Ariadne-Hintergrund

Was sind eigentlich Wärmespeicher und wofür brauchen wir sie in der Energiewende?

KOPERNIKUS PROJEKTE
Ariadne
Die Zukunft unserer Energie

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Autorinnen und Autoren



» Alexander Burkhardt
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung



» Dr. Anna Billerbeck
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung



» Dr. Barbara Breitschopf
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung



» Simon Bußmann
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung



» Miriam Frömel
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung



» Dr. Wolf-Peter Schill
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung



» Dr. Felix Schmidt
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung

Dieses Papier zitieren:
Alexander Burkhardt, Anna Billerbeck, Barbara Breitschopf, Simon Bußmann, Miriam Frömel, Wolf-Peter Schill, Felix Schmidt (2026): Was sind eigentlich Wärmespeicher und wofür brauchen wir sie in der Energiewende? Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.
https://doi.org/10.48485/pik.2026.12

Herausgegeben von
Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

Mai 2026

Kontakt zu den Autorinnen und Autoren: Alexander Burkhardt,
alexander.burkhardt@isi.fraunhofer.de

Der vorliegende Ariadne-Hintergrund wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Der Hintergrund spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt erstellt.

Hintergrund: Was sind eigentlich Wärmespeicher und wofür brauchen wir sie in der Energiewende?

Im Kontext der Dekarbonisierung des Energiesystems stellt der Wärmesektor einen kritischen Handlungsbereich dar: Hier wird über die Hälfte der Endenergie in Deutschland benötigt. Außerdem werden Heizungen, Dämmungen oder Anlagen in Wärmenetze oft erst nach 20 bis 50 Jahren ausgetauscht, was die Transformation träge macht. Gleichzeitig wird aufgrund eines wachsenden Anteils fluktuierender Erneuerbarer Energien wie Sonnen- und Windenergie an der Energieversorgung die Bedeutung von Speichern zur Flexibilisierung des Energiesystems in Zukunft steigen.

In einem einführenden Ariadne-Erklärtext (Schill et al. 2025a) wurde bereits erläutert, warum fluktuierende Erneuerbare Energien den Bedarf an Flexibilität zum Ausgleich von Angebot und Nachfrage im Energiesystem erhöhen, und welche Rolle dabei verschiedene Arten von Energiespeichern spielen. Eine weitere Publikation fokussiert auf Wasserstoff-Stromspeicher (Kirchem et al. 2025). Darauf aufbauend soll dieser Erklärtext nun einen Überblick über den Nutzen, die Anwendungsbereiche und verschiedene Technologien von Wärmespeichern geben.

Warum brauchen wir Wärmespeicher?

Ausgleich von Wärmenachfrage und Wärmeangebot. Die Wärmenachfrage in Deutschland schwankt im Jahresverlauf (siehe Abbildung 1), aber auch im Tagesverlauf, stark. Wärmespeicher (auch thermische Speicher genannt) ermöglichen es, Wärme zu speichern und somit zeitlich zu verschieben. Ein Wärmespeicher kann Wärme aufnehmen, wenn sie gerade im Übermaß verfügbar ist und sie später, wenn der Wärmebedarf hoch ist, wieder abgeben. Einige Wärmeerzeugungstechnologien sind nicht oder nur bedingt steuerbar, wie zum Beispiel die Solarthermie. Neben diesen nicht steuerbaren Wärmeerzeugern gibt es flexible Technologien, wie zum Beispiel Biomasse-Heizwerke, Wärmepumpen oder künftig möglicherweise Wasserstoff-Heizkraftwerke. Da Biomasse ein knapper Energieträger ist, sollte sie am besten dort eingesetzt werden, wo sie am dringendsten gebraucht wird (Sensfuß et al. 2021). Auch Wasserstoff wird auf absehbare Zeit knapp und teuer bleiben (Billerbeck et al. 2024b) und daher voraussichtlich die teuerste Technologie in der Wärmeerzeugung bleiben. Wärmepumpen werden zukünftig dagegen eine zentrale Technologie für eine effiziente Wärmeversorgung sein. Dies gilt vor allem in Gebäuden sowie in

Wärmenetzen, das heißt Nah- und Fernwärmenetzen (Billerbeck et al. 2024a). Auch in der Industrie müssen Wärmebedarf und -angebot zusammengebracht werden, allerdings ist der dortige Wärmebedarf, zum Beispiel für Prozesse, oft relativ konstant über das Jahr verteilt. Dies gilt insbesondere für die Chemische Industrie, Metallerzeugung und Papierindustrie (Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien 2024).

Wärmespeicher bieten Flexibilität für das Stromsystem. Durch die zunehmende Elektrifizierung der Wärmeerzeugung, insbesondere mit Wärmepumpen, tragen Wärmespeicher auch zur Flexibilisierung der Stromnachfrage bei. Sie ermöglichen es, den Stromverbrauch von Wärmepumpen zeitlich so zu verschieben, dass Stunden mit besonders hoher Verfügbarkeit von Strom aus Wind- und Photovoltaik (PV) (und damit einhergehend sehr günstigen Strompreisen) verstärkt zur Wärmeerzeugung genutzt werden können. Abbildung 1 zeigt schematisch, wie sich das Stromangebot aus Erneuerbaren Energien (EE) und die Wärmenachfrage im Jahresverlauf gegenläufig entwickeln. Die Achsen in Abbildung 1 sind nicht gleich, das Stromangebot ist also insgesamt deutlich höher, da Strom auch in diversen anderen Sektoren gebraucht wird. Auch in den Wintermonaten ergeben sich zeitweise Perioden, in denen ausreichend EE-Strom zur Verfügung steht.

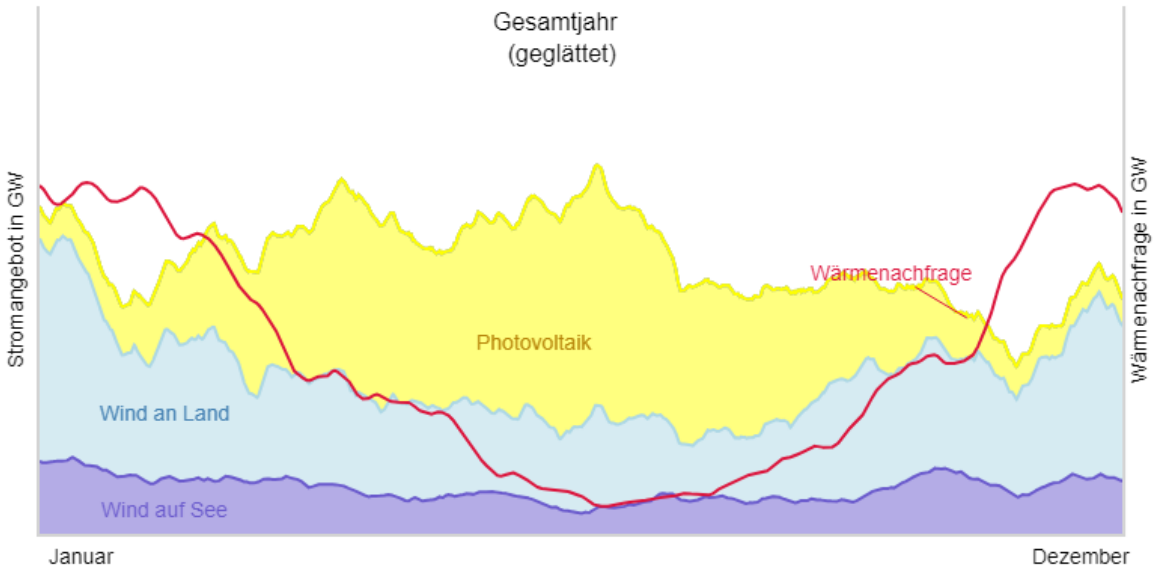


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Angebots an EE-Strom (linke Achse), sowie der Wärmenachfrage (rechte Achse) im Jahresverlauf. Quelle: Eigene Darstellung.

Ein Speicher für jede Situation. Tendenziell gilt: Je größer der thermische Speicher, umso öfter kann Wärme mit günstigem EE-Strom mit Wärmepumpen erzeugt und im Wärmespeicher gespeichert werden. Ein größerer Speicher bedeutet jedoch in der Regel höhere Investitionskosten. Aber auch in kleinerem Maßstab können Wärmespeicher sinnvoll sein, zum Beispiel als dezentrale Wärmespeicher in Gebäuden. Je nach Technik und Anwendungsfall können Speicherdauern von Stunden (zentrale oder dezentrale Pufferspeicher) über Tage bis zu Wochen oder Monaten (zentrale, saisonale Speicher) realisiert werden. Weitere bestimmende Faktoren sind die Kosten, der Platzbedarf, die Speicherverluste, sowie der Temperaturbereich des Speichers. Generell verlieren Wärmespeicher einen Teil der eingespeicherten Energie als Wärmeverluste an die Umgebung. Deswegen haben die Speicher eine technische oder natürliche Isolation, die Speicherverluste minimiert. Abbildung 2 gibt einen Überblick über zentrale Speichertechnologien, die in den drei Anwendungsgebieten von Wärmespeichern – Gebäude, Wärmenetze, Industrie – zum Einsatz kommen. Dabei handelt es sich bei den Wärmespeichern in Gebäuden und Wärmenetzen allesamt um sensible[1] Wärmespeicher. In der Industrie unterscheidet man dann zwischen sensiblen und weiteren Wärmespeichern. Die folgenden Kapitel vertiefen die drei Anwendungsgebiete und Wärmespeichertechnologien.

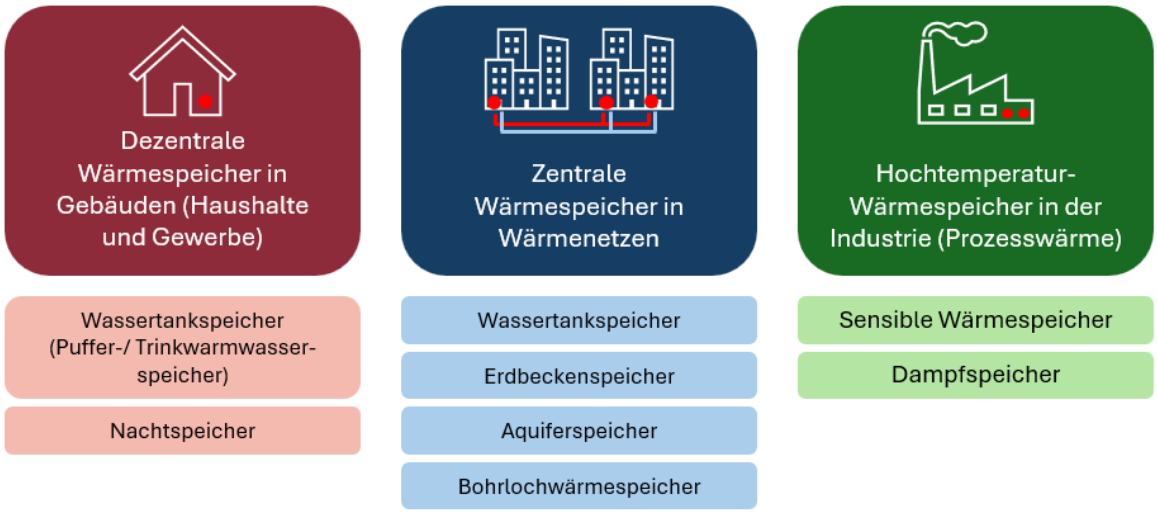


Abbildung 2: Übersicht über zentrale Wärmespeichertechnologien in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Quelle: Eigene Darstellung.

[1] Hierbei wird thermische Energie durch eine messbare („sensible") Temperaturerhöhung eines Speichermediums (z. B. Wasser oder Gestein) gespeichert. Somit sind auch alle Technologien, die in den Kapiteln zu Gebäuden und Wärmenetzen genauer beschrieben wurden, sensible Wärmespeicher.

Dezentrale Wärmespeicher in Gebäuden

Bewährte Technologie. Wärmespeicher in Gebäuden werden schon seit langem eingesetzt, vor allem als Pufferspeicher und als Trinkwarmwasserspeicher. Im Vordergrund standen dabei bisher aber weniger Fragen der Gesamtsystemoptimierung, sondern der Komfort der Bewohnerinnen und Bewohner sowie eine effiziente Betriebsweise konventioneller Heizungen. Diese Pufferspeicher sind in der Regel gedämmte Wassertanks aus Stahl oder Kunststoff, um Wärmeverluste zu minimieren. Oftmals stehen sie in direkter Nähe zur Heizung, zum Beispiel im Badezimmer oder im Heizungskeller. Insbesondere in Kombination mit Solarthermie ist die Nutzung eines Pufferspeichers sinnvoll, um zum Beispiel die tagsüber gewonnene Wärme abends zum Heizen oder Duschen zu nutzen. Eine besondere Heizungsart, bei der ein keramisches Speicherelement direkt in den Heizkörper integriert ist, sind elektrische Speicherheizungen, gemeinhin auch als „Nachtspeicherheizung" bekannt. Diese werden in Deutschland schon seit Jahrzehnten genutzt, zuletzt mit deutlich rückläufiger Tendenz. Da sie im Vergleich zu Wärmepumpen deutlich mehr Strom benötigen, nur moderate Speichergrößen mit sich bringen und teils auch mit deutlichen Komforteinbußen gegenüber anderen Heizsystemen einhergehen, gelten sie nicht als vielversprechende Option für die Wärmewende .

Flexibilität aus dem Heizungskeller. Auch bei Wärmepumpen bietet sich eine Installation gemeinsam mit einem Pufferspeicher an. Bisher wurden sie meist genutzt, um die Betriebsweise der Wärmepumpe möglichst konstant zu halten – denn der Volumenstrom, der für die Raumheizung benötigt wird, schwankt im Tagesverlauf in der Regel stark. Pufferspeicher können jedoch theoretisch noch viel mehr, wenn man sie nutzt, um Wärmepumpen systemdienlich zu betreiben, nämlich dann, wenn besonders viel günstiger EE-Strom zur Verfügung steht. Hierfür muss der Speicher am besten größer dimensioniert werden, was oftmals nur in Einfamilienhäusern möglich ist. Dadurch können sich nicht nur positive Effekte für das Gesamtsystem einstellen, sondern auch günstigere Heizkosten ergeben (Roth et al. 2024). Dies erfordert jedoch entsprechende Anreize, beispielsweise durch dynamische Stromtarife, sowie eine entsprechende Steuerungs- und Abrechnungsinfrastruktur (Smart Meter).

Zentrale Wärmespeicher in Wärmenetzen

Fernwärmeerzeugung verändert sich. Neben der dezentralen Wärmeerzeugung in Gebäuden werden Wärmenetze in einer zukünftigen klimaneutralen Wärmeversorgung eine wichtige Rolle spielen. Im Zuge der Energiewende ändert sich auch der Erzeugungsmix in Wärmenetzen. Noch basiert ein Großteil der Wärmeerzeugung in Wärmenetzen auf fossilen Energieträgern wie Kohle oder Erdgas. Diese können bedarfsgerecht eingesetzt werden, um Nachfragespitzen zu bedienen, so dass Wärmespeicher aktuell weniger wichtig sind. Zukünftig wird sich die Wärmeerzeugung in Wärmenetzen auf deutlich mehr Technologien stützen, deren Zusammensetzung stark von den lokal verfügbaren Wärmequellen abhängen wird, zum Beispiel Großwärmepumpen, Solarthermie, Abwärme aus Industrie oder Rechenzentren, Geothermie, Biomasse. Da diese jedoch meist nicht so variabel einsetzbar sind wie fossile Brennstoffe, steigt auch die Bedeutung von Wärmespeichern in Wärmenetzen stark an.

Zusammenspiel mit Großwärmepumpen. Durch die Umstellung der Wärmenetze auf EE steigt auch in diesem Segment die Bedeutung von strombasierten Erzeugungstechnologien wie Großwärmepumpen. Diese funktionieren wie Wärmepumpen in Gebäuden, und nutzen dabei oft vorhandene Wärmequellen wie zum Beispiel Flüsse, Seen, Abwasser, oberflächennahe Geothermie oder Luft. Wie bei den dezentralen Wärmepumpen, bietet sich eine Kombination von Großwärmepumpen mit Wärmespeichern an, da Wärmespeicher durch einen systemdienlichen Betrieb einen positiven Effekt auf das gesamte Energiesystem haben können. Zentrale Wärmespeicher in Wärmenetzen können allerdings um ein Vielfaches größer sein als dezentrale Wärmespeicher in Gebäuden. Sie können somit mehr Wärme und meist besser saisonal Wärme speichern. So kann zum Beispiel ein Stromüberschuss im Sommer genutzt werden, um Wärme für den Winter zu erzeugen und zwischenzuspeichern (Schmidt et al. 2025; Burkhardt et al. 2026; Schauß et al. 2025).

Technologieoptionen in Wärmenetzen. In Wärmenetzen werden aktuell vor allem zwei Speichertechnologien eingesetzt: Tankspeicher und Erdbeckenspeicher. Aquiferwärmespeicher und weitere Technologien wie beispielsweise Bohrlochwärmespeicher finden nur vereinzelt Verwendung und werden noch beforscht. Je nach geologischen Voraussetzungen, Flächenverfügbarkeit und weiteren Einschränkungen (z. B. durch Wasser- oder Naturschutz) sind die Technologien unterschiedlich gut je Region und Wärmenetz geeignet. Deshalb wird auf diese vier Technologien und deren Besonderheiten im Folgenden einzeln eingegangen. Bisher wenig verbreitete Technologien

wie latente Wärmespeicher und thermochemische Wärmespeicher werden angerissen, jedoch nicht im Detail beschrieben.

Wassertankspeicher: Etablierte Technologie zur Kurzzeitspeicherung. Tankspeicher beziehungsweise Wassertanks sind gut isolierte Behälter aus Metall, Beton oder Kunststoff in denen sich Wasser als Speichermedium befindet (Solites 2025). Die Speicher können oberirdisch oder unterirdisch gebaut werden. Die Entscheidung hängt in der Praxis von städtebaulichen Anforderungen, Platzverfügbarkeit oder von ästhetischen Erwägungen ab. Wassertanks stellen aktuell in Deutschland die am häufigsten in Wärmenetzen eingesetzte Speichertechnologie dar (Mennel und Fischer 2024). Tankspeicher werden vor allem als Kurzzeit- und Pufferspeicher für eine Speicherdauer von wenigen Stunden bis hin zu Tagen eingesetzt. Sie dienen der Nutzung von Überschussstrom in Kombination mit einem elektrischen Heizwerk sowie der Flexibilisierung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)[2]-Anlagen. Wassertanks können in unterschiedlichen Formen und Größen realisiert werden. In Berlin (Heizkraftwerk Reuter West) steht derzeit mit 45 Metern Höhe und 43 Metern Durchmesser (56.000 Kubikmeter) der größte Wassertankspeicher in Deutschland (Jacobs 2023). Diese Speicherdimension machen diesen Tankspeicher grundsätzlich neben der Kurzzeitspeicherung auch für eine Speicherung der Wärme über mehreren Wochen bis hin zu Monaten hinweg attraktiver. Für Tankspeicher gibt es wenig technische Limitationen, jedoch sind deren spezifischen Kosten tendenziell höher gegenüber denen von Erdbeckenspeichern. Die üblichen Speichertemperaturen gehen bis circa 95 °C, bei Druckwasserspeichern, die über einem Bar Atmosphärendruck betrieben werden, können auch bis zu 130 °C erreicht werden.

Erdbeckenspeicher: Allrounder. Bei einem Erdbeckenspeicher (auch Grubenspeicher genannt) wird eine Grube mit einer Kunststoffabdichtungsbahn ausgekleidet und mit erhitztem Wasser oder einem Kies-Wasser-Gemisch befüllt. Die Oberfläche des Speichers befindet sich in der Regel auf Bodenniveau und wird mit einer wärmegedämmten Abdeckung geschlossen, die auf der Wasseroberfläche schwimmt. Erdbeckenspeicher haben typischerweise eine Tiefe von 5 bis 15 Metern. Die Grubentiefe wird vom Grundwasserstand begrenzt, da es kostengünstiger ist den Speicher oberhalb des Grundwasserstands umzusetzen. Bei Umsetzung unterhalb des Grundwassers erhöhen sich meist die Investitionskosten, da ebenfalls eine Dämmung an den Seitenwänden und am Boden erforderlich wird, um die Wärmeverluste gering zu halten. Im Gegensatz zu Tankspeichern benötigt diese Technologie somit mehr Fläche, was im urbanen Raum je nach örtlichen Gegebenheiten ein Hindernis darstellen kann. Aktuell sind in Deutschland fünf

[2] KWK-Anlagen (bzw. Heizkraftwerke) erzeugen gleichzeitig Strom und nutzbare Wärme. Dies geschieht derzeit meist durch Verbrennung von Kohle, Erdgas, Heizöl oder Biomasse.

Erdbeckenspeicher in Betrieb (Mennel und Fischer 2024). Die Größenordnung derzeit realisierter Erdbeckenspeicher liegt zwischen 1.500 Kubikmeter und 230.000 Kubikmeter (nutzbares Volumen) (Solites 2025). Die Maximaltemperatur für das eingespeicherte Wasser (bzw. Kies-Wasser-Gemisch) liegt bei 80 bis 95 °C, da es ansonsten zu einer rascheren Alterung der Kunststoffauskleidung kommt. Der Hauptvorteil dieser Technologie liegt in den geringen spezifischen Investitionskosten und der flexiblen Nutzbarkeit als saisonale Speicher oder als Pufferspeicher (kurzfristige Speicherung).

Aquiferspeicher: Große Volumina, begrenzte geologische Vorkommen. Aquiferspeicher speichern Wärme in wasserführenden Schichten tief im Boden, sogenannten Aquiferen. Es wird dabei das natürliche, unterirdische Grundwasser, das hydraulisch von der Umgebung abgeschlossen ist, als Speichermedium verwendet. Die wichtigste Voraussetzung für den Bau eines Aquiferspeichers ist somit die geologische Beschaffenheit des Standorts. Aquiferspeicher zeichnen sich durch potenziell große Speicherkapazitäten zu sehr geringen spezifischen Speicherkosten aus (Schüppler et al. 2019). Aufgrund einer trägen Betriebsweise sind sie vor allem zur saisonalen Speicherung von Wärme geeignet (Kranz et al. 2008). Sie können neben der Wärmebereitstellung auch genutzt werden, um Kälte zu speichern. Häufig werden Aquiferspeicher aufgrund der Speichertemperatur in Hochtemperatur- (HT) und Niedertemperatur- (NT) Aquifere unterschieden. NT-Aquiferspeicher (< 25°C) werden häufig in Kombination mit einer Großwärmepumpe zur Beheizung oder Kühlung großer öffentlicher oder gewerblich genutzter Gebäude eingesetzt, während die Energie aus HT-Speichern (> 50°C, tendenziell höher) mit ausreichendem Temperaturniveau auch in Fernwärmenetze eingespeist werden kann (Fleuchaus et al. 2021). Je tiefer im Untergrund der Speicher liegt, desto höher ist die Temperatur des umliegenden Gesteins, was die Wärmeverluste reduziert. Allerdings steigen auch die Kosten zur Erschließung des Aquifers, je tiefer gebohrt werden muss. In Deutschland sind aktuell einige wenige NT-Aquiferspeicher in Betrieb, die sich oberflächennah in 20 Meter (Rostock) bis 30 Meter (Bonn) Tiefe befinden. Unter dem Bundestag wurde schon 1999 ein Aquiferspeicher in 300 Meter angelegt, der sowohl zur Wärme- als auch Kältespeicherung genutzt wird (Deutscher Bundestag 2026). Tiefe HT-Aquiferspeicher sind hingegen Gegenstand aktueller Forschungs- und Pilotprojekte und befinden sich noch in Planung oder Bau, z. B. in Berlin (Kranz 2023), Hamburg und Lüneburg (Fleuchaus et al. 2021). Die Speicherung findet bei HT-Aquiferspeichern in Tiefen von 300 Metern oder tiefer statt (Holstenkamp et al. 2017). Die HT-Technologieoption ist je nach geologischen Verhältnissen jedoch nicht überall umsetzbar und das technische Potenzial ist derzeit noch in Untersuchung. Theoretisch ist ein hohes Potential vorhanden, das geographisch unterschiedlich verteilt ist (Köhler et al. 2025).

Bohrlochwärmespeicher: Eine weitere Option. Eine Vielzahl an weiteren Speichertechnologien zur Flexibilisierung in Wärmenetzen wird derzeit noch erforscht. Bohrlochwärmespeicher (auch Erdsondenwärmespeicher genannt) beispielsweise nutzen als Speichermedium Gestein im Untergrund anstatt Wasser. Das Gestein wird zur Wärmespeicherung mithilfe von Erdwärmesonden, die von Wasser durchflossen werden, erhitzt (Sass et al. 2024). Im Vergleich zu Aquiferspeichern erfordern Bohrlochwärmespeicher jedoch einen deutlich höheren Bohraufwand. Ein Vorteil gegenüber den Aquiferspeichern ist jedoch, dass die geologischen Voraussetzungen nicht so ausschlaggebend sind wie bei Aquiferspeichern. Speichertemperaturen bis zu circa 80 °C sind bei dieser Speichertechnologie möglich. Weitere mögliche Speichertechnologien werden im nächsten Kapitel eingeführt.

Wärmespeicher in der Industrie

Hochtemperaturwärmespeicher für Industrieprozesse. Auch in der Industrie können Wärmespeicher effektiv eingesetzt werden, da ein großer Teil des Energiebedarfs auf Prozesswärme entfällt. Industrielle Wärmespeicher unterscheiden sich aufgrund der spezifischen Anforderungen der Industrie entscheidend von Wärmespeichern für Haushalte und Wärmenetze. Wie Abbildung 3 zeigt, wird ein großer Teil industrieller Prozesswärme bei Temperaturen weit über 100 °C benötigt, weshalb industrielle Wärmespeicher höhere Temperaturen bereitstellen müssen als Wärmespeicher für Haushalte und Wärmenetze. Gleichzeitig ist der Platz an Industriestandorten oft begrenzt, weshalb Wärmespeicher kompakt sein müssen.

Spezielle Speichermedien für hohe Temperaturen und hohe Energiedichten. In der Industrie werden Speichermedien eingesetzt, die Wärme bei hohen Temperaturen und gleichzeitig hoher Energiedichte speichern. Um Kosten, Platzbedarf und Wärmeverluste gering zu halten, sind diese Speicher in der Regel für Zeiträume von einigen Stunden ausgelegt. So können Wärmespeicher Strompreisschwankungen innerhalb eines Tages nutzen. Zu den meistverbreiteten Arten von Wärmespeichern in der Industrie gehören sensible Wärmespeicher und Dampfspeicher. Da industrielle Prozesse in der Regel nur geringfügig flexibel sind und oft einen konstanten Wärmebedarf haben, erhöhen Wärmespeicher in Kombination mit elektrischen Wärmeerzeugern den Spitzenstromverbrauch an den Standorten. Der erforderliche Stromnetzanschluss ist häufig ein limitierender Faktor.

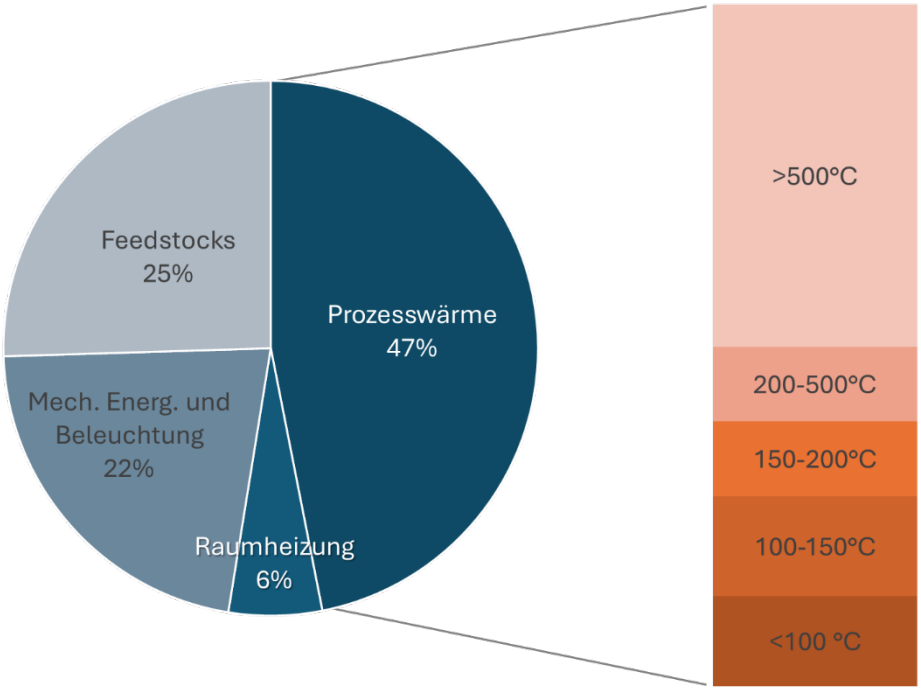


Abbildung 3: Geschätzter Gesamtendenergiebedarf für der Industrie nach Anwendung und Temperatur im Jahr 2019 in der EU-27 - basierend auf dem FORECAST-Modell. Eigene Darstellung.

Sensible Wärmespeicher: Flexibel auch bei hohen Temperaturen. Bei sensiblen Wärmespeichern wird Wärme durch Temperaturerhöhung eines Materials gespeichert, ohne dass dieses den Aggregatzustand (d.h. den Zustand von z. B. flüssig zu gasförmig) ändert. Sensible Wärmespeicher für Industrieanwendungen nutzen Mineralien, Grafit, spezielle Ziegel oder auch geschmolzenes Salz als Speichermedium. Diese Speicher werden entweder direkt elektrisch oder indirekt über ein Übertragungsmedium wie Luft, Wasser oder Dampf erwärmt. Industrielle Abwärme aus Prozessen kann ebenfalls genutzt werden. Bei Bedarf wird die gespeicherte Wärme wiederum an ein Übertragungsmedium abgegeben, das dann in den Prozess eingespeist wird. In vielen industriellen Prozessen wird bereits Dampf als Wärmemedium eingesetzt, wodurch sich Wärmespeicher einfach integrieren lassen. Zudem ist das Vorheizen von Verbrennungsluft für sehr heiße Prozesse oder die direkte Zufuhr von heißer Luft zu elektrifizierten Prozessen möglich. Je nach Material können auch sehr hohe Temperaturen deutlich über 1000 °C erreicht werden. Durch die große Vielfalt und Flexibilität sensibler Wärmespeicher können diese für eine Vielzahl von industriellen Prozessen in verschiedenen Branchen (z.B. Chemie, Papier) genutzt werden.

Dampfspeicher: Kostengünstige, bewährte Kurzzeitspeicher für niedrige Temperaturen. Heißer Wasserdampf, der in vielen industriellen Prozessen eingesetzt wird, kann in isolierten Behältern über mehrere Stunden gespeichert werden. Diese Speicher werden bereits genutzt, um Lastspitzen im Prozess zu puffern. Sie gewinnen zukünftig besonders in Bereichen an Bedeutung, in denen Dampf als Wärmemedium verwendet wird, der mit elektrischen Dampferzeuger wie Elektrokessel oder Wärmepumpen produziert wird (aktuell basiert der Großteil der Dampferzeugung auf fossilen Brennstoffen). Die Vorteile von Dampfspeichern liegen in der einfachen Integration in bestehende Prozesse in der Industrie. Dampf ist üblicherweise mit Temperaturen bis zu 300 °C speicherbar. Allerdings ist die Energiedichte gering und Dampfspeicher erfordern viel Platz. Je nach Isolierung kann auch der Wärmeverlust sehr hoch sein, wodurch sie sich oft nur für die kurzfristige Speicherung eignen.

Weitere Wärmespeicher: Vielfältige Technologien für heterogene Bedürfnisse. Neben den verbreiteten sensiblen Speichern und Dampfspeichern existieren auch im industriellen Anwendungsbereich weniger häufig genutzte Wärmespeicher mit niedrigerem Technologiereifegrad, wie latente Wärmespeicher und thermochemische Speicher. Diese können dazu beitragen Energiedichten weiter zu erhöhen und Wärmeverluste zu verringern, sind jedoch noch nicht etabliert. Latente Wärmespeicher, die Phasenwechselmaterialien[3] (z. B. Wasser, Paraffin, Metalle, Salze oder Salzhydrate) zur Speicherung nutzen, können Wärme über längere Zeiten mit geringen Verlusten speichern. Je nach Material können dabei höhere Energiedichten (kWh/m^3) erreicht werden als in sensiblen Wärmespeichern. Allerdings sind latente Wärmespeicher in der Regel teuer und es gibt technische Beschränkungen beim Be- und Entladen des Speichers. (Rundel et al. 2013). Ein weiterer Forschungszweig untersucht die Speicherung in thermochemischen Speichern. Bei dieser Speicherfamilie finden reversible chemische Prozesse zur Wärmespeicherung statt. Gegenüber latenten Speichertechnologien und den oben genannten Technologien, die Wasser als Speichermedium verwenden, haben thermochemische Speicher den Vorteil von höheren Speicherkapazitäten, einem größeren Temperatureinsatzbereich sowie geringeren Wärmeverlusten (Rundel et al. 2013).

[3] Hier ändert sich der Aggregatszustand des Speichermediums

Zusammenfassung und Fazit

Transformation der Wärmeversorgung. Wärmespeicher bieten einen entscheidenden techno-ökonomischen Vorteil gegenüber Stromspeichern: Die Speicherung von Energie in thermischer Form ist technisch oft weniger komplex und kostengünstiger realisierbar als die Speicherung elektrischer Energie. Wie in diesem Erklärtext erläutert, gibt es jedoch starke Unterschiede zwischen den verschiedenen Technologien und Anwendungsfällen. Der Nutzen von Wärmespeichern steigt mit der Umstellung der Wärmeversorgung auf EE-Strom und andere erneuerbare Wärmequellen. Außerdem kommen Wärmespeichern in der Umstellungsphase, in der fossile Energien immer mehr abnehmen, aber die Versorgung noch nicht vollständig auf erneuerbare Energieträger umgestellt ist, eine besondere Rolle zu. So ermöglichen Wärmespeicher die wirtschaftliche Erschließung von erneuerbaren Wärmeerzeugungstechnologien und begünstigen somit die Transformation der Fernwärme.

Herausforderungen bleiben. Derzeit gibt es diverse Herausforderungen, die den Einsatz von Wärmespeichern hemmen. Im Gebäudebereich gibt es bisher wenig Anreize für den systemoptimierten Betrieb von Wärmespeichern, da nicht-dynamische, fixe Stromtarife und hohe, unflexible Netzentgelte dominieren. Daneben ist der Zubau von dezentralen Wärmepumpen noch nicht auf dem benötigten Niveau (Schill et al. 2025b), und bauliche Anpassungen sowie Stellplatzfragen verzögern die Umstellung. In Wärmenetzen dominieren bisher noch fossile Energieträger die Erzeugung (AGFW 2025), so dass Wärmespeicher bisher einfach nicht in großem Maßstab gebraucht wurden. Damit zusammenhängend herrscht in vielen Wärmenetze derzeit noch ein (zu hohes) Temperaturniveau vor (Blesl et al. 2023), was die Integration in Wärmenetze mit einigen der vorgestellten Speicherarten aufwendiger macht, da diese nicht für derart hohe Temperaturen ausgelegt sind. Zudem benötigen einige der Speicher eine relativ große Stellfläche, die gerade in Großstädten nur schwer zu finden sein könnte (Schauß et al. 2025). Als Investoren treten in der Regel kommunale, private oder genossenschaftliche Unternehmen auf, die das Wärmenetz betreiben und nur begrenzt Kapital für Investitionen in Speicher zur Verfügung haben. In der Industrie hemmen zu gering dimensionierte Stromnetzanschlüsse (eine Erhöhung der Anschlusskapazität ist oft langwierig und teuer), fehlende Anreize für einen flexiblen Strombezug sowie fehlender Platz vor Ort Investitionen in industrielle Wärmespeicher. Außerdem sind die hohen benötigten Temperaturen technisch anspruchsvoll.

Lösungsansätze sind vorhanden. Es müssen Hemmnisse abgebaut werden, die verhindern, dass kostengünstiger EE-Strom wirtschaftlich in Wärmespeichern zwischengespeichert wird. Hierzu zählt a) die zunehmende Verbreitung von entsprechenden Technologien wie Wärmepumpen, Smart Metern (Bergsträßer 2024) sowie b) ein entsprechendes Marktdesign mit dynamischen Stromtarifen (Burkhardt et al. 2024) und Netzentgelten (Hirth et al. 2024). Für Wärmenetze und Industrie sind insbesondere die Netzentgeltsystematik sowie die Befreiung von weiteren Umlagen und Steuern ein Hebel, um die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern zu fördern (Mennel und Fischer 2024). Da Wärmespeicher aus Systemsicht wünschenswert sind und die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung entschieden vorantreiben können, ist eine Förderung, wie derzeit z.B. in der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) umgesetzt, eine sinnvolle Maßnahme. Dies ist vor allem für kommunale Wärmeversorgungsunternehmen relevant, auf die sehr hohe Investitionen im Rahmen der Energiewende zukommen, die sie nur schwer allein stemmen können. Durch einen steigenden CO_2-Preis dürfte die Attraktivität von erneuerbarer Wärme und Wärmespeichern allerdings weiter zunehmen. Zudem ist weitere Forschung und Entwicklung in latente und thermochemische Speicherung für Hochtemperaturspeicherung in der Industrie sowie in die Verbesserung von Wassertanks und Erdbecken in Wärmenetzen notwendig, um innovative Technologien weiter voranzubringen und einzelne Aspekte bisher genutzter Wärmespeichertechnologien zu verbessern und ihren Markthochlauf zu beschleunigen.

Literaturangaben

AGFW (Hg.) (2025): AGFW Hauptbericht 2024. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.agfw.de/zahlen-und-statistiken/agfw-hauptbericht.

Bergsträßer, Jonathan (2024): Handlungsempfehlungen zur Beschleunigung vom Smart Meter Rollout als Beitrag zur Umsetzung der Energiewende in Deutschland. Kopernikus-Projekt Ariadne. DOI: 10.48485/pik.2024.015.

Burkhardt, Alexander; Billerbeck, Anna; Böttger, Diana; Brand, Heike; Egerer, Jonas; Gerhardt, Norman et al. (2024): Kernelemente des Strommarktdesigns – Anforderungen, Ziele, Bewertungskriterien und Handlungsoptionen. DOI: 10.48485/pik.2024.016.

Burkhardt, Alexander; Frömel, Miriam; Deac, Gerda; Billerbeck, Anna (2026): Flexibility through thermal energy storage: cost-effective electrification of European district heating networks. In: *Energy*, S. 141177. DOI: 10.1016/j.energy.2026.141177.

Deutscher Bundestag (Hg.) (2026): Strom, Wärme, Kälte: das Energiekonzept des Deutschen Bundestages. Online verfügbar unter https://www.bundestag.de/besuche/architektur/energie.

Fleuchaus, Paul; Schüppler, Simon; Stemmle, Ruben; Menberg, Kathrin; Blum, Philipp (2021): Aquiferspeicher in Deutschland. In: *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 26 (2), S. 123–134. DOI: 10.1007/s00767-021-00478-y.

Hirth, Lion; Tiedemann, Silvana; Schill, Wolf-Peter (2024): Was sind eigentlich… Netzengelte? DOI: 10.48485/pik.2024.020.

Holstenkamp, Lars; Meisel, Marcus; Neidig, Phillip; Opel, Oliver; Steffahn, Jens; Strodel, Nikolai et al. (2017): Interdisciplinary Review of Medium-deep Aquifer Thermal Energy Storage in North Germany. In: *Energy Procedia* 135, S. 327–336. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.09.524.

Jacobs, Stefan (2023): Tauchsieder, Energie aus Müll, Wärmepumpen: Wie Berlins größter Klimasünder sauber werden soll. Hg. v. Tagesspiegel. Berlin. Online verfügbar unter https://www.tagesspiegel.de/berlin/tauchsieder-energie-aus-mull-warmepumpen-wie-berlins-grosster-klimakiller-sauber-werden-soll-10745851.html.

Kirchem, Dana; Burkhardt, Alexander; Kittel, Martin; Österlein, Ellen; Schill, Wolf-Peter (2025): Was sind Wasserstoffspeicher und welche Rolle spielen sie in der Stromversorgung der Zukunft? DOI: 10.48485/pik.2025.25.

Köhler, Benjamin; Ganal, Irina; Al-Aghbari, Aseel; Freitag, Simon (2025): Potenziale und Grenzen von Aquiferspeichern in der Fernwärme in Deutschland. Online verfügbar unter https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Skript_Koehler_und_Ganal_Aquifer-Speicher.pdf.

Kompetenzzentrum Klimaschutz in energieintensiven Industrien (Hg.) (2024): Studie Flexibilisierung elektrifizierter Industrieprozesse – Eine Analyse der technischen und ökonomischen Herausforderungen aus Unternehmens- und Systemperspektive. Cottbus.

Kranz, S.; Bartels, J.; Gehrke, D.; Hoffmann, F.; Wolfgramm, M. (2008): Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen. In: *bbr - Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau* 59 (7/8), S. 34–43. Online verfügbar unter https://gfzpublic.gfz.de/rest/items/item_237345_1/component/file_237344/content.

Kranz, Stefan (2023): Reallabor GeoSpeicher Berlin | Integration eines Hochtemperatur-Aquiferwärmespeichers mit Wärmepumpensystem in ein Fernwärmenetz. Hg. v. GFZ Helmholtz-Zentrum für Geoforschung. Online verfügbar unter https://www.gfz.de/sektion/geoenergie/projekte/reallabor-geospeicher-berlin-integration-eines-hochtemperatur-aquiferwaermespeichers.

Mennel, Tim; Fischer, Tibor (2024): Gutachten zur Wärmespeicherstrategie. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur (dena) GmbH. Berlin. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Projektportrait/Energiepolitische_Beratung_des_Bundesministeriums_fuer_Wirtschaft_und_Klimaschutz/Gutachten_zur_Waermespeicherstrategie.pdf.

Roth, Alexander; Gaete-Morales, Carlos; Kirchem, Dana; Schill, Wolf-Peter (2024): Power sector benefits of flexible heat pumps in 2030 scenarios. In: *Commun Earth Environ* 5 (1). DOI: 10.1038/s43247-024-01861-2.

Sass, Ingo; Krusemark, Matthias; Seib, Lukas; Bossennec, Clair; Pham, Tien Hung; Schedel, Markus et al. (2024): Medium-Deep Borehole Thermal Energy Storage (MD-BTES): from Exploration to District-Heating Grid Connection, Insights from SKEWS and PUSH-IT Projects. In: *PROCEEDINGS, 49th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering* 49. Online verfügbar unter https://pangea.stanford.edu/ERE/db/GeoConf/papers/SGW/2024/Sass.pdf.

Schauß, Caspar; Schledorn, Amos; Kähler, Tom; Brown, Tom (2025): Assessing the Impact of Pit Thermal Energy Storage on Flexibility in Sector-Coupled Energy Systems. In: 2025 21st International Conference on the European Energy Market (EEM). 2025 21st International Conference on the European Energy Market (EEM). Lisbon, Portugal, 27.05.2025 - 29.05.2025: IEEE, S. 1–8.

Schill, Wolf-Peter; Billerbeck, Anna; Burkhardt, Alexander; Hirth, Lion; Kirchem, Dana; Roth, Alexander (2025a): Welche Rolle spielen Speicher in der Energiewende? DOI: 10.48485/pik.2025.004.

Schill, Wolf-Peter; Guéret, Adeline; Roth, Alexander; Schmidt, Felix (2025b): Germany should accelerate its renewable energy transition. In: *Commun Earth Environ* 6 (1). DOI: 10.1038/s43247-025-02919-5.

Schmidt, Felix; Roth, Alexander; Schill, Wolf-Peter (2025): A mix of long-duration hydrogen and thermal storage enables large-scale electrified heating in a renewable European energy system. arXiv:2505.21516. https://arxiv.org/abs/2505.21516.

Schüppler, Simon; Fleuchaus, Paul; Blum, Philipp (2019): Techno-economic and environmental analysis of an Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) in Germany. In: *Geotherm Energy* 7 (1). DOI: 10.1186/s40517-019-0127-6.

Solites (Hg.) (2025): Saisonalspeicher – Das Wissensportal für die saisonale Wärmespeicherung. Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme. Online verfügbar unter https://www.saisonalspeicher.de/home/speichertypen/behaelter/anforderungen/.

Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:

@ariadneprojekt.bsky.social

Kopernikus-Projekt Ariadne

ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMFTR auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von 26 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit – Helmholtz-Zentrum Potsdam (RIFS) | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Hertie School | ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung an der Universität München | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Julius-Maximilian-Universität Würzburg | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klima-folgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung Umweltenergierecht | Stiftung Wissenschaft und Politik | Technische Universität Berlin | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Technische Universität Nürnberg | Universität Duisburg-Essen | Universität Greifswald | Universität Hamburg | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung