteure bejahten die Frage, ob ihre Erwartungen erfüllt worden seien. Akteure der Landnutzung zusammenzubringen und „sachlich“ zu diskutieren sowie die aktuelle Diskussion zum Klimawandel aufzubereiten, wurde ebenfalls positiv bewertet. Diese Befragten erwarteten aufgrund der Anlage des Gesamtprojekts im Ergebnis keine „konkrete Hilfestellung“ im Sinne spezieller Landnutzungsmaßnahmen. Ein Stakeholder merkte an, dass zu pauschale Ergebnisse zu falschen Schlüssen für die Politik führen könnten. Darüber hinaus sah er durch den fehlenden Regionsansatz in der Forstmodellierung keine Praxisrelevanz der erzielten Ergebnisse. Andere Forschungsprojekte haben seiner Meinung nach hierzu bereits mehr Erkenntnisse gewonnen und seien für die Praxis von größerer Bedeutung. Ein anderer Akteur bedauerte, dass in der Landwirtschaft die Nutzung von Alternativpflanzen bei Bioenergiepflanzen zwar mitbedacht wurde, aber in der Diskussion zunehmend in den Hintergrund getreten ist. Auch Aspekte des Boden- und Grünlandschutzes zur Sicherung der Biodiversität seien seiner Meinung nach nicht hinreichend berücksichtigt worden. Von einem Stakeholder wurden die Diskussionsrunden, besonders in der dritten Workshopschleife, als zu klein empfunden. Auch sei so „mehr über die Praxis, theoretisch über die Praxis gesprochen [worden], als sozusagen mit der Praxis“.

Fast alle befragten Stakeholder waren der Meinung, dass ihre Anmerkungen und Anregungen durch das Projektkonsortium soweit wie möglich berücksichtigt worden sind. Ein Befragter wies darauf hin, dass er immer auf ein „offenes Ohr“ gestoßen ist. Ein Stakeholder bedauerte hingegen, dass Anmerkungen zwar diskutiert worden seien, aber häufig nicht weiter berücksichtigt werden konnten. Grundsätzlich waren die Erklärungen zu Modellgrenzen für alle befragten Akteure nachvollziehbar und die

Begründungen, warum Aspekte nicht aufgegriffen werden konnten, einleuchtend. Einige der Befragten kritisierten jedoch, dass es grundsätzlich problematisch sei, die Thematik der zukünftigen Landnutzung vor dem Hintergrund des Klimawandels mit Modellierungen anzugehen. Das Problem sei zu komplex und zu undurchschaubar, als dass Modelle die Realität abbilden oder hilfreiche Ergebnisse für eine zukünftige Strategie liefern könnten. Ein anderer Stakeholder merkte an, dass Modellierungen an sich hilfreiche Instrumente zur Bearbeitung einer Problemstellung sein können, doch in CC-LandStraD seien seine Erwartungen nicht in jeder Hinsicht erfüllt worden.

Einen Zusatznutzen für die eigene Arbeit sieht die Mehrzahl der befragten Akteure. Nach Einschätzung zweier Befragter benötigen von Verbänden und anderen Organisationen formulierte Forderungen auch eine wissenschaftliche Basis. Daher sei die Beteiligung an einem solchen Forschungsprojekt eine Chance, in den Diskurs mit der Wissenschaft zu kommen und über den neuesten Forschungsstand informiert zu werden. Ein anderer Akteur merkte an, dass er seinen Wissenshorizont durch die Diskussionen erweitern konnte. Nur für einen Befragten erbrachte die Projektbeteiligung keinen Zusatznutzen für seine Arbeit. Durch den aus seiner Sicht ungenügenden regionalen Bezug im Projekt fehlten konkrete Anhaltspunkte für die Praxis.

Fast alle Befragten würden sich noch einmal an diesem oder einem ähnlichen Forschungsprojekt beteiligen. CC-LandStraD hat aus Sicht der Stakeholder ein relevantes und aktuelles Thema aufgegriffen und gab ihnen die Möglichkeit, „über den Tellerrand“ zu schauen. Fast alle Befragten wünschten sich, dass sie die Interessen der eigenen Institution bereits in einem frühen Forschungsstadium einfließen lassen könnten, um den Projektverlauf von Anbeginn mitzugestalten. Das würde für alle Akteure eine wichtige Motivation für eine erneute Teilnahme darstellen. Lediglich ein Stakeholder wies darauf hin, dass er im Vorfeld eines neuen Projektes die methodische Herangehensweise genauer prüfen und sich nur dann erneut beteiligen würde, wenn dieses „tiefer in die Region, in die Differenzierung“ geht und somit ein „praktischer Nutzen“ gewährleistet wäre.

5.3.5.2 Der transdisziplinäre Diskurs aus Sicht des Konsortiums

Auch die Mitglieder des CC-LandStraD-Konsortiums wurden mittels eines Feedbackbogens befragt, wie sie die Zusammenarbeit mit den Stakeholdern im Projekt bewerten. Von den zehn Konsortiumswissenschaftlern, die aktiv in den Beteiligungsprozess eingebunden waren, beteiligten sich an der Befragung acht. Alle Wissenschaftler, die den Feedbackbogen ausfüllten, hatten an Veranstaltungen des bundesweiten und/oder regionalen Beteiligungsprozesses teilgenommen, wenn auch in unterschiedlicher Intensität. Die Nennungen reichten von einer Veranstaltung ($n = 1$), über drei (3), sechs (2), sieben (1) bis hin zu neun (1).

Die überwiegende Zahl der Wissenschaftler schätzte die Workshops im Rahmen des bundesweiten und regionalen Beteiligungsprozesses als geeignete Methode ein, um Wissensbeiträge aus der wissenschaftlichen Arbeit und der Praxis miteinander zu verbinden. Ein Forscher schlug das Planspiel als eine gute Methode in Ergänzung zu den

Workshops vor, um einen noch aktiveren Beitrag der Stakeholder zu ermöglichen. Allerdings schränkte ein anderer Wissenschaftler auf die Frage nach weiteren möglichen Methoden ein, dass die zur Verfügung stehenden Mittel auch Grenzen der Beteiligung setzten. Die meisten befragten Fachwissenschaftler hatten über die bundesweiten und regionalen Workshops hinaus Kontakte mit den in den Projektprozess eingebundenen Stakeholdern bezüglich CC-LandStraD-spezifischer Fragen. Für fünf Wissenschaftler waren die Anregungen, Kritikpunkte und Fragen der Stakeholder zu den Zwischenergebnissen des Projektes für das Gesamtprojekt „(eher) hilfreich“, für einen Befragten „sehr hilfreich“ und für zwei Wissenschaftler „eher wenig hilfreich“. Für die eigene Arbeit erachteten fünf Mitglieder des Konsortiums die Anregungen der Stakeholder als „eher hilfreich“, drei als „eher wenig hilfreich“.

Positiv bewerteten einige Wissenschaftler, dass die Forschungsergebnisse durch den Austausch mit den Akteuren an den Bedürfnissen der Praxis gemessen wurden. Hilfreich sei gewesen, dass die Stakeholder auf zuvor unberücksichtigte Hemmnisse hingewiesen und von der Wissenschaft getätigte Annahmen durch Praktiker bestätigt wurden. Darüber hinaus lieferten die Stakeholder aus Sicht eines Befragten interessante fallspezifische Informationen und Hinweise zu Feinheiten der entwickelten Projektsprache, die, so verwendet, gegebenenfalls „Türen schließen kann“. Positiv bewertet wurden auch Hinweise aus der Praxis zu Umsetzungshemmnissen, instrumentellen Schwächen und Defiziten sowie Zielkonflikten und Synergien. Ohne diesen Austausch mit den Stakeholdern wären nach Aussagen eines Wissenschaftlers zwar vermutlich keine grundlegend anderen Ergebnisse entstanden, aber es sei hilfreich, die eigene Arbeit auf die Praxisrelevanz hin prüfen zu lassen: „Als Wissenschaftler schmort man häufig im ‚eigenen Saft‘ und erkennt, dass die Schwierigkeiten ‚da draußen‘ andere sind als man annimmt.“ Dadurch wurde auch die Einordnung der Umsetzungsprobleme von Maßnahmen in der Praxis möglich.

Die befragten Projektbeteiligten sahen aber auch Grenzen eines solchen transdisziplinären Ansatzes. Die transdisziplinäre Arbeit erfordere einen hohen Grad an Verständnis für die andere Disziplin, häufig fehle aber für weiterführende Kritik ein ausreichender Sachverstand. Zudem wurde kritisch angemerkt, dass die Stakeholder zum Teil zu stark auf lokale Themenstellungen fokussierten, die nicht immer gut zum regionalen bzw. bundesweiten Fokus des Gesamtprojektes passten. Ein Befragter stellte die Notwendigkeit einer distanzierten Sichtweise der Wissenschaft heraus, da es durchaus einzelne Stakeholder gab, die spezifische eigene Interessen verfolgten.

Insgesamt bewerteten sieben der acht Wissenschaftler die Zusammenarbeit mit den Praktikern positiv und sahen gegenüber anderen Forschungsansätzen einen Zusatznutzen für ihre eigene Arbeit. So stellte ein Konsortiumsmitglied heraus, dass durch den transdisziplinären Ansatz die Relevanz der Forschung insbesondere hinsichtlich der Formulierung relevanter Forschungsfragen gesichert werden könne. Den Beitrag dieses Ansatzes sahen andere Wissenschaftler vor allem in der höheren Anwendungsorientierung ihrer Arbeiten und der eigenen Sensibilisierung für die Probleme der Landnutzer. Das trug dazu bei, die Ansichten und Einstellungen zu bestimmten

Themen besser kennenzulernen sowie sich selber zu disziplinieren und seine Erkenntnisse anderen gegenüber zu vermitteln. Herausgestellt wurden aber auch Probleme in der Umsetzung des Prozesses. Dazu zählten u. a. der hohe Zeit- und Kostenaufwand eines solchen Ansatzes, der Umgang mit Einzelmeinungen und Lobbyismus sowie die Schwierigkeit, Akteure für den Prozess zu gewinnen. Problematisiert wurde darüber hinaus der zum Teil unterschiedliche Kenntnisstand der Stakeholder.

Befragt, wie die Einbindung nicht-wissenschaftlicher Akteure bei einem Folgeprojekt aussehen sollte, antworteten vier Wissenschaftler, dass die Beteiligung genau den Grad haben sollte wie in CC-LandStraD. Drei Befragte plädierten für eine geringere Beteiligung (bei einer fehlenden Angabe). Allerdings empfahl ein Konsortiumsmitglied, wenn das Projekt nochmals von vorn beginnen könnte, weniger Akteure einzubinden und das Thema am Anfang mehr einzuengen. Die Forschungsergebnisse müssten früher vorliegen, um den Diskussionsprozess zu befruchten und auf ein höheres Niveau zu heben. Ein Wissenschaftler wünschte sich für ein mögliches kommendes Projekt eine stärkere Einbindung nicht-organisierter Interessenvertreter.

5.3.6 Der transdisziplinäre Diskurs: Was hat er gebracht?

Im Rahmen des transdisziplinären Diskurses in CC-LandStraD wurde eine Vielzahl von regionalen und bundesweiten Interessenvertretern der Landnutzung am Projekt und dessen Fortgang beteiligt. Konkret erfolgte dies, indem:

- einzelne externe Beteiligte über eine längere Zeit mitwirkten,
- weitere Stakeholder punktuell beteiligt waren,
- das Wissen und die Interessen externer Akteure mittels partizipativer Verfahren (Workshops, Fokusgruppen, Interviews) erhoben und einbezogen wurde.

Damit war CC-LandStraD durch einen mittleren Grad an Transdisziplinarität gekennzeichnet (Defila et al. 2006, S. 216). Die Zielsetzung und der Verlauf des Forschungsvorhabens wurden stark durch den Fortgang der Modellierungsaktivitäten geprägt. Zu bestimmten Zeitpunkten – nach einer ersten Auswahl von Maßnahmen und vor Festlegung der endgültigen Strategieausgestaltung – hatten die Stakeholder die Möglichkeit, ihre Interessen und Erwartungen in Bezug auf aktuelle und zukünftige Landnutzungsentwicklungen einzubringen.

Nachfolgend werden zentrale inhaltliche, methodische und prozessuale Aspekte des transdisziplinären Diskurses zusammenfassend dargestellt und reflektiert.

5.3.6.1 Inhaltliche Aspekte des transdisziplinären Diskurses

Die Frage, was nachhaltige Landnutzung unter dem Einfluss des Klimawandels und unter besonderer Berücksichtigung der Verminderung von Treibhausgasen bzw. einer höheren Kohlenstoffspeicherung eigentlich bedeutet, führte das Projektkonsortium

relativ schnell zu konkreten Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen (vgl. Kap. 3). Vor Beginn der Forschungsarbeiten war nicht absehbar gewesen, dass dies kein rasch abgeschlossener Baustein, sondern Bestandteil der Projektarbeit über mehrere Jahre sein würde. Die landnutzungsbezogenen Klimaschutz- und Klimaanpassungsmaßnahmen sowie ihre Ausgestaltung in den Strategien (Klimaschutz, Bioenergie, Natur- und Umweltschutz sowie Klimaanpassung) waren auch zentrales Thema der Diskussionen mit den Stakeholdern, da diese ausreichend konkret waren, um an der beruflichen Praxis der eingeladenen Akteure anzuknüpfen. Zur Projekthalbzeit (Anfang 2013) waren 158 solcher Maßnahmen im Gespräch gewesen. Von diesen waren 28 durch das Konsortium, 74 durch die regionalen Akteure und 56 durch die bundesweiten Stakeholder eingebracht worden. 85 erwiesen sich als prinzipiell modellierbar, 73 als nicht modellierbar (Crewett et al. 2013). In einem weiteren Prozess der Verdichtung und (zwangsläufigen) Beschränkung wurde die Zahl zunächst auf 46, abschließend auf 36 modellierbare Maßnahmen verringert.

Bezogen auf die Strategien ging es neben der Priorisierung und den Ausprägungen der zuzuordnenden Maßnahmen vor allem darum, wie praxisnah oder -fern solche Strategien sein sollten – und damit um die generelle Frage der Zielsetzung von Strategien (bzw. Szenarien). Dienen sie vor allem der Verständigung über etwas besonders Wünschenswertes oder nicht Wünschenswertes, oder sollen sie versuchen, tatsächlich zu erwartende Zukünfte so gut wie möglich abzubilden – sind sie also eher normativ oder eher realitätsnah? Im hier dokumentierten Forschungsprozess war dies immer wieder neu zu klären – in einem Projekt mit einem höheren Grad an Transdisziplinarität wäre hingegen ein mit den Stakeholdern gemeinsam entwickeltes Verständnis wünschenswert.

Die Maßnahmen- und Strategiediskussion wurde von der Thematisierung sektoraler und intersektoraler Landnutzungskonflikte begleitet. Diese hatten, wie oben erwähnt, bereits in den leitfadengestützten Interviews eine zentrale Rolle gespielt. Abb. 5.11 stellt die wichtigsten Konflikte zusammenfassend dar (für eine detaillierte Darstellung vgl. Steinhäuser et al. 2015).

Aus der Vielzahl der Landnutzungskonflikte sind aus sektorübergreifender Perspektive zwei besonders hervorzuheben:

- Ein zentrales Konfliktthema stellte aus Sicht der Stakeholder die Sicherung von (landwirtschaftlicher) Fläche dar. Als zentrales Problem wurde aus Sicht der Land- und Forstwirtschaft die anhaltende, wenn auch im Bundesdurchschnitt abnehmende Flächenneuanspruchnahme durch die Expansion von Siedlungen thematisiert. Ebenso wurde die Versiegelung fruchtbarer Böden problematisiert. Nutzungsverzicht, also Flächenstilllegungen für den Naturschutz, galt den Vertretern der Wirtschaftssektoren Land- und Forstwirtschaft nicht als optimale Lösung. Interessenvertreter des Sektors Siedlung und Verkehr stellten dem teilweise eine andere Sicht entgegen, indem sie auf das aus ihrer Sicht veränderte Bewusstsein in Bezug auf die Flächen-

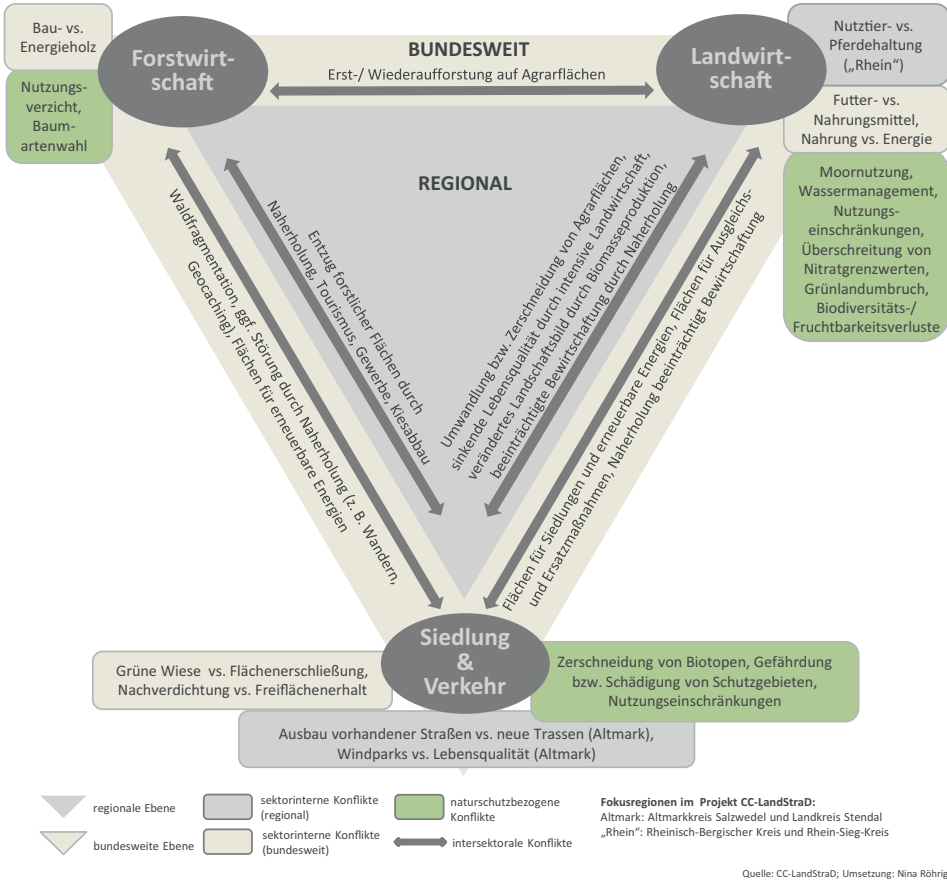


Abb. 5.11 Von den regionalen und bundesweiten Akteuren der Landnutzung im Prozessverlauf thematisierte Landnutzungskonflikte; eigene Zusammenstellung. (Quelle: Steinhäuber et al. 2015, graphische Umsetzung: Nina Röhrig)

neuinanspruchnahme und das proklamierte „30-Hektar-Ziel“, das für die Planungspraxis eine wichtige (wenn auch nicht erreichbare) Richtschnur sei, hinwiesen.

- Als weitere wichtige Konfliktlinie wurde die in der jüngeren Vergangenheit starke Zunahme der Flächennutzung für die Bioenergieproduktion identifiziert. Als Minimumkonsens zeichnete sich die Formel ab, dass in der Landwirtschaft Bioenergiepflanzen nur als Übergangslösung akzeptiert würden. Mehrfach wurde auf die globale Perspektive (insbesondere die Verlagerung von Landnutzungskonflikten in andere Länder und Probleme der Ernährung der Weltbevölkerung) hingewiesen. Stakeholder der Forstwirtschaft hielten die energetische Holznutzung in Konkurrenz zur stofflichen Nutzung von Holzträgen ebenfalls für einen der wichtigsten Nutzungskonflikte innerhalb der Forstwirtschaft. Sie betonten, dass durch die „Energie-

wende“ auch die Nachfrage nach Energieholz gestiegen sei, mit der Folge, dass die Konkurrenz in der Holzverwertung zugenommen habe. Beide Sektoren waren sich weitgehend einig darin, dass durch den Bedeutungsgewinn erneuerbarer Energien die „eigentlichen“ Aufgaben der Forst- und Landwirtschaft nicht „vergessen“ werden sollten.

Die inhaltliche Begrenzung des Projektes auf sektorale Beiträge zum Klimaschutz sowie, in der Forstwirtschaft und im Siedlungswesen, auf Klimaanpassungsmaßnahmen wurde von den Akteuren zwar einerseits begrüßt, andererseits mahnten sie im Prozessverlauf immer wieder eine umfassendere gesellschaftliche Perspektive an: Nachhaltige Landnutzung könne nicht nur isoliert klimatische Veränderungen (also einen Aspekt ökologischer Nachhaltigkeit) berücksichtigen. Problematisiert wurden zum Beispiel die Grenzen solcher Nachhaltigkeit, wenn die Einkommen von Landwirtschaft und Forstwirtschaft nicht mehr gesichert sind, zentrale Aufgaben der Sektoren in den Hintergrund rücken und/oder die Lebensqualität sinkt. Die Interessenvertreter der Landnutzung betonten, dass Klimawandel für Landnutzer nur ein Problem unter anderen (wenn überhaupt) sei. In ihrer Arbeit spielen beispielsweise Fragen der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU, die Novellierung der Düngeverordnung, Wertschöpfungsketten, Holzpreise oder die Sicherung der Daseinsvorsorge und die Leerstandsproblematik eine mindestens ebenso wichtige Rolle.

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang, dass der formulierte Projektanspruch der Nachhaltigkeit von den Akteuren der Landnutzung so ernst genommen wurde, dass sie ganzheitliche bzw. umfassendere Modelle und ein höheres Maß an sektorübergreifender Integration einforderten, als es CC-LandStraD – das in seinen Modellierungen oft Neuland betreten und sich gleichzeitig beschränken musste – in jedem Falle einlösen konnte. Auch die (fehlende) Nachhaltigkeit von Wissenschaft selbst wurde thematisiert, z. B. bezogen auf die Zeitdauer von Forschungsprojekten oder die aus Sicht der Praxis nicht immer zufriedenstellende Bekanntheit abgeschlossener Projekte und ihrer Ergebnisse.

5.3.6.2 Methodische Aspekte des transdisziplinären Diskurses

Im Laufe der transdisziplinären Projektarbeit gab es immer wieder „Übersetzungsbedarf“ zwischen der Vorgehensweise der Wissenschaftler und den Anforderungen der Stakeholder. Aus methodisch-methodologischer Perspektive wurden Inhalte und Zweck der verwendeten Modelle regelmäßig kritisch hinterfragt. Das ging zum Teil mit widersprüchlichen Anforderungen einher: Einerseits wiesen die Stakeholder darauf hin, dass die Modellierung komplexe Wechselwirkungen in den Bereichen Ökonomie (z. B. die Relation von Agrar- und Energiepreisentwicklungen) und Landnutzungsentscheidungen abbilden sollte, um Relevanz zu besitzen – ein Anspruch, dem sich die verschiedenen Modelle im Rahmen ihrer jeweiligen Modellgrenzen auch stellten. Andererseits forderten die Stakeholder Vereinfachung und klare bzw. keine widersprüchlichen Befunde ein. Zugleich wurde in den Workshops deutlich, dass eine Ergeb-

nisinterpretation und -einordnung für die Stakeholder aufgrund der Modellkomplexität zum Teil schwierig waren. Sich teilweise widersprechende Modellergebnisse und die (notwendige) Vernachlässigung weiterer Wechselwirkungen und gesellschaftlicher Rahmenbedingungen – die Modelle nur zum Teil oder gar nicht berücksichtigen können – führten teilweise zu Skepsis im Umgang mit Modellergebnissen. Dieser Befund erklärt sich aus den unterschiedlichen Systemlogiken von Wissenschaft einerseits und Interessenverbänden andererseits. Verbände und Behörden verfolgen andere Interessen und Lösungsansätze, die sich mit denen der Wissenschaft nur bedingt überschneiden. Dieser Konflikt war im Prozess nicht gänzlich lösbar, da es sich eben nicht nur um ein Problem von Fachjargon und Modellsprache handelte.

Von einzelnen Stakeholdern wurde die Befürchtung geäußert, dass durch „plakative“ Szenarien bei der Bevölkerung oder der Politik ein falscher Eindruck über die Landnutzung entstehen könnte. Ferner gab es auch den Appell an die Wissenschaftler, sich nicht in zu vielen unüberschaubaren Modellen zu verlieren, sondern zu versuchen, „einfache“ Botschaften zu produzieren. Das Forschungskonsortium musste lernen, in den Workshops stets von neuem wieder auf die Rolle, Möglichkeiten und Grenzen von Modellen hinzuweisen und zu kommunizieren, dass es nicht um eine Abbildung der Realität auf kleinräumiger Ebene geht, sondern um Zuspitzungen und Vereinfachungen.

Praxisakteure erwarten von einem solchen Projekt in einem überschaubaren Zeitraum innovative, praktische Lösungen und somit wissenschaftlich fundierte Handlungsempfehlungen, die noch dazu regional angepasst sein sollten. Die Modelle und Modellierungsergebnisse können – und sollen – dies nur in sehr begrenztem Maße leisten. Auch über die Ziele von CC-LandStraD – jenseits besserer Daten und Wissen über Wechselwirkungen – gab es kontinuierlichen Verständigungsbedarf: Nicht jedem Akteur war klar (oder vermittelbar), dass das Konsortium am Projektende keine Forderungen an die Politik oder ausgearbeitete Handlungsvorschläge unterbreiten werde. Gleichzeitig warnten einige Beteiligte davor, dass allgemeine Politikempfehlungen auf Basis einer Modellierung zu unrealistischen Annahmen, etwa in den zuständigen Ministerien, führen könnten, die daraufhin möglicherweise Entscheidungen treffen, die wiederum an die Kommunen weitergegeben werden. Es sollten keine deutschlandweiten, sondern situativ auf die jeweilige Region bezogene Aussagen getroffen werden.

Zu einem erfolgreichen transdisziplinären Projekt gehört somit auch, die Erwartungen aller Beteiligten sowie die Ziele der Beteiligungsprozesse nicht nur im Vorhinein genau zu klären, sondern diese Frage im Prozess immer wieder aufzurufen. Gleichzeitig liegt es in der Logik von Beteiligungsprozessen, dass sich die Stakeholder sowohl innerhalb als auch zwischen den verschiedenen Landnutzungssektoren in ihren Positionen und Meinungen unterschieden und teilweise explizit als Lobbyisten auftraten. Insbesondere der Umgang mit Lobbypositionen bleibt ein transdisziplinären Projekten inhärentes Problem, das auch in künftigen Projekten nicht durch verbesserte Kommunikation allein zu lösen sein wird. Der Abwägungsprozess, welche Meinungen mit welchem Gewicht für die weiteren Projektschritte berücksichtigt werden sollten, oblag den Fachwissenschaftlern. Der Beteiligungsprozess wurde dadurch erschwert, dass die Stakeholder-Ver-

bände auf Bundesebene (anders als im regionalen Beteiligungsprozess) nicht in jedem Falle eine Kontinuität der teilnehmenden Personen gewährleisten konnten, sodass neue Teilnehmer mit den Modellen und den Ergebnissen von Vorläuferworkshops nicht ausreichend vertraut waren.

5.3.6.3 Prozessuale Aspekte

Auf Unstetigkeiten der Stakeholder-Beteiligung an den Projektaktivitäten ist im Zusammenhang mit den Tab. 5.8 und 5.9 bereits hingewiesen worden. Die Teilnahme an Workshops war mit einem hohen persönlichen Zeitaufwand verbunden, auch wenn vonseiten des Projektes versucht wurde, diesen für die Stakeholder möglichst gering zu halten, zum Beispiel durch halbtägige Veranstaltungen im regionalen Beteiligungsprozess oder durch die Wahl des Ortes. Bei Bedarf wurden Mittel für Aufwandsentschädigungen und/oder Reisekosten bereitgestellt. Termine für die Fokusgruppen und Workshops wurden möglichst frühzeitig angekündigt und mit den Stakeholdern abgestimmt. Es erwies sich auch als positiv, den Workshopeinladungen eine inhaltliche Ergebnisorientierung, gut aufgemachte Zwischenergebnisse oder eine Tischvorlage beizufügen. Dennoch führte dies insbesondere im bundesweiten Prozess nicht immer zu optimaler Beteiligung.

Bedingt durch die einzelnen Phasen der Modellierung, die sektoral mit unterschiedlichen Zeithorizonten erfolgte, gab es für die Hauptaktivitäten mit den Stakeholdern – die interaktiven Workshops – keinen festen Rhythmus. Da, wie oben bereits erwähnt, auf Bundesebene die personelle Situation bei den Verbänden, Ämtern und Ministerien nicht konstant blieb, konnte nicht in jedem Falle an eine Vorgeschichte angeknüpft, sondern mussten Kontakte wieder neu aufgebaut werden. Stakeholder-Arbeit ist somit – ebenso wie die Analyse der Akteursstruktur (Stakeholder-Mapping der Institutionen und Personen in den betreffenden Organisationen) – ein kontinuierlicher und projektbegleitender Prozess. In kritischer Reflexion ist zu sagen, dass über den halbjährlichen Newsletter-Versand hinaus in stärkerem Maße direkte Kontakte hätten gepflegt werden sollen, um das Projekt in Erinnerung zu halten und die Türen für eine künftige Beteiligung noch stärker offenzuhalten. Auch der Wechsel von Personen in Verbänden und Behörden sollte antizipiert werden. Hier könnte z. B. ansprechendes Informationsmaterial über das Projekt die potenzielle Beteiligungsbereitschaft verbessern.

Die prozessuale Offenheit des transdisziplinären Diskurses hat sich hingegen bewährt – zwar lässt sich vor einem solchen Projekt planen, welche Methoden in welcher Reihenfolge und auf welcher räumlichen Ebene angewendet werden sollten, doch ist ein solch komplexes Modellierungsvorhaben wie CC-LandStraD immer von Unstetigkeiten und Unplanbarkeiten begleitet. Wie oben erwähnt, verlängerten beispielsweise die mehrfachen Workshop-Diskussionen die Phase der konkreten Ausgestaltung der Maßnahmen und Strategien in den Sektormodellen, aber so entstand auch eine bessere Validierung dieser zentralen Projektbausteine durch die Stakeholder.

5.3.7 Schlussfolgerungen

Dass sich Projektantrag und -verlauf zwangsläufig unterscheiden, ist der Natur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns geschuldet. Durch den transdisziplinären Diskurs ist CC-LandStraD nochmals ein anderes Forschungsprojekt geworden, als zur Antragsphase absehbar gewesen war. Fünf Workshops für bundesweite Interessenvertreter, zwölf Fokusgruppen und Workshops auf regionaler Ebene sowie ein gemeinsamer Workshop führten zu zahlreichen inhaltlichen, methodischen und prozessualen Detailänderungen im Projektverlauf. Zwar waren für diesen transdisziplinären Diskurs ausreichend Ressourcen eingeplant gewesen, doch war der kontinuierliche Zeitaufwand für die Fachwissenschaftler des Konsortiums unterschätzt worden. Transdisziplinarität verändert nicht nur die Zeitplanung für die eigentliche (Modellierungs-)Arbeit, sondern bringt einen aufwendigen Übersetzungsbedarf für alle Beteiligten mit sich und stellt hohe Ansprüche an die Kommunikation mit nicht-wissenschaftlichen Akteuren, z. B. hinsichtlich einer größeren Modelltransparenz.

Nach fünf Jahren CC-LandStraD kann festgehalten werden, dass sich Akteure der Landnutzung mit großem Organisations- und Kommunikationsaufwand für solche Projekte und ihre Begleitung gewinnen lassen. Wunsch und Realität der tatsächlichen, aktiven Beteiligung klaffen aber zum Teil aufseiten der Akteure und zum Teil auch der Wissenschaft angesichts ihrer eigentlichen Aufgaben auseinander. Das spricht dafür, Stakeholder im Sinne einer „starken“ Transdisziplinarität bereits in der Antragsphase an der Problemdefinition und im Projektverlauf als gleichberechtigte (das heißt auch: bezahlte) Partner zu beteiligen (Jahn und Keil 2006, S. 327) – mit der Folge, dass ein solcher Ansatz die Rolle der Wissenschaftler verändert und die Ergebnisse der Forschungsarbeit weniger vorhersehbar macht, was aus Perspektive von Drittmittelgebern nicht immer wünschenswert ist. Auch wird man sich dann in der Zahl der Beteiligten einschränken und deren Auswahl noch stärker inhaltlich begründen müssen.

Transdisziplinarität bedeutet immer ein Sich-Einlassen auf unterschiedliche Wissensbestände, Weltzugänge und Problemverständnisse und damit verbunden einen hohen Übersetzungsaufwand. Wenn dies bereits in der Antragsphase im wechselseitigen Einverständnis geklärt ist und im Projektverlauf kontinuierlich reflektiert wird, steht einem „Mehr“ an Einbindung von wissenschaftsexternen Partnern nichts entgegen. Für die Projektstruktur und die Ziele von CC-LandStraD war der mittlere Grad an Transdisziplinarität angemessen.

Literatur

- Abildtrup J, Garcia S, Stenger A (2013) The effect of forest land use on the cost of drinking water supply: a spatial econometric analysis. *Ecol Econ* 92:126–136
- Achternkamp MC, Vos JFJ (2008) Investigating the use of the stakeholder notion in project management literature, a meta-analysis. *Int J Project Manage* 26(3):749–757

- adelphi/PRC/EURAC (2015) Vulnerabilität Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. Umweltbundesamt. Clim Change 24, Dessau-Roßlau
- Agentur für Erneuerbare Energien (AEE) (2015) Akzeptanz für Erneuerbare Energien weiterhin hoch. Ergebnisse der TNS Emnid-Umfrage 8/2015. *Renews kompakt* 23:1–3
- Aidt TS (1998) Political internalization of economic externalities and environmental policy. *J Public Econ* 69:1–16
- Ammer C, Vor T, Knoke T, Wagner S (2010) Der Wald-Wild-Konflikt. Analyse und Lösungsansätze vor dem Hintergrund rechtlicher, ökologischer und ökonomischer Zusammenhänge. Gutachten. BfN, DFWR, ANW. Universitätsverlag Göttingen, Berlin, Bonn
- Arbeitsgemeinschaft der für Städtebau, Bau- und Wohnungswesen zuständigen Minister und Senatoren (ARGEBAU), Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) (2010) Handlungsanleitung für den Einsatz rechtlicher und technischer Instrumente zum Hochwasserschutz in der Raumordnung, in der Bauleitplanung und bei der Zulassung von Einzelbauvorhaben. Beschlussfassung Fachkommission Städtebau vom 22. September 2010
- Arlt G, Pfeil F (1996) Flächennutzungskonkurrenzen – Typisierung von Nutzungskonflikten. In: Brake K, Richter U (Hrsg) *Methoden zur Analyse und Bewertung von Flächennutzungs- und Standortmustern. Nachhaltige Entwicklung von Großstadtdregionen*. Bibliotheks- und Informationssystem der Universität, Oldenburg, S 27–44
- Arnstein S (1969) A ladder of citizen participation. *J Am Plann Assoc* 35(4):216–224
- Bateman IJ, Mace GM, Fezzi C, Atkinson G, Turner K (2011) Economic analysis for ecosystem service assessments. *Environ Resource Econ* 48(2):177–218
- Becker E, Jahn T (2006) Soziale Ökologie – Konstitution und Kontext. In: Becker E, Jahn T (Hrsg) *Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen*. Campus, Frankfurt a. M., S 29–89
- Begg C, Luther J, Kuhlicke C, Steinführer A (2011) Participation in Central European flood risk management: social capacity building in practice. CapHaz-Net WP9 Report. Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig
- Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung (2011) Die Zukunft der Dörfer. Zwischen Stabilität und demografischem Niedergang. In: Kröhnert S, Kuhn E, Karsch M, Klingholz R, Bennert W (Hrsg) *Autoren. Selbstverlag, Köln*
- Biernacki P, Waldorf D (1981) Snowball sampling: problems and techniques of chain referral sampling. *Sociol Method Res* 10(2):141–163
- Birner R, Isermeyer F, Lang C, Treffenfeldt W, Zinke H (Bioökonomierat) (2014) Landwirtschaft in Deutschland – ihre Rolle für die Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie. BÖRMEMO 01, Berlin
- Bracher T, Gies J, Schlünder I, Warnecke T (2014) Finanzierung des ÖPNV durch Beiträge. Ist das Beitragsmodell eine Handlungsoption zur Finanzierung eines attraktiven ÖPNV-Betriebs? DIfU-Paper, Berlin
- Bräuer I, Marggraf R (2004) Valuation of ecosystem services provided by biodiversity conservation: an integrated hydrological and economic model to value the enhanced nitrogen retention in renaturated streams. FEEM Working Paper No. 54.04, Milan, Italien
- Brugha R, Varvasovszky Z (2000) Stakeholder analysis: a review. *Health Policy Plann* 15(3):239–246
- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg) (2014) Nationales Hochwasserschutzprogramm. Beschlossen auf der Umweltministerkonferenz am 24. Oktober 2014 in Heidelberg. Heidelberg. https://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewaesser/hochwasserschutzprogramm_bericht_bf.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018

- Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2012) Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen. Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbauanforderungen und Empfehlungen des BfN. Bonn, Bad Godesberg. https://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2013) Wirtschaftliche Lage der forstwirtschaftlichen Betriebe. Buchführungsergebnisse der Testbetriebe des Forstwirtschaftsjahres 2012. Bonn. https://www.bmelv-statistik.de/fileadmin/user_upload/monatsberichte/BFB-0113000-2012.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2014) Die wirtschaftliche Lage der landwirtschaftlichen Betriebe. Buchführungsergebnisse der Testbetriebe. Wirtschaftsjahr 2013/2014. Bonn
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2015) Bundeswaldinventur 3. www.bundeswaldinventur.de. Zugegriffen: 19. März 2019
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin, S 178
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hrsg) (2012) Regionalplanerische Instrumente zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme. BMVBS-Online-Publikation 20/2012. Berlin
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (Hrsg) (2014) Grundkonzeption für den Bundesverkehrswegeplan 2015. Bedarfsgerecht – transparent – herausfordernd. Bonn. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/VerkehrUndMobilitaet/BVWP/bvwp-2015-grundkonzeption-langfassung.html>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Bundesregierung (2002) Perspektiven für Deutschland Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Bundeskanzleramt, Berlin, S 343
- Bundesregierung (2011) Aktionsplan Anpassung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Bundesregierung. https://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/aktionsplan_anpassung_klimawandel_bf.pdf. Zugegriffen: 15. Nov. 2019
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2015) Vergleich Europäischer Wasser- und Abwasserpreise. BDEW, Berlin
- Bunzel A, Frölich v. Bodelschwing F, Strauss WC (2014) Grundlagenforschung zur Baugebiets-typologie der Baunutzungsverordnung. Endbericht. Deutsches Institut für Urbanistik. Berlin
- BWaldG (Bundeswaldgesetz) Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft vom 02.05.1975 (BWaldG BGBI I, S 1037), zuletzt geändert 31.07.2010
- Crewett W, Hellmich M, Siebert R, Steinführer A (2013) Nachhaltiges Landmanagement aus Sicht von Akteuren der Landnutzung. Vortrag auf der Zwischenkonferenz in Braunschweig, 25./26. Februar 2013
- Czybulka D, Hampicke U, Litterski B (Hrsg) (2012) Produktionsintegrierte Kompensation. Rechtliche Möglichkeiten, Akzeptanz, Effizienz und naturschutzgerechte Nutzung. Schmidt, Berlin
- De Marchi B (1991) The Seveso directive: an Italian pilot study in enabling communication. Risk Anal 11(2):207–215
- Defila R, Di Giulio A, Scheuermann M (2006) Forschungsverbundmanagement Handbuch für die Gestaltung inter- und transdisziplinärer Projekte. vdf Hochschulverlag, Zürich
- Destatis (2014) Bevölkerung und Erwerbstätigkeit – Vorläufige Ergebnisse der Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011, Artikelnummer: 5124103119005. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) (2015) 27. Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2014. Koblenz

- Domínguez-Torreiro M, Soliño M (2011) Provided and perceived status quo in choice-experiments: implications for valuing the outputs of multifunctional rural areas. *Ecol Econ* 70(12):2523–2531
- Edenhofer O, Flachsland C, Kalkuhl M, Knopf B, Pahle M (2019) Optionen für eine CO₂-Preisreform. Arbeitspapier No. 04/2019. Sachverständigenrat zur Begutachtung der Gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, Wiesbaden
- Einig K (2011) Die Flächenwende kommt nicht von allein. *LandInForm* 2(2011):14–15
- Elsasser P, Weller P (2013) Aktuelle und potentielle Erholungsleistung der Wälder in Deutschland: Monetärer Nutzen der Erholung im Wald aus Sicht der Bevölkerung. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 184(3/4):83–95
- Elsasser P, Englert H, Hamilton J (2010) Landscape benefits of a forest conversion programme in North East Germany: results of a choice-experiment. *Ann For Res* 53(1):37–50
- Elsasser P, Bösch M, Leefken G, Möhring B, Pistorius T, Rock J, Rüter S, Schröppel B (2015) Klimaschutz als Ökosystemleistung des Waldes in Deutschland: Wie tragen deutsche Wälder zum Schutz der Atmosphäre bei? In: Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte*. Naturkapital Deutschland – TEEB DE. TUB & UFZ, Berlin & Leipzig, S 148–170
- European Energy Exchange (2016) Emission spot primary market auction report. <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction/european-emission-allowances-auction-download>. Zugegriffen: 18. Apr. 2019
- Finke P (2014) Citizen Science. Das unterschätzte Wissen der Laien. Oekom, München
- Förster R, Pohl C, Scheringer M, Valsangiacomo A (2001) Partizipation in der transdisziplinären Forschung – Eine Positionierung und die Ankündigung des nächsten SAGUFNET-Workshops. *GAIA* 10(2):146–149
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH (GWS), Institut für ZukunftsEnergieSysteme (IZES) und Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) (2011) *Methodische Ansätze zur Analyse der Kosten- und Nutzenwirkungen des Ausbaus Erneuerbarer Energien im Wärmebereich*, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Nov. 2011
- Freeman RE (1984) *Strategic management: a stakeholder approach*. Basic Books, New York
- Freeman RE (2004) The stakeholder approach revisited. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik* 5(3):228–241
- Freibauer A, Röder N, Tiemeyer B (2012) Ansätze für die Definition für Gebietskulissen für den GLÖZ-Standard 7: „Schutz von Feuchtgebieten und kohlenstoffreichen Böden einschließlich eines Erstumbruchverbots“. *Arbeitsberichte aus dem vTI-Institut für Agrarrelevante Klimaforschung 2012/2010*. Braunschweig
- Freluh-Larsen A, MacLeod M, Osterburg B, Eory AV, Dooley E, Kätsch S, Naumann S, Rees B, Tarsitano D, Topp K, Wolff A, Metayer N, Molnar A, Povellato A, Bochu JL, Lasorella MV, Longhitano D (2014) *Mainstreaming climate change into rural development policy post 2013*. Final report. Ecologic Institute, Berlin
- Fürst D, Scholles F (2008a) Das System der räumlichen Planung in Deutschland. In: Fürst D, Scholles F (Hrsg) *Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung*, 3. Aufl. Dorothea Rohn, Dortmund, S 70–99
- Fürst D, Scholles F (Hrsg) (2008b) *Handbuch Theorien und Methoden der Raum- und Umweltplanung*, 3. Aufl. Dorothea Rohn, Dortmund
- Glicken J (2000) Getting stakeholder participation ‘right’: a discussion of participatory processes and possible pitfalls. *Environ Sci Policy* 3(6):305–310
- Gömänn H, Bender A, Bolte A, Dirksmeyer W, Englert H, Feil JH, Frühauf C, Hauschild M, Kregel S, Lilienthal H, Löpmeier FJ, Müller J, Mußhoff O, Natkhin M, Offermann F, Seidel

- P, Schmidt M, Seintsch B, Steidl J, Strohm K, Zimmer Y (2015) Agrarrelevante Extremwetterlagen und Möglichkeiten von Risikomanagementsystemen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen Report 30)
- Gren I-M (1995) The value of investing in wetlands for nitrogen abatement. *Eur Rev Agric Econ* 22:157–172
- Grünebaum T et al (2006) Hinweise zu Produktionskosten der kommunalen Abwasserbehandlung. KA – Abwasser, Abfall 2006 53(11)
- Haber W, Bückmann W (2013) Nachhaltiges Landmanagement, differenzierte Landnutzung und Klimaschutz. Universitätsverlag der TU Berlin, Berlin
- Hanley N, Barbier EB (2009) Pricing nature – cost-benefit analysis and environmental policy. Elgar, Cheltenham
- Hansjürgens B (2015) Zur Neuen Ökonomie der Natur: Kritik und Gegenkritik. *Wirtschaftsdienst* 95:284–291
- Hartje V, Meyerhoff J, Dehnhardt A (2003) Monetäre Bewertung einer nachhaltigen Entwicklung der Stromlandschaft Elbe. Forschungsvorhaben gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms Elbe-Ökologie Förderkennzeichen: 0339594/1 Endbericht Dezember 2003, Berlin, S 81
- Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) (2015) Naturkapital Deutschland – TEEB DE Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig
- Hellmich M, Steinführer A (2012) Klimawandel im Spannungsfeld unterschiedlicher Landnutzungsformen. Wahrnehmungen und Bewertungen von Akteuren der Landnutzung. Unter Mitarbeit von Jürges N. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut (CC-LandStraD-Arbeitsbericht 1)
- Hirschfeld J, Sagebiel J (2014) Äpfel, Birnen und Biodiversität. *Ökologisches Wirtschaften* 29:25–26
- Isermeyer F (2012) Erst die Mittel, dann das Ziel? Wie sich die EU-Agrarpolitik in eine Sackgasse manövriert und wie sie dort wieder herauskommen kann. In: Lange J (Hrsg) Die Begrün(d)ung der Gemeinsamen Agrarpolitik? Die kommende Reform der GAP. Loccumer Protokolle 05/12. Rehburg-Loccum, S 19–62
- Isermeyer F (2014) Künftige Anforderungen an die Landwirtschaft – Schlussfolgerungen für die Agrarpolitik. Thünen Working Paper 30. Braunschweig
- Isermeyer F, Forstner B, Nieberg H, Offermann F, Osterburg B, Schmidt T, Röder N, Weingarten P (Thünen-Institut) (2014) Gesetzentwurf zur Durchführung der Direktzahlungen an Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe im Rahmen von Stützungsregelungen der Gemeinsamen Agrarpolitik. Stellungnahme im Rahmen einer öffentlichen Anhörung des Ausschusses für Ernährung und Landwirtschaft des Deutschen Bundestages am 7. April. 2014. Ausschuss für Ernährung und Landwirtschaft. Ausschussdrucksache 18(10)052-E. https://literatur.ti.bund.de/digbib_extern/dn053441.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018
- Jahn T, Keil F (2006) Transdisziplinärer Forschungsprozess. In: Becker E, Jahn T (Hrsg) Soziale Ökologie. Grundzüge einer Wissenschaft von den gesellschaftlichen Naturverhältnissen. Campus, Frankfurt a. M., S 319–329
- Jensen R (2015) Vertragsmodelle auf Moorstandorten. In: von Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) Naturkapital Deutschland – TEEB DE Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig, S 197–198
- Jessel B, Jacobs J (2005) Land use scenario development and stakeholder involvement as tools for watershed management within the Havel River Basin. *Limnologia* 35(3):220–233
- Joosten H, Schröder C (2014) VIP – Vorpommern Initiative Paludikultur. Endbericht, Greifswald

- Kabat P, van Vierssen W, Veraart J, Vellinga P, Aerts J (2005) Climate proofing the Netherlands. *Nature* 438(17):283–284
- Knauf M, Frühwald A (2013) Beitrag des NRW Clusters ForstHolz zum Klimaschutz. Studie von Knauf Consulting und Prof. Dr. Arno Frühwald (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) in Kooperation mit Prof. Dr. Michael Köhl (Zentrum Holzwirtschaft der Universität Hamburg) im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen und des Landesbetriebs Wald und Holz Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, Münster
- Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) (Hrsg) (2014) Umweltverträgliche Biogaserzeugung. Empfehlungen der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) zur Reform des EEG. Position. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltvertraegliche-biogaserzeugung-0>. Zugegriffen: 12. März 2018
- Krueger R, Casey MA (2000) Focus groups. A practical guide for applied research, 3. Aufl. Sage, Thousand Oaks
- Kuhlicke C, Steinführer A, Meyer V (2013) Jenseits der Leitdifferenz von „Beton contra Natur“: Neue Paradoxien und Ungleichheiten im Hochwasserrisikomanagement. *Hydrol Wasserbewirtsch* 57(2):70–74
- Küpper P, Steinführer A, Ortwein S, Kirchesch M (2013) Regionale Schrumpfung gestalten. Handlungsspielräume zur langfristigen Teilhabe schaffen und nutzen. Johann Heinrich von Thünen-Institut und Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Braunschweig, Bonn
- Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG) (Hrsg) (2005) Ökoeffizienzprüfung in der Eingriffsregelung in Rheinland-Pfalz. Bearbeitung: Planungsgruppe Ökologie + Umwelt GmbH, Oppenheim
- Löschel A, Sturm B, Vogt C (2013) The demand for climate protection – empirical evidence from Germany. *Econ Lett* 118(3):415–418
- Marschall I et al (2012) Vilmer Visionen 2012. Perspektiven und Herausforderungen für die Landschaftsplanung als Beitrag zu einer nachhaltigen Landschaftsentwicklung. Ergebnis des Expertenworkshops vom 14. bis 16.05.2012 im Bundesamt für Naturschutz – Internationale Naturschutzakademie Insel Vilm. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/planung/landschaftsplanung/Dokumente/vilmer_visionen_2012_barrierefrei.pdf. Zugegriffen: 12. März 2018
- Marsh D, Mkwara L, Scarpa R (2011) Do respondents' perceptions of the status quo matter in non-market valuation with Choice-Experiments? An application to New Zealand freshwater streams. *Sustainability* 3(9):1593–1615
- Mayring P (2010) Qualitative Inhaltsanalyse. Juventa, Weinheim
- Meyerhoff J, Angeli D, Hartje V (2012) Valuing the benefits of implementing a national strategy on biological diversity – the case of Germany. *Environ Sci Policy* 23:109–119
- Meyerhoff J et al (2014) Der gute ökologische Zustand: Eine Kosten-Nutzen-Analyse für die Untere Havel. Präsentation auf dem NITROLIMIT Projektseminar am 12.05.2014, Berlin
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island, Washington
- Ministerkonferenz für Raumordnung (MKRO) (2013) Raumordnung und Klimawandel. Handlungskonzept der Raumordnung zu Vermeidungs-, Minderungs- und Anpassungsstrategien in Hinblick auf die räumlichen Konsequenzen des Klimawandels vom 23.01.2013. Berlin. https://www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Transfer_KlimaMORO/Beratungsmodul/Leitf%C3%A4den/Leitf%C3%A4den%20mit%20Ma%C3%9Fnahmenvorsch%C3%A4gen%20in%20relevanten%20Handlungsfeldern/MKRO-Handlungskonzept%20der%20Raumordnung%20.pdf. Zugegriffen: 25. März 2019

- Möckel S (2014) Steuerung der Düngung durch Agrar- und Umweltrecht: status quo und rechtspolitische Perspektiven. Vortrag im Rahmen der Münsteraner Gespräche zum Umwelt- und Planungsrecht am 07. Mai 2014. Münster
- Möckel S, Reese M (2010) Integrierte Umweltbeobachtung als Grundlage eines effektiven Klimaanpassungsmanagements. In: Reese M, Möckel S, Bovet J, Köck W (Helmholtz-Institut für Umweltforschung) Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. Herausgegeben vom Umweltbundesamt. Schmidt, Dessau-Roßlau, S 403–408
- Möhring B, Mestemacher U (2009) Gesellschaftliche Leistungen der Wälder und der Forstwirtschaft und ihre Honorierung. vTI Landbauforschung Sonderheft 327. Waldstrategie 2020 – Tagungsband zum Symposium des BMELV am 10. und 11. Dezember 2008, Berlin, S 65–73
- Morgan DL (1996) Focus groups as qualitative research (Qualitative Research Methods Series 16), 2. Aufl. Sage, Thousand Oaks
- Mueller M, Job H (2009) Managing natural disturbance in protected areas: tourists' attitude towards the bark beetle in a German national park. *Biol Cons* 142(2):375–383
- Mutz D, Matzinger A, Remy C (2013) Maßnahmen zur Reduktion der Nährstoffeinträge urbaner Bereiche. NITROLIMIT – Diskussionspapier, Bd 2, September 2013. Bad Saarow
- Neubert L (2014) Integration von Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel in die ländliche Regionalentwicklung – mit informellen Instrumenten ans Ziel? In: Grotheer S, Schwöbel A, Stepper M (Hrsg) Nimm's sportlich – Planung als Hindernislauf. Arbeitsberichte der ARL 10. Hannover, S 159–171
- Núñez D, Nahuelhual L, Oyarzún C (2006) Forests and water: the value of native temperate forests in supplying water for human consumption. *Ecol Econ* 58(3):606–616
- Oates WE, Portney PR (2003) The political economy of environmental policy, handbook of environmental economics. Elsevier, Amsterdam, S 325–354
- Olschewski R et al (2012) Avalanche protection by forests – a choice-experiment in the Swiss Alps. *For Policy Econ* 15:108–113
- Online Etymology Dictionary (2015) Stichworte „stake“ und „stake-holder“. <https://www.etymonline.com/>. Zugegriffen: 4. Sept. 2015
- Oppermann R, Kasperczyk N, Matzdorf B, Reutter M, Meyer C, Luick R, Stein S, Ameskamp K, Gelhausen J, Bleil R (2013) Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) 2013 und Erreichung der Biodiversitäts- und Umweltziele. Naturschutz und Biologische Vielfalt 135. Herausgegeben vom Bundesamt für Naturschutz (BfN). Selbstverlag, Bonn
- Radtke L, Schliep R, Heiland S (2015) Berücksichtigung des Klimawandels in der Landschaftsrahmenplanung. Ein bundesweiter Überblick. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 47(7):201–208
- Rajmis S, Barkmann J, Marggraf R (2009) User community preferences for climate change mitigation and adaptation measures around Hainich National Park, Germany. *Clim Res* 40:61–73
- Reed MS, Graves A, Dandy N, Posthumus H, Hubacek K, Morris J, Prell C, Quinn CH, Stringer LC (2009) Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management. *J Environ Manage* 90(5):1933–1949
- Reese M (2011) Das neue Recht des Hochwasserschutzes vor den Herausforderungen des Klimawandels. *NuR* 33:19–28
- Reese M, Köck W, Möckel S (2010) Räumliche Gesamtplanung. In: Reese M, Möckel S, Bovet J, Köck W (Helmholtz-Institut für Umweltforschung) Rechtlicher Handlungsbedarf für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels – Analyse, Weiter- und Neuentwicklung rechtlicher Instrumente. Herausgegeben vom Umweltbundesamt. Schmidt, Dessau-Roßlau, S 336–402

- Renn O (2008) Anforderungen an eine integrative und transdisziplinäre Umweltforschung. In: Bergmann M, Schramm E (Hrsg) *Transdisziplinäre Forschung – Integrative Forschungsprozesse verstehen und bewerten*. Campus, Frankfurt a. M., S 119–148
- Ring I, Wüstemann H, Bonn A, Grunewald K, Hampicke U, Hartje V, Jax K, Marzelli S, Meyerhoff J, Schweppe-Kraft B (2015) *Methodische Grundlagen zu Ökosystemleistungen und ökonomischer Bewertung*. In: Hartje V, Wüstemann H, Bonn A (Hrsg) *Naturkapital und Klimapolitik: Synergien und Konflikte*. Naturkapital Deutschland – TEEB DE. TUB & UFZ, Berlin & Leipzig, S 20–64
- Röder N, Osterburg B, Liebersbach H, Bormann K (2014) *Faktencheck Agrarreform*. Beitrag der EU-Agrarreform zur Bewirtschaftung organischer Böden im Einklang mit Natur und Klimaschutz. Thünen Working Paper 24. Braunschweig
- Roovers P, Hermy M, Gulincx H (2002) Visitor profile, perceptions and expectations in forests from a gradient of increasing urbanisation in central Belgium. *Landscape Urban Plann* 59(3):129–145
- Rösch C, Jörissen J, Skarka J, Hartlieb N (2008) *Flächennutzungskonflikte: Ursachen Folgen und Lösungsansätze*. *Technikfolgeabschätzungen – Theorie und Praxis* 17(2):4–11
- Rüter S, Rock J, Köthke M, Dieter M (2011) *Wieviel Holznutzung ist gut fürs Klima? CO₂-Bilanzen unterschiedlicher Nutzungsszenarien 2013 bis 2020*. *AFZ – DerWald* 15:19–21
- Ryffel AN et al (2014) Land use trade-offs for flood protection: a choice-experiment with visualizations. *Ecosyst Serv* 10:111–123
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2012) *Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt*. Schmidt, Berlin
- Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) (2015) *Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem*. Sondergutachten, Hausdruck
- Schroeder CH (2010) *Public choice and environmental policy: a review of the literature*. In: Farber DA, O'Connell AJ (Hrsg) *Research handbook on public choice and public law*, Edward Elgar Publishing Ltd., Cheltenham S 450–485
- Schuler J, Bues A, Henseler M, Krämer C, Krampe L, Kreins P, Liebersbach H, Osterburg B, Röder N, Uckert G (2014) *Instrumente zur Stärkung von Synergien zwischen Natur- und Klimaschutz im Bereich Landbewirtschaftung*. Ergebnisse des F+E-Vorhabens FKZ 3511880200. BfN-Skripten 382, Bonn
- Schwermer S, Preiss P, Müller W (2012) *Best-Practice-Kostensätze für Luftschadstoffe, Verkehr, Strom- und Wärmezeugung*, Anhang B der „Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten“. Dessau
- Seifert P (2012) *Mit Sicherheit wächst der Schaden. Überlegungen zum Umgang mit Hochwasser in der räumlichen Planung*. Herausgegeben von der Geschäftsstelle des regionalen Planungsverbandes Oberes Elbtal/Ostertzegebirge. https://www.klimamoro.de/fileadmin/Dateien/Ver%C3%B6ffentlichungen/Ver%C3%B6ffentlichungen_Phase_II/mit_sicherheit_waechst_der_schaden.pdf. Zugegriffen: 7. Juli 2015
- Siewert S (2010) *Die Ermittlung kosteneffektiver Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffemissionen aus Kläranlagen im Einzugsgebiet der Oder*. Schriftenreihe des IÖW 197/10, Berlin
- Spiekermann J, Franck E (Hrsg) (2014) *Anpassung an den Klimawandel in der räumlichen Planung – Handlungsempfehlungen für die niedersächsische Planungspraxis auf Landes- und Regionalebene*. Arbeitsberichte der ARL 11. Hannover
- Springer O (Hrsg) (1963) *Langenscheidts Enzyklopädisches Wörterbuch der englischen und deutschen Sprache*. Langenscheidt, Berlin
- Ssymank A, Scherfose V (2012) *Sicherung von Mooren durch Schutzgebiete am Beispiel von Natura 2000 und Großschutzgebieten*. *Natur und Landschaft* 2:62–69

- Steinführer A, Kuhlicke C, De Marchi B, Scolobig A, Tapsell S, Tunstall S (2009) Local communities at risk from flooding: social vulnerability resilience and recommendations for flood risk management in Europe. Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Leipzig
- Steinhäuser R, Siebert R, Steinführer A, Hellmich M (2015) National and regional land-use conflicts in Germany from the perspective of stakeholders. *Land Use Policy* 49:183–194
- Umweltbundesamt (UBA) (2012) Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten, Dessau: Umweltbundesamt. S 74, Anhang B. S 44
- Umweltbundesamt (2019) Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. Dessau-Roßlau
- Unmüßig B (2015) Vom Wert der Natur. *Ökologisches Wirtschaften* 30:11
- van Zanten BT, Verburg PH, Koetse MJ, van Beukering PJ (2014) Preferences for European agrarian landscapes: A meta-analysis of case studies. *Landscape and Urban Planning* 132:89–101
- Verband Region Stuttgart (2009) Region Stuttgart. Regionalplan. Satzungsbeschluss vom 22. Juli 2009. Stuttgart
- von der Dunk A, Grêt-Regamey A, Dalanga T, Hersperger AM (2011) Defining a typology of peri-urban land-use conflicts – a case study from Switzerland. *Landscape Urban Plann* 101(2):149–156
- Voss M (2010) Einleitung: Perspektiven sozialwissenschaftlicher Klimawandelforschung. In: Voss M (Hrsg) *Der Klimawandel. Sozialwissenschaftliche Perspektiven*. VS Verlag, Wiesbaden, S 9–40
- Walter J (2013) Kommunalen Klimaschutz und Mobilität: Da bewegt sich was. In: Service- und Kompetenzzentrum: *Kommunalen Klimaschutz beim Deutschen Institut für Urbanistik (Hrsg) Klimaschutz & Mobilität. Beispiele aus der kommunalen Praxis und Forschung – so lässt sich was bewegen*. Deutsches Institut für Urbanistik Köln, S 6–15
- Wehn U, Rusca M, Evers J, Lanfranchi V (2015) Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories: a governance analysis. *Environ Sci Policy* 48:225–236
- Weingarten P (2014) Ländliche Entwicklung – Anforderungen und Chancen aus Sicht der Wissenschaft. *Landentwicklung aktuell 2014*, S 48–51
- Wichtmann W, Haberl A (2012) Aktivierung der Klimaschutzfunktion von Niedermoorflächen in der Landeshauptstadt Potsdam. Handlungsleitfaden „Paludikultur“. Michael Succow Stiftung zum Schutz der Natur. Auftraggeber Stadtverwaltung Potsdam, Potsdam
- Wilke C, Bachmann J, Hage G, Heiland S (Hrsg) (2011) Planungs- und Managementstrategien des Naturschutzes im Lichte des Klimawandels. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 109. Herausgegeben vom Bundesamt für Naturschutz (BfN). Selbstverlag, Bonn
- Wille V, Preiss P, Friedrich R (2012) Sachstandspapier zu Treibhausgasen & Klimawandel, Sachstandspapier im Rahmen des Vorhabens „Schätzung Externer Umweltkosten und Vorschläge zur Kosteninternalisierung in ausgewählten Politikfeldern“, Umweltbundesamt, Forschungsprojekte FKZ 3708 14 101. Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
- Winkel G (2015) Anpassungen in der Forstwirtschaft und deren Auswirkungen. Infobox 6.1. In: *Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015) Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte (Hrsg) von Volkmar Hartje, Henry Wüstemann und Aletta Bonn*. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Berlin, Leipzig, S 154
- Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik (WBA) (2010) EU-Agrarpolitik nach 2013. Plädoyer für eine neue Politik für Ernährung, Landwirtschaft und ländliche Räume. Gutachten. Bonn, Berlin. www.bmelv.de/beirat_agrarpolitik_gutachten. Zugegriffen: 12. März 2018

- Wolfram M, Albrecht J, Wulfhorst G, Horn B, Krebsler S, Verron H, Holz-Rau C (2010) Steuerung einer nachhaltigen Verkehrsentwicklungsplanung in Deutschland. IÖR Texte 162. Dresden
- Yohe GW et al (2007) Perspectives on climate change and sustainability. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Hrsg) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, S 811–841
- Zierhofer W, Burger P (2007) Transdisziplinäre Forschung – ein eigenständiger Modus der Wissensproduktion? Problemorientierung, Wissensintegration und Partizipation in transdisziplinären Forschungsprojekten. GAIA 16(1):29–34

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Zusammenfassende Schlussbetrachtung

6

Horst Gömann und Johanna Fick

Inhaltsverzeichnis

6.1 Änderung von Rahmenbedingungen nach Abschluss der Studie.....	422
6.2 Ergebnisse für den Sektor Siedlung und Verkehr.....	424
6.3 Ergebnisse und Empfehlungen für die Landwirtschaft.....	427
Literatur.....	433

In Deutschland hat die Bedeutung des Themas Klimawandel in der öffentlichen Wahrnehmung aufgrund einer Häufung extremer Wetterlagen – wie Starkregenereignisse, Überflutungen und vor allem die extreme Hitze und Dürre – in den letzten Jahren zugenommen. Im gesellschaftlichen und politischen Diskurs wird der Notwendigkeit, stärker als bisher zum Schutz des Klimas auf eine Minderung von THG-Emissionen hinzuwirken, eine höhere Priorität beigemessen. Im vorliegenden Buch werden ausgewählte Ergebnisse des Verbundvorhabens CC-LandStraD dargestellt, das die komplexen Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und Landnutzung sowie Landnutzungsänderungen in den Sektoren „Siedlung und Verkehr“, „Landwirtschaft“ und „Forstwirtschaft“ mit Blick auf die Minderung von THG-Emissionen analysierte.

Mit Hilfe eines interdisziplinären Modellverbundes wurden ausgewählte Maßnahmen der Landnutzung sowie Maßnahmenbündel, die im transdisziplinären Diskurs mit Akteuren diskutiert und ausgearbeitet wurden, hinsichtlich ihrer Auswirkungen

H. Gömann (✉) · J. Fick
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

untersucht, insbesondere mit Blick auf THG-Emissionen. Die Ergebnisse der modellgestützten Maßnahmewirkungsanalysen geben Anhaltspunkte zur Einschätzung der jeweiligen Einsparpotenziale und den damit verbundenen Kosten, die wichtige Faktoren für die Bewertung von Maßnahmen und Maßnahmenbündeln (Strategien) sind. Die Modelle bilden einen Stand der Technologie ab, wobei vielfältige Annahmen getroffen werden mussten, auch zu den Anpassungsmechanismen, die letztlich das Verhalten der abgebildeten Akteure widerspiegeln sollen. Die Maßnahmenbündel, sogenannte Landnutzungsstrategien, fokussierten auf Klimaschutz, Bioenergie, Natur- und Umweltschutz bzw. auf Klimaanpassung. Bei den Maßnahmewirkungsanalysen wurde von konstanten Konsumgewohnheiten ausgegangen, sodass Landnutzungsänderungen, die beispielsweise zu einer Verringerung der Nahrungsproduktion in Deutschland führen, durch entsprechende Im- oder Exporte ausgeglichen werden müssen, die in anderen Regionen der Welt zu THG-Emissionen führen (Indirect Land Use Change: ILUC). Maßnahmen im Verkehrs- oder Gebäudebereich sowie in der Tierhaltung wurden nicht adressiert.

Die Landnutzung erfüllt verschiedene gesellschaftliche Ansprüche und Funktionen, sogenannte Ökosystemfunktionen wie die Erzeugung von Nahrung und Rohstoffen, die Bereitstellung von Raum für Wohnen, Gewerbe sowie Erholung. Darüber hinaus soll die Landnutzung im Einklang mit der Natur und Umwelt erfolgen. Die Integration eines verstärkten Klimaschutzes in die Landnutzung verursacht mehr oder minder ausgeprägte Nutzungskonflikte. Im vorliegenden Buch wurden zur Darstellung, Einordnung und Bewertung dieser Nutzungskonflikte verschiedene, auch nicht-marktfähige Ökosystemdienstleistungen der Landnutzung wie die Erholungsfunktion von Landschaft auf der Basis einer umfassenden Bevölkerungsbefragung mit einem Choice-Experiment monetarisiert.

6.1 Änderung von Rahmenbedingungen nach Abschluss der Studie

Horst Gömann

Die Projektarbeiten wurden bis zum April 2016 abgeschlossen. Im Rahmen des internen Reviewprozesses für das vorliegende Buch konnten einige Anregungen zur Modifizierung und Darstellung von Modellsimulationen aufgenommen und umgesetzt werden. Eine umfangreiche Aktualisierung der Datengrundlagen erfolgte nicht, sodass die Analysen auf den zum Zeitpunkt des Projektabschlusses aktuell verfügbaren Daten basieren. Die Ergebnisse der Studie, die nicht an Gültigkeit und Aussagekraft verloren haben, werden mit Blick auf die Ableitung von Handlungsempfehlungen in den Kontext der seitdem geänderten Rahmenbedingungen eingeordnet und bewertet. Hierbei sind folgende ausgewählte Änderungen von Bedeutung:

1. Der Preis für CO₂-Emissionszertifikate im EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) schwankte zwischen 2013 und Mitte 2017 um 5 € je t CO₂. Seitdem haben sich die Preise jedoch etwa verfünffacht; im April 2019 betragen sie durchschnittlich 26 € je t CO₂¹. Das im Jahr 2005 in Betrieb genommene EU-ETS, in dem Stromerzeuger und energieintensive Industriebetriebe CO₂-Emissionszertifikate handeln können, war seit 2009 durch einen Überschuss an Emissionszertifikaten gekennzeichnet, sodass die Zertifikatpreise nahe 0 lagen.² Die EU-Kommission hat verschiedene Maßnahmen eingeleitet, um den Zertifikatüberschuss abzubauen. Unter anderem wurde ab Anfang 2018 eine Marktstabilitätsreserve aufgebaut. Zwischen 2019 und 2023 soll sich die Menge der in die Reserve eingestellten Zertifikate auf 24 % der in Umlauf befindlichen Zertifikate verdoppeln. Ab 2021 wird die Gesamtzahl der Emissionszertifikate um 2,2 % anstatt wie bisher um 1,7 % jährlich gesenkt.³ Es ist zu erwarten, dass die Maßnahmen zu einem weiteren Anstieg der Zertifikatpreise führen, sodass die THG-Vermeidungskosten in diesem Sektor mit dem größten Einsparpotenzial (BMUB 2016) als Referenzgröße (Benchmark) dienen können.
2. Die EU-Mitgliedstaaten haben vereinbart, dass die Wirtschaftssektoren, die nicht unter das EU-ETS fallen – wie Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft – ihre Emissionen als Beitrag zum Gesamtziel bis 2030 um 30 % gegenüber 2005 reduzieren müssen. In der im Mai 2018 angenommenen Lastenteilungsverordnung (EU 2018) wurden für alle Mitgliedstaaten verbindliche Jahresziele für die Reduzierung der THG-Emissionen im Zeitraum 2021–2030 festgelegt. Demnach müssen in Deutschland die betroffenen Sektoren ihre THG-Emissionen um 38 % mindern. Sofern es zur Erreichung der Minderungsziele für Nicht-EU-ETS-Sektoren wie der Landwirtschaft notwendig ist, darf in beschränktem Umfang auf THG-Emissionsgutschriften aus dem LULUCF-Sektor zurückgegriffen oder nicht benötigte Emissionsrechte in anderen Mitgliedstaaten zugekauft werden. Alle fünf Jahre erfolgt eine umfassende Überprüfung der Emissionsberichte der Mitgliedstaaten durch die EU-Kommission. Mitgliedstaaten, die keine ausreichenden Fortschritte machen, müssen geeignete Maßnahmenpläne zur Erreichung der Minderungsziele vorlegen.
3. Das in der EU-Lastenteilungsverordnung 2018/842 festgelegte Minderungsziel für Deutschland hat die Bundesregierung auf die Nicht-ETS-Sektoren in Deutschland im Rahmen des Klimaschutzplans 2050 (BMUB 2016) heruntergebrochen. Die zugeordneten Minderungsziele sollen von den Sektoren eigenverantwortlich bis 2030 erfüllt werden, wozu jeweils unterschiedliche Maßnahmen vorgeschlagen wurden. Die im Übereinkommen von Paris geforderte THG-Neutralität wird es jedoch

¹<https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/spot-market/european-emission-allowances>

²https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_de

³https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_de

zukünftig erforderlich machen, die Gestaltungsoptionen auch in diesen Sektoren in den Klimaschutzplan einzubeziehen (BMUB 2016).

4. Aufgrund der Klage der EU gegen die Bundesrepublik Deutschland hinsichtlich des Verstoßes gegen die Nitrat-Richtlinie (Richtlinie 91/676/EG des Rates) wurde das Düngerecht novelliert (Europäische Kommission 2018, 2019). Die Novellierung umfasst Änderungen im Düngegesetz, in der Düngeverordnung sowie die Ermächtigungsgrundlage für die Bilanzierung von Stoffströmen. Im Wesentlichen zielen die Änderungen auf eine bedarfsorientierte Düngung und die Einhaltung von N-Düngungsobergrenzen (Einbeziehung von Gärresten, Klärschlamm, Kompost in die $170 \text{ kg N}_{\text{org}}/\text{ha}$ – Obergrenze) (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und Bundesinformationszentrum Landwirtschaft 2018). Neben dem Ziel der Reduktion von Nitratemissionen aus der Landwirtschaft in Gewässer kann erwartet werden, dass diese Maßnahmen auch zur Reduktion von Lachgasemissionen führen werden.

6.2 Ergebnisse für den Sektor Siedlung und Verkehr

Horst Gömann

In Deutschland wurde die Siedlungs- und Verkehrsfläche im Zeitraum von 1992 bis 2005 um rund 575.000 ha auf 4,6 Mio. ha kontinuierlich ausgedehnt. Die tägliche Flächenneuanspruchnahme betrug in diesem Zeitraum im Mittel ca. 120 ha. Von 2005 bis 2015 wurde sie auf rund 65 ha pro Tag nahezu halbiert, sodass die Siedlungs- und Verkehrsfläche in diesem Zeitraum um etwa 300.000 ha auf 4,9 Mio. ha zunahm. Bei einer Fortschreibung der derzeitigen bzw. absehbaren gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wird nach den Modellprojektionen bis zum Jahr 2030 eine Zunahme um weitere ca. 200.000 ha auf rund 5,1 Mio. ha erwartet. Dabei ist von einer Abnahme der Flächenneuanspruchnahme auf etwa 45 ha pro Tag zum Ende des Projektionszeitraumes auszugehen (vgl. Abschn. 4.4). Trotz dieser sich bereits abzeichnenden sowie projizierten Abnahme der Flächenneuanspruchnahme sind demnach zusätzliche Anstrengungen erforderlich, um das „30-ha-Ziel“ der Bundesregierung zu erreichen. Darüber hinaus wird bei einer Fortschreibung der derzeitigen Rahmenbedingungen ein kontinuierlicher Flächenzuwachs des Waldes von insgesamt knapp 3 % bis 2030 angenommen, wodurch sich die Waldfläche bis 2030 von 30 auf 31 % erhöhen würde.

In der Studie wurde untersucht, in welchem Umfang und mit welchen Maßnahmen sich die Neuanspruchnahme von Flächen für Siedlung, Verkehr und Erholung reduzieren lässt und wie viel Fläche für produktive Zwecke in der Land- und Forstwirtschaft verbleibt. Nach den Ergebnissen der Wirkungsanalysen ließe sich durch eine konsequente Umsetzung von Maßnahmen, die dem Klimaschutz dienen – wie der Stärkung der Innenentwicklung, der Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau, der

Reduktion der Flächeninanspruchnahme durch Verkehr, der Stärkung des ÖPNV oder die zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten –, die Flächenneuanspruchnahme auf 20 bis 30 ha pro Tag begrenzen. Die Maßnahmen führen ferner zu einer besseren verkehrlichen Erreichbarkeit. Dies unterstützt eine Veränderung des Modal Split und kann den hohen Anteil des motorisierten Individualverkehrs und damit beträchtliche THG-Emissionen reduzieren. Im langfristig angelegten Umbau der Siedlungs-, Gebäude- und Verkehrsinfrastruktur liegt das größte THG-Einsparpotenzial, für das im Rahmen der Studie keine Vermeidungskosten beziffert werden konnten.

Auch wenn deutschlandweit betrachtet in der Klimaschutzstrategie die Flächeninanspruchnahme deutlich reduziert werden kann, ist davon auszugehen, dass es weiterhin Regionen mit hohem Flächenzuwachs gibt. Von einem weiterhin hohen Flächenzuwachs trotz der durchgeführten Maßnahmen wird im Umland der Großstädte (v. a. Hamburg, Berlin, München), im Rheinland, der Metropolregion Rhein-Neckar und im westlichen Niedersachsen (Emsland) auszugehen sein. In weiten Landesteilen Sachsens, Sachsen-Anhalts und Mecklenburg-Vorpommerns könnte aufgrund des hohen Leerstands ein Netto-Rückbau stattfinden, der entsprechend begleitet werden muss, um die bestehenden Strukturen zu stärken. In vielen kreisfreien Städten könnte die Baulandnachfrage vollständig durch Innenentwicklung befriedigt werden. Hierzu zählen viele Städte im Ruhrgebiet (z. B. Essen, Dortmund, Herne), von denen einige aufgrund des hohen Leerstands auch Netto-Rückbau betreiben könnten (z. B. Gelsenkirchen, Bochum), aber auch andere kreisfreie Städte – vor allem solche mit Bevölkerungsrückgang – könnten ihre Außenentwicklung durch Maßnahmen der Innenentwicklung, Konzentration und Entsiegelung drastisch reduzieren, wie z. B. Offenbach, Ludwigshafen, Wuppertal, Solingen, Krefeld oder Kassel.

Eine vergleichbar hohe Verringerung der täglichen Flächeninanspruchnahme ließe sich durch ein ähnliches, allerdings auf Natur- und Umweltschutz ausgerichtetes Maßnahmenbündel erzielen, wobei der restriktivere Freiraumschutz eine hohe Wirkung erzielt. Hinsichtlich des Flächensparens sind die Maßnahmen der Natur- und Umweltschutzstrategie zwar weniger restriktiv, bewirken aber dennoch eine erkennbare Verbesserung beim Erhalt von aus naturschutzfachlicher Sicht schützenswerten Räumen.

Wird ein stärkerer Fokus auf Klimaanpassung gelegt, ginge das aufgrund der dafür notwendigen Flächenerfordernisse zu Lasten einer Verringerung der Flächenneuanspruchnahme, die sich nur auf 40 ha pro Tag reduzieren ließe. Wichtige flächenrelevante Maßnahmen sind hierbei der Rückzug aus der Fläche (dezentrale Konzentration), Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen, zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten und die Stärkung des Hochwasserschutzes. Eine Auflockerung der Bebauung, die Schaffung, Sicherung und klimaeffiziente Bewirtschaftung klimarelevanter Grünflächen sowie die Erhaltung, strukturelle Verbesserung und Schaffung von Luftleitbahnen (insbesondere linearer Grün- und Wasserflächen) reduzieren den innerstädtischen Hitzeinseleffekt.

Raum-, Regional- und Bauleitplanung stärken

Für ein nachhaltiges Landnutzungsmanagement ist vor dem Hintergrund der komplexen Wechselwirkungen und Zielkonflikte zwischen und innerhalb der Landnutzungssektoren darauf hinzuwirken, verstärkt integrierte und koordinierende Planungs- und Handlungsansätze zur Anwendung zu bringen. Besondere Bedeutung kommt hier der räumlichen Gesamtplanung zu. Diese kann im Rahmen der Raumordnung sowie der Kommunalplanung dazu beitragen, die im Zuge des Klimawandels und der Energiewende zunehmenden Flächennutzungskonflikte frühzeitig zu erkennen und koordinierend auf diese einzuwirken. Zudem können auf Ebene der Landes- und Regionalplanung Klimaschutzmaßnahmen sowie Maßnahmen zur Klimaanpassung vorbereitet und entsprechende Flächen gesichert werden. Insbesondere die Raumordnung ist geeignet, entsprechende Risikovorsorge durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten und die Steuerung der Siedlungsentwicklung zu leisten.

Klimaschutzabgabe für die Flächenneuanspruchnahme einführen

Die Neuanspruchnahme von Flächen durch Siedlung und Verkehr erfolgt vor allem zu Lasten der landwirtschaftlich genutzten Fläche, sodass in Deutschland das Produktionspotenzial für Nahrungs- und Futtermittel sowie Biomasse kontinuierlich abnimmt. Infolgedessen nehmen bei unterstelltem unverändertem Konsumverhalten die Importe zu, die andernorts zu einer Erhöhung von THG-Emissionen (iLUC-Effekt) führen, es sei denn, der Rückgang der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland wird durch Steigerungen der Flächenproduktivität überkompensiert. Nach den Modellergebnissen ließen sich durch eine konsequente Umsetzung flächensparender Maßnahmen mit positiven Wirkungen sowohl auf den Klimaschutz als auch den Natur- und Umweltschutz bis zu 200.000 ha Flächenneuanspruchnahme vermeiden, die dem THG-Bilanzierungssektor Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) zuzurechnen sind.

Die direkten THG-Emissionen der Landnutzungsumwandlung belaufen sich laut UBA (2018) gemessen am impliziten Emissionsfaktor für die Landnutzungsänderung zur Kategorie Siedlungen in Deutschland im Durchschnitt auf 2,6 t CO₂-Äqu./ha (siehe auch WBAE und WBW 2016). Dem sind iLUC-Effekte in Höhe von jährlich 7 t CO₂-Äqu. je ha hinzuzurechnen. Das THG-Vermeidungspotenzial beläuft sich somit auf insgesamt rund 1,8 Mio. t CO₂-Äqu. pro Jahr (siehe auch Abschn. 4.5).

Im Bereich Siedlung und Verkehr gibt es derzeit kein Instrument, das den THG-Effekt der Neuanspruchnahme von Flächen bepreist. Angesichts der oben genannten Rahmenbedingungen, insbesondere der EU-Lastenteilungsverordnung, ist eine stärkere Berücksichtigung der nicht marktfähigen Ökosystemleistung Klimaschutz anzustreben. Aus diesem Grund wird die Etablierung eines Fonds zur Finanzierung von Klimaschutzprojekten, etwa in Anlehnung an die Funktionsweise des Waldklimafonds, angeregt. Die Erhebung einer Klimaschutzabgabe auf die Flächenneuanspruchnahme ist eine konsequente Klimaschutzmaßnahme, auch wenn ihre lenkende Wirkung auf die Inanspruchnahme von Flächen vernachlässigbar gering ausfällt.

6.3 Ergebnisse und Empfehlungen für die Landwirtschaft

Horst Gömann, Johanna Fick und Martin Henseler

Während die Landwirtschaftsfläche laut Liegenschaftskataster im Zeitraum von 1990 bis 2014 um 1,0 Mio. ha auf 18,5 Mio. ha zurückging, nahm die von landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftete landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF) lediglich um 0,5 Mio. ha auf 16,7 Mio. ha ab. Rund die Hälfte der Inanspruchnahme von Flächen für Siedlung und Verkehr sowie für den Ausgleich der dadurch bedingten Eingriffe in die Natur entfiel in der Summe auf Landwirtschaftsflächen, die nicht von landwirtschaftlichen Betrieben bewirtschaftet wurden. Über die tatsächliche Nutzung dieser Flächen liegen keine statistischen Informationen vor. Ihr Umfang reduzierte sich im genannten Zeitraum von 2,3 auf 1,8 Mio. ha.

Bis zum Jahr 2030 wird ein weiterer Rückgang der LF auf 16,5 Mio. ha projiziert. Unter Berücksichtigung der erwarteten Produktivitätsentwicklungen, Faktoreinsatzmengen und ökonomischen Rahmenbedingungen werden den Modellergebnissen zufolge die Anbauflächen von Weizen, Raps und Mais zu Lasten anderer Kulturen ausgedehnt. Es wird erwartet, dass der Viehbestand in Deutschland bei ca. 8 Mio. Großvieheinheiten (GVE) nahezu konstant bleibt, mit leichten Verschiebungen zugunsten von Schweinen und Geflügel.

Die THG-Emissionen in der Landwirtschaft verringerten sich im Zeitraum von 1990 bis 2014 um 18 % auf 72 Mio. t CO₂-Äqu. (BMUB 2016, S. 33), hauptsächlich infolge des Viehbestandsabbaus Anfang der 1990er-Jahre in den fünf östlichen Bundesländern. Nach der im RAUMIS-Modell vorgenommenen Systemabgrenzung, die von der Systematik in der nationalen THG-Berichterstattung abweicht, beliefen sich die THG-Emissionen im Basisjahr 2010 auf rund 73 Mio. t CO₂-Äqu. Im Vergleich dazu weisen WBAE und WBW (2016) für das Jahr 2010 insgesamt 62,3 Mio. t CO₂-Äqu. aus; davon 24,6 Mio. t CO₂-Äqu. (39 %) für Fermentation (CH₄), 10,2 Mio. t CO₂-Äqu. (16 %) für Düngewirtschaft (N₂O und CH₄), 24,1 Mio. t CO₂-Äqu. (39 %) für Landwirtschaftliche Böden (N₂O), 3,4 Mio. t CO₂-Äqu. (5 %) für andere CH₄-, N₂O- und CO₂-Emissionen (z. B. Kalkung, Harnstoff) (WBAE und WBW 2016, S. 19, Tab. 2.1)

Angesichts der unterstellten landwirtschaftlichen Produktionsentwicklungen bleiben die THG-Emissionen der Landwirtschaft nach den Modellergebnissen bis zum Jahr 2030 weitgehend konstant. Diese Projektionen decken sich mit den erwarteten Entwicklungen in der Thünen-Baseline 2018 (Offermann et al. 2018).

Die in der Studie hinsichtlich ihres THG-Einsparungspotenzials untersuchten wichtigsten Bereiche der landwirtschaftlichen Landnutzung sind die Nutzung organischer Böden, die Anpassung des Düngemanagements, die Substitution fossiler Energie durch Biomasse sowie die Erhaltung und Schaffung von THG-Senken. Der ebenfalls wichtige Bereich der tierhaltungsbedingten THG-Emissionen wurde im Rahmen der Studie nicht betrachtet, weil sie nur einen indirekten Einfluss über den Futterbedarf und die Nährstoffeffizienz von Wirtschaftsdüngern auf die landwirtschaftliche Landnutzung haben. Gleichwohl ist die Tierproduktion ein wesentlicher Bestandteil

des Gesamtsystems Landwirtschaft und ist bei der Ableitung zu empfehlender Handlungsoptionen für einen verstärkten Beitrag der Landwirtschaft zum Klimaschutz zu berücksichtigen.

Im Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung ist für die Landwirtschaft eine THG-Emissionsminderung auf 58–61 Mio. t CO₂-Äqu., d. h. um weitere rund 17 % gegenüber dem Jahr 2014, avisiert (BMUB 2016, S. 33). Nach den Wirkungsanalysen in dieser Studie wäre dieses Ziel durch die untersuchte klimaschutzorientierte Maßnahmenkombination einschließlich der zu berücksichtigenden iLUC-Effekte erreichbar: Eine Wiedervernässung von rund 270.000 ha landwirtschaftlich genutzter organischer Böden, eine Abgabe auf mineralischen Stickstoff zur Steigerung der Düngeneffizienz sowie die Aufforstung von rund 0,5 Mio. ha landwirtschaftlicher Grenzstandorte würden nach den Modellergebnissen die THG-Emissionen um rund 11,8 Mio. t CO₂-Äqu. verringern. Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, dass die anrechenbare THG-Emissionsreduktion, insbesondere der Abgabe auf mineralischen Stickstoff, geringer ausfällt als in der vorliegenden Studie, in der die Lachgas-Emissionen auf der Basis regionalisierter Faktoren ermittelt wurden, was derzeit nicht dem internationalen Standard der THG-Berichterstattung entspricht.

Eine vergleichbare Klimaschutzwirkung könnte ebenfalls mit einer bioenergieorientierten Landnutzungsstrategie erreicht werden, bei der der Energiemaisanbau gegenüber der Referenzprojektion im Jahr 2030 noch einmal um 1 Mio. ha ausgedehnt und auf den wiedervernässten organischen Böden zusätzlich Paludikulturen angebaut werden. Die Minderungswirkung beläuft sich auf rund 14,5 Mio. t CO₂-Äqu. Dem stehen negative Effekte auf die Nährstoffbelastung des Grundwassers, auf das Landschaftsbild und – je nach konkreter Ausgestaltung der Anbauverfahren – gegebenenfalls auch auf die Biodiversität auf landwirtschaftlichen Flächen gegenüber und deutlich höhere Vermeidungskosten je t CO₂, sodass die Gesamtbewertung dieser Strategie ambivalent und damit aus gesellschaftlicher Sicht deutlich schlechter ausfällt als die anderen untersuchten Strategien.

In einer auf Natur- und Umweltschutz orientierten Landnutzungsstrategie wurden die Auswirkungen einer Extensivierung von insgesamt 10 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche einschließlich 270.000 ha landwirtschaftlich genutzter organischer Böden analysiert. Den mit der Extensivierung vergleichsweise geringen THG-Minderungen stehen hohe iLUC-Effekte gegenüber, sodass das in der Natur- und Umweltschutzstrategie definierte Maßnahmenbündel nur bedingt geeignet ist, die Klimaschutzziele zu erreichen.

Die Bevölkerungsbefragung ergab eine deutlich positive Bewertung für die klimaschutzfokussierte sowie die natur- und umweltschutzorientierte Strategie aus gesamtgesellschaftlicher Sicht. Die erheblichen Nutzen, die in den Dimensionen Klima- und Gewässerschutz, Landschaftsbild sowie Erhaltung und Erhöhung der Biodiversität erzielt werden können, übertreffen die jeweiligen betriebswirtschaftlichen Einbußen deutlich. Würde die umwelt- und naturschutzorientierte Strategie kombiniert mit einer Vermehrung von Waldflächen und weiteren Klimaschutzmaßnahmen, die mit Natur-

schutzzielen gut zu verbinden wären (beispielsweise den Anbau von Paludikulturen auf wiedervernässten Moorflächen), ergäbe sich ein noch größerer positiver volkswirtschaftlicher Gesamteffekt – dabei wäre eine vollständige Kompensation der damit verbundenen betriebswirtschaftlichen Einbußen der landwirtschaftlichen Betriebe bereits berücksichtigt.

Aus den modellgestützten Ergebnissen lassen sich folgende Empfehlungen für klimaschutzorientierte Handlungsoptionen in der Landwirtschaft ableiten:

Landwirtschaftlich genutzte Moore standortspezifisch schützen

Auf die landwirtschaftliche Nutzung organischer Böden (Moore) entfällt ein beträchtlicher Anteil der durch die Landwirtschaft verursachten THG-Emissionen. Aufgrund des großen Potenzials auf einer vergleichsweise geringen Fläche sollten jeweils standortspezifisch Optionen geprüft werden, THG-Emissionen durch eine Anpassung der landwirtschaftlichen Flächennutzung zu mindern. Maßnahmen zum Moorschutz können in der Regel nicht von einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben umgesetzt werden, da beispielsweise die Wiedervernässung von Mooren großflächige Veränderungen der Landnutzung in einem bestimmten Gebiet erfordert. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer planerischen Begleitung derartiger Vorhaben und des Einsatzes eines gut aufeinander abgestimmten Maßnahmen- und Instrumentenbündels im regionalen und lokalen Kontext. Einzelne Schritte und Handlungsoptionen für einen standortspezifischen Moorschutz haben der WBAE und WBW in ihrem Gutachten (2016) ausführlich dargelegt.

Ein Instrument zur Finanzierung von Maßnahmen zur Wiedervernässung sind seit 2012 so genannte MoorFutures. MoorFutures sind Kohlenstoffzertifikate, die sich an internationalen Standards wie beispielsweise dem Verified Carbon Standard orientieren und für den freiwilligen Kohlenstoffmarkt entwickelt wurden. Bisher wird der freiwillige Markt von Klimaschutzprojekten aus den Bereichen Erneuerbare Energien, der Energieeffizienz sowie Aufforstung bestimmt. Ein MoorFuture entspricht der Emissionsminderung von einer Tonne CO₂-Äquivalente. MoorFutures werden aus regionalen Projekten zur Moorwiedervernässung erzeugt und sind damit eindeutig auf konkrete regionale Projekte inklusive einer freizugänglichen Dokumentation zurückzuführen. Anwendung finden MoorFutures bisher bei der Projektfinanzierung von Moorwiedervernässungen in Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein (Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern 2017).

Strukturen und Anreize zur Steigerung der Stickstoffeffizienz etablieren

Verbesserungen bei der Ausnutzung von Stickstoff in der Landwirtschaft weisen ein weiteres bedeutsames Potenzial auf, Emissionen THG-relevanter Stickstoffverbindungen zu vermeiden. Diesbezüglich weist der Klimaschutz Parallelen und gemeinsame Ziele zum Wasserschutz auf. Durch die Steigerung der N-Effizienz mit den dargelegten Maßnahmen kann der N-Einsatz in der Landwirtschaft deutlich gesenkt werden. Die damit einhergehende Minderung der THG-Emissionen wird dem landwirtschaftlichen Sektor angerechnet. Die im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes

geltenden gesetzlichen Rahmenbedingungen sollten wie folgt zu einem umfassenderen System weiterentwickelt werden, in dem Anreize zur Steigerung der N-Effizienz in der Landwirtschaft implementiert werden und ihre volle Wirkung entfalten können.

Weiterentwicklung der Düngegesetzgebung

Die EU-Nitratrictlinie (EU 1991) zur Vermeidung des Eintrags von Nitrat in Gewässer aus landwirtschaftlichen Quellen wird in Deutschland insbesondere durch die Düngeverordnung (DüV) umgesetzt. Die EU-Kommission hat im Jahr 2016 gegen Deutschland ein Vertragsverletzungsverfahren eingeleitet wegen unzureichender Umsetzung der Nitratrictlinie. In diesem Zusammenhang traten in Deutschland nach einer Änderung des Düngegesetzes im April 2017 eine novellierte Düngeverordnung im Juni 2017 und eine Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) im Januar 2018 in Kraft. In der novellierten DüV wurden Kontrollwerte für die Düngung mit organischen Stickstoffdüngern (z. B. Wirtschaftsdünger und Gärreste pflanzlichen Ursprungs) sowie maximale N-Überschüsse verschärft. Eine indirekte Verschärfung resultiert aus der Absenkung einiger Pauschalwerte für N-Verluste, beispielsweise im Stall oder bei der Lagerung und Ausbringung von organischen Düngern, die gemäß DüV bei der Bilanzierung des betrieblichen N-Überschusses (Feld-Stall-Bilanz) abgezogen werden können. Zusätzlich sind landwirtschaftliche Betriebe ab einem gewissen Viehbestand verpflichtet, eine Stoffstrombilanz (Hoforbilanz) gemäß StoffBilV zu erstellen.

Die Vorgaben der DüV (2017) lassen einen Rückgang der N-Überschüsse erwarten, was zugleich eine gewisse Minderung der THG-Emissionen bewirkt. Darüber hinaus bestehen in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit Blick auf den Klimaschutz kaum Anreize, stickstoffbürtige THG-Emissionen zu verringern, sofern er die gesetzlichen Standards der DüV einhält.

Daher sollten die nach DüV und StoffBilV vorgeschriebene Feld-Stall- bzw. Hoforbilanz zu einem betrieblichen Nährstoffmanagementsystem zusammengeführt werden, nicht zuletzt, um Probleme – vor allem im Vollzug – zu vermeiden, die die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Bewertungssysteme mit sich bringen. Wie bei der Stoffstrombilanz sollten sämtliche Nährstoffimporte (z. B. in Futter- und Düngemitteln) den Nährstoffexporten (z. B. in pflanzlichen und tierischen Produkten, aber auch Wirtschaftsdüngern) ohne Berücksichtigung pauschaler Verluste gegenübergestellt werden. In die erforderliche Dokumentationspflicht der landwirtschaftlichen Betriebe⁴ über die Stoffströme sollte der vor- und nachgelagerte Bereich der Landwirtschaft (z. B. Landhandel)

⁴Betriebe, die überregional transportierte Wirtschaftsdünger aufnehmen, müssen dies gemäß der Verordnung über das Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger (WDüngV) in einer Datenbank melden. In einigen Bundesländern bestehen zusätzlich Landesverordnungen, die wirtschaftsdüngerabgebende Betriebe verpflichten, die an andere Betriebe abgegebenen Nährstoffmengen in einer zentralen Datenbank zu melden.

wie in Dänemark und den Niederlanden⁵ einbezogen werden. Einzuhaltende Kontrollwerte (Mindeststandards) sind so festzulegen, dass sie den Vorgaben der derzeitigen Düngegesetzgebung entsprechen. Überschreitungen der Kontrollwerte sollten als „Cross Compliance“-relevante Verstöße im Rahmen eines Ordnungswidrigkeitsverfahrens geahndet werden, was mit einer Abgabe auf den N-Überschuss vergleichbar ist. Um Ziele des Klima- bzw. Gewässerschutzes zu erreichen, können die Kontrollwerte kontinuierlich gesenkt werden. Bezüglich der detaillierten, praxistauglichen Ausgestaltung eines umfassenden Nährstoffmanagementsystems besteht Forschungsbedarf.

Im Rahmen des Nährstoffmanagementsystems können landwirtschaftliche Betriebe die erforderlichen N-Effizienzverbesserungen betriebsspezifisch erzielen, beispielsweise durch Anpassung der Fütterung, Investitionen in Wirtschaftsdüngerlager und deren Abdeckung⁶ sowie den Einsatz von Nitrifikationshemmern oder bodennahe, sensorgestützte Ausbringungstechnologien für Wirtschaftsdünger. In den letzten Jahren wurden Investitionen in derartige Technologien in einigen Bundesländern durch Fördermaßnahmen flankiert. Die daraus resultierenden N-Effizienzverbesserungen lassen sich im derzeit bestehenden System jedoch nur unzureichend darstellen. Um Anreize zur Minderung des N-Einsatzes über den gesetzlichen Standard hinaus zu schaffen, sollte eine Förderung durch eine Agrarumwelt- und Klimamaßnahme in Erwägung gezogen werden.

Abgabe auf mineralischen Stickstoffdünger

Die Wirkungen einer Verteuerung des Einsatzes mineralischer Stickstoffdüngemittel durch eine Abgabe lassen sich durch die Modellanalysen größenordnungsmäßig abschätzen. Das in der vorliegenden Studie verwendete RAUMIS-Modell simuliert die Düngung auf der Basis flexibel kalibrierbarer Produktionsfunktionen, die aus Düngungsversuchen abgeleitet wurden (Weingarten 1996; vgl. Abschn. 4.5.2.2). Die Verteuerung des Einsatzes mineralischen Stickstoffs um 40 % führt nach den Modellergebnissen zu einem Rückgang der Einsatzmenge um 12 %. Aufgrund der geringen Eigenpreiselastizität (rund $-0,3$) wäre eine deutlich höhere Abgabe auf mineralischen Stickstoff erforderlich, um substantielle Reduktionen seines Einsatzes zu erzielen. Das würde in erster Linie Betriebe in Ackerbauregionen betreffen, die den verteuerten Mineralstickstoff nicht durch eine effizientere Nutzung von Wirtschaftsdünger, der in den Regionen in geringem Umfang anfällt, substituieren können.

⁵In den Niederlanden müssen Landhändler, landwirtschaftliche Betriebe sowie Verarbeitungsunternehmen in die zentrale Datenbank „Kringloopwijzer“ melden.

⁶Lagerkapazitäten müssen die Anforderungen an Jauche-, Gülle- und Silagesickersaftanlagen der Anlage 7 der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) genügen, die im August 2017 in Kraft trat.

Das Düngungsverhalten wird in der Praxis durch weitere Faktoren determiniert, vor allem durch risikoaverses Verhalten der landwirtschaftlichen Betriebe (Isermeyer 1992). Angesichts der stark vom Witterungsverlauf abhängigen Pflanzenverfügbarkeit des in Wirtschaftsdüngern gebundenen Stickstoffs erfolgen zum Teil beträchtliche Sicherheitsaufschläge mit mineralischem Stickstoff, auch und gerade in Betrieben mit hohem Wirtschaftsdüngeranfall (LWK NRW 2017). Weitere Ursachen für einen zu hohen mineralischen Stickstoffeinsatz dürften in einer Überschätzung des Ertragspotenzials sowie in einer Unterschätzung der mit Hilfe bodennaher Ausbringungstechniken deutlich höheren Wirksamkeit und Pflanzenverfügbarkeit organischer Dünger liegen.

Vor diesem Hintergrund ist die sukzessive Einführung einer moderaten Abgabe bis 40 % auf den Einsatz mineralischen Stickstoffs eine sinnvolle Maßnahme. So haben sich auch WBAE und WbW (2016) für die Einführung einer Mineralstickstoffabgabe ausgesprochen, wenn die Verschärfung des Düngerechts bis 2020 keine hinreichende Verringerung der Nitratüberschüsse bewirkt, um die oben dargelegte Weiterentwicklung der Düngegesetzgebung zu ergänzen. Viele Betriebe würden zunächst den Sicherheitsaufschlag neu bewerten, dessen Verringerung keine signifikanten Ertragseinbußen erwarten lässt. Ferner steigt durch die Mineralstickstoffabgabe gleichzeitig der Wert des im Wirtschaftsdünger enthaltenen Stickstoffs, sodass ein höherer Anreiz besteht, diesen effizienter einzusetzen. Die durch die Abgabe vereinnahmten Mittel könnten eingesetzt werden, um sie als Direktzahlungsaufschlag produktionsneutral an die Landwirtschaft zu erstatten, gezielt zur Förderung N-effizienter Technologien einzusetzen oder Betriebe zu honorieren, deren Nährstoffüberschüsse (deutlich) unterhalb der gesetzlichen Standards liegen.

Entwicklung einer zertifizierungsfähigen, betrieblichen THG-Bilanzierung

Tatsächliche landnutzungsbedingte THG-Emissionen sind im Sektor Landwirtschaft aufgrund der vielfältigen, von natürlichen Faktoren abhängigen Produktionsprozesse in der Praxis nicht quantifizierbar. Aus diesem Grund werden in der nationalen THG-Inventarberechnung für die Landwirtschaft nur die in den einschlägigen internationalen Regelwerken vorgegebenen, teilweise sehr einfachen Methoden verwendet (Haenel et al. 2018). Darüber hinaus liegen auf sektoraler Ebene für viele THG-Emissionsquellen keine belastbaren Daten vor. Beispielsweise wird in der nationalen Inventarberechnung die Annahme der bedarfsgerechten Tierfütterung getroffen (Haenel et al. 2018). Anpassungen der tatsächlichen Fütterung, einschließlich der Verringerung von Futtermitteln, wirken sich somit nicht auf die nationalen THG-Emissionen des Sektors Landwirtschaft aus.

Anders als für Unternehmen, die am EU-ETS teilnehmen, existiert für landwirtschaftliche Betriebe derzeit kein systematischer Rahmen, der zur Honorierung der Umsetzung betriebsindividueller Klimaschutzmaßnahmen genutzt werden könnte. Aus diesem Grund sollte eine zertifizierungsfähige Methodik zur THG-Bilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe entwickelt werden. Als eine Grundlage hierfür kann der von einer bundesweiten Arbeitsgruppe entwickelte Berechnungsstandard für einzelbetrieb-

liche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft verwendet werden (Effenberger et al. 2016). Ein großer Teil der für eine einzelbetriebliche THG-Bilanzierung erforderlichen Informationen und Daten ist im Rahmen der Düngegesetzgebung zu dokumentieren. Der Schwerpunkt der einzelbetrieblichen Bewertung liegt weniger auf den absoluten Veränderungen der THG-Emissionen, sondern auf den THG-Emissionen je Produkteinheit.

Die der Landwirtschaft nachgelagerten Unternehmen der Ernährungsindustrie sowie des Groß- und Einzelhandels haben zunehmend höhere Anforderungen an die Nachhaltigkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Die Auflagen reichen beispielsweise von deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten festgelegten Höchststückstandsmengen von Pflanzenschutzmitteln in den Produkten bis hin zur Etablierung der Berechnung von CO₂-Fußabdrücken je Produkteinheit. In der Regel wird das Erreichen definierter Nachhaltigkeitsziele durch Anreizkomponenten gefördert bzw. das Nichteinhalten festgelegter Standardqualitäten durch Preisabschläge sanktioniert. Die steigenden Anforderungen von Unternehmen des nachgelagerten Bereichs erfordern von den landwirtschaftlichen Betrieben zunehmende Dokumentationen. Es sollte geprüft werden, inwiefern eine einzelbetriebliche THG-Bilanzierung auch im Rahmen von AUKM genutzt und mit einer Anreizkomponente für klimaschützendes Verhalten gekoppelt werden kann. Auf diese Weise könnte die Klimaschutzwirkung vieler Natur- und Umweltschutzmaßnahmen mit bewertet und honoriert werden.

Literatur

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016) Klimaschutzplan 2050 – Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. www.bmub.bund.de. Zugegriffen: 12. März 2018
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) und Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (2018) Die neue Düngeverordnung. ISBN 978-3-8308-1323-1
- Effenberger M, Gödeke K, Grebe S, Haenel HD, Hansen A, Häußermann U, Kätsch S, Lasar A, Nyfeler-Brunner A, Osterburg B, Paffrath P, Poddey E, Schmid H, Schraml M, Wulf S, Zerhusen B (2016) Berechnungsstandard für einzelbetriebliche Klimabilanzen (BEK) in der Landwirtschaft. Herausgeber. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt. https://www.ktbl.de/fileadmin/user_upload/Allgemeines/Download/BEK/Handbuch.pdf. Zugegriffen: 20. März 2019
- Europäische Kommission (2019) Nitrat im Grundwasser: Kommission mahnt Deutschland zur Umsetzung des EuGH-Urteils. https://ec.europa.eu/germany/news/20190725-nitrat_de. Zugegriffen: 15. Dez. 2019
- Europäische Kommission (2018) Wasserverschmutzung: Kommission fordert DEUTSCHLAND zur Umsetzung des Urteils wegen Verstoßes gegen EU-Nitratvorschriften auf. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/INF_19_4251 Zugegriffen: 15. Dez. 2019
- EU (1991) Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen
- EU (2018) Verordnung (EU) 2018/842 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks

- Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013. Amtsblatt der Europäischen Union. L 156/26 vom 19.06.2018
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Döring U, Wulf S, Eurich-Menden B, Freibauer A, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (2018) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2016: Report on methods and data (RMD) submission 2018. Thünen Rep 57:424. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut
- Isermeyer F (1992) Optimaler Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft aus betriebswirtschaftlicher und volkswirtschaftlicher Sicht. Landbauforschung Völkenrode 132:5–20
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (LWK NRW) (2017) Nährstoffbericht 2017 über Wirtschaftsdünger und andere organische Düngemittel für Nordrhein-Westfalen. Erstellt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/ackerbau/pdf/naehrstoffbericht-2017.pdf>. Zugegriffen: 20. März 2019
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (2017) Der MoorFutures Standard. Verantwortlich: Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern (Abteilung 2) und die Arbeitsgruppe MoorFutures der Länder Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Schleswig-Holstein gemeinsam mit dem Wissenschaftlichen Beirat MoorFutures. <https://www.moorfutures.de/downloads/>. Zugegriffen: 06. Sept. 2019
- Offermann F, Banse M, Freund F, Haß M, Kreins P, Laquai V, Osterburg B, Pelikan J, Rösemann C, Salamon P (2018) Thünen-Baseline 2017–2027: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Thünen Rep 56:116. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig
- Umweltbundesamt (UBA) (2018) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2016. Umweltbundesamt – UNFCCC-Submission
- Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz beim BMEL (WBAE) und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (WBW) (2016) Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten, Berlin

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.





Sarah Baum, Peter Elsasser, Nils Ermisch, Roland Goetzke, Martin Henseler, Jana Hoymann, Peter Kreins und Priska Weller

Inhaltsverzeichnis

7.1	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Siedlung und Verkehr	435
7.2	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Landwirtschaft	445
7.3	Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Forstwirtschaft	451
7.3.1	Maßnahmenvarianten – Sektor: Forstwirtschaft	456

7.1 Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Siedlung und Verkehr

Roland Goetzke und Jana Hoymann

P. Elsasser (✉) · N. Ermisch · P. Weller
Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie,
Hamburg-Bergedorf, Deutschland
E-Mail: cc-landstrad@thuenen.de

S. Baum · M. Henseler · P. Kreins
Thünen-Institut für Ländliche Räume, Braunschweig, Deutschland

R. Goetzke · J. Hoymann
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und
Raumordnung, Bonn, Deutschland

Tab. 7.1 Maßnahmensteckbrief: Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Erhalt und Entwicklung innerstädtischer Freiflächen				
Ziel(e)	<p>Adaption: Thermische Entlastung von Städten bei einer erwarteten Zunahme an Hitzetagen, Erhöhung des natürlichen Wasserrückhalts und der Grundwasserneubildungsrate, Stärkung der Erholungsfunktion durch innerstädtische Grünflächen vor allem in Großstadregionen, Verbesserung der Erreichbarkeit innerstädtischer Grün- und Erholungsflächen.</p> <p>Mitigation: Schaffung von Freiraum für CO₂-Speicher, höhere CO₂-Sequestrierung in städtischen Grünanlagen im Vergleich zu landwirtschaftlicher Nutzung.</p> <p>Natur-/Umweltschutz: Biodiversität im Stadtraum, bessere Luftqualität</p>			
Beschreibung	<p>Innerörtliche Freiflächen dienen als Frischluftschneisen und Kaltluftentstehungsgebiete zur Minderung des Hitzeinseleffekts und zur besseren Auskühlung in der Nacht, vor allem in größeren Städten. Außerdem fungieren sie als Versickerungsflächen bei Starkregenereignissen. So kann angepasst auf die Auswirkungen des Klimawandels reagiert werden.</p> <p>Durch eine verbesserte Versorgung mit und Erreichbarkeit von Grün- und Freiflächen innerhalb des Siedlungsraums und zwischen Siedlungsräumen werden zudem die Erholungsmöglichkeiten im Stadtraum verbessert. Dabei werden bestehende innerstädtische Grün- und Erholungsflächen gesichert, im Neubau eine gezielte Grünplanung berücksichtigt sowie neue innerstädtische Grünflächen geschaffen (z. B. auf Brachen). Darüber hinaus findet ein Rückbau klimaanpassungsrelevanter Baukörper und gezielte Entsiegelung statt</p>			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	+		+	+++
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Bestehende innerstädtische Grünflächen bleiben erhalten: höherer Aufwand zur Bebauung von Grün- und Erholungsflächen, Reduzierung der Nachverdichtungsrate im Vergleich zur Baseline • Freiraum- und Grünplanung im Neubau: Berücksichtigung von Luftaustauschkorridoren und ausreichender Grünflächen • Erhalt stadtreionaler Freiraumfunktionen und grüner/blauer Strukturen: Stärkung raumplanerischer Instrumente (z. B. Regionale Grünzüge), Stärkung der kommunalen Landschaftsplanung • Schaffung neuer innerstädtischer Grünflächen (v. a. auf Brachen): Erhöhung der Erholungsfläche je Einwohner, Verbesserung der Erreichbarkeit von Erholungsflächen • Rückbau, Entsiegelung und Konzentration gebauter Strukturen: Rückbau in Kreisen mit hohen Leerstandsquoten und Bevölkerungsrückgang 			

Tab. 7.2 Maßnahmensteckbrief: Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Ausschöpfung baulicher Dichte im Neubau				
Ziel(e)	Mitigation: Reduktion der Neuinanspruchnahme von Flächen durch Siedlung und Verkehr durch kompakte und flächensparende Bauweise			
Beschreibung	Die Bauleitplanung legt bauliche Dichten für Neubaugebiete fest. Diese werden jedoch oft nicht ausgeschöpft, sodass mehr Fläche in Anspruch genommen wird, als nötig wäre. Die Maßnahme zielt darauf ab, die maximalen Baudichten im Außenbereich/Neubau zu erzielen. Dabei wird jedoch berücksichtigt, ob das Erreichen der Obergrenze der baulichen Nutzung städtebaulich sinnvoll ist. Wo dies nicht der Fall ist (z. B. im ländlichen Raum), wird die bauliche Dichte zumindest im Vergleich zum Status quo erhöht			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	++		+	±
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Reduzierung der Siedlungsflächennachfrage durch Erhöhung der baulichen Dichte. Dafür wird aus den projizierten fertiggestellten Wohnungen und der Siedlungsflächenentwicklung ein Geschossflächenindex berechnet. In Kreisen, in denen dieser Index für neue Siedlungsgebiete unterdurchschnittlich ist (im Vergleich zu anderen Kreisen mit gleicher Siedlungsstruktur), wird er angehoben und somit weniger Fläche in Anspruch genommen			

Tab. 7.3 Maßnahmensteckbrief: Stärkung der Innenentwicklung. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Stärkung der Innenentwicklung				
Ziel(e)	Mitigation: Durch Mobilisierung und Revitalisierung von Brachflächen und weiterer Innenentwicklungspotenziale soll die tägliche Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsfläche bei gleichzeitiger Befriedigung der Baulandnachfrage reduziert werden. Die Siedlungsflächenentwicklung wird auf den Bestand ausgerichtet, anstatt das Baulandangebot auf bisher nicht baulich genutzte Flächen im Außenbereich auszuweiten. Der Leitgedanke ist dabei „die Stadt der kurzen Wege“			
Beschreibung	Trotz erheblicher Reserven im Bestand (Brachflächen, Baulücken, Leerstände, Nachverdichtungsmöglichkeiten) finden weiterhin neue Baulandausweisungen statt. In der Nutzung von Innenentwicklungspotenzialen wird die beste Möglichkeit zu einer flächensparenden Siedlungsentwicklung gesehen. Dies eröffnet zudem Möglichkeiten der effizienteren Nutzung von technischen und sozialen Infrastrukturen. Das Flächenpotenzial wird auf ca. 120.000 bis 165.000 ha geschätzt. Die Revitalisierung von Brachflächen ist in der Praxis häufig schwierig, da teils hohe Sanierungs- und Erschließungskosten entstehen. Weitere Möglichkeiten der Innenentwicklung sind die Aufstockung von Gebäuden und die Schließung von Baulücken. Auch diese Verfahren führen zu einer erhöhten Siedlungsdichte und einer Reduktion der Flächenneuanspruchnahme. Auch die Nutzung von Leerständen reduziert die Flächenneuanspruchnahme. Oft ist allerdings eine Sanierung oder ein Umbau notwendig, um diese Immobilien wieder attraktiv für den Markt zu gestalten			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	+++		++	±
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Mobilisierung von Brachflächen und Baulücken (Flächenrecycling): Die Umwandlung von Brachflächen in Gebäude- und Freifläche wird erleichtert, die Möglichkeit der Umwandlung von innerstädtischen Grünflächen in Gebäude- und Freifläche wird moderat erhöht, ein Teil der Flächennachfrage wird durch vorhandene Brachflächen und Baulücken (Quelle: IEP-Erhebung des BBSR) gedeckt • Wiedernutzung von Leerständen: Nutzung von Leerständen verringert die Baulandnachfrage • Nachverdichtung im Bestand: Je nach derzeitiger baulicher Dichte wird diese moderat angehoben und damit die Siedlungsflächennachfrage reduziert 			

Tab. 7.4 Maßnahmensteckbrief: Stärkung des ÖPNV. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Stärkung des ÖPNV				
Ziel(e)	Mitigation: Reduktion des MIV sowie Förderung des ÖPNV zur Reduktion des Verkehrsaufkommens und der CO ₂ -Emissionen; kompakte, effiziente und an Knotenpunkten des ÖPNV ausgerichtete Siedlungsentwicklung; Verbesserung der Erreichbarkeit von sozialer Infrastruktur und zentralen Orten durch den ÖPNV			
Beschreibung	Der Straßenverkehr ist für 16 % der deutschen CO ₂ -Emissionen verantwortlich. Mobilitätsentscheidungen können das Siedlungsmuster beeinflussen und umgekehrt. Durch eine aktive Veränderung des Modal Split und eine Ausrichtung der Siedlungsentwicklung auf ÖPNV-Knotenpunkte mit höherer baulicher Dichte ließe sich ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der CO ₂ -Emissionen leisten. Eine Veränderung des Modal Split ließe sich durch gesonderte Bus- und Bahnspuren, Erreichbarkeitsnachweise des ÖPNV bei der Baulandausweisung oder Vorrangschaltung für ÖPNV an Ampeln erreichen. Eine hohe bauliche Dichte um ÖPNV-Knotenpunkte vermindert die Fahrten mit dem Auto			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	+++		+	0
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der ÖPNV-Erreichbarkeit von ober- und mittelzentralen Orten und stärkere Gewichtung dieser Erreichbarkeit bei der Siedlungsflächenentwicklung • Erhöhung der Bedeutung von Dichte für die Wohnstandortwahl (stärkere Konzentrierung und daher kürzere Wege und verbesserte ÖPNV-Auslastung) 			

Tab. 7.5 Maßnahmensteckbrief: Reduktion Flächeninanspruchnahme durch Verkehr. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Reduktion Flächeninanspruchnahme durch Verkehr				
Ziel(e)	Mitigation: Reduzierung des Verkehrsflächenbedarfs und Reduktion von CO ₂ -Emissionen Adaption: Rückgang der Versiegelung und dadurch Verbesserung des Wasserrückhalts in der Fläche und Reduzierung des Wärmeinseleffekts Natur-/Umweltschutz: Verminderung der Landschaftszerschneidung, Verbesserung der Luftqualität, Verringerung von Lärmemissionen			
Beschreibung	Trotz rückläufiger Flächeninanspruchnahme ist die Verkehrsflächenentwicklung weiterhin auf hohem Niveau. Die Zunahme an Verkehrsflächen hat erhebliche Folgewirkungen für Natur und Umwelt durch die Zerschneidungswirkung der Trassen und die Zunahme von Lärm- und Schadstoffemissionen. Eine Reduktion des innerstädtischen Flächenbedarfs durch den MIV kann zu einer Verbesserung der Luftqualität führen. Dafür kommen Instrumente wie gezielter Rückbau von Straßen, Einrichten von Fußgängerzonen und Fahrradstraßen, Maut, Reduzierung des Parkraums oder Parkraumbewirtschaftung in Frage. In ländlichen Räumen können nicht genutzte Bahntrassen rückgebaut werden, um das Verbundsystem von Freiraum und Biotopen zu stärken (Umweltschutz, Wasserhaushalt). Siedlungsflächenenerweiterungen konzentrieren sich an leistungsfähigen Verkehrs- und Infrastrukturorten und -trassen			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	++		++	+
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau nicht mehr genutzter Infrastruktur: Rückbau von Bahntrassen, Straßen und anderer Verkehrsinfrastruktur, Umnutzung stillgelegter Flughäfen • Konzentration auf Erhalt und Ausbau statt neuer Trassen: Rückläufige Umsetzung neuer Verkehrsinfrastrukturprojekte, Vermeidung zusätzlicher Verkehrsprojekte in unzerschnittenen verkehrsarmen Räumen • Reduzierung des innerstädtischen Flächenbedarfs für Verkehrsflächen: Reduzierung des Ausbaus innerstädtischer Verkehrsflächen und Rückbau unterausgelasteter Verkehrsflächen in Regionen mit rückläufigem Verkehrsaufkommen • Konzentrierte Siedlungsflächenentwicklung an leistungsfähigen Verkehrs- und Infrastrukturorten/-trassen: Erhöhte Eignung für Siedlungsentwicklung in Gebieten mit guter verkehrlicher Erreichbarkeit (Autobahnanschlüsse, Fernbahnhöfe, Flughäfen) 			

Tab. 7.6 Maßnahmensteckbrief: Rückzug aus der Fläche (dezentrale Konzentration). (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Rückzug aus der Fläche (dezentrale Konzentration)				
Ziel(e)	Wiederherstellung von Freiraum, effiziente Siedlungsstruktur und Infrastrukturnutzung			
Beschreibung	In stark schrumpfenden ländlich-peripheren Regionen wird es zunehmend schwieriger, die Daseinsvorsorge aufrecht zu erhalten und die Infrastruktur instand zu halten. In dieser Maßnahme findet Rückbau im ländlich-peripheren Raum und Renaturierung der Siedlungs- und Verkehrsflächen statt. Dies hat eine Konzentration der Funktionen für die Daseinsvorsorge zur Folge mit einer Stärkung eines ggf. ausgedünnten Zentrale-Orte-Systems (dezentrale Konzentration). Diese Maßnahme kommt auch in den Gebieten in Frage, in denen vermehrt mit Naturkatastrophen mit erheblichem Schadenspotenzial zu rechnen ist, sodass die volkswirtschaftliche Effizienz nicht mehr gegeben ist			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	++±		++	++
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Dezentrale Konzentration: Konzentration der Siedlungsentwicklung auf mittel- und oberzentrale Orte (ohne Unterzentren mit Teilfunktionen von Mittelzentren), Stärkung der Mittelzentren im Randbereich von Großstadregionen • Rückbau in peripheren ländlichen Regionen mit Schrumpfungstendenzen: Rückbau von Gebäude- und Freifläche in ländlichen Kreisen mit hohen Leerstandsquoten (dabei findet eine Gewichtung nach siedlungsstrukturellen Kreistypen, Grad der Schrumpfung und Ost/West statt), Senken der Kosten für Rückbau; räumliche Differenzierung des Rückbaus nach Gemeinden (da in einigen Kreisen sowohl ländlich-periphere als auch verstärkte Gemeinden liegen); höhere Gewichtung des Rückbaus in Gebieten mit erhöhtem Schadenspotenzial (z. B. Hochwasser) 			

Tab. 7.7 Maßnahmensteckbrief: Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (Festlegung von Gebietstypen/Gefährdungsbereichen). (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Zusätzliche Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten (Festlegung von Gebietstypen/Gefährdungsbereichen)				
Ziel(e)	<p>Adaption: Schutz von Gebieten, die durch Naturereignisse gefährdet sind (überschwemmungsgefährdete, lawinengefährdete Gebiete); Vermeidung von Auswirkungen eines Naturereignisses (Retentionsflächen);</p> <p>Mitigation: Schutz und Bereitstellung von Flächen für die Erzeugung erneuerbarer Energien (Windkraft und Photovoltaik);</p> <p>Natur-/Umweltschutz: Beschränkung von Nutzungsintensitäten, Freiraumschutz</p>			
Beschreibung	<p>Folgen des Klimawandels können vermehrt auftretende Extremwetterereignisse sein, die ein hohes Schadenspotenzial besitzen. Zwei Handlungsansätze sind das Freihalten von Flächen von bestimmten Nutzungen und die Bestimmung verschiedener Nutzungsintensitäten. Dafür stehen Instrumente der Regionalplanung zur Verfügung, welche verschiedene Gebietstypen definieren. Da Klimafolgen auf sehr unterschiedliche Regionen treffen, müssen die Auswirkungen des Klimawandels raumspezifisch differenziert betrachtet werden.</p> <p>Umsetzung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für den Ausbau erneuerbarer Energien zur effizienten Nutzung erneuerbarer Energieträger.</p> <p>Konsequente Umsetzung der Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für ihre vorgesehenen Nutzungen. Dadurch ergeben sich standortsteuernde Effekte, die eine Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsflächen in bestimmte Gebiete verhindern, zum Naturschutz beitragen oder z. B. den Wasserrückhalt in der Fläche ermöglichen</p>			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	++		++	++
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Stärkung des Freiraumschutzes: Regionalplanung stärkt Klimafunktionen der Landschaft und unterstützt Naturschutz, indem bestehende Vorbehaltsgebiete in Vorranggebiete aufgewertet werden • Schutz der natürlichen Bodenfunktion durch Raumordnungsgebiete: Grundwasserschutz, Bodenschutz, hohes natürliches Ertragspotenzial, hoher Kohlenstoffgehalt im Oberboden • Neue Vorrang- und Vorbehaltsgebiete zum Schutz vor Naturgefahren (Hangrutschungen) • Erweiterung Vorrang- und Vorbehaltsgebiete für erneuerbare Energien (Windenergie) 			

Tab. 7.8 Maßnahmensteckbrief: Hochwasserschutz (Festlegung von Gebietstypen/Gefährdungsbereichen). (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Hochwasserschutz (Festlegung von Gebietstypen/Gefährdungsbereichen)				
Ziel(e)	Adaption: Schutz von überschwemmungsgefährdeten Gebieten bei extremen Hochwässern			
Beschreibung	<p>Folgen des Klimawandels können vermehrt auftretende Extremwetterereignisse sein, die ein hohes Schadenspotenzial besitzen. Zwei Handlungsansätze sind das Freihalten von Flächen von bestimmten Nutzungen und die Bestimmung verschiedener Nutzungsintensitäten. Dafür stehen Instrumente der Regionalplanung zur Verfügung, welche verschiedene Gebietstypen definieren.</p> <p>Verbesserung des vorsorgenden Hochwasserschutzes durch Stärkung des raumordnerischen Instrumentariums und vermehrte Berücksichtigung von extremen Hochwasserereignissen als Vorrang- und Vorbehaltsgebiete.</p> <p>Bei konsequenter Umsetzung ergeben sich standortsteuernde Effekte, welche die Siedlungsdynamik in hochwassergefährdeten Gebieten reduzieren (Vorgaben zum hochwasserangepassten Bauen, Information und Kommunikation)</p>			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	0		0	+++
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Gewichtung bestehender Vorranggebiete zum Hochwasserschutz • Aufwertung von Vorbehaltsgebieten zu Vorranggebieten des Hochwasserschutzes • Konsequente Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie und Berücksichtigung von extremen Hochwasserereignissen als Vorranggebiete 			

Tab. 7.9 Maßnahmensteckbrief: Restriktiverer Freiraumschutz. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Restriktiverer Freiraumschutz				
Ziel(e)	Natur-/Umweltschutz: Erweiterung der Schutzgebietskulisse und Erweiterung der Steuerungsfunktion naturschutzpolitischer Instrumente in Bezug auf das Schutzgut Boden Mitigation: Erhalt und Erweiterung von Kohlenstoffsinken			
Beschreibung	Schutzgebietsausweisungen können standortsteuernd auf die Flächeninanspruchnahme einwirken. Bei Naturschutzgebieten ist das der Fall. Die meisten Schutzgebietskategorien weisen jedoch keinen unmittelbaren Bezug zum Schutzgut Boden auf. In Landschaftsschutzgebieten können z. B. Ausnahmegenehmigungen für Bauvorhaben erteilt werden. In der Folge wird das Potenzial von Schutzgebietsausweisungen in Bezug auf das Schutzgut Boden nicht ausgeschöpft. In der Maßnahme werden naturschutzrechtliche Restriktionen erhöht, die Regionalplanung zum Schutz von Natur und Landschaft gestärkt sowie die Schutzgebietskulisse vergrößert			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	+		+++	0
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung des Schutzstatus: Strengere standortsteuernde Wirkung von Landschaftsschutzgebieten, Natura 2000-Gebieten, Ramsar-Gebieten und Biosphärenreservaten (strengere Zonierung) • Stärkung der Regionalplanung zum Schutz von Natur und Landschaft: Vorbehaltsgebiete werden wie Vorranggebiete behandelt, die Funktionen regionaler Grünzüge werden gestärkt • Einführung einer Pufferzone um bestehende Schutzgebiete: Naturschutzgebiete und Nationalparke erhalten eine Pufferzone von 100 m, in der mindestens die Steuerungswirkung von Landschaftsschutzgebieten herrscht 			

Tab. 7.10 Maßnahmensteckbrief: Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen. (Quelle: J. Hoymann und R. Goetzke)

Energieerzeugung auf für Siedlungszwecke ungeeigneten nicht-agrarischen Flächen				
Ziel(e)	Mitigation: Ausbau erneuerbarer Energien vorrangig auf Flächen, die weder für landwirtschaftliche Nutzung noch für Siedlungsentwicklung geeignet sind, um den Nutzungsdruck auf landwirtschaftliche Flächen zu reduzieren			
Beschreibung	Der Umbau der Energieerzeugung und -versorgung generiert einen erheblichen Flächenbedarf, der die bestehenden Flächenkonkurrenzen verstärkt. Daher werden in der Maßnahme Freiflächen-Solaranlagen bevorzugt auf Deponien, Altlastenstandorten und Konversionsflächen angelegt. Sie können den Nachfragedruck für die Energieerzeugung auf landwirtschaftlichen Flächen verringern			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	<i>Biomasse</i>	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
	++		0	0
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Die Maßnahme wird nicht modelliert, es findet lediglich eine Abschätzung der Potenziale statt			

7.2 Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Landwirtschaft

Sarah Baum, Martin Henseler und Peter Kreins

Tab. 7.11 Maßnahmensteckbrief: Wiedervernässung von Mooren. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Wiedervernässung von Mooren				
Ziel(e)	Anhebung des Wasserstandes zur langfristigen Senkung von THG-Emissionen aus organischen Böden			
Beschreibung	Die landwirtschaftliche Nutzung von Mooren geht meist mit einer Wasserstandsregulierung einher, wobei es zu hohen THG-Emissionen auf vergleichsweise geringen Flächen kommt. Ein mittlerer Jahreswasserstand von 10 cm unter Flur ist aus Klimaschutzsicht optimal. Anhebung des Wasserstandes ermöglicht nur sehr eingeschränkte landwirtschaftliche Nutzung. Mögliche Folgenutzungen: Extensive Beweidung, Extensivgrünland, Paludikulturen (Schilfgewinnung), Naturschutzfläche (ggf. mit Pflegemaßnahmen)			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	+++	–	+++	
Umsetzung im Modell	Landwirtschaftlich genutzte Moorflächen können identifiziert werden. Unterschiedliche Annahmen zum Umfang der Wiedervernässung können analysiert werden			
Umsetzbarkeit	Eine Wiedervernässung ist aufgrund fortgeschrittener Mineralisation des Torfkörpers sowie geänderter Wasserhaushaltsbedingungen nicht überall möglich			

Tab. 7.12 Maßnahmensteckbrief: Angepasste Grünlandnutzung auf organischen Böden. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Angepasste Grünlandnutzung auf organischen Böden				
Ziel(e)	Erhalt des Torfkörpers und Reduzierung von THG-Emissionen aus organischen Böden			
Beschreibung	Maßnahme ist mögliche Folgenutzung nach Wiedervernässung. Torfkörper darf nicht weiter reduziert werden/der aktuelle Grundwasserstand darf nicht abgesenkt werden: extensive Beweidung (z. B. mit Wasserbüffeln), Extensivgrünland			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	++	–	+++	
Umsetzung im Modell	Acker- und Grünlandstandorte auf Moorböden können identifiziert werden. Unterschiedliche Annahmen zum Umfang der Wiedervernässung können analysiert werden			
Umsetzbarkeit	Eine Wiedervernässung ist aufgrund fortgeschrittener Mineralisation des Torfkörpers sowie geänderter Wasserhaushaltsbedingungen nicht überall möglich			

Tab. 7.13 Maßnahmensteckbrief: Anbau Paludikulturen im Sinne von Schilf- und Rohrglanzgrasgewinnung. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Anbau Paludikulturen im Sinne von Schilf- und Rohrglanzgrasgewinnung				
Ziel(e)	Erhalt des Torfkörpers und Reduzierung von THG-Emissionen aus organischen Böden			
Beschreibung	Maßnahme ist mögliche Folgenutzung nach Wiedervernässung auf Niedermoorstandorten: Wasserstand auf Acker- und Grünlandflächen wird auf moortypisches Niveau angehoben (idealerweise 10 cm unter Flur) und mit Paludikulturen bewirtschaftet: Schilf, Rohrglanzgras, Großseggen			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	+++	–	+++	
Umsetzung im Modell	Landwirtschaftlich genutzte Niedermoorstandorte, die keinen Schutzgebietsstatus haben, stehen in der Modellierung für die Maßnahme zur Verfügung			
Umsetzbarkeit	Eine Wiedervernässung ist aufgrund fortgeschrittener Mineralisation des Torfkörpers sowie geänderter Wasserhaushaltsbedingungen nicht überall möglich			

Tab. 7.14 Maßnahmensteckbrief: Effizienzsteigerung Mineraldüngereinsatz und N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Effizienzsteigerung Mineraldüngereinsatz und N-Ausnutzung des Wirtschaftsdüngers				
Ziel(e)	Verringerung der THG-Emissionen und der Auswaschung von Nährstoffen durch effiziente Nutzung der Düngung			
Beschreibung	<p>Möglichkeiten der Effizienzsteigerung bei Wirtschaftsdünger sind z. B. der Einsatz von Nitrifikationsinhibitoren, präzise Ausbringungsverfahren (Schleppschlauch, Injektion), teilflächenspezifische Düngung, unmittelbares Einarbeiten des Wirtschaftsdüngers.</p> <p>Durch die höhere Effizienz lässt sich der Düngemittelbedarf reduzieren, sodass neben der direkten THG-Einsparung auch indirekte Einsparungen durch die geringere Produktion von mineralischem Stickstoff entstehen.</p> <p>Die Höhe des Flächenertrags soll hierbei nicht reduziert werden, um Verlagerungseffekte zu vermeiden</p>			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	++	–	++	
Umsetzung im Modell	In der Modellierung wird die eingesetzte Düngemittelmenge aufgrund gesteigerter Effizienz reduziert			
Umsetzbarkeit	Maßnahmen zur effizienteren Nutzung der Stickstoffdüngung sind in der Praxis erprobt			

Tab. 7.15 Maßnahmensteckbrief: Überregionale Transporte von organischem Dünger aus Über- in Zuschussregionen. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Überregionale Transporte von organischem Dünger aus Über- in Zuschussregionen				
Ziel(e)	Verringerung der THG-Emissionen und der Auswaschung von Nährstoffen durch effiziente Nutzung der Düngung			
Beschreibung	Transport von Wirtschaftsdünger aus Viehregionen in Ackerbauregionen. Überregionaler Handel von organischem Dünger kann N-Effizienz durch Vermeidung von Überdüngung in Überschussregionen steigern. Verringerung des Einsatzes und der Produktion von mineralischen Düngemitteln in Ackerbauregionen. Transportemissionen dürfen THG-Einsparung nicht überschreiten. Für den überregionalen Transport wird durch Separierung die nährstoffreiche Festphase des Wirtschaftsdüngers gewonnen und so ein transportables Gut erzeugt			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	+ / ++	–	++	
Umsetzung im Modell	In der Modellierung wird die eingesetzte Menge an Wirtschaftsdüngern in viehstarken Regionen reduziert und in Ackerbauregionen angerechnet. Dort wird die Menge des Mineraldüngers verringert			
Umsetzbarkeit	Separierung der Festphase ist bereits Stand der Technik. Gülletransporte finden in Deutschland bereits statt			

Tab. 7.16 Maßnahmensteckbrief: Erhalt von Grünland. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Erhalt von Grünland				
Ziel(e)	Erhalt des hohen Bodenstoffgehalts von Grünland / Vermeidung beim Grünlandumbruch freigesetzter THG-Emissionen			
Beschreibung	Der Trend der Anbaustrukturentwicklung vom Grünlandumbruch zur Schaffung von Ackerflächen soll unterbunden werden. Erhalt der Kohlenstoff-Senkenfunktion (gilt insb. für organische Böden). Hohe Bodenkohlenstoffverluste durch Landnutzungswechsel von Grünland zu Acker stellen sich schon in den ersten Jahren ein, während der Aufbau von Bodenkohlenstoff durch Landnutzungswechsel Acker zu Grünland mehrere Dekaden in Anspruch nimmt			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	++	–	+++	
Umsetzung im Modell	Der Grünlandbestand wird im Modell nicht verändert			
Umsetzbarkeit	Da in der Vergangenheit viel Grünland umgebrochen wurde, ist kaum noch umbruchsfähiges Grünland vorhanden			

Tab. 7.17 Maßnahmensteckbrief: Ackerflächenumwandlung in Grünland. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Ackerflächenumwandlung in Grünland				
Ziel(e)	Erhöhung der CO ₂ -Speicherung im Boden und in der Vegetation			
Beschreibung	Ackerflächen werden in Grünland umgewandelt, wobei Grünland-etablierung durch Selbstbegrünung oder Ansaat erfolgt. Im Vergleich zu Ackerland höhere CO ₂ -Sequestrierung bei Grünland. Anreicherung von CO ₂ im Boden erfolgt bis zu einem neuen Gleichgewicht. Für indirekte Effekte ist das Gegenrechnen der potenziell höheren Biomasseproduktion auf einem Acker als auf Grünlandflächen erforderlich. Wird Acker in Grünland umgewandelt, sinkt die Produktion oder wird an anderen Standorten intensiviert. Wichtig ist, dass keine negativen Folgen durch indirekte Landnutzungsänderungen anderenorts entstehen. Hierzu wird auf die Ergebnisse einer Literaturrecherche zurückgegriffen			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	++	-	++	
Umsetzung im Modell	Grenzertragsstandorte können im Modell zu Grünland umgewandelt werden			
Umsetzbarkeit	--			

Tab. 7.18 Maßnahmensteckbrief: Anbau Biomasse zur energetischen Verwendung: annuelle Kulturen. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Anbau Biomasse zur energetischen Verwendung: annuelle Kulturen				
Ziel(e)	Einsparung fossiler Rohstoffe/Reduzierung von THG-Emissionen durch Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Bioenergie			
Beschreibung	Anbau einjähriger Kulturen zur energetischen Verwendung unter Einbeziehung alternativer Energiepflanzen: z. B. Energiemais, Roggen-Ganzpflanzensilage, Sorghum für Biogas/Weizen, Zuckerrüben, Roggen, Körnermais, Raps für Biokraftstoffe. Wichtig ist, dass keine negativen Folgen durch indirekte Landnutzungsänderungen anderenorts zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion entstehen. Hierzu wird auf die Ergebnisse einer Literaturrecherche zurückgegriffen			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	+ / ++	++	±	
Umsetzung im Modell	Einjährige Kulturen werden im Modell mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie mehrjährigen Bioenergiekulturen in Konkurrenz gesetzt			
Umsetzbarkeit	Erprobte Verfahren zur technischen Umsetzung sind größtenteils vorhanden			

Tab. 7.19 Maßnahmensteckbrief: Anbau Biomasse zur energetischen Verwendung: mehrjährige Kulturen. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Anbau Biomasse zur energetischen Verwendung: mehrjährige Kulturen				
Ziel(e)	Einsparung fossiler Rohstoffe/Reduzierung von THG-Emissionen durch Nutzung von Biomasse zur Erzeugung von Bioenergie			
Beschreibung	Anbau mehrjähriger Kulturen zur energetischen Verwendung unter Einbeziehung alternativer Energiepflanzen: z. B. Durchwachsene Silphie, Kurzumtriebsplantagen, Miscanthus. Bei mehrjährigen Kulturen ist aufgrund der reduzierten Bodenbearbeitung die CO ₂ -Freisetzung geringer als bei einjährigen Kulturen. Wichtig ist, dass keine negativen Folgen durch indirekte Landnutzungsänderungen zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion anderenorts entstehen			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	++	++	++	
Umsetzung im Modell	Mehrjährige Kulturen werden im Modell mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie einjährigen Bioenergiekulturen in Konkurrenz gesetzt			
Umsetzbarkeit	Erprobte Verfahren zur technischen Umsetzung sind größtenteils vorhanden			

Tab. 7.20 Maßnahmensteckbrief: Stärkerer Fokus auf landwirtschaftliche Nebenprodukte in der Biomassenutzung. (Quelle: S. Baum und M. Henseler)

Stärkerer Fokus auf landwirtschaftliche Nebenprodukte in der Biomassenutzung				
Ziel(e)	Einsparung fossiler Rohstoffe/Reduzierung von THG-Emissionen durch energetische Nutzung von Wirtschaftsdünger, Stroh, Pflugschnitte			
Beschreibung	Die bioenergetische Nutzung von Nebenprodukten substituiert fossile Brennstoffe ohne zusätzlichen Flächenverbrauch und spart THG ein. Auf der anderen Seite erfolgt bei vollständiger Ernte kein Beitrag zur Humusbildung/zum Bodenkohlenstoffhaushalt			
Beitrag zu den Strategien	Klimaschutz	Biomasse	Natur- und Umweltschutz	<i>Klimaanpassung</i>
	+ / ++	++	+ / ++	
Umsetzung im Modell	Flächenverbrauch ändert sich nicht, aber Düngemiteleinsatz kann durch andere Sortenwahl (z. B. höhere Strohertrag) steigen			
Umsetzbarkeit	Erprobte Verfahren zur technischen Umsetzung sind größtenteils vorhanden und werden qualitativ in ihrer Wirkung abgeschätzt			

7.3 Maßnahmensteckbriefe – Sektor: Forstwirtschaft

Nils Ermisch, Peter Elsasser und Priska Weller

Tab. 7.21 Maßnahmensteckbrief: Baumartenwahl. (Quelle: N. Ermisch)

Baumartenwahl	
Ziel(e)	Baumartenwahl ist die wichtigste forstliche Betriebsentscheidung, diese beeinflusst alle weiteren Maßnahmen
Klimaschutz oder -anpassung	Beides
Beschreibung	Unterschieden werden zwei Formen der Baumartenwahl. Zum einen die Naturverjüngung aus bestehenden Bestandesgenerationen (Baumartenwahl dann eingeschränkt auf örtlich bereits vorhandene Baumarten) und zum anderen die Pflanzung (flexiblere Baumartenwahl) in Form einer (Neu-)Einbringung von Baumarten. Die Pflanzung kann entweder in bestehenden Wald erfolgen oder auf bisher anderweitig genutzten Flächen (Waldneubegründung). Zusätzlich kann durch die Baumartenwahl aktiv Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit des Bestandes genommen werden
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Es werden insgesamt vier Baumarten modelliert: Fichte, Kiefer, Buche und Eiche. Bezüglich der Douglasie wird angenommen, dass sie dasselbe Wuchspotenzial wie die Fichte hat. Es ist jeweils möglich, diese vier Baumarten zu pflanzen oder naturzuverjüngen

Tab. 7.22 Maßnahmensteckbrief: Durchforstungsart. (Quelle: N. Ermisch)

Durchforstungsart	
Ziel(e)	Festlegung auf eine bestimmte Durchforstungs- und damit auch Bewirtschaftungsart
Klimaschutz oder -anpassung	Klimaschutz
Beschreibung	Es sind zwei Arten der Durchforstung modellierbar. Dies ist zum einen die Z-Baumdurchforstung mit der Festlegung einer bestimmten Anzahl an Z-Bäumen (Zukunftsbäumen). Somit wird frühzeitig festgelegt, welche Bäume langfristig gefördert werden und somit die (Haupt-)Zuwachsträger des Bestandes sein sollen. Zudem werden bei jeder Durchforstung nur die Bedränger dieser Z-Bäume entnommen. Zum anderen ist es die systematische Hochdurchforstung. Dabei wird zwar auch eine Zielstärke definiert, das Modell (der Bewirtschafter) legt sich dabei jedoch nicht auf bestimmte Baumindividuen fest. Bei Erreichen der Zielstärke findet somit eine systematische Baumentnahme statt
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Im Modell ist in der Baseline die Z-Baumdurchforstung, soweit Informationen aus den Bundesländern vorlagen, umgesetzt. Aus Vereinfachungsgründen ist in den anderen Strategien die systematische Hochdurchforstung umgesetzt worden

Tab. 7.23 Maßnahmensteckbrief: Durchforstungshäufigkeit. (Quelle: N. Ermisch)

Durchforstungshäufigkeit	
Ziel(e)	Mit der Durchforstungshäufigkeit wird die Eingriffsintensität gesteuert
Klimaschutz oder -anpassung	Beides
Beschreibung	Die Durchforstungshäufigkeit steuert die Anzahl der Eingriffe bis zum Endnutzungszeitpunkt. Dadurch hat deren Umsetzung einen großen Einfluss auf die Stabilität des Bestandes. Häufiges Entnehmen kleinerer Holzmenen beugt Risiken wie z. B. Windwurf vor. Jedoch sollte aus Fixkostengründen eine bestimmte minimale Holzmenge je Eingriff entnommen werden, da jeder Eingriff auch mit Kosten verbunden ist (im Modell berücksichtigt)
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Im Modell werden die zwei Varianten „Eingriff alle fünf Jahre“ und „Eingriff alle zehn Jahre“ umgesetzt

Tab. 7.24 Maßnahmensteckbrief: Durchforstungsstärke. (Quelle: N. Ermisch)

Durchforstungsstärke	
Ziel(e)	Steuerung der Durchforstungsmengen bei jedem Eingriff
Klimaschutz oder -anpassung	Beides
Beschreibung	Mit der Durchforstungsstärke wird gesteuert, welche Mengen bzw. wie viele Bäume bei einer Durchforstung entnommen werden. Die Durchforstungsstärke beeinflusst auch die Durchforstungshäufigkeit. Zu starkes Eingreifen kann die Bestandesstabilität verringern. Mit der Menge des entnommenen Holzes wird auch die Kohlenstoffspeicherleitung im Wald wie auch in Holzprodukten beeinflusst
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Im Modell wird sich an der Grundflächenleitkurve nach Spellmann für mäßige Durchforstung orientiert und diese je nach Strategieziel erhöht oder abgesenkt

Tab. 7.25 Maßnahmensteckbrief: Zielstärke. (Quelle: N. Ermisch)

Zielstärke	
Ziel(e)	Steuerung der Sortimentsstruktur
Klimaschutz oder -anpassung	Klimaschutz
Beschreibung	Mit der Festlegung einer Zielstärke wird vorgegeben, ab welchem Zieldurchmesser die Bäume hiebsreif sind und folglich endgenutzt werden. Somit legt die Zielstärke auch den Beginn der Endnutzung fest. Mit der Zielstärke definiert der Betrieb auch sein Sortimentsbetriebsziel. Geringe Zieldurchmesser deuten eher auf Massensortimente hin, während höhere Zieldurchmesser eher auf Wertholzproduktion schließen lassen. Somit hängt auch die im Bestand wie auch in Holzprodukten gespeicherte Kohlenstoffmenge von der Höhe der Zielstärke ab
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Im Modell wurden die Zielstärken der Bundesländer nach Waldbaurichtlinie und WEHAM verwandt und je nach Strategieziel erhöht oder abgesenkt

Tab. 7.26 Maßnahmensteckbrief: Endnutzungsmenge. (Quelle: N. Ermisch)

Endnutzungsmenge	
Ziel(e)	Steuerung der Nutzungsmenge hiebsreifer Bestände
Klimaschutz oder -anpassung	Klimaschutz
Beschreibung	Die Endnutzungsmenge gibt an, wie viele Festmeter bzw. Baumindividuen bei einem Endnutzungseingriff entnommen werden. Die Eingriffshäufigkeit wird im Modell durch eine Minimumvorgabe gesteuert, d. h., nur wenn diese Menge entnommen werden kann, wird auch eingegriffen (Abfrage alle 5–10 Jahre). Natürlich hat die Endnutzungsmenge auch großen Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherleistung des Waldes
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Die Endnutzungsmenge wird je nach Strategieziel, ausgehend von den Länderangaben in den Waldbaurichtlinien bzw. WEHAM, erhöht oder gesenkt

Tab. 7.27 Maßnahmensteckbrief: Endnutzungszeitraum. (Quelle: N. Ermisch)

Endnutzungszeitraum	
Ziel(e)	Steuerung des Zeitraumes, über den sich die Endnutzung erstreckt
Klimaschutz oder -anpassung	Beides
Beschreibung	Da Kahlschläge oberhalb länderindividueller Grenzen in Deutschland gesetzlich verboten sind, wird die Endnutzung zeitlich auseinander-gezogen. Der Endnutzungszeitraum hat, in Kombination mit der Endnutzungsmenge, Einfluss auf die Stabilität des verbleibenden Bestandes. Zudem spielt der Endnutzungszeitraum bei der Steuerung des Lichtmanagements am Waldboden und damit bei der Steuerung der Verjüngung eine große Rolle. Auch Marktparameter können den Endnutzungszeitraum beeinflussen (lebende Vorratshaltung)
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Der Endnutzungszeitraum wird je nach Strategieziel, ausgehend von den Länderangaben in den Waldbaurichtlinien bzw. WEHAM, verlängert oder verkürzt

Tab. 7.28 Maßnahmensteckbrief: Holzbereitstellung. (Quelle: N. Ermisch)

Holzbereitstellung	
Ziel(e)	Steuerung der produzierten Holzmengen und Sortimente
Klimaschutz oder -anpassung	Klimaschutz
Beschreibung	Wird ein Bestand genutzt, stellt sich auch immer die Frage nach der Sortimentsstruktur. Diese hängt zum einen von der eingeschlagenen Baumart selber ab und zum anderen vom Preis, der für bestimmte Sortimente bezahlt wird. So kann ein Forstbetrieb als Mehrproduktunternehmen je nach Preis bzw. Betriebsziel ganz bestimmte Sortimente produzieren bzw. einschlagen. Dabei kommt es jedoch zu Kuppelbeziehungen (kein dickes Holz (z. B. Stammholz) ohne auch dünnes Holz (z. B. Industrieholz))
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	Diese Maßnahme diene entsprechend der zuvor festgelegten Betriebszielausrichtung unter anderem dazu, die weiteren definierten Maßnahmen in ihrer Ausprägung auf Konsistenz zu überprüfen

Tab. 7.29 Maßnahmensteckbrief: Nutzungsverzicht. (Quelle: N. Ermisch)

Nutzungsverzicht	
Ziel(e)	Verzicht auf (Holz-)Nutzung im Wald
Klimaschutz oder -anpassung	Durch einen Verzicht auf Holznutzung im Wald steigt das Durchschnittsalter der Bäume auf der Fläche und damit in der Folge auch ihre Kohlenstoffspeicherkapazität. Damit sinkt aber auch die Vitalität der Bäume und es kommt zu einem erhöhten Totholzanteil. Aufgrund des verringerten Einschlages werden durch (größere) Nutzungsverzichte auch das Angebot an Rohholz und die Einnahmen der Forstbetriebe verringert
Beschreibung	Die Stilllegung von Waldflächen (nur in der Naturschutzstrategie inkludiert) wird prozentual und mit Durchschnittswerten durchgeführt
Zentrale Modellannahmen/-spezifikationen	(zur besseren Vergleichbarkeit der Strategien auf dem Praxistag noch nicht umgesetzt)

7.3.1 Maßnahmenvarianten – Sektor: Forstwirtschaft

Tab. 7.30 Maßnahmenvarianten in den einzelnen Strategien im Sektor „Forstwirtschaft“. (Quelle: N. Ermisch)

Maßnahme	Referenzprojektion (Baseline)	Klimaschutz	Bioenergie	Natur- und Umweltschutz	Klimaanpassung
Bestandesbegründung/ Baumartenwahl	Wie heute	Dgl (bis 15 %) für Ei und Bu	Dgl (bis 30 %) für Ei und Ki	Bu (bis 50 %) für Fi und Ki	Bu (bis 25 %) für Fi und Ei
Durchforstungsart	WBRL/ WEHAM	– systematische Hochdurchforstung; keine Z-Baum-Auswahl wie in Referenzprojektion (Baseline) ^a –			
Durchforstungshäufigkeit	WBRL/ WEHAM	Alle zehn Jahre	Alle fünf Jahre	Alle zehn Jahre	Alle fünf Jahre
Durchforstungsstärke (Abweichungsprozent)	Grundfl.-leitkurve (mäßig)	+2,5 %	–10 %	+5 %	–7,5 %
Zielstärke (Durchmesseränderung)	WBRL/ WEHAM	± 0 cm	–10 cm	+5 cm	–10 cm
Endnutzungsmengen	WBRL/ WEHAM	–2,5 %	+10 %	–5 %	+7,5 %
Endnutzungszeitraum	WBRL/ WEHAM	+5 Jahre	–20 Jahre	+10 Jahre	–15 Jahre
Holzbereitstellung	Wie heute	Bauholzsortimente (mittlere Zielstärke)	Energieholzsortimente (niedrige Zielstärke)	Starkholzsortimente (hohe Zielstärke)	Bauholzsortimente (mittlere Zielstärke)
Nutzungsverzicht	Wie heute	Wie heute	Wie heute	10 % der Waldfläche	Wie heute
Ziel		niedriger Va hoher Vv hohe Uz	sehr hoher Va sehr niedriger Vv sehr niedrige Uz	sehr niedriger Va sehr hoher Vv sehr hohe Uz	hoher Va niedriger Vv niedrige Uz

Abkürzungen: Va = ausscheidender Vorrat, Vv = verbleibender Vorrat, Uz = Umtriebszeit; Bu = Buche, Dgl = Douglasie, Ei = Eiche, Fi = Fichte, Ki = Kiefer

^aDie Referenzprojektion (Baseline) beruht in Bezug auf Baumartenwahl, Holzbereitstellung und Nutzungsverzichten auf heutigen Verhältnissen und folgt ansonsten den Waldbaurichtlinien der Länder, wie sie in WEHAM (WaldEntwicklungs- und HolzAufkommensModellierung) umgesetzt sind; die Durchforstungsstärke ist mäßig nach Grundflächenleitkurve

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.



Autorenliste: Wechselwirkungen zwischen Landnutzung und Klimawandel

Thünen-Institut für Ländliche Räume
Bundesallee 64
38116 Braunschweig

Horst Gömann
Sarah Baumß
Johanna Fick
Meike Hellmich
Martin Henseler¹
Peter Kreins
Annett Steinführer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Jana Hoymann
Roland Goetzke

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Straße 105
10785 Berlin

Jesko Hirschfeld
Julian Sagebiel
Sandra Rajmis

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.
Eberswalder Str. 84
15374 Müncheberg

Rosemarie Siebert
Reimund Steinhäüßer

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V.
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Frank Wechsung
Tobias Conradt
Pia Gottschalk
Martin Gutsch
Petra Lasch-Born
Felicitas Suckow

Thünen-Institut für Agrarklimaschutz
Bundesallee 65
38116 Braunschweig

René Dechow

Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft
und Forstökonomie
Leuschnerstraße 91
21031 Hamburg-Bergedorf

Peter Elsasser
Hermann Englert
Nils Ermisch
Margret Köthke
Priska Weller

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Schlossplatz 2
48149 Münster

Ulrike Grabski-Kieron
Mathias Raabe

¹Weitere Affiliationen des Autors: Partnership for Economic Policy (PEP), Nairobi, Kenya; EDEHN – Equipe d’Economie Le Havre Normandie, Université du Havre, Le Havre, France.

Stichwortverzeichnis

A

Agrarumwelt, 24, 97, 339, 349, 363, 431
Agroforstsystem, 368
Akteure, 14, 80, 93, 202, 376, 378, 381, 391, 394, 398, 406, 421
Altmarkkreis Salzwedel, 8, 11, 61
Aufforstung, 127, 205, 208, 275, 371

B

Baulücke, 74, 175, 176
Baumartenwahl, 121
Bestandesdichte, 123
Beteiligungsprozess
 bundesweiter, 381, 384
 regionaler, 382, 386, 392, 395, 397
Bevölkerungsprognose, 173
Bewertung
 gesellschaftliche, 301
 ökonomische, 301, 309, 318, 321, 331, 338
Biodiversität, 28, 83, 210, 315, 428
Bioenergie, 25, 100, 109, 113, 146, 225, 391
Biokraftstoff, 24, 226
Biomasse, 92, 111–113, 367
Boden
 mineralischer, 51, 156
 organischer, 4, 45, 51, 61, 95, 157, 220, 363, 429
Brachflächen, 74, 175, 176, 180, 210
Bundesnaturschutzgesetz, 3, 28, 349, 372
Bundeswaldinventur, 45, 58, 123, 161

D

Daseinsvorsorge, 4, 23, 357, 408

Dichte, bauliche, 174, 211, 356
Diskurs, transdisziplinärer, 378, 398, 403, 405
Dünge-Transporte, 107, 366
Düngemanagement, 101, 222, 365
Düngung, 103, 106, 127, 430

E

Emission, landnutzungsbedingte, 50, 156
Energieerzeugung, 91, 200
Energiepflanzen, 109, 367
Entsiegelung, 84, 186, 205, 350, 395
Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), 24, 91, 109, 225, 392
Erreichbarkeit, 192, 195
Europäisches Emissionshandelssystem (ETS), 2, 30, 332
Extremhochwasser, 197, 360
Extremwetterereignis, 86, 187

F

Flächeninanspruchnahme, 34, 78, 174, 184, 202, 211, 354, 358
Flächenmanagement, 182, 352
Flächenneuanspruchnahme, 40, 174, 176, 195, 426
Flächennutzung, 36
Flächennutzungskonflikte, 13, 375, 426
Fokusregion, 8, 11, 14, 60
 Altmark, 8, 11, 60, 61, 194, 382
 Rhein, 8, 13, 64, 382
Forstpolitik, 29
Forstwirtschaft, 5, 32, 370, 396
Freiflächen, 81, 187, 205, 211

Freiflächenphotovoltaikanlage, 91, 200
 Freiraumschutz, 89, 198, 358

G

Gemeinsame Agrarpolitik (GAP), 23, 30, 154, 350, 369
 Gemeinschaftsaufgabe Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes (GAK), 29, 368
 Geschossflächenindex, 182
 Gestaltungsoption, institutionelle, 342, 362, 370
 Greening, 24, 217, 237, 367, 369
 Grün- und Erholungsflächen, 84
 Grün- und Freiflächen, 83
 Grünland, 4, 42, 56, 98, 117

H

Hitzewelle, 81
 Hochwasser- und Küstenschutz, 87, 88, 197, 360
 Hochwasserrisiko, 89, 187, 197
 Holzproduktespeicher, 128, 132

I

Innenentwicklung, 73, 83, 174, 175, 177, 211, 355
 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2, 116, 330

K

Kalamitäten, forstlich, 130
 Kernstädte, 35, 41, 75, 182
 Klein- und Mittelstädte, 75, 182
 Klimaanpassung, 83, 146, 210, 360, 373
 Klimarahmenkonvention, 2
 Klimaschutz, 23, 83, 146, 210, 373
 Klimaschutzplan, 3, 423
 Klimaszenarien, 165
 Kohlenstoffspeicher, 83, 121, 125, 288
 Kompensationsflächen, 3, 349
 Konversionsfläche, 201
 Konzentration, dezentrale, 184, 211, 357
 Kurzumtriebsplantage (KUP), 112, 368

L

Lachgas-Emissionen, 52, 116, 156, 428
 Landkreis Stendal, 8, 11, 61
 Landnutzung, 1, 6, 11, 36, 150, 342
 forstliche, 5, 45, 119, 131, 263, 321
 landwirtschaftliche, 4, 60, 93, 153, 217, 309, 311, 314
 Landnutzungsänderung, 109, 110
 Landnutzungsmanagement, 7, 346, 374
 Landschaftspflege, 92, 321, 328
 Landschaftsplanung, 348
 Landwirtschaft, 53, 391, 427
 Landwirtschaftsfläche, 36, 41, 56, 174
 Leerstand, 76, 180, 186

M

Maßnahmen, 3, 8, 14, 73, 93, 119, 131, 220, 242
 Methanflüsse, 53
 Mineraldünger, 4, 56, 102
 Modell, 150
 4C, 164
 FoBeSiMo, 150, 159
 GAS-EM, 150
 Land Use Scanner, 148, 150
 MODE, 150, 156
 RAUMIS, 150, 153
 STAR, 148
 Modellverbund, 14, 145, 148
 Motorisierter Individualverkehr (MIV), 80, 84

N

Nachhaltigkeitsstrategie, 7, 177
 Nachverdichtung, 76, 395
 Naturschutz, 26, 146, 198, 321, 328, 393, 397
 Nebenprodukte, landwirtschaftlich, 113, 368
 Nitrifikation, 56, 103
 Nutzungsverzicht, 125, 267, 277

O

Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), 84, 85, 191, 359
 Ökosystemleistung, 145, 301, 303, 309, 318, 338
 bereitstellende, 303
 kulturelle, 306, 314, 321
 regulierende, 305, 311

P

Paludikulturen, 99, 225, 249, 258, 339, 364, 428
Planungs- und Umweltrecht, 345

R

Rahmenbedingung
forstwirtschaftliche, 32, 159, 263
gesellschaftliche, 34, 409, 424
landwirtschaftliche, 30, 154, 364, 392, 427
politische, 22, 422, 424
Raumfunktion, 22, 83
Raumnutzung, 22, 343
Raumordnung, 22, 195, 347, 354
Raumordnungsprognose, 173
Raumplanung, 86, 426
Referenzprojektion, 15, 87, 133, 147, 154, 173, 176, 202, 217, 263, 280, 309, 321, 385, 428
Regionalplanung, 90, 426
Rhein-Sieg-Kreis, 8, 13, 64
Rheinisch-Bergischer Kreis, 8, 13, 64
Rückbau, 80, 84, 184

S

Siedlung und Verkehr, 73, 360, 394, 424
Siedlungs- und Verkehrsfläche, 3, 34, 36, 39, 60, 79, 173, 176, 208
Siedlungsentwicklung, 7, 40, 80, 87, 89, 195, 202, 356, 426
Stoffflüsse, forstlich, 164, 279
Strategie
„Bioenergie“, 15, 73, 146, 203, 210, 249, 269, 284, 318
forstwirtschaftliche, 15, 283, 288, 331
„Klimaanpassung“, 15, 23, 88, 147, 213, 269, 286, 375
„Klimaschutz“, 15, 88, 146, 202, 204, 245, 268, 283
landwirtschaftliche, 15, 244, 258, 318
„Natur- und Umweltschutz“, 15, 147, 210, 255, 269, 285, 318

Siedlung und Verkehr, 15, 202
Struktur, grüne und blaue, 83, 189
Substitution fossiler Energien, 100, 225, 249, 367
Sukzession, 127

T

Totholz, 58, 120, 125, 164, 266, 274, 280
Treibhausgas-Bilanzierung, 432
Treibhausgas-Emissionen, 48
Treibhausgas-Modellierung, 156
Treibhausgassenken, 116, 237, 369

U

Umtriebszeiten, 124
Umweltbeobachtung, integrierte, 352
Umweltschutz, 26, 146, 393

V

Verkehrsinfrastruktur, 79, 184
Vorbehaltsgebiete, 85, 195, 199, 211
Vorranggebiete, 85, 195, 199, 211

W

Walderhaltung, 275, 371
Waldfläche, 36, 127, 174, 205, 208
Waldklimafonds, 29, 370, 374, 426
Wärmeinsel, 73, 81
Wasserrahmenrichtlinie, 4, 26
Wiedervernässung, 95, 116, 126, 220, 242, 258, 312, 340, 364, 372, 391, 429, 445
Wirkungsanalyse, V, 14, 145, 261, 267, 424, 428
Wirtschaftsdünger, 4, 56, 102, 105, 223, 365, 430, 447

Z

Zentrale-Orte-System, 80, 186