



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



Klimawandel

Stadtwald

Schaderreger

## Autoren

Johanna Bußkamp, Gitta Langer /  
Nordwestdeutsche Forstliche  
Versuchsanstalt (NW-FVA)

Martin Gutsch, Chris Kollas,  
Petra Lasch-Born, Felicitas Suckow /  
Potsdam-Institut für  
Klimafolgenforschung (PIK)

Peer von Döhren /  
PIK und Humboldt-Universität  
zu Berlin (HU)

Aline Wenning, Jens Schröder /  
Landeskompetenzzentrum  
Forst Eberswalde (LFE)

## INHALT

- S.3 Wald unter Klimawandel**
- S.6 Kiefern-Mistel – Welche Gefahr birgt der Halbparasit?**
- S.9 *Diplodia*-Triebsterben – ein neues Phänomen?**
- S.12 Kieferschädling Nonne – Überwachung und Prognose**
- S.15 Nonnenfraß und Waldwachstum in den Kiefernwäldern Brandenburgs**
- S.18 Interessen der Waldbesucher**
- S.20 Was wissen Waldbesucher über Schaderreger und deren Bekämpfung?**
- S.23 Waldbesucher und Forstakteure**
- S.26 Literatur- und Bildverzeichnis**
- S.27 GLOSSAR**

Dank der Finanzierung des Waldklimafonds (BMEL & BMUB) wurde das Projekt WAHYKLAS (Waldhygienische Klimaanpassungsstrategien) ermöglicht,

dessen Ergebnisse aus der Arbeit von mehreren Projektpartnern Eingang in diese Broschüre gefunden haben.

**Hinweis:** Erläuterungen zu Fachbegriffen sind im GLOSSAR zu finden.

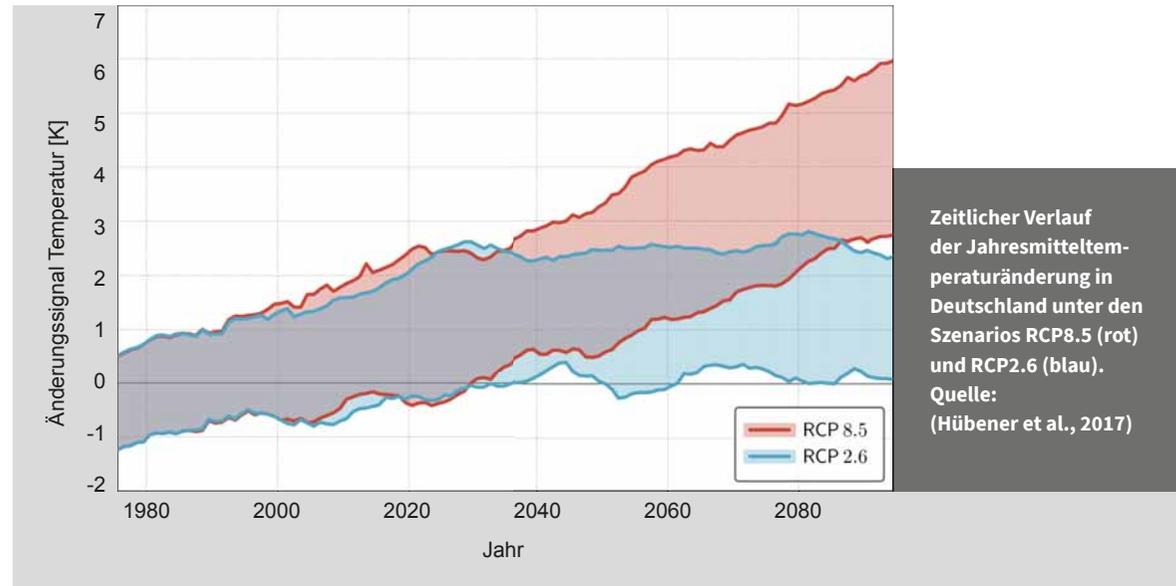
An aerial photograph of a forest landscape, showing a mix of dense green trees and open grassy areas. The image is framed by a thick orange border. A red banner with white text is positioned at the top right, and a green text box with white text is located in the middle right.

## Wald unter Klimawandel

Wälder werden vom Klimawandel beeinflusst. Sie stellen sowohl eine wichtige Senke als auch eine Quelle von Kohlenstoff dar und leisten für die Gesellschaft, die Umwelt und insbesondere das Klima einen wichtigen Beitrag.

Seit Mitte des vorigen Jahrhunderts wird eine eindeutige Erwärmung des Klimasystems beobachtet. So ist beispielsweise die globale Durchschnittstemperatur im Zeitraum 1880 bis 2012 um  $0,85^{\circ}\text{C}$  gestiegen (IPCC, 2014). In Deutschland erhöhte sich die Durchschnittstemperatur im selben Zeitraum um  $1,4^{\circ}\text{C}$  (DWD, 2017). Verantwortlich dafür ist vor allem die durch den Menschen verursachte starke Zunahme der  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Atmosphäre, die zur Verstärkung des bekannten Treibhauseffekts führt. Messungen auf dem Mouna Loa, Hawaii, die seit 1958 durchgeführt werden, zeigen einen Anstieg der  $\text{CO}_2$ -Konzentration von circa 315 ppm (parts per million) auf circa 404 ppm im Jahr 2016. Vor allem die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl) hat zu dieser Entwicklung geführt.

Computermodelle des Klimas erlauben die Erstellung belastbarer Klimaprojektionen in die Zukunft. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ergibt sich je nach Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen ein mittlerer globaler Temperaturanstieg von  $1,7$ - $4,4^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zum Zeitraum 1850-1900 (Schmidt et al., 2017). Aktuelle Analysen zeigen für Deutschland eine Bandbreite der Temperaturänderung von  $0,7$  bis  $5,2^{\circ}\text{C}$  bis zum Ende des Jahrhunderts im Vergleich zum Zeitraum 1971-2000 (Hübener et al., 2017).



Der Wald in Deutschland (circa 11,1 Millionen Hektar) ist von dieser klimatischen Entwicklung ebenso betroffen wie z. B. die Bevölkerung, die Land- und Wasserwirtschaft oder die Industrie. Der Wald übt wichtige Funktionen für die Gesellschaft aus, die von Kohlenstoffspeicherung, und damit einem Beitrag zum Klimaschutz, über Holzproduktion bis zur Bereitstellung von Erholungsraum reichen. Darüber hinaus trägt er zum Erosions- und Lawenschutz bei sowie zum Schutz des Lokal- und Regionalklimas; er wirkt als Lärmfilter, Staubfilter und Schadstoffsenke. Außerdem bietet die Forstwirtschaft Arbeit für viele Menschen. Daher ist es

von großem Interesse, wie der Wald sich unter den zu erwartenden klimatischen Veränderungen entwickeln wird (Gerstengarbe und Welzer, 2013).

Klimatische Veränderungen beeinflussen aber nicht nur den Wald direkt, sondern auch indirekt über Schadfaktoren, die für das Waldwachstum relevant sind. Schadfaktoren lassen sich in abiotische und biotische Faktoren unterscheiden. Abiotische Faktoren sind vor allem Dürren, Überflutungen, Waldbrände und Sturmereignisse. Die biotischen Schadfaktoren betreffen vor allem Schädlingsbefall und Krankheiten (Köhl et al., 2017). Beide Arten

von Schadfaktoren können in Wechselwirkung auftreten, wenn z.B. nach Sturmschäden oder Dürreereignissen vermehrt ein Massenbefall mit Schädlingen auftritt (Lasch-Born et al., 2013).

Überdies können sich in unseren Regionen Schädlinge, insbesondere die wärmeliebenden, unter dem Klimawandel besser entwickeln und ihre Verbreitung ändern, das heißt Arten, die an wärmeres Klima angepasst sind, können sich weiter ausbreiten (wie z. B. der Eichen-Prozessionsspinner und die Mistel) (Köhl et al., 2017).

Die negativen Auswirkungen der globalen Veränderungen des Klimas auf den Gesundheitszustand der heimischen Wälder werden bereits gegenwärtig in vielfältiger und zum Teil alarmierender Weise offenbar. Sie zeigen sich z. B. im *Diplodia*-Triebsterben

der Kiefer. Auslöser für das Triebsterben ist ein wärmeliebender Pilz (*Sphaeropsis sapina*, Synonym *Diplodia pinea*), der in Thüringen, Sachsen-Anhalt und Hessen zunehmend relevante Schäden herbeiführt. Aber auch für Kieferngrößschädlinge wie den Kiefernspinner wird eine Zunahme des Auftretens und der Populationsdichte beobachtet. Die Kiefern-Mistel (*Viscum album ssp austriacum*), ein wärmeliebender Halbparasit, der unter anderem die Kiefer befällt, wird vor allem im Süden Deutschlands als Grund für schlechteres Wachstum der Kiefer gesehen. In der Oberrheinebene verursacht der Waldmaikäfer auf immer größerer Fläche außerordentliche Schäden und Ausfälle in der Waldverjüngung der Eiche. Auch die Verbreitung und Massenvermehrung des wärmeliebenden Eichenprozessionsspinners nimmt in Deutschland zu (Lasch-Born et al., 2013).

Die Forstwirtschaft steht vor der Aufgabe, die Wälder in Deutschland so zu bewirtschaften, dass sie für den zu erwartenden Klimawandel angepasst sind. Im Vordergrund steht dabei auch die Sicherung der Stabilität, Vitalität sowie Resilienz und Resistenz von Baumarten und Waldökosystemen. Dafür werden geeignete Forstschutzmaßnahmen genutzt und entwickelt, deren Akzeptanz durch die Öffentlichkeit, also insbesondere durch Waldbesucher, eine wichtige Rolle spielt.

Ein wichtiges Anliegen der Forstwirtschaft ist es daher, Waldbesucher über erforderliche Maßnahmen und deren Notwendigkeit zu informieren und dadurch deren Akzeptanz zu erhöhen.



Nationalpark Berchtesgaden mit Sturmschaden und Schädlingsbefall durch den Borkenkäfer



Links: Mistelbefall im Revier Teufelssee, Berlin-Müggelsee  
Rechts: Borkenkäferbefall Nationalpark Müritz



Naturpark Feldberger Seenlandschaft

## Kiefern-Mistel –

### Welche Gefahr birgt der Halbparasit?

Die Kiefern-Mistel ist ein  
Forstschädling, der zunehmend  
Kiefernwälder befällt und ihre  
Entwicklung negativ beeinflusst.

In den letzten Jahrzehnten sind biotische Schäden im Wald nicht nur regional sondern auch global zu einem Problem herangewachsen. Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird erwartet, dass sich die Menge und Wiederkehrtrate von Parasiten ändern wird, dass neue Parasiten auftreten werden und dass sich das Verhalten der Überträger der Parasiten ändert. Diese Überlegungen machen erneut auf die Vulnerabilität und Resilienz von Wäldern aufmerksam und begründen das Interesse an der Quantifizierung potenzieller Holzverluste.

Eine der sich langsam entwickelnden biotischen Störungen in Europa ist die Kiefern-Mistel (*Viscum album ssp austriacum*), ein sogenannter Halbparasit (Abb. 1). Die Kiefern-Mistel ist in weiten Teilen Europas beheimatet. Temperaturbedingt breitet sich die Art im Norden, im Osten und in der Höhe aus. In Brandenburg lag die Mistelinfectionsrate bei der Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) im Jahr 2009 noch bei 1%, im Jahr 2015 bereits bei 11% (MLU, 2015). Die geographische Ausbreitung der Mistel hängt von der Präsenz des Wirtes, dem Lichtregime, der Häufigkeit des Überträgers (z.B. Misteldrossel) und somit zu großen Teilen von der Landnutzung ab. Im kleinen Maßstab (z.B. Waldbestand) breitet sich die Mistel nach einer Phase der Etablierung äußerst rasant aus.

Der Mistelsamen klebt an Bäumen fest, keimt und dringt in den Baum ein, um die Wasserleitbahnen des Wirtes zu erreichen. Die Mistel richtet sich nicht nach der Sonne aus und wächst nach allen Seiten als immergrüne Halbkugel auf den Ästen ihres Wirtes. Sie selbst betreibt eine reduzierte Photosynthese, nimmt aber durch das Vordringen bis zu den Leitbahnen des Wirtes Wasser und Kohlenhydrate von jenem auf. Das führt dazu, dass mit zunehmendem Alter der Mistel (sie kann bis zu 30 Jahre alt werden) die Äste des Wirtes oberhalb des Mistelbuschs nicht mehr ausreichend versorgt werden. Bei Trockenheit, wenn der Wirt längst die Spalt-

öffnungen der Nadeln geschlossen hat, transpiriert die Mistel weiterhin viel Wasser, in Größenordnungen ähnlich der maximal möglichen Transpiration und verstärkt dadurch den Trockenstress des Baumes. Insgesamt führt der Mistelbefall beim Wirt zu reduzierter Nadelmasse und Fruktifikation sowie zu verringertem Wachstum. Er macht die Wirtsbäume anfälliger für andere Schadorganismen und erhöht die Mortalität.

Die mistelbedingte Reduktion des Stammzuwachses auf Baum- und Bestandesebene wurde an einem Bestand in Berlin-Müggelsee untersucht (Abb. 3). Auch dort entzieht die Kiefern-Mistel dem Wirt Wasser und Kohlenhydrate. Der starke Mistelbefall bewirkt beachtliche Stammzuwachsreduktionen. Dies entspricht einer Reduktion von 29% im Grundflächenzuwachs und einer neunprozentigen Reduktion des Stammholzes in den letzten neun Jahren mit starkem Befall. Das bedeutet, dass der Zuwachs pro Baum im Mittel um 0,07 m<sup>3</sup> Holz vermindert wurde (Kollas et al., 2017). Ähnliche Ergebnisse erzielten Untersuchungen in Hessen, der Türkei und Spanien an der Waldkiefer und der Schwarzkiefer (*Pinus nigra*).

Da die Mechanismen, wie die Mistel Wasser und Nährstoffe dem Baum entzieht, bekannt sind, können diese Prozesse in einem Computermodell abgebildet werden. Mit Hilfe des ökophysiologischen

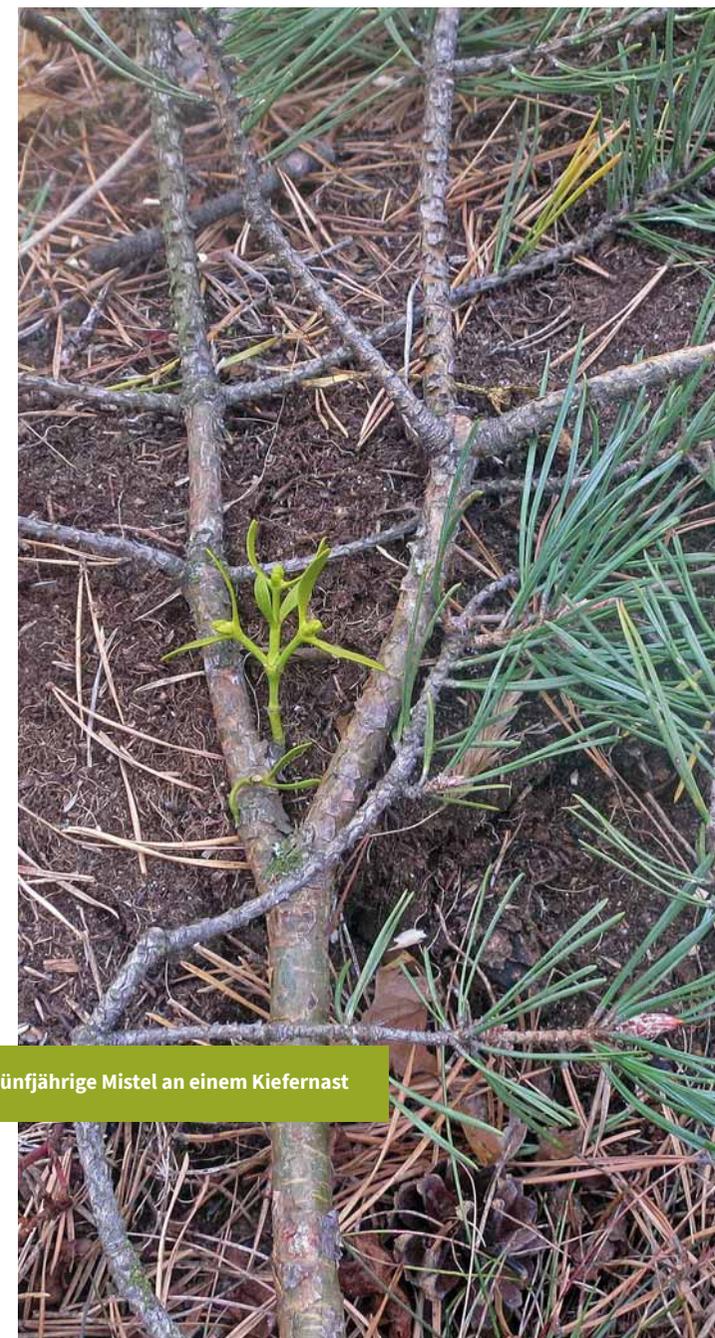


Abb. 1 Fünfjährige Mistel an einem Kiefernast

Abb. 3 Kiefer mit starkem Mistelbefall



Waldwachstumsmodells 4C, das die Entwicklung von Waldbeständen beschreibt, wurde das Wachstum der Misteln und die Auswirkungen auf den Kiefernbestand simuliert (Abb. 2). Mit dieser Vorgehensweise können auch andere Bestände untersucht werden. Damit lässt sich der Einfluss der Mistel verallgemeinern und es bietet sich die Möglichkeit, Holzverluste durch die Mistel allgemein zu quantifizieren. Das Alter des Baumbestandes bei dem anfänglichen Parasitenbefall und die Populationsentwicklung der Mistel im Bestand sind hierbei die Schlüsselinformationen, um die Holzverluste zu beziffern.

i

Die Kiefern-Mistel, ein zunehmend ernst zunehmender Forstschädling in Deutschland, kann starke Vitalitätseinbußen bei der Kiefer hervorrufen. Das Waldwachstumsmodell 4C kann die von der Mistel verursachte Reduktion im Stammzuwachs simulieren und damit aktuelle sowie kommende Schäden abschätzen.

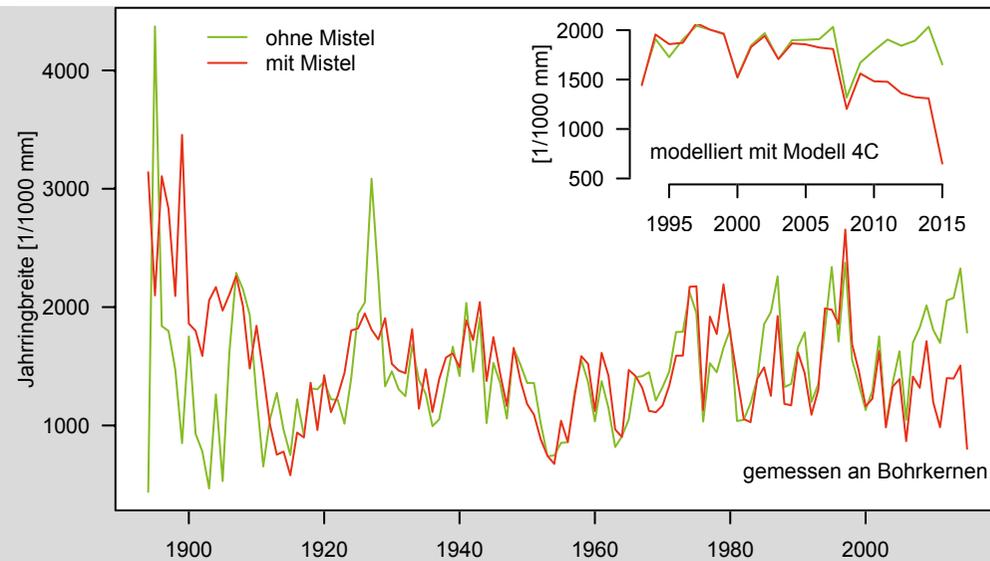


Abb. 2 Gemessene und simulierte Jahringzuwächse mit und ohne Mistelbefall in Berlin-Müggelsee

## Diplodia-Triebsterben – ein neues Phänomen?

Das *Diplodia*-Triebsterben ist eine weltweit verbreitete Erkrankung bei Kiefern, die auch an anderen Nadelbäumen wie z. B. Douglasien auftreten kann. Sie wird durch den wärme liebenden Schlauchpilz *Sphaeropsis sapinea* (Synonym: *Diplodia pinea*) ausgelöst. Die Erkrankung tritt seit einigen Jahren vermehrt in Kiefernbeständen in Deutschland auf.



Das typische Schadbild der Erkrankung umfasst ein Triebsterben, das oft mit einer plötzlichen rot-bräunlichen Verfärbung der Nadeln verbunden ist. An der Basis der Nadeln bilden sich schwarze Fruchtkörper (Abb. 4). Die abgestorbenen Nadeln bleiben zunächst hängen und fallen verzögert vom Trieb ab. An den erkrankten, verkrümmten Trieben tritt häufig Harz aus. Bei längerem Befall können Wipfeldürre (Abb. 5) und Rindenschäden auftreten. Nachfolgend kann es zur Blaufärbung in Ästen und Stämmen kommen und somit zur Holzentwertung.

Je nach Befallsintensität sterben von außen nach innen Äste und Kronenteile oder ganze Bäume ab. Das *Diplodia*-Triebsterben fördert den Befall durch Folgeschadorganismen (z. B. Pracht-, Borken- und Bockkäfer oder Holzfäulepilze, z. B. Hallimasch), die den Schadensfortschritt fördern. Der wärmeliebende Erreger des *Diplodia*-Triebsterbens *S. sapinea* kommt in ganz Deutschland endophytisch in Kieferntrieben vor. In seiner saprophytischen Phase fruchtet der Pilz an Trieben, Nadeln und Zapfen seines Wirtes.

Neben *S. sapinea* wurden weitere 90 verschiedene Pilzarten festgestellt, die symptomlos in Zweigen der Waldkiefer vorkommen (Abb. 7). Unter den Endophyten fanden sich viele meist saprophytisch lebende Arten, die typischerweise auf Laubholz fruktifizieren. Dabei wurden potenzielle Pathogene für holzige Pflanzen ebenfalls identifiziert, wie z. B. der Schlauchpilz *Sydowia polyspora*, der häufig auf Koniferen vorkommt und bei der Zersetzung von Nadeln, Zweigen und Ästen eine wichtige Rolle



Abb. 4 Fruchtkörper von *S. sapinea* an einem Kiefernweig

spielt. Dieser Pilz kann ebenfalls Nadel- und Zweigsterben an geschwächten Kiefern und Tannen auslösen. Dem Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens geht in der Regel eine Schwächung der Kiefer voraus. Auslösende Faktoren sind nach derzeitiger Einschätzung Wasserdefizite durch Trockenheit / Hitze (Niederschlagsdefizite) oder Verletzungen der Triebe durch Hagelschlag.

Ein Befall mit Misteln erhöht die Anfälligkeit, da dieser Trockenstress bei den Wirtspflanzen auslöst. Trockenstress kann auch auf flachgründigen, südexponierten Standorten oder Kuppenlagen entstehen und die Erkrankung auslösen. Zahlreiche untersuchte Schadensfälle waren mit Wurzelfäulen, insbesondere durch den Wurzelschwamm, assoziiert. Letzterer wirkte in diesen Fällen ebenfalls teilweise schadensverstärkend.

Bislang gibt es keine systematische Überwachung des *Diplodia*-Befalls. Die Forstangestellten der Forstreviere melden eigenständig auffällige Symptome

Abb. 5 Absterbende Kiefern durch *Diplodia*-Triebsterben

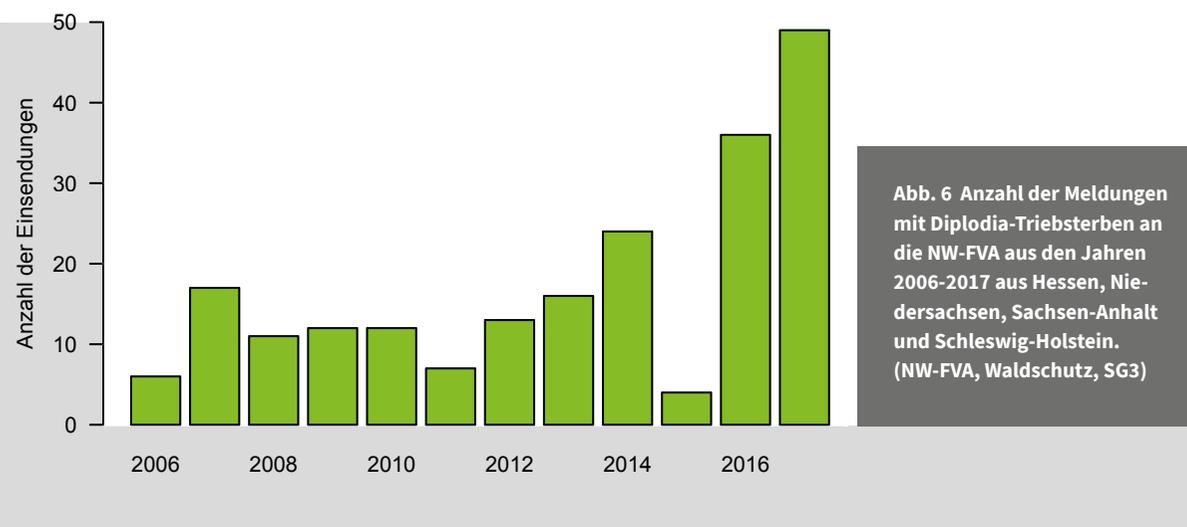


an den Bäumen den Experten der forstlichen Versuchsanstalten und senden Proben ein. Beobachtungen dieser Einsendungen aus vier Bundesländern seit 2006 zeigen eine deutliche Zunahme der befallenen Bestände (Abb. 6).

Im Zuge des Klimawandels kann damit gerechnet werden, dass einerseits die Vitalität der Kiefer herabgesetzt wird und sie somit anfälliger für Erkrankungen ist. Andererseits könnte der wärmeliebende Pilz *S. sapinea* von der Temperaturerhöhung profitieren.

Das *Diplodia*-Triebsterben ist kein neues Phänomen, tritt aber vermehrt in Kiefernbeständen auf.

**i** Im Zuge des Klimawandels wird ein häufigeres Auftreten des *Diplodia*-Triebsterbens erwartet. Der wärmeliebende Schlauchpilz *Diplodia* kommt in ganz Deutschland vor und kann bei längerem Befall Wipfeldürre und Rindenschäden auslösen. Dadurch wird die Vitalität der Kiefer herabgesetzt und sie ist anfälliger für weitere Erkrankungen.



## KiefernSchädling Nonne – Überwachung und Prognose



Die Nonne ist ein Schmetterling, der zu Massenvermehrungen fähig ist. Die Raupen können in solchen Jahren besonders Nadelbäume auf großer Fläche kahl fressen. Fehlen mehr als 90% der Nadeln, dann erholen sich die Bäume häufig nicht mehr und sterben ab.

Namensgebend für den Nonnenfalter (*Lymantria monacha* L) ist die schwarzweiße Zeichnung der Vorderflügel des Schmetterlings (Abb. 8). Die Entwicklung des Schmetterlings dauert über sechs Larvenstadien an. Die Raupen sind sehr gefräßig und können bei starkem Auftreten große Schäden anrichten (vgl. Abb. 9).

Die Entwicklungsstadien im Laufe des Jahres kann man wie folgt zusammenfassen. Von Januar bis März erfolgt die Überwinterung der Raupen im Ei. Ab April bis Juni finden der Schlupf und Nadelfraß der Raupen statt. Von Juli bis September erfolgt die Verpuppung und der Schlupf der Falter und es beginnt die Eiablage. Von Oktober bis Dezember findet die Raupenentwicklung im Ei statt und es wird eine Winterruhe eingelegt.

Es gibt zwei Stufen zur Überwachung der Ausbreitung der Nonne. Die erste Stufe erfolgt jährlich und landesweit. Dabei geben die Revierförster eine Einschätzung zu den Fraßschäden. Zur Überwachung des Falterfluges werden „Pheromonfallen“ aufgestellt, diese nutzen einen synthetischen weiblichen Lockstoff, um Männchen zu fangen.

Wenn diese jährlich durchgeführten Arbeiten auf eine beginnende massenhafte Vermehrung hindeuten, wird die Überwachung intensiviert. Ein immer engeres Netz von Kontrollen ermittelt in aufeinander aufbauenden Schritten die Waldbestände, in denen Kahlfraß zu erwarten ist. Die Grenzwerte in diesem System sind aus jahrzehntelangen Beobachtungen und wissenschaftlichen Analysen abgeleitet. Werden sie überschritten, kann es notwendig sein, Pflanzenschutzmittel auszubringen, um den Wald zu erhalten.

Die zweite Stufe der Überwachung tritt bei akuter Gefährdung ein. Es werden Flächen zur intensiveren Überwachung festgelegt und sogenannte „Zählstämme“ bestimmt, um die weiblichen Falter am Baumstamm zu erfassen.



Abb. 8 Nonne (*Lymantria monacha*), Weibchen

Sind die Grenzwerte überschritten, werden weitere Überwachungsstufen in Kraft gesetzt, um den Befall möglichst genau abzugrenzen.

Im Rahmen des Waldschutz-Monitorings werden seit langer Zeit fortlaufend Informationen über die Waldbestände erhoben. Die vielfältigen Daten über das Ökosystem ermöglichen Ausblicke in die Zukunft. Sie decken folgende Bereiche ab:

- Waldschutz: Überwachung z.B. der Schmetterlingsarten Nonne, Kiefernspinner sowie Kiefernbuschhornblattwespen
- Waldbestände: Baumarten, Alter, Höhen und Holzvorrat der Bestände
- Standortparameter: beschreiben die Bodeneigenschaften und das für die Pflanzen verfügbare Wasser

- Witterung: detaillierte Messungen z. B. von Niederschlag und Temperatur

Auf der Grundlage der vorhandenen Daten wurde ein Risikomodell entwickelt, das die Gefährdung eines Nonnenfraßes in Abhängigkeit von Informationen über die Bestandesstruktur, Witterung des Vorjahres und die Wasserversorgung des Standortes abschätzt.

Um darzustellen, wie sich das Waldökosystem unter dem Einfluss von Klimawandel und forstlicher Steuerung verändert, wurde das Risiko von Fraßschäden unter verschiedenen Klimaszenarien mit unterschiedlichen Szenarien der Waldbewirtschaftung kombiniert.



Abb. 9 Starke Fraßschäden durch die Raupen der Nonne

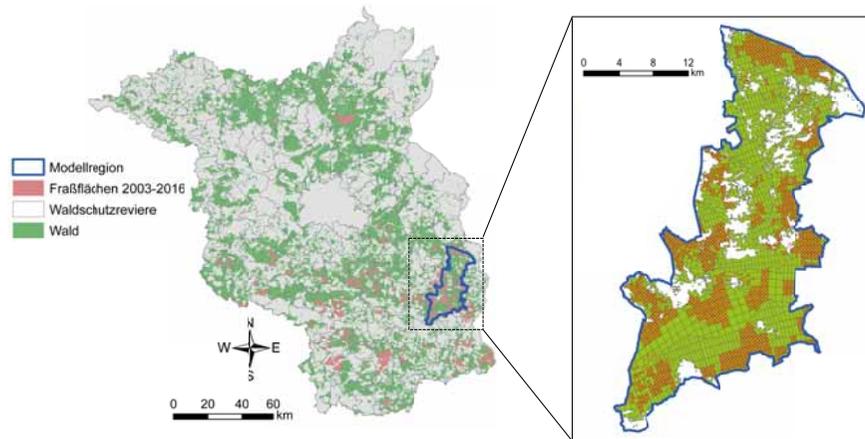


Abb. 10 Übersicht zu den Fraßflächen der Nonne in Brandenburg 2003-2016

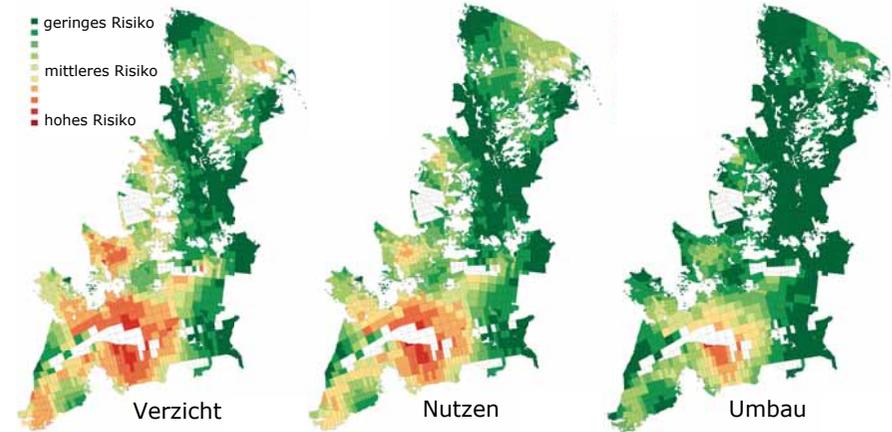


Abb. 11 Verschiedene forstliche Szenarien zur Situation der Waldbestände im Jahr 2035

Die Untersuchung verschiedener möglicher Entwicklungen (Abb. 11) zeigt: Obwohl mit dem Klimawandel die Risiken von Schäden durch Insekten zunehmen, können sie durch eine aktive forstliche Gestaltung der Wälder und ein angepasstes, wissenschaftlich fundiertes Monitoring deutlich verringert werden (Hentschel et al. (2017), Möller et al. (2016) und Möller et al. (2007)).

Für die Berechnung der erzeugten Risikokarten wurden folgende Daten aus den Monitoringprogrammen genutzt:

- Waldschutz-Daten von 2002 bis 2016 sowie Fraßkartierungen
- Pheromonfallendaten und Aufzeichnungen zu Pflanzenschutzmitteleinsätzen, Winterbodensuchdaten (zu weiteren Kieferschädlingen)
- Bestandesdaten-Informationen zu den Waldeigenschaften aus dem Datenspeicher Wald

- Standortdaten wie Nährstoffversorgung und Wasserhaushaltsgrößen
- Witterungsdaten der Jahre 2002–2016 und drei Klimaszenarien für den Zeitraum 2015–2100

Die erzeugten Risikokarten verdeutlichen das Risiko durch Kahlfraß, welches sich bei verschiedenen Varianten der forstlichen Steuerung ergibt. Die Variante „Verzicht“ bedeutet, dass die forstliche Bewirtschaftung der Wälder eingestellt wird. In der Variante „Nutzung“ erfolgt eine forstwirtschaftliche Nutzung nach den regional üblichen Verfahren, während die Variante „Umbau“ die aktive Anreicherung der Wälder durch Pflanzung von Laubbäumen und verstärkte Nutzung der Nadelbaumbestände annimmt. Rottöne in der Abbildung 11 stellen hohe Risiken für Kahlfraß durch die Nonne dar, Grüntöne geringe Risiken.

**i** Mit dem Klimawandel nehmen die Risiken von Schäden durch Insekten für unsere Wälder zu. Diese Risiken und möglichen Schäden sollten durch wissenschaftlich fundierte Monitoring- und Waldschutzverfahren intensiv begleitet werden, um Waldverluste zu vermeiden. Die aktive forstliche Gestaltung der Wälder, vor allem durch ökologischen Walddumbau, hin zu mehr Struktur- und Baumartenvielfalt kann die Gefährdung durch Schadinsekten wie die Nonne deutlich reduzieren.

## Nonnenfraß und Waldwachstum in den Kiefernwäldern Brandenburgs

Das folgende Kapitel gibt einen Einblick, wie die Informationen des vorigen Kapitels mit einem Waldwachstumsmodell verknüpft werden können, um Auswirkungen des Nonnenfraßes auf das Waldwachstum und damit zusammenhängenden Ökosystemdienstleistungen des Waldes zu analysieren.

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Frage, wie sich Massenvermehrungen der Nonne und der damit einhergehende Fraß der Kiefernadeln auf das Wachstum der Kiefern auswirken. Von besonderem Interesse ist, inwieweit die Speicherung von Kohlenstoff durch das Wachstum der Bäume beeinträchtigt und wie stark dadurch der Holzvorrat in Kiefernwäldern beeinflusst wird. In Brandenburg stehen laut der aktuellen Landeswaldinventur auf 735 000 Hektar Kiefernwälder (70% der Waldfläche) (MLU, 2015). In einem Modellexperiment wurde das im vorigen Kapitel beschriebene Risikomodell der Schaderregerprognose zum Nonnenbefall mit dem öko-physiologischen Waldwachstumsmodell 4C gekoppelt (Gerstengarbe und Welzer (2013), Kap. 4.2). Dabei wird in jedem Simulationsjahr die Information über die Wahrscheinlichkeit des Nonnenfraßes in einem Kiefernwald an das Waldwachstumsmodell übergeben. Das Waldwachstumsmodell wiederum errechnet für jedes

Jahr die Größen zur Beschreibung des Waldzustandes (Baumhöhe, Baumdurchmesser, Holzvorrat, Wasserverdunstung der Bäume u.v.a.m.) und übergibt diese dann dem Schaderregermodell. Hinzu kommen für beide Modelle die täglichen Wetterdaten. Damit ließ sich für den gesamten Kiefernwald in Brandenburg der Einfluss von Nadelfraß durch die Nonne simulieren.

Das Risikomodell zum Nonnenfraß errechnete auf Basis der Waldzustands- und Wetterdaten für den Modellzeitraum 2002-2014 in sieben von dreizehn

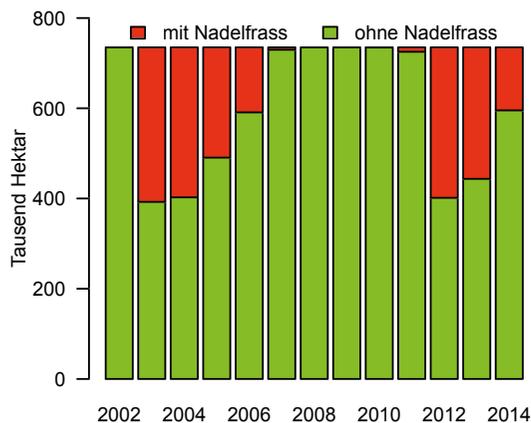


Abb. 12 Vom Schaderregermodell errechnete Fläche mit potenziellem Risiko für Nadelfraß durch die Nonne

Jahren ein hohes Risiko durch Nonnenfraß (Abb. 12). Das führte beispielsweise dazu, dass 2003 auf knapp 350000 Hektar, also fast 50% der Kiefernwaldfläche, Nadelfraß simuliert wurde.

Die Auswirkungen auf das Kiefernwaldwachstum treten durch so ein sehr drastisches Schaderreger-szenario deutlich hervor. Der Nadelfraß senkt als erstes die Blattmasse, die für die Photosynthese zur Verfügung steht. Die betroffenen Bäume versuchen, diese Blattmasse mit Hilfe ihres Reservspeichers zu ersetzen.

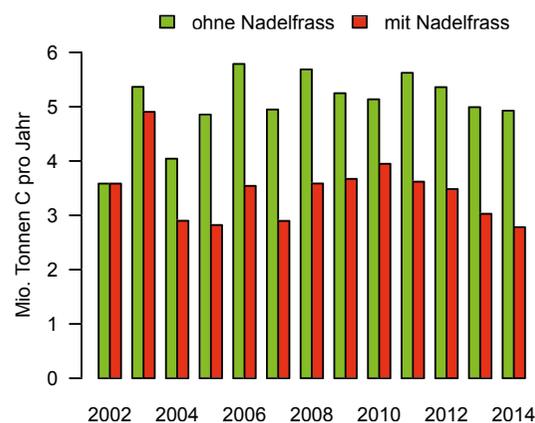


Abb. 13 Durchschnittlich jährliche Kohlenstoff-Speicherung durch Wachstum der Kiefernbestände mit und ohne Nadelfraß

Diese beiden Prozesse führen zur Verringerung des Kohlenstoff-Speicherpotenzials der Kiefernwälder (Abb. 13). Im Mittel über die 13 Simulationsjahre werden 31% weniger Kohlenstoff in Folge des verringerten Baumwachstums durch Nadelfraß in Brandenburgs Kiefernwälder gespeichert.

Verringertes Baumwachstum schlägt sich natürlich auch in einem geringeren Holzvorrat nieder. Aktuell steigt der Holzvorrat in Brandenburgs Wäldern trotz Holznutzung. In Abb. 14 ist dieser Anstieg in den grünen Balken für die Simulation ohne

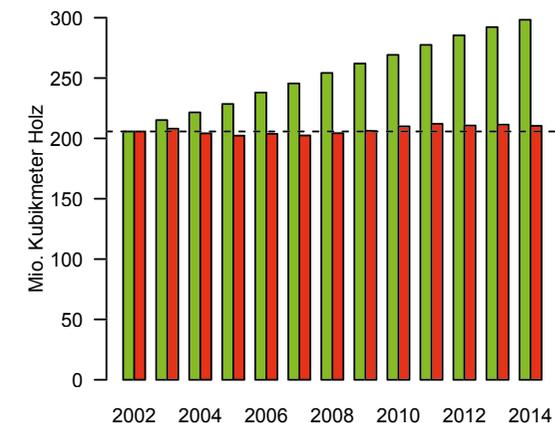


Abb. 14 Oberirdischer Holzvorrat der Kiefernbestände mit und ohne Nadelfraß

Nonnenfraß zu sehen. Im Unterschied dazu bleibt der Holzvorrat unter dem Szenario mit dem gekoppelten Schaderregermodell konstant (rote Balken). Am Ende der 13-jährigen Simulationszeit beträgt der relative Verlust im Szenario mit Nonnenfraß 29%.

Der Verlust der Nadeln beeinflusst allerdings nicht nur den Kohlenstoffkreislauf und das Wachstum im Wald, sondern auch ganz entscheidend den Wasserkreislauf. Verringerte Blattmasse bedeutet auch verringerte Verdunstung der Bäume (Abb. 15).

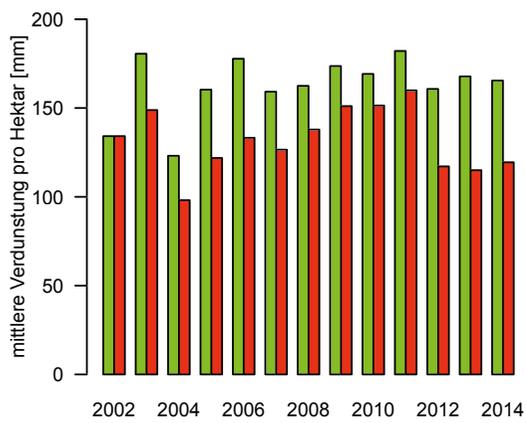


Abb. 15 Mittlere Verdunstung der Kiefernbestände mit und ohne Nadelfraß

Unsere Simulationen zeigen im Schnitt eine um 19% verringerte Transpiration in befallenen Kiefernbeständen im Vergleich zu den unbefallenen Beständen.

Die Verdunstung durch Bäume stellt einen wichtigen Faktor für den Kühleffekt des Waldes an heißen Sommertagen dar. Das zeigt Abb. 16 für gemessene Temperaturen an einem sehr heißen Sommertag (10.7.2010) in einem intakten circa 70-jährigen Kiefernbestand im Berliner Grunewald sowie einer benachbarten Freifläche (Kallweit, 2014).

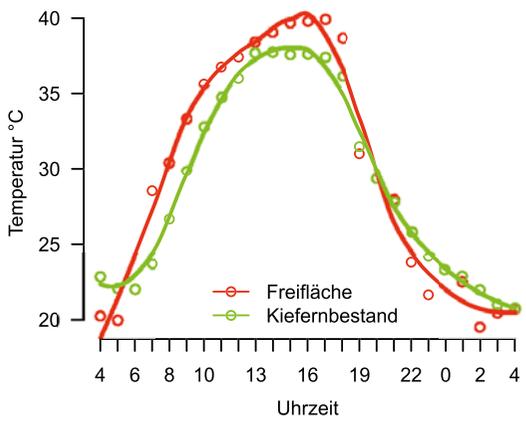


Abb. 16 Tagesgang der Temperatur in einem intakten Kiefernbestand und auf einer nahegelegenen Freifläche des Berliner Grunewalds an einem heißen Sommertag

Diese Kühlfunktion von 4-5°C in der Vormittagszeit ist eine sehr wichtige Leistung gerade von stadtnahen Erholungswäldern. Wie bedeutend dieser Aspekt für die Waldbesucher stadtnaher Wälder ist, zeigt insbesondere das folgende Kapitel.

**i** Störungsereignisse, wie der Nadelfraß durch Insekten, gehören zur natürlichen Dynamik unserer Wälder. Starke Fraßereignisse üben deutliche Effekte auf den Kohlenstoff- und Wasserhaushalt der hier betrachteten Kiefernwälder aus. So verringern sich das Kohlenstoff-Speicherpotenzial, der Holzvorrat und auch die Verdunstung und damit der kühlende Einfluss auf das Mikroklima. Ökosystemdienstleistungen, wie zum Beispiel die Erholungsfunktion von Stadtwäldern, sind damit ebenfalls beeinflusst.



## Interessen der Waldbesucher

Wälder werden von den Waldbesuchern wegen der frischen Luft und der naturnahen Umgebung geschätzt und für eine Vielzahl an Freizeitaktivitäten genutzt.

So leisten Wälder einen wichtigen Beitrag für die körperliche und geistige Gesundheit der Menschen.

Stadtnahe Waldgebiete sind nicht nur als Orte der Holzproduktion von Bedeutung, sondern erfüllen auch eine Reihe von Funktionen für die in der Nähe liegenden Städte. Neben ihrer Funktion als Kohlenstoffspeicher reinigen Stadtwälder die Stadtluft, helfen beim Hochwasserschutz und dienen der Stadtbevölkerung als wertvolle Naherholungsgebiete.

Umfragen, welche unter den Besuchern stadtnaher Waldgebiete in Berlin, Leipzig, Erfurt und Mannheim durchgeführt wurden, zeigen, dass diese Waldgebiete eine Vielzahl von positiven Assoziationen bei den Waldbesuchern auslösen (Abb. 17). Insbesondere die Erholungsfunktion (zum Beispiel im Rahmen eines Spaziergangs) wird von den befragten Besuchern an erster Stelle genannt. Dem entsprechend werden die stadtnahen Wälder von über 30% der Befragten häufiger als einmal wöchentlich besucht (Abb. 18).

Die Waldbesucher wurden auch nach ihrer Meinung zum Klimawandel und dessen Auswirkungen befragt. Die Mehrheit der Befragten glaubt, dass der Wald durch den Klimawandel an Bedeutung gewinnt und dass sich der Klimawandel negativ auf den Wald auswirkt. Dennoch können viele der Befragten keine Anzeichen für den Klimawandel in ihrem Stadtwald benennen. Die Rolle der Förster wird aus Sicht der befragten Waldbesucher durch

den Klimawandel wichtiger, 60-80% denken, dass durch den Klimawandel mehr Forstmaßnahmen nötig werden. Auch ist die Rolle der Förster bei der Information der interessierten Waldbesucher über die lokalen Folgen des Klimawandels von zunehmender Bedeutung.

**i** Für die Waldbesucher ist die Erholungsfunktion des Waldes die wichtigste Ökosystemdienstleistung. Natur, Ruhe und frische Luft sind die Hauptgründe für den Erholungswert des Waldes. Die Mehrheit der Waldbesucher geht häufiger als einmal pro Woche in den Wald.



Abb. 17 Am häufigsten genannte Schlagworte bei den Fragen was die Waldbesucher mit dem Wald assoziieren und welche Tätigkeiten sie im Wald ausüben

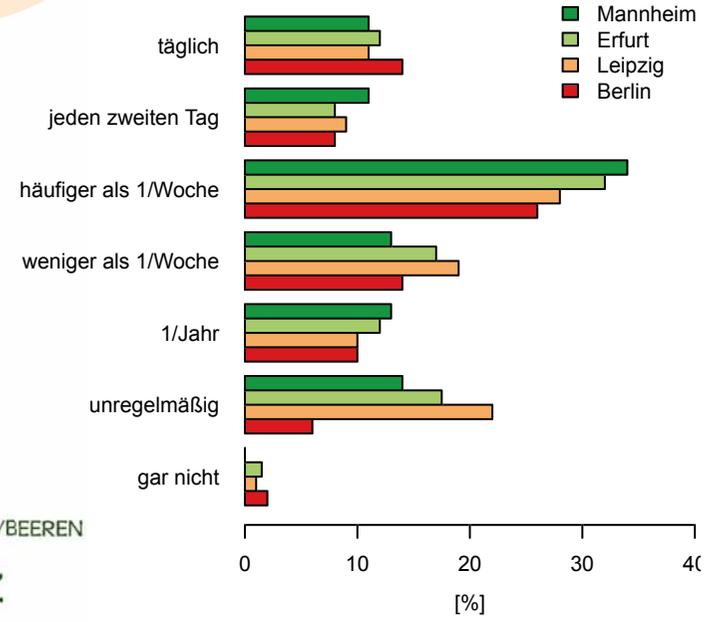


Abb. 18 Häufigkeit der Waldbesuche



## Was wissen Waldbesucher

## über Schaderreger und deren Bekämpfung?

Der Kenntnisstand über Waldschädlinge und Schädlingsbekämpfung ist unter den Waldbesuchern niedrig.

Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen werden unterschiedlich gut akzeptiert.

Bei den Umfragen unter den Besuchern stadtnaher Waldgebiete in Berlin, Leipzig, Erfurt und Mannheim wurde das eigene Wissen über Waldschädlinge und deren Bekämpfung von der Mehrheit als eher niedrig eingeschätzt.

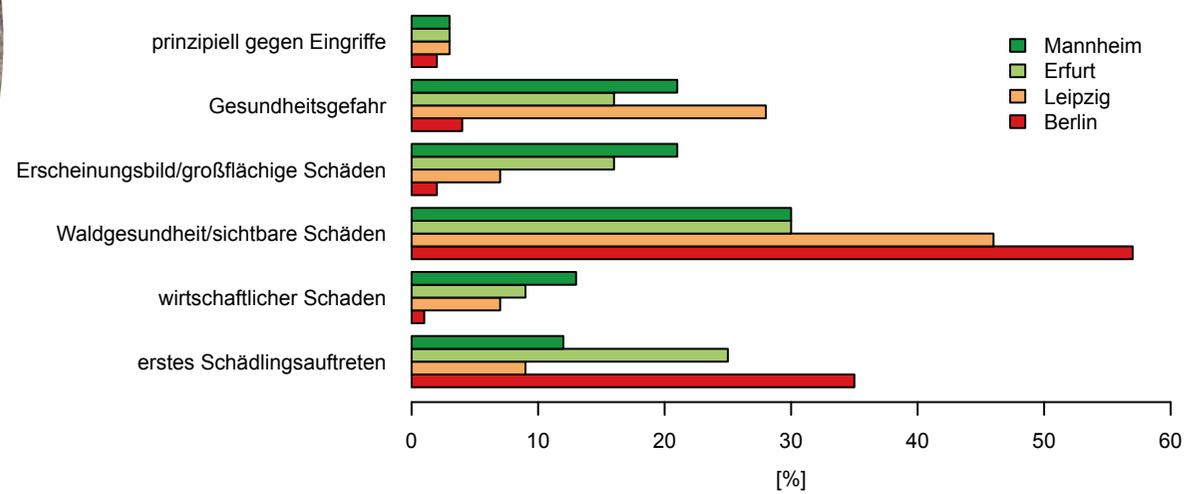
Die bekannteste Gruppe von Waldschädlingen sind die Borkenkäfer, sie machen zwischen 33% und 52% der in den Umfragen genannten Waldschädlinge aus. Der zweitbekannteste Waldschädling ist

mit 7 - 23% der Nennungen der Eichen-Prozessionsspinner (Abb. 19). Als weitere, jedoch weit weniger bekannte Waldschädlinge wurden Miniermotten, Wildschweine und Maikäfer benannt.

Die Regulierung bzw. Bekämpfung von Waldschädlingen ist ein Thema, bei dem unter den Waldbesuchern viel Unsicherheit herrscht. In den Umfragen wurden die Waldbesucher gefragt, unter welchen Umständen sie Eingriffe akzeptieren würden (Abb. 20).



**Abb. 19 Raupen des Eichenprozessionsspinners**



**Abb. 20 Akzeptanz von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen**

Nur etwa 2-3% der Befragten lehnen schädlingsregulierende Eingriffe prinzipiell ab. Die Gefahr von wirtschaftlichen Schäden war für 1-13% der befragten als Kriterium akzeptabel, eine Gefahr für die menschliche Gesundheit für 4-28%. Für 30-57% der Befragten sind Eingriffe bei sichtbarer Schädigung und Störung der Waldgesundheit annehmbar. Zwischen 2% und 21% der Befragten würden erst eingreifen, wenn großflächiges Absterben der Bäume droht und das Erscheinungsbild des Waldes

beeinträchtigt ist. Die Waldbesucher wurden auch nach ihrer Meinung zu verschiedenen Arten von Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen gefragt. Dabei erhielten Maßnahmen, welche Pflanzenschutzmittel sowohl im kleinen als auch im großen Maßstab verwenden, weniger Zustimmung als Maßnahmen, die ohne Pflanzenschutzmitteleinsatz auskommen. Dennoch ist bei letzteren Maßnahmen der von den Befragten angegebene Informationsbedarf verhältnismäßig hoch.

Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse zeigt sich, dass bei der Akzeptanz von Maßnahmen zur Schädlingsbekämpfung sowohl das Alter der Befragten als auch der von den Befragten selbst eingeschätzte eigene Wissensstand zu Schädlingen und deren Regulierung eine große Rolle spielen. Im Falle der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln an Einzelbäumen steigt die Akzeptanz der Maßnahmen sowohl mit dem Alter der Befragten als auch mit ihrem Wissensstand. Diese beiden Trends kann man in allen vier Städten beobachten (Abb. 21).

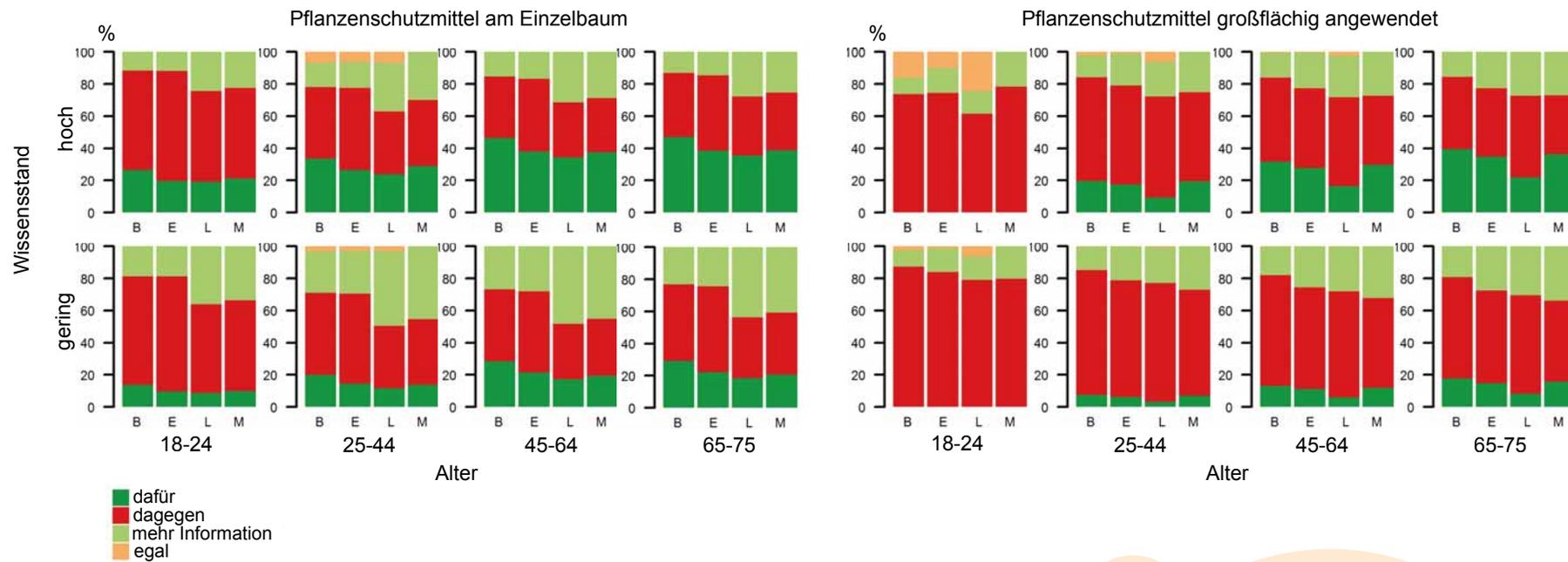


Abb. 21 Statistische Auswertung zur Akzeptanz der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Einzelbaum, großflächig) für alle vier Städte Berlin (B), Erfurt (E), Leipzig (L) und Mannheim (M)

Ähnliche Ergebnisse ergeben die Antworten auf die Frage zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auf großflächiger Ebene. Insgesamt ist die Ablehnung dieser Maßnahme deutlich größer als am Einzelbaum. Aber auch hier zeigt sich die Tendenz, diese Maßnahme eher zu akzeptieren, je älter die Befragten waren und umso höher sie ihren eigenen Wissensstand eingeschätzt haben (Abb. 21).



Das Wissen der Waldbesucher über Schaderreger beschränkt sich auf wenige Arten und ist bei älteren Waldbesuchern besser ausgeprägt. Schädlingsregulierung wird am ehesten akzeptiert, wenn die Waldgesundheit sichtbar beeinträchtigt ist. Weniger intensive Regulierungsmaßnahmen auf kleineren Waldflächen werden eher akzeptiert als intensive Maßnahmen auf größeren Waldflächen.

## Waldbesucher und Forstakteure

Dieses Kapitel bündelt beschriebene Risiken und forstliche Maßnahmen des Monitorings und der Bekämpfung. Es fasst das Verständnis von Waldbesuchern gegenüber forstlichen Maßnahmen in „ihrem“ Stadtwald zusammen. Hierbei kommt es auf eine bessere Kommunikation zwischen Forstakteuren und Waldbesuchern an.

Der Stadtwald steht im Fokus der Stadtbewohner und Stadtbesucher. Er ist ein Ruhepol im hektischen Leben der modernen urbanen Zentren und erbringt eine Vielzahl von Ökosystemleistungen, die wichtig sind für das Gemeinwohl (z.B. Schadstofffilter, lokale Klimaregulierung). Doch hauptsächlich besucht und genutzt wird der Stadtwald zur Erholung. So verzeichnet beispielsweise das Waldgebiet des Jahres 2015, der Berliner Grunewald, 100 Millionen Besucher jährlich. Um hier ein ausgewogenes Walderleben zu ermöglichen, ist ein vielfältiges Management notwendig, welches sich von der klassischen Forstwirtschaft in stadtfernen Waldgebieten unterscheidet. Aufgrund der Bedeutung des Stadtwalds für die Bevölkerung nimmt dieser regen Anteil an dem Geschehen im Wald.

Die Bewirtschaftung eines Stadtwaldes richtet sich nach den Erkenntnissen der forstwissenschaftlichen Forschung und Praxis, wobei die Kommunikation mit den Waldbesuchern eine große Rolle spielt. Daraus ergibt sich eine Vielzahl von forstlichen Maßnahmen, um die entsprechenden Ansprüche an einen Stadtwald zu erfüllen. Diese Maßnahmen

orientieren sich am Konzept des integrierten Waldschutzes, der auf folgenden ökologischen und ökonomischen Grundprinzipien basiert:

- Schwerpunkt liegt in der Vorbeugung (Erfassung der Waldschutzsituation, Prognosewerkzeuge, Waldumbau)
- Kombinieren von waldbaulichen, biologischen, mechanischen und chemischen Maßnahmen
- Ausnutzung der natürlichen Funktionen (wie z.B. natürliche Feinde der Waldschädlinge)
- Reduktion des Pflanzenschutzmittelbedarfs auf ein Mindestmaß durch Ausschöpfen aller nicht chemischen Methoden (komplexes Genehmigungsverfahren)
- Wirtschaftlichkeitsprinzip, d. h. der Nutzen muss stets den Aufwand rechtfertigen

Schon jetzt zeichnet sich die Bewirtschaftung von Stadtwäldern durch ein hohes Maß an Komplexität aus (Abb. 22), die den Forstpraktiker vor große Herausforderungen stellt. Durch die klimatischen Änderungen ergeben sich neue Risiken für die Funktionen des Stadtwaldes. Die klimatischen

Änderungen wirken sich direkt auf das Baumwachstum und indirekt durch die veränderte Populationsdynamik von Schadorganismen aus und werfen die Frage auf, wie gut die aktuelle Baumartenverteilung an die künftigen Entwicklungen angepasst ist. Stellvertretend hierfür wurde in dieser Broschüre die Problematik von Mistelbefall, *Diplodia*-Pilzen und der Schmetterlingsraupen der Nonne vorgestellt.

Diese Entwicklungen bedürfen der forstwissenschaftlichen Forschung und einer damit verbundenen kritischen Beurteilung der forstlichen Maßnahmen. Dieser Prozess ist längst im Gange und wird seit der Etablierung der forstlichen Lehre seit Ende des 18. Jahrhunderts auch so betrieben. Verändert hat sich dagegen neben klimatischen Bedingungen das Verhältnis der Gesellschaft und der Waldbesucher gegenüber dem Wald und seiner Bewirtschaftung. Wurde früher kaum hinterfragt, wie die Forstbediensteten den Wald bewirtschafteten, ist heute ein stetig wachsender Informationsbedarf seitens der Waldbesucher und der Gesellschaft gegenüber den vermehrten Forstmaßnahmen vorhanden.

Neue notwendige forstliche Maßnahmen können dabei je schneller und effizienter angewendet werden, umso höher ihre Akzeptanz bei der Bevölkerung ist. Das wiederum bedarf geeigneter Kommunikationsstrategien. Die Umfragen zeigen ein grundsätzliches Verständnis der Waldbesucher gegenüber einem Anstieg der Anzahl von Forstmaßnahmen durch den Klimawandel. Ebenso ist generell die Akzeptanz von Forstmaßnahmen gegeben, sobald sichtbare Schäden vorhanden sind und/oder die Waldgesundheit auf dem Spiel steht. Sehr kritisch stehen die Waldbesucher jeder Art von Pflanzenschutzmitteln gegenüber. Dem wird bereits durch hohe Hürden und Auflagen für die Genehmigung zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln Rechnung getragen, die wesentlich strenger sind als in der Landwirtschaft. Seitens der Waldbesucher besteht ein Interesse an Information zu diesem Thema. Sie sind offen, was die Nutzung neuer digitaler Medien betrifft. Hier besteht das größte Potenzial, Waldbesuchern frühzeitig Wissen zu möglicherweise neu zu entwickelnden Bewirtschaftungspraktiken und Häufigkeiten zu vermitteln.

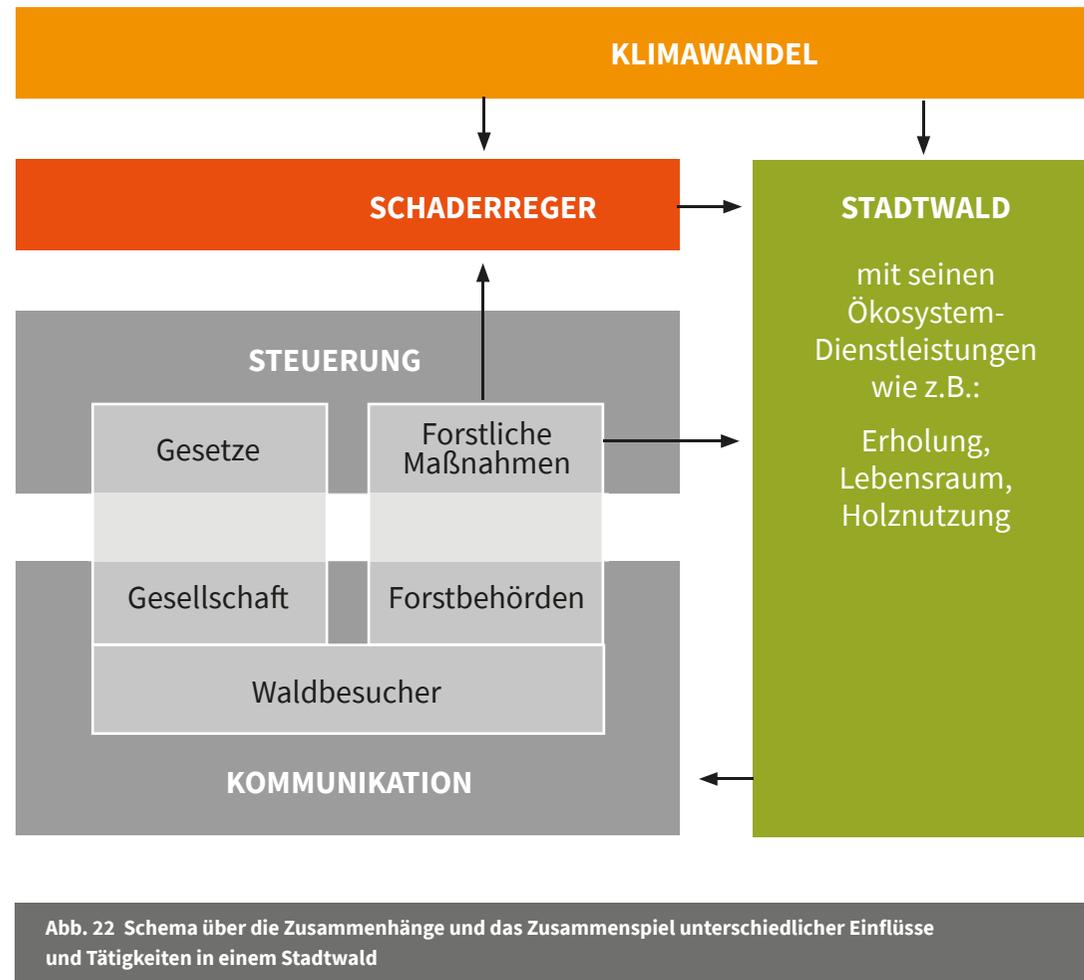


Abb. 22 Schema über die Zusammenhänge und das Zusammenspiel unterschiedlicher Einflüsse und Tätigkeiten in einem Stadtwald

## LITERATURVERZEICHNIS

**Altenkirch, W., Majunke, C. und Ohnesorge, B., 2002.**

Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany.

**BfN, 2012.** Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen.

Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt., Bundesamt für Naturschutz (BfN), Leipzig.

**DWD, 2017.** Zahlen und Fakten zum Klimawandel in

Deutschland. Klima-Pressekonferenz des Deutschen Wetterdienstes am 14. März 2017 in Berlin, DWD.

**Gerstengarbe, F.W. und Welzer, H., 2013.**

Zwei Grad mehr in Deutschland: Wie der Klimawandel unseren Alltag verändern wird. Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main, 320 pp.

**Hentschel, R., Wenning, A., Schröder, J., Möller, K. und A.,**

**D., 2017.** Wald(um)bau versus Kieferngefährdung – Ein Ausblick in die „nahe“ Zukunft der Waldschutzsituation in Brandenburg. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 64: 55-64.

**Hübener, H. et al., 2017.** ReKliEs-De Ergebnisbericht, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, Climate Service Center Germany, Deutscher Wetterdienst, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Universität Hohenheim, Deutsches Klimarechenzentrum.

**IPCC, 2014.** Klimaänderung 2014: Synthesebericht.

Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). IPCC, Genf, Schweiz, Bonn, 146 pp.

**Köhl, M. et al., 2017.** Wald und Forstwirtschaft. In: G.P.

Brasseur, D. Jacob und S. Schuck-Zöllner (Editors), Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 193-201.

**Kollas, C., Gutsch, M., Hommel, R., Lasch-Born,**

**P. und Suckow, F., 2017.** Mistletoe-induced growth reductions at the forest stand scale. Tree Physiol.: 1-10. DOI: 10.1093/treephys/tpx150.

**Lasch-Born, P., Gutsch, M., Reyer, C. und Suckow, F., 2013.**

Auswirkungen auf den Wald in Deutschland. In: F.W. Gerstengarbe und H. Welzer (Editors), Zwei Grad mehr in Deutschland. Wie der Klimawandel unseren Alltag verändern wird. Reihe: Forum für Verantwortung. Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main, pp. 99-130.

**MLU, 2015.** Waldzustandsbericht 2015, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.

**Möller, K., Apel, K.H., Engelmann, A., Hielscher, K. und Walter, C., 2007.** Die Überwachung der Waldschutzsituation in den Kiefernwäldern Brandenburgs –

Weiterentwicklung bewährter Methoden.

Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, 32: 288-296.

**Möller, K., Pastowski, F. und Wenk, M., 2016.**

Überwachung der Nonne und Waldverlust-Prognose. AFZ – Der Wald, 71(15): 31-34.

**Schmidt, H., Eyring, V., Latif, M., Rechid, D. und Sausen, R., 2017.** Globale Sicht des Klimawandels.

In: G.P. Brasseur, D. Jacob und S. Schuck-Zöllner (Editors), Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 7-16.

## BILDVERZEICHNIS

**Titelseite:** Waldweg – @alex.stemmer@depositphotos.com  
Borkenkäfer – @lnzyx@Depositphotos

**S12:** Raupe der Nonne – Katrin Möller, LFE

**S13:** Lymantria Weibchen – Andreas Reichling, LFE  
Fraßschäden durch Nonne – Pascal Ebert, LFE

**S3, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 20, 21, 23** – PIK

**S9, 10, 11** – NW-FVA

## GLOSSAR

**Abiotisch** – leblos, ohne Leben; bezeichnet Vorgänge und Zustände, an denen keine Lebewesen beteiligt sind

**Biotisch** – Vorgänge und Zustände, an denen Lebewesen beteiligt sind

**Endophyten** – Lebewesen, meist Pilze oder Bakterien, welche im Inneren des Vegetationskörpers einer Pflanze leben

**endophytisch** – nach innen wachsend

**Fruktifikation** – Fruchtbildung; Ausbildung von Samen und Früchten

**Mortalität** – Sterberate

**Kohlenstoff-Quelle** – Der Wald setzt über den Prozess der Veratmung (Respiration) und dem Absterben von Bäumen Kohlenstoff frei. Die Höhe der Kohlenstofffreisetzung wird auch durch die Art der Bewirtschaftung und durch die Stärke und Häufigkeit von Störungen (z.B. Sturm, Waldbrand und Schaderreger) beeinflusst.

**Kohlenstoff-Senke** – Der Wald bindet über den Prozess der Photosynthese (siehe NPP) Kohlenstoff in seinen Organen (Nadeln, Stamm, Wurzeln).

**NPP** – Nettoprimärproduktion; Produktion organischer Substanz mithilfe von Licht (Photosynthese) oder chemischer Energie (Chemosynthese), abzüglich des Verlustes durch Gesamt-Atmung (Tages- und Nachtatmung aller grünen und nicht-grünen Pflanzenteile)

**Ökosystemdienstleistungen** – Vorteil, Nutzen oder Gewinn, den die menschliche Gesellschaft aus Ökosystemen zieht und die maßgeblich das Wohlergehen und die Lebensqualität des Einzelnen mitbestimmen. Dabei werden sowohl materielle wie immaterielle Güter, d.h. sowohl Waren als auch Dienstleistungen berücksichtigt (BfN, 2012).

**Pathogene** – Mikroorganismen (z. B. Pilze), die ihrem Wirt Schaden zufügen können

**RCP-Szenarien** – Diese Szenarien einer möglichen Klimaentwicklung wurden für den 5. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) von frei arbeitenden Wissenschaftlern auf der Grundlage von Ergebnissen der wissenschaftlichen Literatur entwickelt. Die RCP-Szenarien bilden die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre ab. Sie lösen die zuvor für den 3. und 4. IPCC Sachstandsbericht genutzten Emissionsszenarien ab. RCP steht für Representative Concentration Pathways.

**Resilienz** – Fähigkeit eines Ökosystems, nach einer Störung zum Ausgangszustand zurückzukehren

**Resistenz** – Widerstandsfähigkeit eines Lebewesens gegenüber schädlichen äußeren Einwirkungen

**Saprophyten** – Organismen, die nicht oder nicht ausreichend zur Photosynthese befähigt sind und daher ihre Nährstoffe ganz oder teilweise aus toter organischer Substanz beziehen.

**saprophytisch** – Ernährungsweise, bei welcher sich Organismen (z.B. Pilze) von toter organischer Substanz ernähren („Fäulnisbewohner“), diese zersetzen und sie somit in den Kreislauf der Natur zurückführen.

**Transpiration** – Wasserverdunstung der Pflanze über ihre Blätter

**Vulnerabilität** – Verwundbarkeit; Verletzbarkeit; besondere Empfindlichkeit von Ökosystemen, Arten und Populationen gegenüber Umweltbedingungen

**Waldschutz** – dauerhafte Beobachtung des Ökosystems Wald und das fallbezogene, zielgerichtete Eingreifen zu seinem Schutz vor Schäden durch unbelebte (abiotische) und belebte (biotische) Faktoren, seien sie natürlich entstanden oder vom Menschen verursacht (Altenkirch et al., 2002)

**Herausgeber** Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PF 601203 D-14412 Potsdam  
pik-potsdam.de

**DOI:** 10.2312/PIK.2018.004

**Redaktion** Ylva Hauf

**Gestaltung** webreform.de

**Druck** GS Druck und Medien GmbH, gsdruck.net  
CO<sub>2</sub>-neutral, kompensiert über ClimatePartner GmbH, auf 100% Recyclingpapier, „Blauer Engel“ zertifiziert

## Projektpartner

---



HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN  
GEOGRAPHISCHES INSTITUT  
ABTEILUNG LANDSCHAFTSÖKOLOGIE

Unter den Linden 6  
10099 Berlin  
[www.hu-berlin.de](http://www.hu-berlin.de)



POTSDAM-INSTITUT  
FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG  
FORSCHUNGSBEREICH II:  
KLIMAWIRKUNG UND VULNERABILITÄT

Telegraphenberg A31  
14473 Potsdam  
[www.pik-potsdam.de](http://www.pik-potsdam.de)



FORSTLICHE VERSUCHS-  
UND FORSCHUNGSANSTALT  
BADEN-WÜRTTEMBERG  
ABTEILUNG WALDSCHUTZ

Wonnhaldestr. 4  
79100 Freiburg  
[www.fva-bw.de](http://www.fva-bw.de)



LANDESKOMPETENZZENTRUM  
FORST EBERSWALDE  
ABTEILUNG WALDSCHUTZ

Alfred-Möller-Straße 1  
16225 Eberswalde  
[forst.brandenburg.de/sixcms/  
detail.php/474880](http://forst.brandenburg.de/sixcms/detail.php/474880)



NORDWESTDEUTSCHE  
FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT  
ABTEILUNG WALDSCHUTZ

Grätzelstrasse 2  
37079 Göttingen  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de)