



Gutachten zur Wärmespeicherstrategie

Leistung gemäß Rahmenvertrag zur Beratung der Abteilung II des BMWK

Leistungsabruf: durch Referat IIA3 am 22.03.2024

BMW-K-Projekt-Nr.: 115/21-47, Berlin, August 2024

Impressum

Hauptbearbeitung

Dr. Tim Mennel & Tibor Fischer, Deutsche Energieagentur (dena) GmbH
Tim.mennel@dena.de, Tel.: +49 30 66777-128; tibor.fischer@dena.de, Tel.: +49 30 66777-791

Deutsche Energie-Agentur (dena) GmbH
Chausseestr. 128a
10115 Berlin

Bearbeitende

Dr. Rita Ehrig, dena (Kapitel 1, 2, 3)	Dr. Gerda Deac, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
Dr. Jana Bosse, dena (Kapitel 1, 2, 3)	Dr. Anna Billerbeck, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
	Alexander Burkhardt, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
	Dr. Jan Frederik George, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
	Marian Klobasa, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
	Michael Händel, Fraunhofer ISI (Kapitel 1)
Britta Kleinertz, Guidehouse (Kapitel 1, 2)	Benjamin Köhler, Öko-Institut e.V. (Kapitel 1)
David Gräf, Guidehouse (Kapitel 1, 2)	Marc Stobbe, Öko-Institut e.V. (Kapitel 1)
Marco Reiser, Guidehouse (Kapitel 2)	Dr. Veit Bürger, Öko-Institut e.V. (Kapitel 1)
Sebastian Helmes, EY Law (Kapitel 1, 2)	Katharina von Schack, BBH (Kapitel 1.6, 1.7, 2.3.5)
	Johanna Riggert, BBH (Kapitel 1.6, 1.7, 2.3.5)
Christina Boberach, FIW München (Kapitel 1)	
Kerstin Lohr, FIW München (Kapitel 1)	
Christoph Sprengard, FIW München (Kapitel 1)	
Wolfgang Schmidt, FIW München (Kapitel 1)	

Review

Elias Althoff, Prognos AG

Auftragsvergabe durch:

Sophie Scheller, BMWK, Abt. II-A3

Inhalt

Impressum	2
Zusammenfassung.....	6
1 Einführung und Status quo	8
1.1 Wärmespeicher im Kontext der Transformation des Energiesektors	9
1.2 Wärmespeicher in Gebäuden	10
1.2.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial	11
1.2.2 Wirtschaftlichkeit.....	14
1.3 Speicher in Wärmenetzen.....	16
1.3.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial	17
1.3.2 Wirtschaftlichkeit.....	19
1.4 Wärmespeicher in Industrie sowie in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen.....	22
1.4.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial	23
1.4.2 Wirtschaftlichkeit.....	26
1.5 Kältespeicher	30
1.5.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial	30
1.6 Rechtsrahmen für Wärmespeicher	31
1.6.1 Wärmeplanungsgesetz.....	31
1.6.2 Baurecht.....	32
1.6.3 Bundesberggesetz.....	32
1.6.4 Wasserhaushaltsgesetz.....	33
1.6.5 Bundes-Immissionsschutzgesetz.....	33
1.6.6 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung	33
1.6.7 Gesetzentwurf zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Geothermieanlagen, Wärmepumpen und Wärmespeichern sowie weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen	34

1.6.8	Weitere Vorschriften, die für den Betrieb von Wärmespeichern relevant sein können	34
1.7	Fördermittel für Wärmespeicher	35
1.7.1	Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)	35
1.7.2	Bundesförderung Effiziente Wärmenetze (BEW).....	36
1.7.3	Bundesförderung Effiziente Gebäude für Einzelmaßnahmen (BEG EM).....	37
1.7.4	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)	37
1.7.5	Klimaschutzverträge (KSV)	38
1.7.6	Entwurf: Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)	38
2	Herausforderungen, Handlungsfelder und Lösungsansätze	39
2.1	Herausforderungen (Hemmnisanalyse).....	39
2.1.1	Anwendungsfeldübergreifende Herausforderungen	40
2.1.2	Wärmespeicher in Gebäuden	44
2.1.3	Speicher in Wärmenetzen.....	46
2.1.4	Wärmespeicher in der Industrie sowie in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen..	48
2.2	Handlungsfelder und Lösungsansätze	50
2.2.1	Übergreifende Handlungsfelder	51
2.2.1	Wärmespeicher in Gebäuden	54
2.2.2	Speicher in Wärmenetzen.....	55
2.2.3	Wärmespeicher in der Industrie sowie in Gewerbe Handel, Dienstleistungen...	57
2.3	Empfehlungen und strategische Einordnung	60
2.3.1	Herangehensweise & Bewertungskriterien	60
2.3.2	Regulatorische Empfehlungen für den strombasierten Betrieb von Wärmespeichern	71
2.3.3	Empfehlungen zu Anpassung der Förderung & Verbesserung der Finanzierungsbedingungen	72
2.3.4	Empfehlungen für Förderschwerpunkte bei Wärmespeichertechnologien	73

2.3.5	Empfehlungen zu Planung und Genehmigung	77
2.3.6	Empfehlungen zum Wissensaufbau, Beratung und Information	78
2.3.7	Empfehlungen zu Forschung & Entwicklung.....	80
2.3.8	Strategische Einordnung.....	81
3	Ausblick und Anforderungen an eine integrierte Speicherstrategie	84
3.1	Zentrale Zugänge und Bezugspunkte für eine integrierte Speicherstrategie	84
3.1.1	Systemische Wirkung: Rolle regionaler und zentraler Erzeugung sowie Infrastrukturen im Gesamtsystem	85
3.1.2	Volkswirtschaftliche Kosteneffizienz und Bezahlbarkeit: Preissignale und ökonomischer Rahmen	86
3.1.3	Dekarbonisierung: Grüne Eigenschaft von Wärme stärken	87
3.1.4	Wissensaufbau: Wärmespeicher als Baustein eines integrierten Systems vermitteln	87
3.2	Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf	88
Abbildungsverzeichnis	89
Tabellenverzeichnis	89
Literaturverzeichnis	90

Zusammenfassung

Die Dekarbonisierung der Wärmebereitstellung in Gebäuden, in Wärmenetzen und in der Industrie ist eine der großen Herausforderungen der Energiewende. Fossile Energieträger müssen durch klimaneutrale Alternativen ersetzt werden, darunter Umweltwärme, Geothermie, Solarthermie, die effiziente Nutzung der Bioenergie, unvermeidbare Abwärme und direkte Nutzung erneuerbaren Stromes. Deren Nutzung führt zu einem ansteigenden Speicherbedarf: Während etwa Erdgas und Heizöl selbst gut gespeichert werden können, ist die klimaneutrale Wärmebereitstellung häufig fluktuierend. Speicher leisten einen wichtigen Beitrag dazu, Wärmeerzeugung und -nachfrage in Einklang zu bringen. Ihr Potenzial, ihre Funktionalität und ihre Wirtschaftlichkeit in den Anwendungsbereichen Gebäude, Wärmenetze sowie Industrie & GHD wurden in der vorliegenden Studie untersucht. Des Weiteren wurden Hemmnisse für den effizienten Einsatz von Wärmespeichern identifiziert und Lösungsvorschläge abgeleitet (vgl. Tabelle 1 unten).

Für die Wärmespeicherung stehen eine ganze Reihe von Technologien zur Verfügung, darunter sensible Speicher, wie Wasser- und Erdbeckenspeicher, latente Speicher, und thermo-chemische Speicher. Dabei unterscheiden sich die Technologien durch ihre Nutzbarkeit für verschiedene Anwendungen. Neben der Glättung fluktuierender Wärmeerzeugung können Wärmespeicher auch weitere Funktionen im Energiesystem erfüllen. Dazu zählen vor allem die Bereitstellung von Flexibilität für das Stromsystem im Rahmen der Sektoren-Integration und die Verbesserung der Energieeffizienz industrieller Prozesse. Das vorliegende Gutachten beschreibt die nutzenstiftenden Anwendungen von Wärmespeichern, einschließlich denen aus dem Bereich der Sektoren-Integration. Ein Vergleich der relativen Vorteilhaftigkeit gegenüber anderen Energiespeichern bleibt hingegen anderen Studien vorbehalten.

Gegenwärtig besteht eine Reihe von Hemmnissen für den effizienten Einsatz von Wärmespeichern. Das wichtigste ökonomische Hemmnis ist die relative Günstigkeit der fossilen Wärmeerzeugung, die mit steigender CO₂-Bepreisung abnehmen wird. Mit dem verstärkten Einsatz klimaneutraler, vor allem erneuerbarer Energieträger, wird die Nutzung von Wärmespeichern absehbar zunehmen. Gegenwärtig sollte gezielte Förderung klimaneutraler Wärme, je nach Anwendung, neben den Erzeugungsanlagen auch Speicher umfassen (wird in vielen Programmen bereits heute umgesetzt). Lange Amortisationszeiten bei den notwendigen Investitionen, vor allem im Falle von Speichern in Wärmenetzen, erschweren ebenfalls die Transition. Bei den bislang wenig erprobten Großspeichern, wie sie in Fernwärmennetzen benötigt werden, kommen technologische Investitionsrisiken als Hemmnis hinzu, die durch staatliche Finanzierungsinstrumente abgemildert werden sollten.

Der Einsatz von Wärmespeichern in der Sektoren-Integration wird derzeit durch die mangelnde (explizite und implizite) Vergütung von Flexibilität behindert (ein Hemmnis auch für Stromspeicher). Flexible Stromtarife für Endkunden, die die Knaptheit im System widerspiegeln, begünstigen hingegen Speicher in Verbindung mit strombasierter Wärmeerzeugung etwa aus Wärmepumpen. Stromüberschüsse, die in einem System mit einem hohen Anteil fluktuierender Stromerzeugung immer häufiger auftreten werden, können in Form von Wärme eingespeichert werden; der Staat kann dies durch Begünstigungen bei Steuern und Abgaben fördern. Kurzfristig ist hier die verstärkte Nutzung der von Abregelung bedrohten erneuerbaren Stromerzeugung zu empfehlen; langfristig sind preislöse Anreize entscheidend. Außerdem würde die Einführung von Flexibilitätsmärkten die Vermarktung der Lastflexibilität der Wärmeerzeugung ermöglichen.

Bestehende Hürden für Investitionen in Wärmespeicher könnten sich in Zukunft auch durch den Einsatz innovativer, günstiger Speichermaterialien und verbesserter Einsatzprozesse verringern. Hierzu kann die staatliche Forschungsförderung einen Beitrag leisten. Diese sollte auch helfen, die Datenverfügbarkeit zu verbessern, etwa durch die Einführung eines Registers für das Potenzial von Aquifer-speichern. Neben ökonomischen und systemischen sollten auch die planerischen Hemmnisse für den Einsatz von Wärmespeichern verringert werden. Zurzeit führt u.a. der Platzbedarf von Speichern zu Problemen bei der Raumplanung. Bei Großspeichern ist außerdem bislang kein „übergagendes öffentliches Interesse“ etabliert. Entsprechend sollten Raumplanung und Genehmigungsverfahren stärker an die Bedürfnisse der Energiewende angepasst werden, um die Transition zu ermöglichen.

Ein weiteres Hemmnis stellt das mangelnde Wissen zu Wärmespeichern dar: Vorteile und Nutzen von Wärmespeichern sind in der Öffentlichkeit wenig bekannt und selbst Heizungsfachleute kennen Wärmespeicher-Technologien nur zum Teil. Informationskampagnen könnten hier Abhilfe schaffen, ebenso wie öffentlichkeitswirksame Reallabore. Darüber hinaus sollte zertifizierte Energieberatung neben allgemeinen Fragen der Wärmebereitstellung auch Fragen zu Wärmespeichern beantworten. Die hier beschriebene Unterstützung einer verstärkten Nutzung von Wärmespeichern dient der effizienten und effektiven Umsetzung der Energiewende. Eine systemische Betrachtung wird bei der Gestaltung von Regulierung und Förderung darüber hinaus -anwendungsbezogen- die relativen Vorzüge von Wärmespeichern gegenüber anderen Energiespeichern berücksichtigen, die an dieser Stelle nicht untersucht wurden.

Tabelle 1 Zentrale Hemmnisse, Anwendungsbereiche und Lösungsvorschläge bei Wärmespeichern

Zentrale Hemmnisse	Anwendungsbereiche	Lösungsvorschläge
Mangelnde Wirtschaftlichkeit von Speichern (Investition und Betrieb)	Gebäude, Industrie, Wärmenetze	Verteuerung fossiler Alternativen durch CO ₂ -Bepreisung, kombinierte Förderung erneuerbarer Wärmebereitstellung und Speicher; Forschungsförderung für innovative Speicher
	Gebäude, Industrie	Verbesserung der Vergütung von Flexibilitätsanwendungen im Stromsektor
	Wärmenetze	Finanzielle Förderung der Exploration unterirdischer Großspeicher
Lange Genehmigungsverfahren	Industrie, Fernwärme	Privilegierung von Wärmespeichern im Baurecht, Verfahrens-Beschleunigung
Fachkräftemangel	Gebäude, Industrie, Wärmenetze	Ausbildungsoffensive
Mangelndes Wissen	Gebäudebereich	Informationskampagnen; Reallabore

1 Einführung und Status quo

Die vorliegende Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz beauftragt, um die Erstellung einer integrierten Speicherstrategie zu unterstützen. Thematisch fokussiert sie auf die Rolle der Wärmespeicher im heutigen und im zukünftigen Energieversorgungssystem, mit einer Unterteilung in die Sektoren Gebäude, Wärmenetze und Industrie & GHD. Die folgenden Fragen stehen dabei im Mittelpunkt der Analyse:

- Gegenwärtiger Bestand an Wärmespeichern und technisches Potenzial
- Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern, analysiert auf Basis typischer Anwendungen
- Gegenwärtige Regulatorik und Förderlandschaft
- Betriebswirtschaftliche und regulatorische Hemmnisse für eine effiziente Nutzung
- Handlungsfelder und Lösungsansätze
- Empfehlungen für Verbesserungen der Rahmenbedingungen

Die Untersuchungen und Empfehlungen zu den Wärmespeichern stehen im Kontext einer Sektorübergreifenden Speicherstrategie. In der vorliegenden Studie wurden Aspekte der Sektoren-Integration berücksichtigt, die für den Einsatz der Wärmespeicher entscheidend ist: Eine Reihe von effizienten Anwendungsfällen ergeben sich aus der Erschließung von Flexibilitätspotenzialen für den Stromsektor. So ermöglichen Wärmespeicher etwa die energetische Nutzung von Überschuss-Strom und den Einsatz von Wärmepumpen und anderen Wärm 技术ologien im Regelleistungsmarkt. Das vorliegende Gutachten macht hingegen keine Aussagen zur relativen Vorteilhaftigkeit solcher Anwendungen gegenüber anderen Flexibilitätspotenzialen. Folgende Aspekte sollten in eigenständigen Analysen untersucht werden:

- Umstände einer höheren (bzw. niedrigeren) Kosteneffizienz der von Wärmespeichern induzierten Lastflexibilität gegenüber Flexibilität durch Stromspeicher (v.a. Batterien)
- Vergleich möglicher Herausforderungen bei Planungs- und Genehmigungsverfahren von Wärme- und Stromspeichern
- Möglicher Umfang der Kostenentlastung durch Wärmespeicher beim Strom-Netzausbau und Folgen für die Netzregulierung
- Mögliche Beiträge von Wärmespeichern zur Entlastung eines zukünftigen Wasserstoff-Versorgungssystems (etwa bei der Wärmebereitstellung durch Wasserstoff basierte KWK-Anlagen)

Die mit diesen Aspekten verbundenen Fragen bleiben zukünftigen Studien vorbehalten. Die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung und den Betrieb von Wärmespeichern konnten nur abstrakt dargestellt werden und bedürfen jeweils einer zusätzlichen Prüfung im Einzelfall.

1.1 Wärmespeicher im Kontext der Transformation des Energiesektors

Die Transformation des Energiesektors hin zur Klimaneutralität führt auch im Wärmebereich zu großen Veränderungen: Die Wärmebereitstellung in Gebäuden, Wärmenetzen und der Industrie wird sich grundlegend wandeln. Fossile Wärmeerzeugung wird durch treibhausgasneutrale Wärme ersetzt. Umweltwärme, Geothermie, Solarthermie, die effiziente Nutzung der Bioenergie, unvermeidbare Abwärme und direkte Nutzung erneuerbaren Stromes werden die Wärmeversorgung der Zukunft prägen. Dabei wird in Energiesystemanalysen auch von einer zunehmenden Elektrifizierung der Wärmebereitstellung in Gebäuden, Wärmenetzen und Industrie ausgegangen (vgl. BIG5-Szenarienvergleich¹).

Thermische Speicher werden stark an Bedeutung gewinnen, da sie die Nutzbarmachung direkter Wärme wie beispielsweise im Fall von Solarthermie bzw. industrieller Abwärme und einen systemdienlichen Betrieb elektrischer Wärmeerzeuger überhaupt erst ermöglichen.² Speicher erhöhen dabei die Flexibilität im Gesamtsystem, da sie den zeitlichen Versatz zwischen Wärmeerzeugung und -nachfrage überbrücken. Dies betrifft alle zentralen Anwendungsbereiche (Gebäude, Wärmenetze und Industrie). Die Anforderungen an Speicherkapazität und -dauer sind abhängig von der anschließenden Nutzung. Für die Sektoren-Integration sind dabei insbesondere hohe elektrische/thermische Leistungen relevant, wohingegen die Speicherkapazität (und damit -dauer) weniger wichtig ist. In Wärmenetzen ist hingegen beispielsweise die saisonale Speicherung von Wärmeüberschüssen im Sommer ein wichtiger Anwendungsfall mit hohem Kapazitätsbedarf.

Die Rolle, die Speicher bei der zukünftigen Wärmeversorgung spielen werden, ist damit abhängig von den Anforderungen einer verstärkten Sektoren-Integration einerseits und Verfügbarkeit von Speichern für die konkreten Einsatzgebiete beziehungsweise Wärmeerzeugungssysteme andererseits. Während Studien für den Gebäudebereich schon sehr deutlich herausgearbeitet haben, dass Wärmepumpen und Wärmenetze zentrale Versorgungssysteme sein werden, ist dies in den anderen Anwendungsfeldern diverser. Für die dezentrale Wärmeerzeugung und -bereitstellung in Gebäuden kommen vor allem kurzfristige Pufferspeicher und Trinkwarmwasserspeicher zum Einsatz. Wärmenetze hingegen werden in Zukunft einen größeren Bedarf nach saisonalen Speichern haben, da einige Wärmequellen wie Solarthermie nicht dann zur Verfügung stehen, wenn der Wärmebedarf am höchsten ist. In der Industrie werden Wärmespeicher schon heute in prozessbasierten Anwendungen zur Absicherung eines Anlagenausfalls eingesetzt. Mit der Umstellung auf neue Wärmeerzeuger, wie Großwärmepumpen und direktelektrische Hochtemperatur-Prozesswärmebereitstellung, wird auch hier die Bedeutung von Wärmespeichern zur Sicherung einer stetigen und systemkompatiblen sowie kosteneffizienten Wärmebereitstellung zunehmen.

¹ Kopernikus Projekt – Adriane (2022): Szenarien zur Klimaneutralität: Vergleich der „Big 5“-Studien. <https://ariadneprojekt.de/news-de/big5-szenarienvergleich/>. Zugriff am: 12.07.2024.

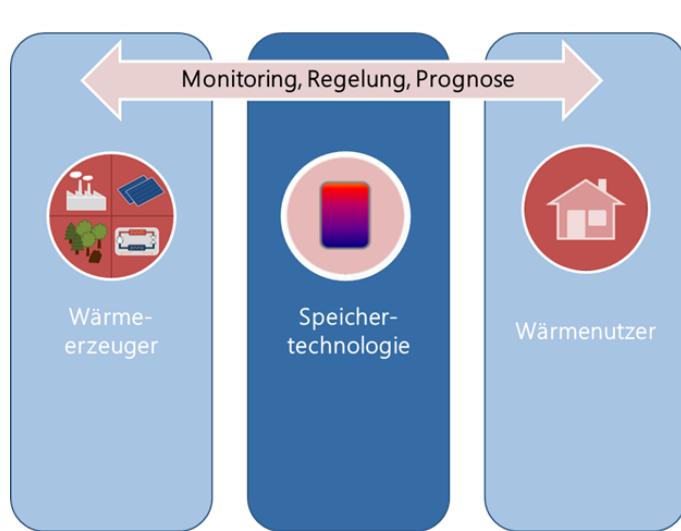
Die „Big 5“-Studien sind: Klimaneutrales Deutschland 2045 (Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende und Agora Verkehrswende), Klimapfade 2.0 - Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft (BDI), Aufbruch Klimaneutralität (dena-Leitstudie), Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland (BMWK), Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045 (Ariadne-Projekt).

² Das Verhältnis von direkter Wärmenutzung zu elektrischer Wärmenutzung und die eingesetzte Speicherung wird stark abhängen von dem zukünftigen Strommarktdesign und den Anforderungen des Gesamtsystems. Eine qualitative Einordnung findet sich in Kapitel 2.

Arten von Wärmespeichern

Wärmespeicher sind immer innerhalb eines Speichersystems zu betrachten, das aus Wärmeerzeuger, Spechertechnologie, Wärmenutzer sowie einem geeigneten Monitoring mit Prognosen und adäquater Regelung besteht (Abbildung 1).

Abbildung 1: Komponenten eines Speichersystems



Innerhalb dieses Systems erfüllen Speicher die Funktion, die Wärmeerzeugung zeitlich von der Wärmenutzung zu entkoppeln, Schwankungen auf der Erzeugungs- und Verbrauchsseite auszugleichen und Spitzenlasten zu vermeiden. Welcher Speicher dafür am besten geeignet ist, hängt vom Wärmeerzeuger und den Bedürfnissen des Wärmenutzers im Hinblick auf die Temperaturhöhe und die Dauer der zeitlichen Verschiebung ab. Man unterscheidet sensible Speicher, latente Speicher und thermo-chemische Speicher. Sensible Speicher erhöhen die Temperatur des

Speichermediums und geben sie dann wieder ab. Klassische Beispiele sind Warmwasserspeicher oder Erdbeckenspeicher. Latente Speicher verfügen über ein Speichermedium, dass bei der Wärmeaufnahme/-abgabe einen Phasenwechsel vollzieht, wie beispielsweise Eisspeicher oder ein Salzspeicher. Thermo-chemische Speicher nutzen eine chemische Reaktion zur Aufnahme bzw. Abgabe der Wärme. In diesem Gutachten werden die technischen Details nicht weiter ausgeführt.

1.2 Wärmespeicher in Gebäuden

Der Einsatz und Bedarf an Wärmespeichern in Gebäuden ergibt sich aus dem System der technischen Gebäudeausrüstung des Gebäudes, der Gebäudekonstruktion (Bauweise, Wärmeschutzniveau, etc.), der derzeitigen bzw. zukünftigen Energieerzeugung und der Energieeffizienz (Raumwärme und Trinkwarmwasser).

Dabei reduziert der Einsatz eines Wärmespeichers nicht den Wärmebedarf der Gebäude, sondern steigert die Nutzungsoptionen für ein lokales System (z.B. Photovoltaik (PV)-Strom oder Solarthermie) oder für das Gesamtsystem (Netzdienlichkeit, Lastverschiebung). Somit ersetzen Wärmespeicher in Gebäuden oder die Wärmespeicherfähigkeit der Gebäude selbst keinesfalls einen Wärmeschutz, sondern sind ergänzend zur Energiebedarfsreduktion zu betrachten. Der flexible, zeitlich gestreckte Einsatz eines Wärmespeichers ist umso besser möglich, je energieeffizienter ein Gebäude ist.

Nachfolgend wird das Potenzial von Pufferspeichern, Trinkwarmwasserspeichern und der Speichermasse von Gebäuden beschrieben.

Ausgehend von der Perspektive des Stromnetzes können Wärmespeicher in Gebäuden und die Gebäude speichermasse selbst einen Beitrag zum Umbau des gesamten Energiesystems leisten. Die zukünftige Erzeugerstruktur zur Deckung des Wärmebedarfs in der dezentralen Versorgung wird stark durch Wärmepumpen geprägt sein. Diese benötigen große Mengen an erneuerbarem Strom, dessen Erzeugung sowohl durch Volatilität als auch zeitlichem Versatz zur Nachfrage gekennzeichnet ist. Ein Wärmespeicher ermöglicht den netzdienlichen Betrieb von Wärmepumpen und die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien in der Regel dann, wenn ein ausreichendes Stromangebot vorhanden ist. Bei geringem Stromangebot wird die gespeicherte Wärme genutzt, statt der Direkterzeugung über die Wärmepumpe. Neben Wärmepumpen können auch elektrische Zusatzheizungen, z.B. in Form von Heizstäben, ergänzend netzdienlich eingesetzt werden, wenn deutliche Überschussmengen an Strom, insb. gebäudenah durch PV-Strom, zur Verfügung stehen und der fossile Wärmeerzeuger, der sonst für die Wärmebereitstellung im Gebäude genutzt wird, sein Lebensende noch nicht erreicht hat und daher noch nicht ersetzt wird. Mit flexiblen Stromtarifen und Smart Metern werden solche Systeme zusätzlich angereizt, Strom abzunehmen und damit das Stromnetz zu stabilisieren. Wärmespeicher erfüllen dabei auch die zentrale Funktion der Netzentlastung, durch die zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und –nutzung. Zu Zeiten von überschüssiger Energie im Netz können die Wärmespeicher aufgeladen werden und zu Zeiten höherer Lasten entladen werden, wodurch die Lastspitzen reduziert werden. Durch Speicher in Gebäuden lässt sich die Wärme kurzfristig über mehrere Stunden (z.B. Wasserspeicher) bis zu wenigen Tagen (z.B. Eisspeicher) speichern.

1.2.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial

In Deutschlands Gebäudebestand sind aktuell verschiedene Speichertechnologien im Einsatz. Während einige ausschließlich Trinkwarmwasser bereithalten, gleichen Pufferspeicher und kombinierte Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher Schwankungen in der Wärmeerzeugung und Nachfrage der Raumwärmebereitstellung aus.

Derzeit sind ca. 2,5 Mio. Pufferspeicher in Verbindung mit Wärmepumpen und Biomassekesseln verbaut. Außerdem ist jede der aktuell 2,5 Mio. Solarthermieanlagen mit einem Pufferspeicher bzw. Trinkwarmwasserspeicher kombiniert.³ Daraus ergibt sich, dass die aktuell maximal verfügbare installierte Wärmespeicherkapazität im Gebäudebestand in Heizungspufferspeichern etwa 15 - 45 GWh und in Trinkwarmwasserspeichern 150 – 300 GWh beträgt. Ein Gesamtpotenzial für die thermische Speicherfähigkeit der Wohngebäude lässt sich quantitativ aufgrund unterschiedlicher Einflussparameter für die jeweiligen Gebäudeklassen nur für die sehr große Spanne von 200 bis 2600 GWh beziffern, welche für sinnvolle weitergehende Berechnungen zu ungenau ist. Darüber hinaus bestehen große Zweifel, ob diese Gebäude speichermasse überhaupt nutzbar gemacht werden kann, da es seitens der Bewohnenden große Akzeptanzprobleme gibt. Beispielsweise wird eine Temperaturerhöhung um maximal 1-2 K von den Bewohnenden als gerade noch akzeptabel empfunden⁴.

³ Deutsche Energie-Agentur (2024): DENA-GEBÄUDEREPOR 2024: Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. Deutsche Energie-Agentur.

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/dena-Gebaedereport_2024.pdf, S. 27. Zugriff am: 01.06.2024.

⁴ Vgl. die ISO-Norm 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit

Zukünftig sind bei der Nutzung von Speichern große Veränderungen zu erwarten.⁵ Bislang werden für moderne, modulierende fossile Wärmeerzeuger wie Gaskessel keine Pufferspeicher benötigt. Gleichermaßen gilt für die Nutzung von Fernwärme. Kommen mehr erneuerbare Wärmeerzeugungsanlagen zum Einsatz, nimmt voraussichtlich auch die Anzahl der Pufferspeicher zu. Wenn fossile Wärmeerzeuger ihr Lebensende noch nicht erreicht haben, könnten Trinkwarmwasser- oder Pufferspeicher zusätzlich mit einem elektrischen Heizstab ausgestattet werden. Dies erhöht die Nutzung von überschüssigem erneuerbarem Strom und die Speicher können für einen stromnetzdienlichen Einsatz ertüchtigt werden (aus einer PV-Anlage direkt oder aus dem Stromnetz bei Überschussstrom).³ Durch das Vorhalten von Wärme können elektrische Wärmeerzeuger entsprechend ein- oder ausgeschaltet werden, um von schwankenden Strompreisen wirtschaftlich zu profitieren.

Die zukünftige Wärmeversorgung von Gebäuden kann von den drei Wärmespeichertypen unterstützt werden: die Gebäudespeichermasse, Pufferspeicher und Trinkwarmwasserspeicher. Pufferspeicher und Trinkwarmwasserspeicher sind auf dem Markt in unterschiedlichsten Ausführungsvarianten und Kombinationen (bivalenter Pufferspeicher, Solarspeicher, Kombispeicher, etc.) verfügbar, je nach Anforderung des gesamten Heizungssystems im Gebäude.

Die Wirkungsweise der **Gebäudespeichermasse** als Wärmespeicher⁶ umfasst vor allem der zeitlichen Entkopplung von Überangebot an Strom bzw. Wärme und dem Wärmebedarf. Dabei wird die Raumluft über die Wärmeübertragungsflächen erwärmt, wobei die Bauteile und Materialien einen Teil dieser Wärme aufnehmen und sie bei niedrigeren Raumlufttemperaturen langsam wieder abgeben.⁷ Gegenüber der Raumluft verhalten sich die Bauteile träge, wobei dies von der Bauweise (leichte, mittlere und schwere Bauart) abhängt. Zur gezielten Nutzung und Steuerung dieses Effektes ist der Einsatz von Regelungstechnik erforderlich, so kann bei hoher Energieverfügbarkeit Wärme in den Bauteilen eingespeichert werden. Das Speicherpotenzial insgesamt hängt von der Wärmespeicherfähigkeit

⁵ Beispielhaft dafür die veränderte Erzeugungsstruktur, die in den verschiedenen Einsatzweisen mit Speichern kombiniert werden kann oder sogar muss.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Langfristzenarien. Gebäude. T45-Szenarien. Anzahl der Heizungen T45. <https://enertile-explorer.isi.fraunhofer.de:8443/open-view/51944/21559a9532131c061668bf0751e519e3>. Zugriff am: 07.06.2024.

⁶ DIN V 18599-2 (2018): Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Deutsche Energie-Agentur (2024): DENA-GEBÄUDEREPORTE 2024: Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/dena-Gebaedereport_2024.pdf, S. 27. Zugriff am: 01.06. 2024.

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2022): Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude: Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland. https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/BMWi-03ET1315_ENOBdataNWG_Schlussbericht_final.pdf. Zugriff am: 01.06.2024.

⁷ Ziel ist, dass die Temperatur innerhalb des Komfortbereichs schwankt, z.B. zwischen 20 und 24 °C und so Zeiten überbrückt werden können, in denen keine andersartige Heizleistung zur Verfügung steht. Um in konkreten Zeiten die Speicherkapazität zu nutzen, ist eine Regelung notwendig, die idealerweise neben dem Bedarf weitere Speichersysteme im Gebäude berücksichtigt und Einfluss auf die tatsächliche Wärmeerzeugung nimmt. Yu, Y. J. (2020): Optimierte Nutzung der Gebäude als dezentraler Wärmespeicher im Lastmanagement. Dissertation. Fraunhofer IRB-Verlag und Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/83b632ec-8b8c-4a97-b390-624efcf2c9f0/content>. Zugriff am 01.06.2024.

der Bauteile⁸, der Dauer der Ein- und Ausspeicherung sowie dem Heizenergiebedarf und der Heizleistung ab. Für eine sinnvolle Nutzung als Wärmespeicher sollte auch das Wärmeschutzniveau der Gebäudehülle gut sein. Im Vergleich zu anderen (Puffer-)speichern sollte dabei die vergleichsweise langsame Ein- und Ausspeicherung beachtet werden.

Pufferspeicher werden eingesetzt zur kurzzeitlichen Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch, so bei nicht-modulierenden Wärmeerzeugern und zur Reduzierung der schnellen Taktung von Biomassekesseln als auch Wärmepumpenanlagen. Durch Pufferspeicher lassen sich auch die Volumenströme auf Wärmeerzeuger und Wärmeabnehmerseite entkoppeln. Sie umfassen je Speicher typischerweise zwischen 500 und 1500 l Volumen und übernehmen eine zentrale Rolle bei der Einbindung erneuerbarer Wärmeerzeuger wie der Solarthermie: Das Heizungswasser wird durch Solarthermie erwärmt und bei Bedarf mit einem zweiten Wärmeerzeuger weiter erhitzt. Pufferspeicher können sowohl bei der Eigenverbrauchsoptimierung als auch zur Funktion eines netzdienlichen Gebäudes genutzt werden. So können beispielsweise günstige Stromtarife für den Betrieb von Wärmepumpen in Anspruch genommen werden.

Trinkwarmwasserspeicher finden schon jetzt weite Verbreitung, da sie der Vorhaltung und kurzfristigen Bereitstellung von warmem Wasser dienen. Sie haben üblicherweise ein Fassungsvermögen von 100 – 1000 l. Bei solarthermischen Anlagen ist auch zur Trinkwarmwassererzeugung immer eine Zwischenspeicherung notwendig, dabei können auch andere Speichertypen eingesetzt werden, z.B. ein Pufferspeicher mit Frischwasserstation bzw. Kombi-Speicher.

Für die bestmögliche Ausnutzung der Speichereffekte ist der Einbau geeigneter Regelungstechnik für eine intelligente Kommunikation und Steuerung von Wärmeerzeugung, Speicherung und Nutzung notwendig. Bei einer elektrischen Wärmeerzeugung umfasst das unter anderem das Stromnetz, ggf. eigener PV-Anlage, Wärmeerzeuger, Speicher und Wärmeübergabesystem. Aufgrund der Unterschiede der Gebäude und der räumlichen Möglichkeiten zur Nachrüstung von intelligenter Regelungstechnik kann der damit verbundene Aufwand stark variieren. Zu beachten ist dabei, dass bei allen Wärmespeichern im Gebäudebereich die sinnvoll einspeicherbare Wärmemenge saisonal variiert und durch die Wärmeabnahme, durch Gebäudeheizbedarf und die Trinkwarmwasserwärmung, begrenzt ist.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Wärmespeicher in Gebäuden die Transformation des Energiesystems und der WärmeverSORGUNG unterstützen können. Sie können die Wärmeerzeugung allerdings nur im zeitlich begrenzten Rahmen (einige Stunden) verschieben, für eine Reduktion des Wärmebedarfs sind weiterhin Sanierungsmaßnahmen zentral. Der Effekt der Sanierung zur Entlastung von Wärme- und Stromnetzen ist deutlich größer.

⁸ Diese ist definiert durch die spezifische Wärmekapazität des Materials, der Rohdichte der Bauteilschichten, deren Abmessungen, deren Wärmeleitfähigkeiten und ggf. auch deren Feuchtegehalt. Weiterhin ist die Zugänglichkeit für die als Wärmequelle dienende Raumluft entscheidend (z.B. Installationsebenen und Teppichböden). Hausladen, G. et al. (2014): Lastverhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen und technischer Systeme - Speicher- und Lastmanagementpotenziale in Gebäuden: Endbericht. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag. <https://www.irbnet.de/daten/rswb/14109008253.pdf>. Zugriff am: 01.06.2024.

1.2.2 Wirtschaftlichkeit

Box: Einführung in die Methodik⁹

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Speichertechnologien wurden verschiedene technische und bauliche Voraussetzungen in Einfamilienhäusern untersucht. Dabei kamen die Annuitätsmethode nach VDI 2067, ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und ein Realzins von 5 % zum Einsatz. Die Kosten basieren auf der Energiepreisentwicklung gemäß der Modellierung nach Prognos und den Investitionskosten der Anlagentechnik, die aus dem Technikkatalog der KEA BW^{Fehler! Textmarke nicht definiert.} entnommen wurden.

Die Erlöse für Photovoltaikanlagen (PV) beziehen sich auf die Einspeisevergütung nach dem Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2023). Zusätzlich wurden Angaben von verschiedenen Herstellern zu intelligenten Steuer- und Regelungssystemen berücksichtigt. Die Erlösberechnung erfolgt durch die Differenz zwischen dem Ausgangszustand des Gebäudes und dem Endzustand mit optimierter Nutzung des jeweiligen Speichertyps.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden die nötigen Preisunterschiede (Spreads) der variablen Stromtarife ermittelt, die eine wirtschaftliche Darstellung der Ergebnisse ermöglichen.

Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit verschiedener Speichertypen für Gebäude untersucht. Sie lässt sich nur in Abhängigkeit von den technischen und baulichen Gegebenheiten des Gebäudes betrachten. Speicher sind somit immer nur im Kontext eines Gesamtsystems wirtschaftlich bewertbar. In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung fließen die Investitionen, Betriebskosten für Wartung und Instandhaltung sowie die Energiekosten für die Energiemenge, die zum Beladen des Speichers notwendig ist, ein. Demgegenüber stehen mögliche Erlöse oder Kostenreduktionen, die sich durch den Einsatz des Speichers erzielen lassen. Eine Erlösrechnung und somit eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit beruht deshalb auf einer Differenz aus dem Ausgangszustand des betrachteten Gebäudes und dem Endzustand mit optimierter Nutzung des jeweiligen Speichertyps. Erlöse entstehen meist dort, wo Energie vor Ort genutzt wird, beziehungsweise wenn die eingesetzte Energie durch einen netzdienlichen Betrieb des Wärmeerzeugers deutlich günstiger ist als im Betrieb ohne Speicher (Nutzung dynamischer Stromtarife und Netzentgelte).

Die Nutzung eines **Pufferspeichers** in einem mit Wärmepumpe beheizten Einfamilienhauses (Effizienzhaus (EH) 70) für den netzdienlichen Betrieb macht den Einbau einer intelligenten Steuer- und Regelungstechnik erforderlich. Diese Kosten amortisieren sich in diesem Fall, wenn zum Erwärmen des Speichers ein Strompreis von 16 ct/kWh anstatt von 33 ct/kWh angenommen werden (gilt auch für durch PV-Strom vermiedenen Netzstrombezug). Die Wirtschaftlichkeit hängt insbesondere von den

⁹ Prognos et. al. (2024): https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-wq.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Zugriff am: 26.07.2024.

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA BW): Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung. 01/2024. <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog>. Zugriff am: 12.07.2024.

Investitionen, dem Potenzial der Lastverschiebung sowie dem Preis-Spread von variablen Stromtarifen ab und wie häufig von den niedrigen Tarifen Gebrauch gemacht werden kann. Für den Fall, dass ein Pufferspeicher für die Wärmebereitstellung noch nicht vorhanden ist, lassen sich der Einbau und netzdienliche Betrieb aufgrund der Investitionen für den Speicher ohne die Einrechnung einer Förderung nicht wirtschaftlich darstellen, auch nicht bei einem für die Einspeicherung sehr günstig angenommenen Strompreis.¹⁰

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der elektrischen Nutzung eines **Trinkwarmwasserspeichers** wurde ein Vier-Personen-Haushalt betrachtet. Statt den vorhandenen Gaskessel zu nutzen, wird ein elektrischer Heizstab zum Erwärmen des Trinkwarmwassers eingebaut. Es wird angenommen, dass dieser rein mit Strom aus einer bereits vorhandenen PV-Anlage betrieben werden kann. Dadurch wird der selbst genutzte Anteil des PV-Stroms erhöht und der ins Netz eingespeiste Anteil reduziert, bzw. der abgeriegelte Anteil nutzbar gemacht. Hier lassen sich deutliche Kosteneinsparungen von ca. 50 % in Bezug auf die Trinkwarmwassererwärmung erzielen. Dabei sind die Kosten für die Trinkwarmwassererwärmung in den meisten Bestandsgebäuden ein eher kleiner Teil der gesamten Heizkosten. Mit steigender Effizienz der Gebäude nimmt jedoch der Kostenanteil für die Trinkwarmwassererwärmung zu. Aufgrund der vergleichsweise geringen Größe eines Trinkwarmwasserspeichers greift dieser Effekt nur kurzzeitig (1-2 Stunden).

Die **Masse eines Gebäudes** ist durch den Bau bereits festgelegt. Die Nutzbarmachung dieses Speicherpotenzials erfolgt über den Einbau eines Energiemanagementsystems und entsprechender Stellantriebe am Wärmeübergabesystem. Insgesamt muss bei einer solchen Betriebsweise von einem absolut höheren Energiebedarf aufgrund von Speicherverlusten ausgegangen werden. Betrachtet für ein mit Wärmepumpe beheiztes Einfamilienhaus ist dies nur wirtschaftlich, wenn eine relevante Energiemenge im Zuge einer kostenoptimierten Fahrweise des Wärmeerzeugers ein- und ausgespeichert werden kann, relevante Kostenunterschiede zwischen Ein- und Ausspeicherung entstehen und gleichzeitig der Sanierungsstand des Hauses nicht so schlecht ist, dass die Wärmeverluste überwiegen. Da sich durch diese Anwendung der Energiebedarf insgesamt leicht erhöht, sind Investitionen in Dämmung/Sanierung klimapolitisch und in Hinblick auf die Energiekosten den Investitionen in entsprechende Regelungstechnik, die allein dazu dienen, die Gebäudespeichermasse netzdienlich zu nutzen, vorzuziehen.

Ein wirtschaftlicher, netzdienlicher Betrieb von Wärmespeichern in Gebäuden setzt variable Stromtarife mit ausreichend großen Preis-Spreads voraus.¹¹ Sollten Förderungen eingesetzt werden, um die Wirtschaftlichkeit der Speicher zu verbessern, müssen diese immer das Gesamtsystem im Gebäude, bestehend aus Wärmeerzeuger, Wärmeübergabesysteme, Speicher, Regelungstechnik, Energiemanagement und energetischem Zustand der Gebäudehülle in den Blick nehmen.

¹⁰ Im Rahmen des Abrufs konnten nicht alle denkbaren Varianten abgebildet werden. Es wurden keine Fälle betrachtet, bei denen die Erzeugungsstruktur den Einsatz eines Speichers zwingend voraussetzt. Außerdem wurde eine Vergütung der durch den Speicher ermöglichten Lastflexibilität in einem möglichen zukünftigen Flexibilitätsmarkt nicht einberechnet.

¹¹ Das Anbieten variabler und dynamischer Stromtarife ist für Stromanbieter ab 2025 verpflichtend. Bislang sind sie aber noch nicht sehr weit verbreitet und die Preisdifferenzen in vielen Anwendungsbereichen noch nicht ausreichend groß, um den Einsatz von Speichern wirtschaftlich zu machen. Wie hoch diese Preisdifferenzen zukünftig werden und für welchen speziellen Gebäudetyp ein Speicher wirtschaftlich betrieben werden kann, lässt sich deshalb aktuell nicht pauschal sagen.

1.3 Speicher in Wärmenetzen

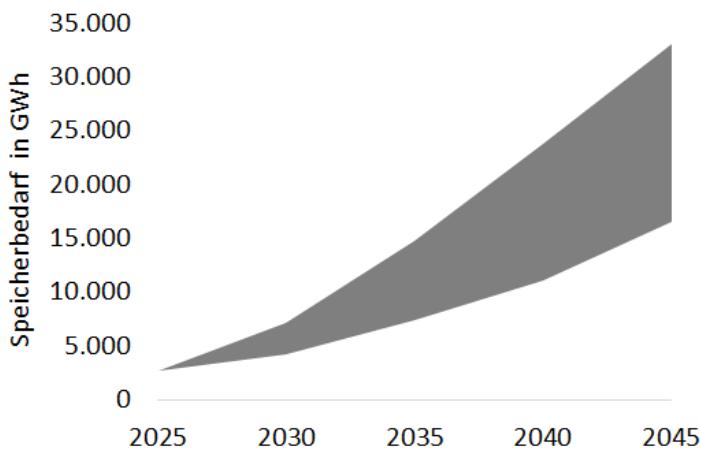
Neben der dezentralen Versorgung werden Wärmenetze eine weitere Säule einer klimaneutralen Wärmeversorgung darstellen. Momentan wird ein großer Anteil der Wärme, die über Wärmenetze verteilt wird, in großen (fossilen) Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) erzeugt. Wärmegeführte Anlagen lassen sich dabei je nach Bedarf steuern. Die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung verändert sowohl die Wärmeerzeuger als auch die Wärmenetze. Neue Wärmenetze müssen gebaut, bestehende Netze ausgebaut und verdichtet und die Wärmeerzeugung in Wärmenetzen muss auf effiziente und klimaneutrale Technologien umgestellt werden, wobei häufig eine Absenkung des Temperaturniveaus notwendig ist. Nachfolgend wird der aktuelle Stand beim Ausbau und Einsatz von Speichern in Wärmenetzen dargestellt und eine Übersicht über die Wirtschaftlichkeit und den aktuellen Rechts- und Förderrahmen gegeben.

Eine dekarbonisierte Wärmeerzeugung muss nicht nur den Wärmebedarf decken, sondern sich auf eine schwankende Verfügbarkeit des Wärmeangebots einstellen. Damit wird der Bedarf sowohl an kurz- (wenige Stunden bis Tage) als auch an langfristigen, saisonalen Speichern stark ansteigen. Speicher in Wärmenetzen erfüllen drei wesentliche Funktionen: Pufferspeicher dienen zunächst insbesondere der Betriebsoptimierung einzelner Wärmeerzeuger, indem sie es ermöglichen bei kurzfristig schwankender Wärmenachfrage Erzeugungsanlagen in einem möglichst effizienten Betriebspunkt zu betreiben. Zur besseren Sektoren-Integration ermöglichen Speicher zweitens eine Erhöhung der Flexibilität. So können zu Zeiten erneuerbarer Stromüberschüsse elektrische Wärmeerzeuger genutzt werden, um Wärmespeicher zu befüllen. Ebenso kann bei der Stromerzeugung in KWK-Anlagen anfallende Wärme nutzbar gemacht werden. Durch die zeitliche Verlagerung der Wärme- und Stromerzeugung kann zum einen eine Abregelung der erneuerbaren Stromerzeugung vermieden werden, zum anderen kann der Betrieb der KWK-Anlagen stärker an den Anforderungen des Stromsystems ausgerichtet werden. Die dritte Funktion der Speicher ist die saisonale Entkopplung von Erzeugung und Verbrauch. Vorwiegend in den Sommermonaten vorliegende Wärme wie Solarthermie oder höhere Temperaturen in der Umwelt sowie weitere CO₂-freie Wärmeüberschüsse aus Geothermieanlagen oder unvermeidbarer Abwärme, wie beispielsweise aus Rechenzentren im Sommer, können bis in den Winter hinein für die Wärmeversorgung genutzt werden. Zudem können sie ggf. Umweltwärmeketten im Winter ersetzen, die aufgrund niedriger Temperaturen nur ineffizient oder gar nicht genutzt werden können. In den meisten Wärmenetzen wird es Potenziale sowohl für eine saisonale als auch für eine kurzfristigere Wärmespeicherung geben, so dass unterschiedliche Speichertechnologien sinnvoll in die Netze integriert werden können. Da bestehende europäische und nationale Energiesystemmodelle zur Transformation des Energiesystems Wärmespeicher in Wärmenetzen nur unzureichend abbilden (u.a. keine saisonale Wärmespeicherung, regionale Unterschiede), ist davon auszugehen, dass der dort ermittelte Bedarf zu gering ist (vgl. Langfristszenarien).¹² In der Wissenschaft und Fernwärm branche wird davon ausgegangen, dass perspektivisch 10 % bis 30 % der Wärmeerzeugung in Wärmenetzen verschiebbar sein muss (Ausgleich saisonaler Schwankungen von erneuerbarer Wärme und Abwärme sowie Wärmenachfrage; Flexibilitätsbereitstellung für das Stromsystem). Welcher Anteil in einzelnen Netzen unter Berücksichtigung der individuellen techno-ökonomischen Rahmenbedingungen perspektivisch verschiebbar sein muss, ist von den Gegebenheiten vor Ort abhängig. Bei günsti-

¹² Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Langfristszenarien. T45-Szenarien. <https://langfristszenarien.de/en/tile-explorer-de/#:~:text=Das%20Projekt%20Langfristszenarien%203%20wird>. Zugriff am: 07.06.2024.

gen Speicherbedingungen kann es wirtschaftlicher sein, größere Wärmemengen über Speicher bereitzustellen und dadurch Spitzenlast-Wärmeerzeuger einzusparen. Sind die Speicherbedingungen weniger gut, ist ggf. die Vorhaltung zusätzlicher Erzeugungskapazitäten wirtschaftlich günstiger. Entscheidend sind die Wärmebereitstellungskosten aller Wärmeerzeuger und -speicher (Merit-Order) in der Gesamtbetrachtung.

Abbildung 2 Entwicklung des Speicherbedarfs¹³



Bei einem angenommenen Speicherbedarf von 10 % bis 20 % der mittleren Fernwärmeverzeugung der in den sog. "Big 5" Klimaneutralitätsszenarien dargestellten Fernwärmeverzeugung (zwischen 109 und 260 TWh/a; Mittelwert 170 TWh/a 2045 bzw. 2050) ergibt sich daraus für das Jahr 2045 ein Speicherbedarf von ca. 17 TWh/a bis zu 34 TWh/a (s. auch Abbildung 2).¹⁴ Der Umbau der Wärmenetze und der Ausbau von Wärme-

speichern steht allerdings noch recht am Anfang. Bislang beträgt die Speicherkapazität von Wärmespeichern in deutschen Wärmenetzen ca. 114 GWh (in Betrieb, im Bau befindlich, weit fortgeschritten Planung), drei Erdbeckenspeicher befinden sich im Bau.¹⁵ Der Speicherbedarf ist damit bis 2045 ca. 150- bis 300-mal so groß wie die aktuell in Betrieb, Bau und Planung befindliche Speicherkapazität. Ein geringerer Ausbau der Speicherkapazität geht voraussichtlich mit einem höheren Primärenergieeinsatz einher, da die Wärme in der Heizperiode dann über andere Wärmeerzeuger bereitgestellt und überschüssige Wärme im Sommer zum Beispiel aus grundlastfähigen Quellen abgeregelt werden muss.

1.3.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial

In Wärmenetzen kommen aus der großen Anzahl an verschiedenen Speichertypen insbesondere drei Speicherarten zur Anwendung: Tankspeicher (TTES), Erdbeckenspeicher (PTES) und Aquiferspeicher (ATES). Für den Einsatz als Pufferspeicher sind TTES die verbreitetste Technologie, wohingegen für saisonale Speicherung bisher insbesondere PTES zum Einsatz kommen.¹⁶ Weitere Speicherarten, die vereinzelt genutzt oder aktuell erforscht werden, sind Bohrlochwärmespeicher (BTES)

¹³ Strodel, N. et. Al. (2024): Optimierte Integration thermischer Aquiferspeicher in Fernwärmesysteme. Statusseminar des Themenschwerpunktes TEA – BMBF Fachprogramm GEO:N, Freiberg.

¹⁴ Eine genaue Quantifizierung der zukünftigen Speicherbedarfe liegt aktuell nicht vor. Die angegebenen Spannen basiert auf den Ausführungen des Hamburg Instituts (2024) und dem Abgleich mit erwarteten Entwicklungen in einzelnen Wärmenetzen/Transformationsplänen sowie laufenden Forschungsvorhaben.

¹⁵ BMWK (2024): Speicher für die Energiewende – Bedeutung, Handlungsfelder und Maßnahmen für Strom-, Wärme- und Wasserstoffspeicher. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/speicher-fuer-die-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=8. Zugriff am: 13.03.2024.

¹⁶ Darüber hinaus besteht die Möglichkeit über Erdsonden Wärme im Untergrund zu speichern. Bislang gibt es in Deutschland drei saisonale Erdsonden-Speicher (BTES).

und Minen-Wärmespeicher (MTES). Darüber hinaus wird in der Forschung die Nutzung des Wassers in den Wärmenetzen als kurzfristiger Pufferspeicher diskutiert.¹⁷

Abbildung 3 Übersicht über aktuell installierte Speicher¹⁸



Bei **Tankspeichern** handelt es sich um große, gut isolierte Behälter aus Metall oder Beton. Sie verwenden das Speichermedium Wasser und dienen vor allem als Kurzzeit-speicher beziehungsweise Pufferspeicher (Speicherdauer mehrere Stunden bis Tage). Aktuell sind circa 60 dieser Speicher im Einsatz. Verwendet werden sie vor allem zur Flexibilisierung von KWK-Anlagen sowie zur Nutzung von Überschussstrom in Kombination mit einem Elektroheizer. Ein erneuerbares Stromsystem wird allerdings – insbesondere in den Sommermonaten – große Mengen an Überschussstrom bereitstellen, die sich durch Wärmepumpen oder Elektroheizer in Kombination mit einem Wärmespeicher gut in Wärmenetzen nutzen lassen. Der Überschussstrom kann im Prinzip auch anderweitig genutzt werden, z. B. in Elektrolyseuren

für die Erzeugung von grünem Wasserstoff. Die Studie Klimaneutrales Deutschland 2045 geht davon aus, dass 2045 ca. 48 TWh/a Strom abgeregelt werden müssten. Diese könnten im Rahmen eines Flexibilitätsmarkts für die Wärmebereitstellung zum Einsatz kommen. Für Tankspeicher gibt es wenig technische Limitationen, so dass theoretisch die gesamte Energiemenge in Wärme umgewandelt und eingespeichert werden könnte. Dabei ist jedoch von einer Nutzungskonkurrenz mit anderen Anwendungen auszugehen, die je nach den Umständen wirtschaftlicher als die Wärmenutzung ausfallen können.

Erdbeckenspeicher haben eine Tiefe von 5-15 Metern. Die Oberseite befindet sich auf Bodenniveau und wird durch einen festen oder schwimmenden Deckel verschlossen. Als Speichermedium kommen Wasser oder eine Kombination aus Wasser und Kies zum Einsatz. Erdbeckenspeicher dienen der langfristigen, saisonalen Speicherung. In Dänemark werden sie jedoch auch zunehmend als Wochenspeicher eingesetzt. Aktuell sind fünf Erdbeckenspeicher in Deutschland in Betrieb, vier davon mit einem Speichervolumen von wenigen 1.000 m³. Gemeinsam haben sie ein Speichervolumen von rund 61.000 m³. Drei weitere sind in Planung oder Bau. Das Flächenpotenzial für die Errichtung von Erdbe-

¹⁷ Wärmenetzbetreibende sehen bei dieser Option technische Hindernisse.

¹⁸ Strodel, N. et al. (2024): Optimierte Integration thermischer Aquiferspeicher in Fernwärmesysteme. Statusseminar des Themenschwerpunktes TEA – BMBF Fachprogramm GEO:N. Freiberg.

ckenspeichern in der Nähe von Gebieten mit hoher Wärmedichte liegt bei rund 668 km² (ohne Berücksichtigung von Flächenkonkurrenzen).¹⁹ Werden die Dimensionen (ca. 18.000 m², 43.000 m³) des aktuell größten Erdbeckenspeichers Deutschlands in Meldorf zugrunde gelegt, ergibt sich ein technisches Potenzial von 55,7 bis maximal 128 TWh/thermisch.²⁰ Dies entspricht zwischen 33 % und 75 % der in den sog. "Big 5" Klimaneutralitätsszenarien dargestellten Fernwärmeverzeugung.²¹

Aquiferspeicher speichern Wärme in wasserführenden Schichten im Untergrund und können auch zur Kältespeicherung bzw. -bereitstellung eingesetzt werden. Diese Speicher können sich in unterschiedlichen Tiefen befinden, je tiefer, desto höher ist die Temperatur des umliegenden Gesteins, aber auch die Kosten und Risiken. Speichermedium ist auch hier Wasser oder Sole. Genutzt werden Aquiferspeicher als Saisonalspeicher. Aktuell gibt es 11 Anwendungen in Deutschland.²² Aquiferspeicher spielen bislang in Deutschland also keine wesentliche Rolle. In der Forschung wird aber ein großes Potenzial v.a. als großvolumige Speicheroption in urbanen Netzen mit wenig Platz an der Oberfläche gesehen und es gibt auch erste Projekte, in denen große Hochtemperatur-ATES gebaut werden sollen (Adlershof Berlin). Für Aquiferspeicher gibt es bislang keine verfügbaren technischen Potenzialabschätzungen für Deutschland, Untergrundanalysen zeigen aber, dass ca. 50 % des Bundesgebiets für Hochtemperatur-Aquiferspeicher in größeren Tiefen geeignet sind.²³

Das gesamte zukünftige Potenzial von Speichern in Wärmenetzen lässt sich auf Basis der technikspezifischen Analysen nur überschlägig ermitteln. Eine Abschätzung der gesamten technischen Potenziale verschiedener Speicherarten unter Berücksichtigung technischer Rahmenbedingungen, Anforderungen eines zukünftigen, auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystems sowie Limitationen wie die Verfügbarkeit von Flächen, die Eignung der Flächen und Einschränkungen beispielsweise durch Natur- und Wasserschutz, existiert bislang nicht.

1.3.2 Wirtschaftlichkeit

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Speicherarten wurden zwei zukünftige, fiktive Wärmenetztypen zugrunde gelegt. Die Auswahl und Entwicklung der Wärmenetztypen erfolgte basierend auf Studien zur zukünftigen Entwicklung von Wärmenetzen; insb. Langfristszenarien und weitere Studien basierend auf Ergebnissen des Energiesystemmodells Enertile. Für die

¹⁹ Die geeigneten Flächen stammen aus: Ortner, S et al. (2021): Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung. CLIMATE CHANGE 54/2021. Hrsg. Umweltbundesamt (UBA).

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-des-wirtschaftlichen-potenzials-fuer-eine>. Zugriff am: 10.07.2024.

²⁰ Die spezifische Wärmekapazität liegt je nach Speichermedium zwischen 30 und 80 kWh/m³; vgl. Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht). Kopernikus Projekt - Ariadne: Szenarien zur Klimaneutralität (2022): Vergleich der „Big 5“-Studien.

<https://ariadneprojekt.de/news-de/big5-szenarienvergleich/>. Zugriff am: 10.07.2024.

²² Task Force Wärmewende: Aquiferspeicher (WKO). <https://taskforce.wiefm.eu/wissensdatenbank/aquiferspeicher-warmte-koude-opslag-wko/>. Zugriff am: 26.07.2024.

TUHH (2021): Planung und Bau eines Aquiferspeichers zur saisonalen Speicherung von Ab- und Überschusswärme. <https://www.tuhh.de/technische-thermodynamik/forschung/laufende-projekte/nrl-aquiferspeicher>. Zugriff am: 26.07.2024. Fleuchaus, P.; Schüppler, S.; Stemmle, R.; Menberg, K.; Blum, P. (2021): Aquiferspeicher in Deutschland. *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie* 26, 123–134 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00478-y>

²³ Strodel, N. et al. (2024): Optimierte Integration thermischer Aquiferspeicher in Fernwärmesysteme. Statusseminar des Themenschwerpunktes TEA – BMBF Fachprogramm GEO:N. Freiberg.

Wärmenetztypen wurde basierend auf Enertile-Rechnungen die Häufigkeit von hohen beziehungsweise niedrigen Erzeugungskosten für die weitere Analyse herangezogen. Bei Netztyp 1 (Abbildung 4) handelt es sich um ein großes Wärmenetz, dessen Wärme schwerpunktmäßig durch Großwärmepumpen erzeugt wird, für die Nutzung eines Wärmespeichers werden maximal 3500 Stunden angesetzt. Netztyp 2 (Abbildung 4) beschreibt ein eher kleines Netz mit einem geringeren Anteil an Großwärmepumpen und einem höheren Anteil an Geothermie. Ein Wärmespeicher wird ebenso für maximal 3500 Stunden genutzt.

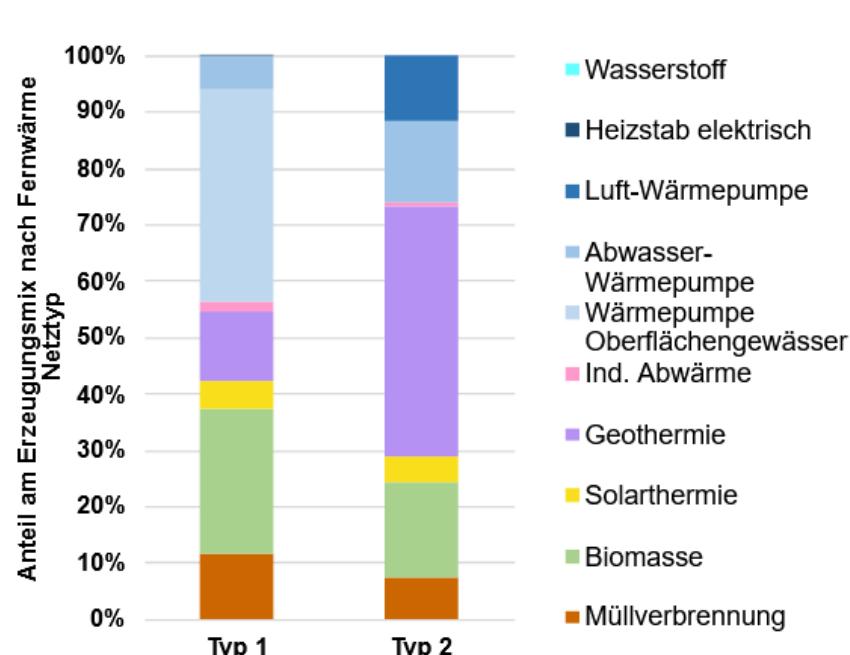
Abbildung 4 zeigt die für die Berechnungen angenommene Erzeugungsstruktur innerhalb der Netze.

Box: Einführung in die Methodik

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmespeicher in Fernwärmenetzen ergibt sich aus den Investitionskosten (CAPEX), den variablen Wärmegestehungskosten der eingespeicherten Wärmeerzeugungstechnologien (OPEX), dem Wirkungsgrad, der Zyklenzahl und den möglichen Erlösen durch die Ausspeicherung der Wärme. Für die Berechnungen wurden zwei verschiedene Wärmenetztypen festgelegt und unterschiedliche Speichertypen sowie -dimensionierungen untersucht und die Deckungsbeiträge (Differenz zwischen Energiespeicherkosten und Ausspeichererlösen) analysiert.

Aus diesen Analysen wurde eine Matrix erstellt, welche die Einspeicherkosten und die Ausspeichererlöse ins Verhältnis setzt und so die möglichen wirtschaftlichen Betriebsfenster aufzeigt. Fallbeispiele aus dieser Matrix werden im folgenden Text vorgestellt.

Abbildung 4 Erzeugungsstruktur der untersuchten Netze



Tankspeicher (TTES) sind bei hoher Zyklenzahl bereits bei einer geringen Differenz zwischen Einspeisekosten und Ausspeiseerlösen wirtschaftlich (vgl. Tabelle 2). Die Wirtschaftlichkeit gilt für beide Netztypen, wird aber in Wärmenetztyp 2 schneller erreicht, da hier die Zyklenzahl im Vergleich zu Wärmenetztyp 1 etwa doppelt so hoch ist. Durch die kontinuierliche Einspeisung der Geothermie sind die variablen Kosten der Wärmeerzeugung oft geringer und die Zeiten

hoher Wärmeerzeugungskosten sind kürzer. Kleinere Speicher erreichen höhere Zykluszahlen, was zur erhöhten Wirtschaftlichkeit beiträgt. TTES sind als Pufferspeicher für mittelfristige Verschiebungen

daher sehr gut geeignet. Ein saisonaler Einsatz von Tankspeichern ist im Vergleich zu Erdbeckenspeichern relativ teuer.

Erdbeckenspeicher (PTES) sind mit Differenzen der variablen Wärmegestehungskosten von > 5 €/MWh bei Ein- bzw. Ausspeicherung wirtschaftlich, wobei die Größe des Netzes ein entscheidender Faktor ist (vgl. Tabelle 2). PTES bieten sich aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten deshalb vor allem in großen Netzen (Wärmenetztyp 1) mit vielen Großwärmepumpen an, da dort einerseits die spezifischen Investitionen deutlich niedriger, sowie die potenziellen Erlöse größer sind. Eine Ausnahme stellt der Einsatz in Verbindung mit Solarthermie dar, wie beispielsweise in Marstal und Dronninglund. So kommen Erdbeckenspeicher in Kombination mit Solarthermie in Dänemark oft in kleinen Wärmenetzen mit moderater Wärmenachfrage zum Einsatz.

Aquiferspeicher werden aktuell noch nicht in größerem Umfang eingesetzt, weshalb sich keine klaren Aussagen zu ihrer Wirtschaftlichkeit treffen lassen (vgl. Tabelle 2). Je nach Annahmen werden sie ab einem Delta von 25-40 €/MWh zwischen Einspeisekosten und Ausspeichererlösen wirtschaftlich, wobei die Wirtschaftlichkeit in dem hier betrachteten großen Netz (Wärmenetztyp 1) schneller erreicht wurde als in dem kleinen Netz (Typ 2).

Zur Beurteilung der Aquiferspeicher gibt es in Deutschland bislang noch nicht genügend umgesetzte Anlagen. Ähnlich wie bei der Geothermie besteht auch bei Aquiferspeichern ein Risiko hinsichtlich der Beschaffenheit des Untergrundes und dessen Eignung für die Speicherung (sogenanntes Fündigkeitsrisiko). Auch gibt es hier noch einige Unsicherheiten im Hinblick auf die Skalierbarkeit und die Einbindung in das Gesamtsystem. Technisch ist die langsame Reaktionsgeschwindigkeit zu berücksichtigen, die eine Erhöhung der Zyklenzahl nur schwer möglich macht.

Tabelle 2 Wirtschaftlichkeit von Speichern in Wärmenetzen²⁴

Typen	Kostenrechnung	Erlösrechnung
TTES kurzfristig	3343 €/MWh (76 Mio € für 22 GWh bzw. 5,4 Mio € für 1,6 GWh)	Bereits bei geringen Differenzen zwischen Einspeisekosten und Ausspeiseerlösen wirtschaftlich
PTES	162-318 €/MWh (9 Mio € für 54 GWh bzw. 5,5 Mio € für 17,5 GWh)	Wirtschaftlicher Betrieb möglich bei Differenzen zwischen Einspeisekosten und Ausspeiseerlösen < 5 €/MWh, sensitiv zur Größe des Wärmenetzes
ATES konservativ	Keine derart detaillierten Kosten, da nicht genügend reale Projekte vorhanden	Erst ab Differenzen zwischen Einspeisekosten und Ausspeiseerlösen von 40 €/MWh wirtschaftlich

²⁴ Der Vergleich fokussiert auf die Speicherkapazität.

ATES optimistisch	Keine derart detaillierten Kosten, da nicht genügend reale Projekte vorhanden	Erst ab Differenzen zwischen Einspeisekosten und Ausspeiseerlösen von 25 €/MWh wirtschaftlich
--------------------------	---	---

Die Beispielrechnungen machen deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit von Speichern in Wärmenetzen von den Wärmegestehungskosten und den Erlösen aus dem Wärmeverkauf abhängig ist. Aus diesem Grund haben Umlagen und Entgelte auf Strom und andere Energieträger (und ihre zukünftige Ausgestaltung) einen entscheidenden Einfluss auf den Speichereinsatz. Zudem ergeben sich je nach Konfiguration des Netzes und der Erzeugerstruktur durch den Einbau von Speichern Einsparungen bei den Investitionen in einzelne Erzeuger, wenn beispielsweise Wärmepumpen geringer dimensioniert und gleichmäßiger betrieben werden können, sowie mögliche Erlöse aus der Teilnahme am Regelenergiemarkt. Es ist zudem anzumerken, dass für die hier berücksichtigten Wärmenetztypen ein Temperaturniveau von etwa 80 Grad Celsius angenommen wurde und die Speichertypen Wärme auf dem gleichen Temperaturniveau ausspeichern. Bei höheren Netztemperaturen muss eine Wärmepumpe eingebunden werden, um die Temperatur der Wärme aus dem Speicher anzuheben. Der zusätzliche Investitionsbedarf in die Wärmepumpe hat einen großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

1.4 Wärmespeicher in Industrie sowie in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Der Einsatz von Wärme in Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) zeichnet sich durch eine große Breite des Anwendungsspektrums aus: In gewerblichen Immobilien ist der Wärmebedarf meist mit dem von Privatwohnungen vergleichbar, d.h. Raumwärme und Trinkwarmwasser werden auf vergleichsweise niedrigem Temperatur-Niveau benötigt. Daher fokussiert sich die weitere Betrachtung vor allem auf den Bereich prozessbedingter Anwendung, welche meist in der Industrie, teilweise auch im GHD-Bereich, benötigt wird. Es bestehen Bedarfe an Prozesswärme in Form von Warmwasser und Dampf sowie in den Prozessen selbst im Temperaturspektrum zwischen 80 und >1.500 °C. Diese Wärme wird aktuell größtenteils basierend auf fossilen Energieträgern erzeugt. Im Rahmen der Transformation des Energiesystems müssen diese Wärmebedarfe durch klimaneutrale Energieträger gedeckt werden, wie beispielhaft die Prognosen der Langfrist-Szenarien zeigen. Hierbei wird zwischen Szenarien mit Fokus auf die Wärmebereitstellung basierend auf Strom (T45-Strom), grünen Gasen und Flüssigkeiten (T45-PtG/PtL) bzw. Wasserstoff (T45-H2) unterschieden.²⁵

Bereits heute kommen Wärmespeicher in der Industrie zum Einsatz. So gibt es bei prozessbasierten Anwendungen unverzichtbare Wärmespeicher zur kurzfristigen Absicherung des Anlagenausfalls, zur Verstärkung des zugelieferten Wärmestroms auch bei Batch-Prozessen, zur Verbesserung der Effizienz der bestehenden Wärmeversorgung sowie zur betrieblichen Nutzung von Abwärme aus Prozessen oder Infrastruktur (z.B. Kälteanlagen, Rechenzentren). Wie bei Wärmespeichern in privaten Gebäuden und in Wärmenetzen gibt es zudem bereits heute vereinzelt Speicher, welche die Raumwärme- und Trinkwarmwasser-Bereitstellung in gewerblichen Immobilien unterstützen. Mit der Zunahme strombasierter und erneuerbarer Wärme im Zuge der Transformation des Energiesystems wird

²⁵ Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Langfristszenarien. Industriesektor. T45-Szenarien. <https://enertile-explorer.isi.fraunhofer.de:8443/open-view/52612/9de48084ac2d54c418daaf02a6ee26e0>. Zugriff am: 10.06.2024.

sich der Bedarf nach Wärmespeichern weiter erhöhen. Dabei ist aktuell nicht jeder technisch mögliche Speichereinsatz auch wirtschaftlich.

Neben der Wirtschaftlichkeit kann es für Unternehmen aber auch andere Gründe für die Nutzung von Speichern geben, darunter eine Dekarbonisierungsstrategie, die Verbesserung des Ratings des Unternehmens im Hinblick auf den eigenen CO₂-Fußabdruck oder die Verbesserung der Versorgungssicherheit.

1.4.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial

Basierend auf vorliegenden Informationen in Wissenschaft und auch bei Branchenverbänden konnten keine Kenndaten zu bereits verbauten Wärmespeichern (Typen und Kapazitäten) abgeleitet werden. Aufgrund des breiten Spektrums unterschiedlicher Funktionen von Speichern sowie der schwer prognostizierbaren Entwicklung der einzelnen relevanten Industrieprozesse ist eine voll umfängliche Zusammenstellung aller künftigen Anwendungen und verbauter Kapazitäten aktuell nicht möglich. Daher wird eine Übersicht über unterschiedliche relevante Wärmebedarfe und die Potenziale zum Einsatz von Wärmespeichern im Rahmen einer typisierten Betrachtung gegeben. 1.2

Im Unterschied zu den vorher betrachteten Speicheranwendungen sind die Anforderungen an Speicher im Industriesektor anders. So werden hier auch Speicher benötigt, die Temperaturen von > 500 °C bis hin zu über 1.500 °C bereitstellen können.

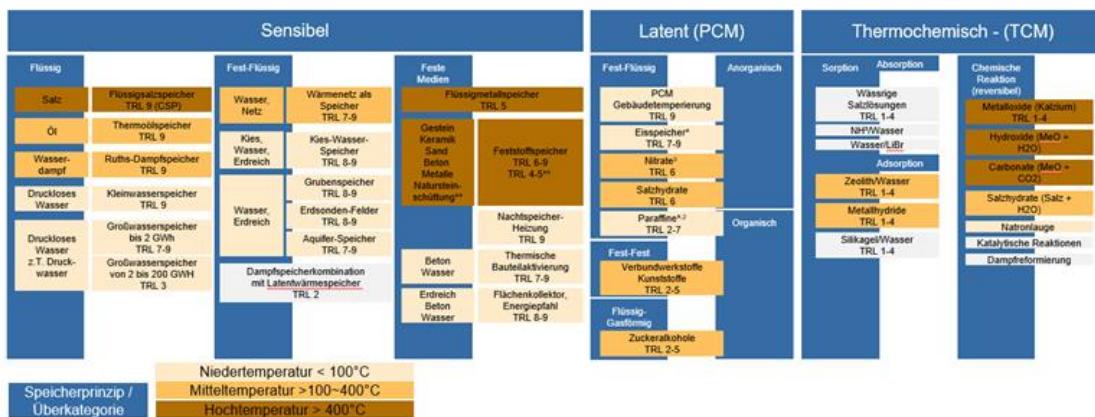
In Abhängigkeit von den unterschiedlichen Produktionsprozessen erfüllen Speicher in diesem Wärmebereich insbesondere folgende technische Funktionen:

- **Integration erneuerbarer Wärme & Eigenversorgung:** Selbst lokal erzeugter Strom aus fluktuierenden EE-Anlagen bzw. aus Power Purchase Agreements (PPAs) kann auch bei reduziertem Bedarf für eine spätere Nutzung eingebunden werden.
- Nutzung **schwankender Strompreise** zur Reduktion von Kosten und **Bereitstellung von Regelenergie** zur Generierung zusätzlicher Einnahmen
- **Ausgleich fluktuierender Wärmeerzeugung und effiziente Einbindung der Wärmequellen**
- **Ermöglichung der Abwärmennutzung:** Einspeicherung von Abwärme aus industriellen und gewerblichen Prozessen, um diese später für andere Anwendungen nutzbar zu machen; so genannte „mobile Speicher“ können von Standort des Abwärme-Anfalls in der Industrie auch zu externen Verbrauchern transportiert werden.
- **Steigerung der Anlageneffizienz:** Durch kontinuierlichere Auslastung der Wärmerzeuger können diese im Normbereich betrieben werden oder häufige Starts und Stopps vermieden werden.
- **Hydraulische Entkopplung** in Reihe geschalteter Wärmeerzeuger.
- Verbesserung der **thermischen Einbindung von Batchprozessen** in sonst kontinuierliche Prozesse.

Darüber hinaus können Wärmespeicher ökonomische Funktionen erfüllen, indem sie beispielsweise schwankende Strompreise für die kosteneffiziente Produktion nutzen.

Aufgrund unterschiedlicher Anforderungen an Platzbedarfe, erlaubte Materialien und Geschwindigkeit der Wärmeaufnahme bzw. -abgabe kommen unterschiedliche Speichermedien zum Einsatz (s. Abbildung 5).

Abbildung 5 Verfügbare Speichertechniken



Die im Folgenden genauer dargestellten Speichertechnologien werden von Expertinnen und Experten als die drei wichtigsten eingeschätzt, wobei darüber hinaus definitiv auch weitere Speichermaterialien zum Einsatz kommen werden.

Dampf-Speicher (Temperaturniveau > 100-400 °C) dienen primär der sehr kurzfristigen Speicherung (mehrere Minuten bis Stunden). Möglich ist sowohl die energiebedingte als auch die prozessbedingte Einbindung, z.B. in der Lebensmittelindustrie, die der gleichmäßigen Ausnutzung der Wärmeerzeugung, insbesondere auf Basis erneuerbare Energien, dient und so die Effizienz der klimaneutralen Wärmebereitstellung erhöht.

Auch **Flüssigsalz- und Feststoff-Speicher (Temperaturniveau > 400 °C)** werden für die kurzfristigen Speicher (mehrere Stunden bis Tage) eingesetzt. Beide Speicherarten können sowohl energiebedingt als auch prozessbedingt eingebunden werden, z.B. in der Stahlindustrie. Das primäre Einsatzziel ist die Ermöglichung der system- und kostenoptimierten Nutzung von Power-to-Heat für die Industrie sowie der Absicherung des Anlagenausfalls. Bei Vorliegen entsprechend temperierter Abwärmeströme können die Speicher auch zur Nutzbarmachung dieser angewendet werden.

Für diese Speicherarten gilt: 1. Es gibt keine festgelegte Größe (d.h. die Speicher sind skalierbar). 2. Die spezifischen Speicher Kosten hängen stark von der Anlagengröße und der typischen Zyklenzahl ab.

Ein weiterer Speichertyp in der Industrie sind **PCM-Speicher (Phase Change Material)**. Hierbei handelt es sich um latente Phasenwechselspeicher. Bei diesen Wärmespeichern wechselt das Speicher-

medium den Aggregatzustand und speichert dabei einen Großteil der thermischen Energie als Umwandlungsenthalpie. Dies ermöglicht die Aufnahme großer Energiemengen in einem relativ kleinen Temperaturbereich.

Insgesamt wird erwartet, dass Speicher künftig auf höheren Temperaturen zum Einsatz kommen, als die Prozesse benötigen. So kann z.B. ein Feststoffspeicher bis zu 1.500 °C beladen werden, auch wenn der Prozess nur 500 °C benötigt. Hierdurch erhöht sich die spezifische Speicherkapazität massiv, woraus geringere Platzbedarfe resultieren.

Neben den soeben genannten Speicher-Materialien für die industrieinterne Nutzung könnte für die externe Nutzung von industrieller Abwärme auch eine Steigerung der Anzahl an mobilen Wärmespeichern (Materialien PCM oder thermochemisch) an Relevanz zunehmen. Aktuell sind die entsprechenden Projekte nur mit Förderung wirtschaftlich, was primär an dem notwendigen Transport der mobilen Wärmespeicher vom Abwärmegeber zum -nehmer liegt.

Aufgrund der Vielzahl an energie- und prozessbedingten Anwendungen für Wärmespeicher in der Industrie ist eine konkrete Bestimmung der Entwicklung des Bedarfes nach Wärmespeichern nicht möglich. Wahrscheinlich wird der Bedarf in Prozessen mit strombasierter Wärmeerzeugung stärker ansteigen als bei H₂-basierter Wärmeerzeugung. Zur Ermittlung einer Größenordnung kann folgende Abschätzung für die genauer beschriebenen Speichermaterialien herangezogen werden: Gemäß den Langfrist-Szenarien liegen im Jahr 2045 ca. 247 TWh Prozesswärmeverbrauch auf dem geeigneten Temperaturniveau für die Anwendung von Feststoff-Speichern. Werden in allen Anwendungen auch Speicher eingesetzt, so ist das Potenzial des Einsatzes abhängig von der typischen Speicherdauer. Bei einer Speicherdauer von 1 Stunde läge der Bedarf bei einer Speicherkapazität von 28 GWh, bei einer Speicherdauer von einem Tag hingegen von 676 GWh.

Sonderfall: Wärme- bzw. Kältespeicher in Rechenzentren

Die Möglichkeit der Nutzung von Abwärme aus Rechenzentren wird aktuell bereits in einzelnen Projekten in Deutschland umgesetzt. Aufgrund einer steigenden Anzahl an Rechenzentren, steigenden Anforderungen an Rechenzentren aus dem Energieeffizienzgesetz und die umzusetzende kommunale Wärmewende ist eine verstärkte Abwärmenutzung zu erwarten. Erste Abschätzungen gehen davon aus, dass mit der Abwärme aus Rechenzentren aktuell bereits 350.000 Wohnungen mit Wärme versorgt werden könnten.²⁶ Je nach Kühlungssystem der Rechenzentren kann die Abwärme hierbei direkt als Heizung genutzt werden oder dient einer Wärmepumpe als Wärmequelle. Aufgrund des recht kontinuierlichen Anfalls der Abwärme aus Rechenzentren gegenüber dem M-förmigen Wärmebedarfprofil wird auch hier der Bedarf nach entsprechenden Wärme- bzw. Kältespeichern zunehmen, die Auswahl des geeigneten Speichers erfolgt jeweils in Abhängigkeit des Temperaturniveaus der Abwärmequelle.

Konkrete Prognosen zum steigenden Strombedarf und somit erzeugbarer Abwärme aus Rechenzentren liegen aktuell nicht vor, es wird jedoch angenommen, dass der Strombedarf von Rechenzentren

²⁶ MVV Energie AG (2023): Abwärme von Rechenzentren. <https://partner.mvv.de/blog/abwaerme-von-rechenzentren-rztm>. Zugriff am: 12.07.2024.

von 16 TWh im Jahr 2020²⁷ um 3,5 bis 5 %/Jahr ansteigen wird und somit bis 2030 auf ca. 23 bis 29 TWh.²⁸

1.4.2 Wirtschaftlichkeit

Dieser Abschnitt behandelt die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern in der Industrie, d.h. deren Kosten und Erlöse. Die Investitionsseite wird durch die für alle Speicher relevanten Komponenten bestimmt, d.h. Wärmespeichermaterial, Wärmetauscher und ggf. Isolierung sowie die Einbaukosten. Hinzu kommen in der Industrie die Kosten für die Integration der Speicher in die industriellen Produktionsprozesse, die sie unterstützen. Bei den operativen Kosten dominieren die Energieverluste bei Ein- und Ausspeicherung. Die Erlösseite ist komplexer und stark von der jeweiligen Speicheranwendung abhängig. In manchen Prozessen sind Wärmespeicher ohnehin unverzichtbare Komponenten, so dass sich eine Bezifferung der Erlöse erübrigt.

Box: Einführung in die Methodik

Die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern in Industrie sowie im GHD-Sektor ist abhängig von der Erzeugungsstruktur und den Prozessanforderungen. Die Kosten werden bestimmt durch die Zyklenzahl und die Zyklusdauer; die Speicherverortung in der Prozesskette legt die Speicherart und damit die Kosten fest.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit erfolgte zunächst eine Berechnung der Speicherkosten in Abhängigkeit von der Zyklenzahl pro Speichertyp. Im Anschluss erfolgte eine exemplarische Bestimmung von Kosten-Spreads bei den Erzeugungskosten, woraus im letzten Schritt Erlösmöglichkeiten abgeleitet werden konnten. Dies erfolgte jeweils für die unterschiedlichen, hier betrachteten Speichertypen.

Das gilt z.B. bei solchen Prozessen, bei denen Wärmespeicher die kontinuierliche, unterbrechungsfreie Bereitstellung von Wärme bei sensiblen Produktionseinheiten garantieren. Bezifferbare Erlöse ergeben sich in der Regel

- aus der Vermeidung von Energiebezug in Zeiten hoher Preise sowie der Bereitstellung von Regelleistung und der Ausnutzung negativer Strompreise (bei strombasierter Erzeugung),
- aus der Vermeidung von Energieverlusten durch Abwärme,
- aus der besseren Nutzung von nicht kontinuierlich bereitgestellter Wärme, etwa bei Nutzung von Hochtemperatur-Abwärme aus vorgelagerten Prozessen

Allgemein ist zu sagen, dass der Einsatz von Wärmespeichern aktuell hauptsächlich dazu dient, Prozessanforderungen abzudecken bzw. eine kontinuierliche Auslastung anderer Prozesskomponenten,

²⁷ Borderstep Institut (2022): Wirtschaftlichkeit der Abwärmennutzung aus Rechenzentren in Deutschland. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/08/Abwaermennutzung_Rechenzentren_Update_2022.pdf. Zugriff am: 12.07.2024.

²⁸ UBA (2023): Umweltzeichen Blauer Engel für Rechenzentren. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/69_2024_texte_blauer_engel_rechenzentren.pdf. Zugriff am: 12.07.2024.

welche teurer sind, zu erreichen. Dabei gibt es große Unterschiede zwischen den Prozessen in Bezug auf die technischen Möglichkeiten und die ökonomische Effizienz, so dass für eine gute Einordnung eine Einzelbetrachtung erforderlich ist. Flexiblere Prozesse erfordern meist höhere Produktionskapazitäten, deren Kosten die insgesamten Kosten für Wärmespeicher übersteigen. Im Falle von strombasiert Wärmeerzeugung kommen noch Erlösmöglichkeiten im Regelleistungsmarkt hinzu, die durch Speicher verbessert werden.

Um die Kosten und Erlöse des industriellen Speichereinsatzes näher zu beleuchten, gehen wir im Folgenden genauer auf den Anwendungsfall strombasierter Wärmeerzeugung ein, bei dem kostengünstiger Strom zur Wärmeerzeugung eingesetzt wird. Die Wirtschaftlichkeit ergibt sich hier durch die Nutzung von Niedrigstrompreis-Phasen; ggf. auch durch die Reduzierung von Wärme-Erzeugungsspitzen. Sie ist dabei einerseits von der Zyklenzahl und andererseits den Preis-Spreads beispielsweise im Strommarkt abhängig (in anderen Anwendungsbeispielen sind es Kosten-Spreads, die sich aus fluktuierender erneuerbarer Erzeugung oder andere Eingangsgrößen ergeben). Den Speicherkosten stehen dann niedrigere Bereitstellungskosten der Wärme gegenüber.

In einer exemplarischen Rechnung werden die drei oben bereits beschriebenen Speicherarten betrachtet: Dampf-, Flüssigsalz und Feststoffspeicher. Unterstellt wird eine strombasierte Wärmeerzeugung. Auf der Kostenseite werden die variablen Wärme-Erzeugungskosten (bei elektrischer Wärmeerzeugung in starker Abhängigkeit vom Strompreis), die jeweiligen Investitionen der Speichertypen sowie deren Betriebskosten durch Speicherverluste berücksichtigt, in Abhängigkeit der Speicherzyklenzahl bzw. der ausgespeicherten Energie. Die Erlöse der Speicher ergeben sich durch die Nutzung von Wärme, die in Niedrigstrompreisphasen erzeugt wird und günstig zur Verfügung steht, wenn sie benötigt wird. Durch den verstärkten Zubau von fluktuierenden erneuerbaren Energien werden die Strompreis-Spreads in Zukunft zunehmen: Die Langfrist-Szenarien (T45-Strom) gehen von untertägigen Spreads der Stromgestehungskosten im Bereich von 33 bis 91 €/MWh 2030 bzw. 28 bis 95 €/MWh 2045 aus.²⁹ Diese Schwankungen bilden den Hintergrund, vor dem die Speicherkosten zu betrachten sind. Dabei können sich die Kosten des Strombezugs für einzelne industrielle Abnehmer aufgrund von Neuregelungen für Strompreisbestandteile wie Abgaben und Umlagen in der Zukunft auch ändern. Ein weiterer zentraler Aspekt bei strombasierten Speichern ist die Frage nach der notwendigen Netzan schlussleistung als eine technische Anforderung an den jeweiligen Industriestandort. Steht dieser nicht zur Verfügung sind thermische Erzeuger eine Option.

Die folgende Abbildung 6 zeigt die Speicherkosten für die ausgespeicherte Wärme in Abhängigkeit von der Zyklenzahl und des Wärmepreis-Niveaus exemplarisch für Flüssigsalzspeicher. Man erkennt, dass die Speicherkosten der Wärmebereitstellung mit steigender Zyklenzahl dramatisch fallen: Bei einem Zyklus täglich liegen die Kosten bei allen drei Speicherarten unterhalb von 1 Cent/kWh. Wegen des hohen Wirkungsgrads der strombasierten Wärmeerzeugung übersetzen sich Preis-Spreads beim Strom fast direkt in entsprechende Wärme-Preis-Spreads.³⁰ Damit ist klar, dass ausreichend häufige

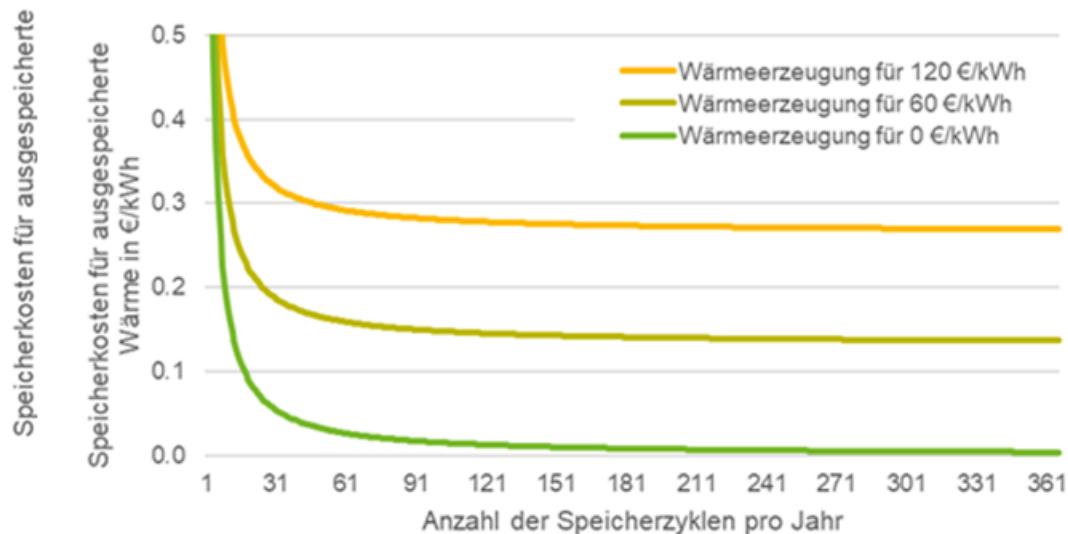
²⁹ Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (2023): Langfristszenarien. Gebäude. T45-Szenarien. Fraunhofer ISI: Dispatch Strom Deutschland T45 /Dispatch Electricity Germany T45.

https://www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschinenoel/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf. Zugriff am: 05.07.2024.

³⁰ Dies kann sich allerdings in Abhängigkeit vom Wärmeerzeuger und den Anforderungen des Gesamtsystems im Einzelfall auch anders darstellen. Je nach Prozess kann beim Speicher ein kleinerer oder auch größerer wirtschaftlicher Anreiz ankommen aufgrund sonstiger Prozessschritte (bspw. zusätzliche Abwärmenutzung).

Preis-Spreads in der Größenordnung von mehr als 10 €/ MWh ausreichen werden, um einen Wärmespeicher in einem industriellen Prozess zu refinanzieren.

Abbildung 6: Flüssigsalzspeicher, Kosten der ausgespeicherten Wärme³¹



Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern in der Industrie durch spezifische Produktionsprozesse bestimmt wird. Das Spektrum der Anwendungen ist dabei sehr breit und prozessabhängig. Heute sind tendenziell jene Speicher wirtschaftlich, welche einen diskontinuierlichen in einen kontinuierlichen Prozess verwandeln; sie erreichen auf diese Weise eine höhere Auslastung des Gesamtprozesses bzw. eine Optimierung der Wärmeströme. Arbitrage-Geschäfte spielen hingegen eine geringere Rolle. Durch die historisch geringen Preisschwankungen bei Erdgas werden bisher nur wenige Wärmespeicher eingesetzt. Mit der zunehmenden Elektrifizierung und höheren Preisschwankungen am Strommarkt wird sich das absehbar ändern: Es entstehen neue Erlös möglichkeiten für Wärmespeicher durch die Ausnutzung von Preis-Spreads am Strom-Großhandel und perspektivisch auch durch verbesserte Möglichkeiten bei der Teilnahme am Regelenergiemarkt.³² Den Erlös möglichkeiten stehen dabei auch höhere Kosten für die Erhöhung der Produktionskapazitäten gegenüber. So muss die Wärmeproduktion auf ein Maß erhöht werden, das erlaubt, überschüssige Wärme für die Einspeicherung bereitzustellen. Einen weiteren Anwendungsfall stellt die Nutzung von Abwärme dar. Dies kann bei Bedarf innerbetrieblich oder sonst durch die Einspeisung in ein Wärmenetz erfolgen. Die Speicherkosten fallen hier gegenüber den residualen Wärmeerzeugungskosten kaum ins Gewicht, sondern sie ermöglichen die Integration der erneuerbaren Wärme in die Produktionsprozesse.

³¹ Investition: 25 €/kWh, Wirkungsgrad Speicherzyklus 94 %.

³² Diesen Erlös möglichkeiten stehen allerdings auch höhere Kosten gegenüber, da die Produktion überschüssiger Wärme zum Einspeichern in der Regel eine Erhöhung/einem Ausbau der Wärmeerzeugungskapazität erforderlich macht. Die Nachfrage nach höheren Stromleistungen führt ggf. zudem zu einer Erhöhung der Netzschlussgebühren.

1.5 Kältespeicher

Einen Bedarf an Kälte gibt es sowohl in Industrie und Gewerbe in Form von Prozesskälte als auch in Form von Klimakälte für Wohn- und Nichtwohngebäude im Sommer. Hierbei kann sich das benötigte Temperaturniveau für die Prozesskühlung zwischen den einzelnen Anwendungen stark unterscheiden, zwischen deutlich positiven Temperaturwerten bis zu dreistelligen negativen Werten. Bei der Klimakälte liegen die Temperaturen typischerweise im Bereich unter 20°C. Sie kann sowohl dezentral als auch über Kältenetze zur Verfügung gestellt werden. Durch Speicher können Kältemaschinen länger am optimalen Betriebspunkt betrieben werden, wodurch sich der Energieträgereinsatz und die damit verbundenen Kosten reduzieren. Weiterhin wird ein flexiblerer und sichererer Betrieb ermöglicht.

Ebenso wie andere Speicher ermöglicht der Einsatz von Kältespeichern die zeitliche Entkopplung von Kälteerzeugung und -verbrauch. Dadurch können Kältemaschinen kleiner ausgelegt werden und hohe Lastspitzen fallen weg. Je nach Relevanz der Kälteerzeugung am gesamten Strombedarf können Unternehmen geringere elektrische Spitzenleistungen aufweisen und ökonomisch profitieren. Bei reversiblen Wärmepumpen, die im Winter Wärme und im Sommer Kälte bereitstellen, können angeschlossene Speicher so ausgelegt werden, dass sie für beide Anwendungsfälle nutzbar sind.

Der Bedarf an Klimakälte konzentriert sich auf die Sommermonate und die Mittagszeit, so dass viele Verbraucherinnen und Verbraucher den Großteil des Jahres nur minimalen bis überhaupt keinen Bedarf an Klimakälte haben. Der Bedarf nach Klimakälte und Heizwärme ergänzt sich sowohl unterjährig als auch untertätig.

Bereits bis zum Jahr 2030 wird eine deutliche Steigerung des Klimakältebedarfes prognostiziert, der sich insbesondere in Ballungszentren der Großstädte konzentriert. Der Bedarf an Prozesskälte wird sich hingegen voraussichtlich nicht stark verändern.³³

1.5.1 Aktueller Stand und Ausbau-Potenzial

In den zuvor für Wärmespeicher differenziert dargestellten Anwendungsbereichen werden unterschiedliche Kältespeichertechnologien eingesetzt. Hierbei kommen Kältespeicher meist in Verbindung mit Kältemaschinen zur Klimatisierung zum Einsatz. Anders als bei der Wärmeerzeugung ist somit bei der Kälteerzeugung schon heute Strom der zentrale Energieträger.

Aktuell werden Kältespeicher überwiegend als **Tankspeicher** realisiert. Diese können frei im Raum aufgestellt oder unterirdisch als Erdtank angelegt sein. Die Beladung erfolgt über Kompressions- oder Absorptionskältemaschinen, die Wasser im Tank runterkühlen (in den meisten Fällen über einen Kaltwassersatz).

³³ Fraunhofer ISI et al. (2023): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - T45-Szenarien- Modul Industriesektor.

VDMA e.V. (2019): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland: Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017.

https://www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschine_noele/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf. Zugriff am: 05.07.2024.

Eine weitere Möglichkeit der Speicherung von Kälte sind **Eisspeicher**, die jedoch aufgrund des relativ großen Platzbedarfes bislang noch wenig verbreitet sind.

In der Industrie werden Kältespeicher meist in Form von Tankspeichern zur Prozesskühlung eingesetzt. Insbesondere bei Kältenetzen, in denen eine Kopplung von Wärme- und Kälteversorgung vorliegt, z.B. in Städten und Quartieren, sind Kältespeicher sinnvoll. Auch hier kommen überwiegend Tankspeicher zum Einsatz.

Während in den Langfrist-Szenarien ein etwa gleichbleibender Prozess-Kältebedarf angenommen wird³⁴, wird insgesamt in der Studienlandschaft erwartet, dass insbesondere der Bedarf nach Kälte zur Klimatisierung aufgrund des Klimawandels stetig zunehmen wird. Dieser Trend hat sich auch in den vergangenen Jahren bereits abgezeichnet. So ist gemäß VDMA e.V. zwischen 2009 und 2017 die Anzahl verbauter Klimakälteanlagen für Gebäude und Fahrzeugklimatisierung um 30 % angestiegen.³⁵

Konkrete quantitative Prognosen zum zukünftigen Kältebedarf liegen jedoch aktuell nicht vor, sodass keine quantitative Abschätzung erfolgen kann. Kältespeicher werden im folgenden Text nicht weiter untersucht, genaue Berechnungen zu ihrer Wirtschaftlichkeit sind nicht erfolgt.

1.6 Rechtsrahmen für Wärmespeicher

Es gibt kein (wärme)speicherspezifisches Ordnungs- und Genehmigungsrecht. Der Rechtsrahmen ergibt sich vielmehr im Einzelfall vor allem daraus, welche Rechtsgüter von Bau und Betrieb des jeweiligen Wärmespeichers betroffen sein können. Hierbei kommt es insbesondere auf Speichertyp, Standort, Volumen und Speichermedium an und nicht (primär) auf den Anwendungsbereich des jeweiligen Wärmespeichers (Gebäude, Wärmenetze, Industrie oder GHD). Im Folgenden werden daher nur die Vorgaben hervorgehoben, die typischerweise bei bestimmten Wärmespeichern zu beachten sind und nicht nach den genannten Anwendungsbereichen unterschieden.

1.6.1 Wärmeplanungsgesetz

Das Wärmeplanungsgesetz (WPG) verfolgt das Ziel der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung bis zum Jahr 2045. In diesem Zusammenhang spielen Wärmespeicher eine wichtige Rolle für die Flexibilisierung und die Sektoren-Integration. Das WPG stellt keine ordnungsrechtlichen Anforderungen an Wärmespeicher, adressiert sie aber als Teil der Transformation von Wärmenetzen. Sie müssen beispielsweise in der Bestands- und Potenzialanalyse im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung sowie in Transformations- und Dekarbonisierungsfahrplänen berücksichtigt werden. Das WPG definiert einen Wärmespeicher als eine Vorrichtung zur zeitlich begrenzten Speicherung von Wärme einschließlich aller technischen Vorrichtungen zur Be- und Entladung des Wärmespeichers.

³⁴ Fraunhofer ISI et al. (2023): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 - T45-Szenarien- Modul Industriesektor.

³⁵ VDMA e.V. (2019): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland: Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017. https://www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschinenoele/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf. Zugriff am: 05.07.2024.

Außerdem stehen Errichtung und Betrieb von Wärmespeichern gemäß § 2 Abs. 3 WPG im überragenden öffentlichen Interesse, sofern sie eine „erforderliche Nebenanlage“ von Anlagen zur Erzeugung von Wärme aus erneuerbaren Energien sind, die in ein Wärmenetz eingespeist wird. Das GeoWG-E (dazu sogleich) bezieht Wärmespeicher sogar ausdrücklich in das überragende öffentliche Interesse ein. Das bedeutet, dass Wärmespeichern bei behördlichen Abwägungsentscheidungen ein besonderes Gewicht beigemessen werden muss.

1.6.2 Baurecht

Wärmespeicher bedürfen einer Baugenehmigung, sofern das jeweilige Landesbauordnungsrecht sie als genehmigungsbedürftige bauliche Anlagen einstuft. Genehmigungsbedürftige Wärmespeicher sind genehmigungsfähig, wenn sie sowohl bauplanungsrechtlich als auch bauordnungsrechtlich zulässig sind.

Im Außenbereich sind Wärmespeicher bisher nicht ausdrücklich privilegiert. Sie können aber bauplanungsrechtlich privilegiert zulässig sein, sofern sie der öffentlichen Versorgung mit Wärme dienen, ortsgebunden sind und öffentliche Belange nicht entgegenstehen (§ 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB). Das Merkmal der Ortsgebundenheit wird jedoch – jedenfalls in Bezug auf Stromerzeuger – von der Rechtsprechung restriktiv ausgelegt. Ob beispielsweise ein Wärmespeicher im Zusammenhang mit einer Geothermieanlage im Außenbereich zulässig wäre, ist daher unsicher.

Bei der Abwägung mit öffentlichen Belangen, die dem Wärmespeicher entgegenstehen können, ist das „überragende öffentliche Interesse“ von Wärmespeichern zu berücksichtigen.

Die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit im Innenbereich hängt maßgeblich von den Festsetzungen im Bebauungsplan ab. Gemeinden können darüber hinaus in ihren Bebauungsplänen Gebiete festsetzen, in denen für Neubauten bestimmte bauliche oder sonstige technische Maßnahmen für die Speicherung von Wärme oder Kälte aus erneuerbaren Energien oder KWK getroffen werden müssen (§ 9 Abs. 1 Nr. 23b BauGB). Diese bauliche oder technische Maßnahme zur Wärmespeicherung muss in den Neubau integriert werden, damit er bauplanungsrechtlich zulässig ist. Dass der Wärmespeicher auch genutzt werden muss, kann im Bebauungsplan jedoch nicht vorgeschrieben werden.

1.6.3 Bundesberggesetz

Wird der tiefe Untergrund für den Speicher genutzt, greifen die Regelungen im BBG, dies gilt insbesondere bei Aquiferspeichern. Sofern in Aquiferspeichern Sole als Speichermedium genutzt wird, können sie als Untergrundspeicher im Sinne des § 126 BBG klassifiziert werden. § 4 Abs. 9 und § 126 des BBG regeln die Untersuchung des Untergrunds auf seine Eignung für die Errichtung von Untergrundspeichern und liefern eine Definition für Untergrundspeicher. Wird hingegen Wasser als Speichermedium genutzt, handelt es sich nach dem aktuellen Stand der Gesetzgebung nicht um einen Untergrundspeicher.

In jedem Fall kann ein Aquiferspeicher von den Bergämtern als ein Gewinnen des Bodenschatzes Erdwärme eingestuft werden und damit eine bergrechtliche Bewilligung oder das Bergwerkseigentum

erforderlich machen. Allerdings liegt bereits ein Gesetzentwurf vor, nach dem Erdwärme aus Bohrungen von bis zu 400 Metern Tiefe nicht mehr als bergfreier Bodenschatz gelten soll, sodass für ihre Gewinnung auch keine Bewilligung mehr erforderlich wäre (vgl. Art. 39 des Regierungsentwurfs eines Vierten Bürokratieentlastungsgesetzes).

1.6.4 Wasserhaushaltsgesetz

Das Wasserhaushaltsgesetz schützt Gewässer. Die Benutzung eines Gewässers bedarf nach § 8 Abs. 1 WHG einer wasserrechtlichen Gestattung. Als Gewässerbenutzung gelten nach § 9 Abs. 2 Nr. 2 WHG auch „Maßnahmen, die geeignet sind, dauernd oder in einem nicht nur unerheblichen Ausmaß nachteilige Veränderungen der Wasserbeschaffenheit herbeizuführen“. Durch Aquiferspeicher kann abhängig von den örtlichen Gegebenheiten im Einzelfall das Grundwasser erwärmt werden, wodurch sich die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Wassers nachteilig verändern können. Diese Veränderung der Grundwasserqualität stellt eine Gewässerbenutzung dar, die einer wasserrechtlichen Erlaubnis bedarf.

Zudem müssen für alle Speicher, für deren Errichtung und Betrieb ein Erdaufschluss nötig ist, die entsprechenden Arbeiten der zuständigen Behörde nach § 49 WHG angezeigt werden. Die Anzeigeersetzt aber nicht die Erlaubnis für die Gewässerbenutzung, die evtl. mit dem Erdaufschluss oder der sich anschließenden Nutzung des Grundwassers im Zusammenhang mit der Wärmespeicherung einhergeht. Die Ausgestaltung des WHG obliegt in vielen Fällen, wie beispielsweise den Ausnahmen von der Anzeigepflicht, den Bundesländern.

1.6.5 Bundes-Immissionsschutzgesetz

Wärmespeicher sind für sich genommen keine nach § 4 BlmSchG immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen, da sie nicht im enumerativen Katalog genehmigungsbedürftiger Anlagen der 4. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (4. BlmSchV) enthalten sind. Sie können aber Bestandteil bzw. Nebeneinrichtung einer genehmigungsbedürftigen Hauptanlage (bspw. einer Müllverbrennungsanlage) und somit Gegenstand eines immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens sein. Auch für immissionsschutzrechtlich nicht genehmigungsbedürftige Anlagen bestehen grundsätzliche und ggf. auch spezifische immissionsschutzrechtliche Pflichten. So können sich bspw. an den Einsatz bestimmter Chemikalien bei thermochemischen Speichern (z.B. Flüssigsalzspeicher) spezifische Pflichten knüpfen.

1.6.6 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung

Sofern es sich bei einem Wärmespeicher um einen künstlichen Wasserspeicher mit einem Wasserinhalt von mindestens 5 000 m³ handelt, bestehen zusätzliche **Genehmigungsanforderungen aus dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung** (UVPG). Besteht für das Vorhaben die Erforderlichkeit zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung, bedarf das Vorhaben einer Planfeststellung nach § 65 Abs. 1 UVPG, ansonsten einer Plangenehmigung nach § 65 Abs. 2 UVPG (jeweils i.V.m. Nr. 19.9 Anlage 1 UVPG). Sofern Wärmespeicher als Wasserspeicher eingestuft werden und

einen Inhalt von 5 000 m³ bis weniger als 2 Mio. m³ haben, erfolgt die Prüfung der Erforderlichkeit der Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung im Rahmen einer standortbezogenen Vorprüfung nach § 7 Abs. 2 UVPG und hängt von den besonderen örtlichen Gegebenheiten ab.

Unter Umständen können sich darüber hinaus für Aquiferspeicher aus der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben weitere Genehmigungsanforderungen ergeben.

1.6.7 Gesetzentwurf zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Geothermieanlagen, Wärmepumpen und Wärmespeichern sowie weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen

Der Anfang Juli 2024 veröffentlichte Referentenentwurf zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Geothermieanlagen, Wärmepumpen und Wärmespeichern sowie weiterer rechtlicher Rahmenbedingungen (GeoWG) sieht zahlreiche Erleichterungen für die Errichtung und den Betrieb von Wärmespeichern vor. Er dient der Beschleunigung behördlicher und gerichtlicher Entscheidungen über die Genehmigung von Wärmespeichern. So soll es etwa eine Art bergrechtliche „Genehmigungsfiktion“ geben: Eine Bohrung bis zu einer Tiefe von 400 Metern zur Aufsuchung oder Gewinnung von Erdwärme muss angezeigt werden. Die Behörde muss die Unterlagen innerhalb von zwei Wochen prüfen. Falls die zuständige Behörde die Einhaltung der Betriebsplanpflicht für erforderlich erklärt, soll sie dies dem Antragsteller innerhalb von vier Wochen mitteilen. Nach acht Wochen kann sie eine Betriebsplanpflicht nicht mehr für erforderlich erklären.

1.6.8 Weitere Vorschriften, die für den Betrieb von Wärmespeichern relevant sein können

Darüber hinaus können für den Betrieb von Wärmespeichern folgende weitere Vorschriften einschließlich sein: Relevante Vorschriften für Wärmespeicher in Wohn- und Nichtwohngebäuden finden sich unter anderem im **Gebäude-Energie-Gesetz (GEG)**.²⁶ Das GEG verfolgt das Ziel der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung von Gebäuden und enthält hierzu Vorgaben für die Nutzung erneuerbarer Wärme oder unvermeidbarer Abwärme. Die Vorgaben des GEG ermöglichen auch den Einsatz von Wärmespeichern und eine Vereinbarung zwischen mehreren Eigentümern zur gemeinschaftlichen Nutzung von Wärmespeichern zum Zwecke der Erfüllung von Anforderungen aus dem GEG (vgl. § 107 Abs. 1 Nr. 1 GEG).

Bei einem kombinierten Power-to-Heat-Wärmeerzeuger, der strombasiert das Wasser in einem Wärmespeicher erwärmt, sind Vorschriften aus dem **Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)** anwendbar. § 13k EnWG sieht eine Pflicht für Übertragungsnetzbetreiber vor, Strom aus erneuerbaren Energien, der aufgrund von Netzengpässen abgeregelt werden müsste, an berechtigte Teilnehmer zuzuteilen. Die Zuteilung von Strom an Wärmespeicher als sogenannte zuschaltbare Lasten, könnte sich zu einem wichtigen Baustein in der Sektoren-Integration entwickeln (vgl. Box auf Seite 33).

Für die Senkung der Stromkosten der mit einem Wärmespeicher kombinierten Wärmeerzeugungsanlage können weitere Normen aus dem EnWG einschließlich sein (z.B. § 14a EnWG, Wärmepumpen als steuerbare Verbrauchseinrichtung).

Gemäß **Gas-Wärme-Kälte-Herkunftsachsnachweisregister-Verordnung (GWKHV)** können Herkunftsachsnachweise für strombasierte Wärme ausgestellt werden, wenn zur Erzeugung der thermischen Energie Strom aus erneuerbaren Energien genutzt wurde. Wenn für den in einem Wärmespeicher eingesetzten Strom (z.B. Kombination aus Wärmespeicher und -erzeuger) ein Herkunftsachsnachweis nach §

79 Abs. 1 Nr. 3 EEG vorliegt, ist die damit erzeugte Wärme erneuerbare Wärme im Sinne des GWKHV und kann mit einem entsprechenden Herkunftsachweis vermarktet werden.

Box: § 13k EnWG „Nutzen statt Abregeln 2.0“

Im Rahmen des Einspeise-Managements werden jedes Jahr zahlreiche Wind- und Solaranlagen abgeregelt, um Netzengpass-Situationen aufzulösen. Dadurch gehen erhebliche Strommengen verloren, während die Anlagen-Betreiber eine Entschädigung erhalten. Das im November 2023 eingeführte und in § 13k EnWG geregelte „Nutzen statt Abregeln 2.0“ ist ein erster Schritt, um die Nutzung von solchem Überschussstrom anzuregen, die Erprobungsphase hat allerdings erst am 1. Oktober 2024 begonnen. Der Paragraph sieht eine Pflicht für Übertragungsnetzbetreiber vor, Strom aus erneuerbaren Energien, der aufgrund von Netzengpässen abgeregelt werden müsste, berechtigten Teilnehmern zuzuteilen. Die Zuteilung von Strom an Wärmespeicher als sogenannte zuschaltbare Lasten könnte sich zu einem wichtigen Baustein der Sektoren-Integration entwickeln. Die aktuelle Ausgestaltung durch die regional und zeitlich enge Begrenzung greift jedoch deutlich zu kurz. Aktuell sind die dort verankerten Entlastungen nicht ausreichend und standortbedingt nur von wenigen Wärmenetzen nutzbar. Ein weiteres potenzielles Problem stellen die Stromnebenkosten dar, vor allem der Leistungspreis der Netzentgelte: Da Überschuss-Strom vergleichsweise selten anfällt, fallen diese stark ins Gewicht. Die Reduktion (bzw. Rückerstattung) von Stromnebenkosten, wenn große Anteile (erneuerbarer) Überschussstrom im Netz sind, ist deshalb eine der Kernmaßnahmen, um viele Wärmespeicheranwendungen wirtschaftlich zu betreiben.

1.7 Fördermittel für Wärmespeicher

Für die Transformation und Dekarbonisierung der Wärmenetze sowie der WärmeverSORGUNG in Gebäuden, Industrie und GHD stehen eine Vielzahl an Förderprogrammen auf Bundes- und Landesebene zur Verfügung, welche die Förderung von Wärmespeichern als Teil eines WärmeverSORGUNGssystems umfassen. Welche Förderprogramme im Einzelfall in Frage kommen, hängt von einer Vielzahl von Kriterien ab. Aus diesem Grund erfolgt die Darstellung nach Inhalt und Ausrichtung der einzelnen Programme, auf die anwendungsspezifische Darstellung wird, ebenso wie beim Rechtsrahmen, verzichtet. An dieser Stelle sollen nur die zentralen Programme für die (investive) Förderung durch den Bund vorgestellt werden.

Die meisten Förderprogramme sind als Zuschussförderung ausgestaltet. Welche Kosten förderfähig sind und wie hoch die Förderquote ist, ist maßgeblich von den Antragstellern abhängig.

1.7.1 Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW)

Die EEW fördert diverse Transformationsprozesse und klimafreundliche Anlagen in der Wirtschaft. Antragsberechtigt sind private Unternehmen, kommunale Unternehmen, Landesunternehmen und freiberuflich Tätige (wenn die Betriebsstätte überwiegend für die freiberufliche Tätigkeit genutzt wird) mit einer Betriebsstätte oder Niederlassung in Deutschland sowie Contractoren, die Maßnahmen für ein antragsberechtigtes Unternehmen ausführen.

Fördermittelgeber sind das BAFA (Zuschussförderung) und die KfW (zinsverbilligte Kredite mit Tilgungszuschuss) sowie der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Förderwettbewerb).

Wärmespeicher können Fördergegenstand in Modul 2 und in Modul 4 (Premiumförderung) sowie im Förderwettbewerb sein:

- Modul 2: Ein Wärmespeicher kann als Bestandteil eines förderfähigen Vorhabens gefördert werden, wenn der Wärmespeicher die weiteren Voraussetzungen, d. h. die Anforderungen an die eingespeicherte Wärme und Effizienz des Speichers, erfüllt (vgl. Glossar, S. 7).
- Modul 4 (Premiumförderung und Förderwettbewerb): Wärmespeicher können auch als eigenständige Maßnahme gefördert werden, sofern durch deren Einsatz der Wärmeverlust auf dem Betriebsgelände des antragstellenden Unternehmens reduziert wird und/oder die Prozessführung durch zeitliche Entkopplung der Wärmeerzeugung und des Wärmebedarfs im Unternehmen energetisch optimiert wird und die Anforderungen an die im Wärmespeicher eingespeicherte Wärme erfüllt sind (vgl. Glossar, S. 18 f.).
- Modul 4 (Premiumförderung): der Erwerb von mobilen Wärmespeichern und der dazugehörigen fest zu montierenden Be- und Entladeinfrastruktur kann förderfähig sein, wenn diese ausschließlich zur inner- oder außerbetrieblichen Abwärmenutzung und nur zum Wärmeaus tausch zwischen den im Förderantrag benannten Standorten eingesetzt werden (vgl. Glossar, S. 19).

Die Förderhöhe richtet sich nach Modul und KMU-Status des Antragstellers:

- Modul 2: Förderquote für kleine Unternehmen 60 %, bei mittleren Unternehmen 50 % und bei Unternehmen ohne KMU-Status 40 % und bis zu 20 Mio. Euro.
- Modul 4 (Premiumförderung): Förderquote bis zu 45 % (abhängig von KMU-Status) und Förderhöhe bis zu 20 Mio. Euro.
- Förderwettbewerb: Förderquote wird im Bereich von 1-60 % individuell vom Antragssteller festgelegt, max. 20 Mio. Euro. Die förderfähigen Kosten richten sich nach der AGVO.

1.7.2 Bundesförderung Effiziente Wärmenetze (BEW)

Die BEW ist die zentrale Förderrichtlinie für die Dekarbonisierung und den Ausbau von Wärmenetzen. Als Teil der Wärmenetze können auch Wärmespeicher gefördert werden. Antragsberechtigt sind Unternehmen im Sinne des § 14 BGB, Kommunen (soweit wirtschaftlich tätig), kommunale Eigenbetriebe und kommunale Unternehmen, kommunale Zweckverbände, eingetragene Vereine und eingetragene Genossenschaften sowie u. U. Contractoren.

Fördermittelgeber ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).

Wärmespeicher können als Teil der systemischen Förderung nach Modul 2 oder als Einzelmaßnahme in Modul 3 gefördert werden. Die Förderhöhe beträgt 40 % der förderfähigen Ausgaben für die Investition bis zu einem Höchstbetrag von 100 Mio. Euro pro Antrag.

1.7.3 Bundesförderung Effiziente Gebäude für Einzelmaßnahmen (BEG EM)

Die BEG fördert die Sanierung von Gebäuden inklusive Heizungssystemen, die dauerhaft Energiekosten einsparen. Antragsberechtigt sind alle Investoren (z. B. Hauseigentümer, WEG, Contractoren, Unternehmen, gemeinnützige Organisationen, Kommunen) von förderfähigen Maßnahmen an Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden. Fördermittelgeber ist die KfW.

Als Einzelmaßnahme förderfähig ist nach der BEG (EM) die Errichtung eines Wärmespeichers

- bei Errichtung/Umbau/Erweiterung eines Gebäudenetzes (neben Erzeuger und Rohrleitungen)
- sowie wohl auch ergänzend zur Errichtung eines Wärmeerzeugers als Maßnahme zur Verbesserung der Anlageneffizienz, wenn der Wärmespeicher im Gebäude oder gebäudenah eingebaut wird und den technischen Mindestanforderungen (siehe Merkblatt) entspricht.

Die Förderquote beträgt bei Errichtung/Umbau/Erweiterung eines Gebäudenetzes bzw. ergänzend zur Errichtung eines Wärmeerzeugers 30 % (ggf. zzgl. Klimageschwindigkeitsbonus oder Einkommensbonus). Sofern der Wärmespeicher separat als Maßnahme zur Verbesserung der Anlageneffizienz gefördert wird, beträgt die Förderquote 15 % (ggf. zzgl. 5 % bei Umsetzung eines geförderten individuellen Sanierungsfahrplans). Die Höchstgrenzen unterscheiden sich je nach Gebäudeart und Maßnahmen. Daneben kann ein zinsgünstiger Ergänzungskredit gewährt werden.

Neben der Förderung über die BEG (EM), ist auch im Rahmen der systemischen Förderung nach der BEG (WG) und der BEG (NWG) die Förderung eines Wärmespeichers möglich.

1.7.4 Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)

Im Rahmen des KWKG werden Wärmespeicher gefördert, wenn die in dem Wärmespeicher eingespeicherte Wärme zumindest anteilig aus einer KWK-Anlage oder einem iKWK-System stammt. Antragsberechtigt ist der Betreiber eines förderfähigen Wärmespeichers. Die Erteilung der Zulassung erfolgt durch das BAFA, die Auszahlung des KWK-Zuschlags erfolgt durch den zuständigen Übertragungsnetzbetreiber (vgl. § 22 Abs. 3 KWKG).

Förderfähig sind der Neubau eines Wärmespeichers und die Umrüstung eines bestehenden Behälters mit fabrikneuen Komponenten in einen Wärmespeicher. Die Kapazität des Wärmespeichers muss mind. 1 m³ Wasseräquivalent bzw. mind. 0,3 m³/kW installierte elektrische KWK-Leistung der KWK-Anlage betragen. Zu den weiteren Fördervoraussetzungen zählt insbesondere die Inbetriebnahme des Wärmespeichers bis zum 31.12.2026 und die Erfüllung des geforderten Wärmeanteils; die Wärme muss überwiegend (> 50 %) aus KWK-Anlagen oder iKWK-Systemen oder aus einer Kombination von mind. 25 % KWK-Wärme mit industrieller Abwärme und/oder Wärme aus erneuerbaren Energien stammen.

Die Förderhöhe beträgt 250 Euro je Kubikmeter Wasseräquivalent des Wärmespeichervolumens; bei Speichern mit einem Volumen von > 50 m³ ist die Förderung auf 30 % der ansatzfähigen Investitionskosten sowie insgesamt pro Projekt auf 10 Mio. Euro gedeckelt.

1.7.5 Klimaschutzverträge (KSV)

Mit den KSV werden Industrieunternehmen dabei unterstützt, große, klimafreundliche Produktionsanlagen zu errichten und zu betreiben, die sich andernfalls noch nicht rechnen würden. KSV sind Hedging-Verträgen der Privatwirtschaft, also Risikoabsicherungsinstrumenten; sie reduzieren Preisrisiken und gleichen Mehrkosten aus, die Unternehmen bislang noch von einer klimafreundlichen Produktion abhalten. Die Vergabe der Mittel erfolgt über Gebotsverfahren.

Förderberechtigt sind Unternehmen, einschließlich Kommunen, kommunale Eigenbetriebe, kommunale Unternehmen und kommunale Zweckverbände, soweit sie wirtschaftlich tätig sind und das Vorhaben nach Teilnahme am vorbereitenden Verfahren zur Teilnahme am Gebotsverfahren zugelassen worden ist. Fördermittelgeber ist der Projektträger Jülich (PtJ).

Den geförderten Unternehmen wird eine variable Förderung gezahlt, deren Höhe sich nach den jeweiligen Mehrkosten der klimafreundlichen Anlage im Vergleich zur konventionellen Anlage bemisst. Wenn die klimafreundliche Produktion günstiger wird als die konventionelle, soll sich die Zahlung umkehren: Die geförderten Unternehmen zahlen sodann ihre Mehreinnahmen an den Staat. Die maximale Fördersumme wird jeweils in einem Förderaufruf bestimmt. Der erste Förderaufruf startete am 12.03.2024.

1.7.6 Entwurf: Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)

Die neue Förderrichtlinie BIK, die noch nicht in Kraft getreten ist und den Verfasserinnen und Verfassern nicht in der Endfassung vorliegt, soll Maßnahmen zur Dekarbonisierung in der energieintensiven Industrie fördern. Eine beihilferechtliche Genehmigung für das Programm liegt bereits vor.

Hauptadressaten des Programms sind der industrielle Mittelstand sowie kleine und mittlere Unternehmen. Förderberechtigt sind Unternehmen und Konsortien, die Anlagen zur Durchführung von industriellen Prozessen planen oder betreiben, sofern sie eine Betriebsstätte oder Niederlassung in Deutschland haben und die Projektumsetzung in Deutschland erfolgt. Fördermittelgeber ist das Kompetenzzentrum Klimaschutz in Energieintensiven Industrien (KEI).

Wärmespeicher kommen als Fördergegenstand in Modul 1 in Betracht:

- Modul 1 Teilmodul 1: Förderung von Investitionen zur Dekarbonisierung industrieller Produktionsprozesse mittels derer THG-Minderung von 40 % gegenüber einer Bestands- oder Vergleichsanlage erreicht wird; Wärmespeicher sind als Teil einer Produktionstransformationsinvestition förderfähig.
- Modul 1 Teilmodul 2: Förderung von Investitionen zur Dekarbonisierung industrieller Produktionsprozesse, mittels derer THG-Minderung von 40 % erreicht wird; ausschließliche Bestandsanlagen-Förderung; Wärmespeicher sind als Teil einer Produktionstransformationsinvestition förderfähig.

Die Förderhöhe beträgt in

- Modul 1 Teilmodul 1: bis zu 30 Mio. Euro (ab einem Fördervolumen von 15 Mio. Euro ist eine Landes-Kofinanzierung erforderlich) bei einer Förderquote von bis zu 40 %;

- Modul 1 Teilmodul 2: bis zu 200 Mio. Euro (ab einem Fördervolumen von 15 Mio. Euro ist Landes-Kofinanzierung erforderlich) bei einer Förderquote von bis zu 60 % (abhängig vom Vorhaben).

Neben den hier aufgeführten Förderprogrammen gibt es eine große Anzahl weiterer Bundes- und Landesförderprogramme, die auch Wärmespeicher umfassen und als Zuschuss- oder als Kreditförderung ausgestaltet sind. Gemeinsam leisten sie schon jetzt einen entscheidenden Beitrag dafür, die Nutzung von Wärmespeichern in die Breite zu tragen und den Markthochlauf zu beschleunigen.

2 Herausforderungen, Handlungsfelder und Lösungsansätze

Die große aktuelle Herausforderung ist der Übergang von einem fossil geprägten Energiesystem mit entsprechend ausgestalteten und gefestigten Rahmenbedingungen insbesondere flexibler thermischer Erzeugung hin zu einem auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystem mit erhöhtem Speicherbedarf. Speicher sind aus diesem Grund vielfach schon heute Teil der Dekarbonisierungsstrategie insbesondere in Gewerbe und Industrie sowie in Wärmenetzen. Regulatorische und ökonomische Hemmnisse erschweren bislang die Neuinvestitionen in Speicher, die notwendig sind, um die Erzeugung systemdienlich zu gestalten und bei Bedarf Speicher als zusätzliche Lasten hinzuschalten zu können. Dies umfasst sowohl die Nutzbarmachung direkter Wärmequellen wie beispielsweise Umweltwärme, Geothermie, Solarthermie und unvermeidbare Abwärme, als auch die anstehende Elektrifizierung vieler Wärmeanwendungen.

Aktuelle Regulierung und Förderung begünstigen an vielen Stellen weiterhin fossile Systeme. Während in Gebäuden Wärmespeicher (Pufferspeicher) oft in Kombination mit Wärmepumpen oder Solarthermie bereits häufiger im Einsatz sind, sind Behälterspeicher in Industrie und Fernwärmeverzeugung bislang vor allem dann wirtschaftlich nutzbar, wenn sie eingebunden sind in eine (in der Regel fossile) KWK-Erzeugung.

Abschnitt 2.1 stellt die Hemmnisse für die verschiedenen Wärmeanwendungen entlang der Dimensionen ökonomisch, technisch und planerisch-informatorisch dar. In Abschnitt 2.2 werden mögliche Handlungsfelder und Lösungsansätze eruiert. Die hier beschriebenen Maßnahmen zum Hochlauf von Wärmespeichern sollen dazu beitragen, die Transformation zur erneuerbaren, kosten- und energieeffizienten Wärmeversorgung zu unterstützen bzw. eine volumnfängliche Versorgung mit erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme durch zeitliche Trennung von Erzeugung und Nachfrage überhaupt erst zu ermöglichen. Abschnitt 2.3 stellt die Empfehlungen des Gutachtens dar. Dabei werden zunächst die Bewertungskriterien erläutert, und anschließend die Vorschläge für regulatorische Anpassungen, zur Förderung und Finanzierung von Wärmespeichern, zur Vereinfachung von Planungs- und Genehmigungsverfahren, zu Wissensaufbau und zu Forschung und Entwicklung. Ein abschließender Unterabschnitt leistet eine strategische Einordnung der Vorschläge.

2.1 Herausforderungen (Hemmnisanalyse)

Im Folgenden werden Hemmnisse, die aktuell eine verstärkte Nutzung von Wärmespeichern in den Bereichen Gebäude, Fernwärme und Industrie und GHD erschweren, dargestellt. Hierbei wird unter-

schieden in **ökonomische**, **technische** und **planerisch-informatorische** Hemmnisse. Eingangs werden die Herausforderungen dargestellt, die für alle Anwendungsbereiche gelten. In den nachfolgenden Abschnitten werden die anwendungsbereichsspezifischen Herausforderungen herausgearbeitet.

2.1.1 Anwendungsfeldübergreifende Herausforderungen

Der aktuelle Stand zum Ausbau von Wärmespeichern (vgl. Abschnitte 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1) macht deutlich, dass der zukünftige Bedarf an Speichern im aktuellen regulatorischen Umfeld nicht gedeckt werden wird und die technischen und systemischen Potenziale derzeit nicht gehoben werden. Eine Vielzahl von Hemmnissen bremst aktuell den weiteren Speicherhochlauf in den Bereichen Gebäude, Wärmenetze, Industrie und GHD.

Ein zentrales Hemmnis besteht aktuell in der **Wirtschaftlichkeit**. Eine erneuerbare Wärmeversorgung mit den dazu gehörigen Speichern steht in Konkurrenz zu (noch) günstigerer, flexibler fossiler Wärmeerzeugung. Viele Speichersysteme sind nur wirtschaftlich, wenn ausreichende Preisfluktuationen bei den eingesetzten Endenergieträgern vorliegen. Nur dann lohnt sich die Einspeicherung zu Zeiten niedriger Kosten und die spätere Ausspeicherung zu Zeiten hoher Kosten/der eigentlichen Nachfrage. Um entsprechende Preissignale zu senden und ausreichende Preisunterschiede zu schaffen, sind volatile Strompreise und/oder systemdienlich vergünstigte Netzentgelte, Abgaben und Umlagen notwendig, die auch an die Endkundinnen und -kunden weitergegeben werden müssen. Grundsätzlich dämpfen Abgaben, die in aller Regel pro-Rata erhoben werden, die Spreads der kundenseitigen Preise und damit die Anreize für den Speichereinsatz. Bei niedrigen Abgaben werden die Spreads prononziert. Ein weiteres Effizienzpotenzial besteht bei der Nutzung von sonst abgeregelter erneuerbarer Stromerzeugung, die in Form von Wärme gespeichert werden kann. Bei angemessenen Preisen für Flexibilitätsbereitstellung unterstützen Wärmespeicher zudem die effiziente Sektoren-Kopplung und Integration des Gesamtenergiesystems.

Daraus folgt, dass der Einsatz von Speichern zum einen von den zukünftigen Preisen im Strom-, Erdgas-, Wasserstoff- und Heizölmarkt, zum anderen von der Gestaltung der Abgaben und regulatorischen Rahmenbedingungen abhängig ist. Steigende Preise für fossile Energieträger, beispielsweise durch eine CO₂-Bepreisung, sorgen insgesamt für eine Stärkung der erneuerbaren Wärmeerzeugung, sei es über die direkte Nutzung erneuerbarer Wärmequellen oder indirekt über erneuerbaren Strom. Gleichzeitig kann auch eine Anreizung der erneuerbaren Energieträger z. B. über geringere Energiesteuer, variable Stromsteuer oder Umlagen oder Anreize für eine systemdienliche Nutzung von Strom über geringere Netzentgelte dies weiter unterstützen. Das liegt zum einen daran, dass durch hohe Abgaben die kundenseitigen Preis-Spreads verflachen – bei niedrigeren Abgaben sind sie ausgeprägter. Ein weiteres Beispiel ist das in §13k EnWG statuierte „Nutzen statt Abregeln 2.0“, welches die Nutzung von Überschussstrom anreizen soll. Dort werden schon die ersten richtigen Maßnahmen gesetzt. Die Reduktion (bzw. Rückerstattung) von Stromnebenkosten, wenn große Anteile (erneuerbarer) Überschussstrom im Netz sind, ist eine der Kernmaßnahmen, um viele Wärmespeicheranwendungen wirtschaftlich zu betreiben. Hierzu bietet der neu ins Gesetz eingefügte § 13k Abs. 3 S. 3 EnWG die Chance, eine Kostenreduktion zu ermöglichen (vgl. Box in 1.6.8). Er ist freilich erst am 1.10.2024 in Kraft getreten; die Praxis wird zeigen, ob dies auch umgesetzt werden kann.

Aktuell steht der flexiblen, systemdienlichen Nutzung von leistungsstarken Elektro(den)kesseln die Systematik des Leistungspreises gegenüber. Verbraucher bezahlen den Leistungspreis bezogen auf den innerhalb des Jahres maximal angefallenen Leistungsbezug. Bei Technologien wie den

Elektro(den)kesseln, welche nur zu wenigen Stunden im Jahr Strom beziehen, dann aber hohe Leistungen ist dies eine sehr nachteilige Regelung. Das steht auch dem ansonsten potenziellen systemdienlichen Verhalten gegenüber welches diese erbringen könnten. Unter den bestehenden Rahmenbedingungen müssen Betreiber von Elektro(den)kesseln intensiv abwägen, ob die Gewinne einzelner Stunden mit negativen Strompreisen sich gegenüber den ganzjährig höher zu zahlenden Leistungspreisen rechnen.

Da sich der Markt für großskalige Wärmespeicher und speziell für einige Hochtemperatur-Speicher-technologien noch in der technischen Entwicklung befindet, sind die ökonomischen Einsparungen durch Wärmespeicher im aktuellen und künftigen energetischen Gesamtsystem schwer zu quantifizieren. Planungen sind damit risikobehaftet und komplex, was gerade kleinere Unternehmen oder Stadtwerke von einer Investition zum jetzigen Zeitpunkt abhält. Zudem unterliegen Technologien, die in der Praxis noch nicht oft umgesetzt sind, recht großen technischen Unsicherheiten (z. B. Materialstabilität).

Zu den **Hemmnissen** gehören außerdem **informatorische, technische und planerische** Herausforderungen. Insbesondere bei Großwärmespeichern für Wärmenetze und in der Industrie mangelt es dabei an Erfahrungen bei der tatsächlichen Umsetzung von Projekten mit (großkaligen) Wärmespeichern. Das gilt für Wärmenetzbetreiber, Industrieunternehmen und die zuständigen Genehmigungsbehörden. Hierbei sind beispielsweise in Industrieunternehmen die Verantwortlichen für Energie, Arbeitssicherheit, Prozesse und Produktqualität einzubinden sowie Controlling, Standortleitung und ggf. weitere Beteiligte der Geschäftsführung. Die Umsetzung ist somit aus Sicht des handelnden Akteurs mit großer Unsicherheit behaftet, auch wenn es in Deutschland schon erfolgreiche Beispiele gibt. Des Weiteren fehlt es aufgrund der geringen Anzahl realisierter (Hochtemperatur-)Großwärmespeicher in Deutschland an Planenden, Materialien, Leitfäden (speziell in Form von Checklisten sowie hochwertigen und gleichzeitig niedrigschwelligen Videos o.ä.), Erfahrungswerten bei Behörden zur angemessenen Bewertung sowie Installateurinnen und Installateuren. Damit einher gehen oft lange Genehmigungsverfahren aufgrund von umfassenden Prozessen bei Umwelt- und Baurechtsfragen oder umfangreichen Auflagen, mit denen gleichzeitig sowohl die Betreibenden als auch die Behörden wenig Erfahrung haben. Die mangelnde Erfahrung mit Wärmespeichern führt auch dazu, dass keine gezielten Potenzialerhebungen für die Anwendung von Wärmespeichern z. B. in Wärmenetzen oder Industrieprozessen vorliegen. Dies stellt eine große Hürde dar, solche Lösungen einzusetzen. Hinzu kommt, dass die aktuelle Speicherdiskussion stark von Stromspeichern dominiert wird. Dies spiegelt sich auch darin wider, dass wenige Potenzialanalysen für den Einsatz von Wärmespeichern insgesamt aber auch für den Einsatz im Rahmen der Sektoren-Integration zur Verfügung stehen. Auch das Dekarbonisierungspotenzial von Speichern ist nicht hinreichend bekannt.³⁶ Eine weitere große Schwierigkeit in allen Anwendungsbereichen ist die Verfügbarkeit von geeigneten **Flächen (Platzbedarf)**, um Wärmespeicher zu installieren und zu betreiben.

³⁶ IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente in industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IRES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Interviews mit Experten aus Forschung und Entwicklung; EnergieAgentur NRW (2020): Gewerbe- und Industrieanwendungen. <https://enerko.de/wp-content/uploads/2020/08/EnergieAgentur.NRW-Waermespeicher-in-NRW.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024; McKinsey (2022): Net-zero heat - Long Duration Energy Storage to accelerate energy system decarbonization. [https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/netzero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization](https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization). Zugriff am: 24.07.2024.

Eine Übersicht über zentrale Hemmnisse von Wärmespeichern in den Anwendungsfeldern ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 3 Übersicht über zentrale Hemmnisse in den Anwendungsfeldern³⁷

Anwendungsfeld des Wärmespeichers	Art des Hemmnisses	Beschreibung des Hemmnisses
Alle	Ökonomisch	Wirtschaftlichkeitslücke: Zu geringer Preisunterschied bei den eingesetzten Endenergieträgern bzw. Strompreisdifferenzen, hohe Netzentgelte sowie zu geringe Kosten fossiler Energieträger
Alle	Ökonomisch	Hohe Investitionskosten und relativ lange Amortisationszeiten, gegenüber den eher kurzen erwarteten Amortisationszeiten der Akteure (Industrie typ. 3 – 5 Jahre, Fernwärme etwas höher). Bei risikobehafteten Technologien, wie Großwärmespeichern, können zusätzlich ungünstige Finanzierungsbedingungen auftreten, welche die Amortisationszeit weiter erhöhen
Alle	Ökonomisch	Unsicherheit bezüglich Kosten und Einsparpotenzialen
Alle	Technisch	Vergleichbarkeit des Gesamtwirkungsgrads mit und ohne Speicher sowie der Mehraufwendungen der unflexiblen vs. flexibleren Energiebereitstellung ist komplex
Alle	Technisch	Flächenverfügbarkeit (im Gebäude bspw. Kellerplatz und auf Industrieflächen/innerstädtisch) und Flächenkonkurrenz mit EE-Energieerzeugern

³⁷ Ergänzung eigener Erarbeitungen durch die Ergebnisse aus: Öko-Institut, ifeu, Hamburg Institut (2024): Wärmewende: Strategien für den Einsatz klimaneutraler Fernwärmetechnologien. AP4 Großwärmespeicher, Hemmnisse. Hamburg, 02.05.2024.

Wärmenetze Industrie, GHD	Technisch und planerisch-informatorisch	Mangel an umgesetzten Projekten und daraus resultierend Mangel an Erfahrungen zu Bau, Materialien, Genehmigungsverfahren, Wirtschaftlichkeit, etc. und dem daraus resultierenden Vertrauen
Wärmenetze Industrie, GHD	Ökonomisch	Technologiespezifische Kosten und Risiken, u.a. Explorationsrisiko, hohe Explorations- und Bodenuntersuchungskosten
Wärmenetze Industrie, GHD	Technisch-ökonomisch	Speicherlösungen, speziell verschiedene Materialien im Hochtemperaturbereich und auch große Wärmespeicher in Wärmenetzen, sind teilweise noch im Entwicklungsstadium oder weisen eine geringe Marktdurchdringung auf, daher bestehen ökonomische und technische Unsicherheiten im Langzeitbetrieb.
Alle	Planerisch-informatisch	Fehlendes Wissen und Erfahrungswerte über die Vorteile des Einsatzes von Speichern bei Akteuren auf Anwendungsebene (z. B. Anlagenplaner und -betreiber) sowie Entscheidungsträgern firmenintern (z.B. Controlling, Geschäftsführung) und der lokalen Administration (z. B. Genehmigungsbehörde, Stadt-/Gemeindevertreter)
Alle	Planerisch-informatisch	Mangel an Fachkräften bei Planenden, Handwerk und kommunalen Fachämtern
Gebäude	Planerisch-informatisch	Unterschiedliche Einschätzungen von Energieberatern, Planenden und Handwerk bei Heizungs- und Speicherlösungen
Wärmenetze Industrie, GHD	Planerisch-Informatisch	Wenig Handlungsdruck aufgrund aktuell noch fehlender EE-Überschussquellen & Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis heutiger Energiepreise

Wärmenetze Industrie, GHD	Planerisch-informato- risch	Fehlende öffentlich verfügbare Potenzial- und technische Bewertungsdaten erhöhen die Planungsunsicherheit
Wärmenetze Industrie, GHD	Planerisch-informato- risch	Lange und komplizierte Genehmigungsverfahren, unklarer, zeitaufwändiger und individueller Verfahrensablauf

2.1.2 Wärmespeicher in Gebäuden

Wärmespeicher werden im Gebäudektor bereits zahlreich eingesetzt. Sie werden vorwiegend genutzt, um die Effizienz des Heizungssystems zu erhöhen. Diesem Anwendungsfall stehen auch grundsätzlich keine herausragenden Hemmnisse gegenüber. Die Verwendung existierender oder für diesen Zweck zusätzlich installierter Wärmespeicher in Gebäuden für einen systemdienlichen Einsatz hingegen ist bisher weniger etabliert. Im Rahmen dieses Gutachtens war es leider auch nicht möglich, die Potenziale und Grenzen eines systemdienlichen Wärmespeichereinsatzes in Gebäuden zu untersuchen.³⁸

Gegenwärtig ist es aus Sicht des Gebäudeeigentümers nicht ökonomisch sinnvoll, einen Wärmespeicher nur einzubauen, um damit systemdienliche Leistungen anzubieten. Die Flexibilität des Speichers könnte aber bei Einführung von Flexibilitätsmärkten in Verbindung mit Aggregatoren vermarktet werden und je nach Bedarf einen signifikanten Deckungsbeitrag erwirtschaften. Darüber hinaus bedarf die Umrüstung bestehender Wärmespeicher, sprich die Installation eines zusätzlichen Energiemanagementsystems der Heizungsanlage und/oder von Heizstäben, signifikanter Preisdifferenzen, um durch Arbitrage-Geschäfte Einnahmen zu erwirtschaften.

Damit ergibt sich als bedeutendstes **ökonomisches Hemmnis** für Wärmespeicher im Gebäudebereich ebenfalls der gegenwärtig mangelnde Preisunterschied bei der Nutzung von Strom zur Einspeisung. Während die Nachrüstung eines Trinkwarmwasserspeichers mit einem elektrischen Heizstab bei PV-Eigenstromnutzung für die untersuchten Beispiele immer eine wirtschaftliche Option im Verhältnis zur direkten fossilen Wärmeerzeugung darstellt, ist der netzdienliche Einsatz eines Pufferspeichers nur dann wirtschaftlich, wenn der Speicher bereits vorhanden ist (siehe Kapitel 1.2). Ist der Einbau eines Pufferspeichers erforderlich, lohnt er sich in den berechneten Szenarien für die Eigentümer finanziell auch bei großen Preisunterschieden nicht. Trinkwarmwasserspeicher verfügen im Vergleich zu Pufferspeichern über eine geringe nutzbare Kapazität, wegen der geringeren erlaubten Temperaturdifferenz und normalerweise geringer ausgelegten Volumina, und bieten somit für einen netzdienlichen Einsatz kaum Vorteile.

Technisch besteht einer der größten Hürden auch im Gebäudebereich im Platzbedarf zur Nachrüstung beziehungsweise zum Einbau von Speichern. So ist die notwendige Verrohrung und der Einbau von Regelungstechnik und Speicher räumlich nicht immer möglich, für Eisspeicher fehlen vielfach die

³⁸ Die Nutzung von Gebäudespeichern für den netzdienlichen Einsatz hat den Vorteil, dass damit die Stromverteilernetze entlastet werden können und nicht die Mittel- oder Hochspannungsstromnetze, wie das in der Regel bei (industriellen) Großverbrauchern der Fall ist.

außenliegenden Freiflächen. Eine weitere technische Schwierigkeit der Nutzung eines Speichers besteht in den Energieverlusten während der Einspeicherung. Dies gilt insbesondere für die Nutzung des Potenzials der Gebäudemassespeicher, die sich darüber hinaus nur schlecht regulieren lassen.

Jeder systemdienliche Einsatz von Wärmespeichern bzw. deren Power-to-Heat Anlagen bedarf digitaler Mess- und intelligenter Regelungssysteme. Dies führt vor allem im Gebäudesektor zu enormen Herausforderungen, gegeben durch die Kleinteiligkeit der Anbindung. Jedes Gebäude muss einzeln über eine digitale Infrastruktur angeschlossen werden, die zugleich sicher und bezahlbar ist sowie messend als auch steuernd eingreifen kann – und das alles muss mit mehreren Systemen im Gebäude (z. B. Wallbox, Wärmepumpe) kompatibel sein.³⁹ Dies macht neben dem Einbau der entsprechenden Systeme auch den Aufbau neuer Kommunikationsschnittstellen nötig, was in den Heizungskellern durch räumlich Distanz zu Routern und kabelgebundenem Internet eine Herausforderung darstellen kann. Deutschland hat hierfür als nationale Lösungen das Smart Meter Gateway ausgegeben und möchte dieses seit Jahren im breiten Gebäudebestand etablieren. Dieser Rollout hatte jedoch mit zahlreichen Schwierigkeiten zu kämpfen – ist aber nach aktuellem Plan bis 2032 als Standard in über 95% der Gebäude installiert. Dieses Ziel steht in der Novellierung des Messtellenbetriebsgesetz durch das BMWK aus dem Jahr 2023, welche ein wichtiger Schritt war, um die Entwicklung stärker voranzutreiben und existierende Hemmnisse, wie hohe Kosten und eine zu einschränkende Regulierung abzubauen. Darüber hinaus bestehende technische Probleme bei der Anbindung von SMGWs im Gebäude müssen jedoch weiter angegangen werden, vor allem durch Standardisierung und Weiterentwicklung von Schnittstellen zu Wärmeerzeugern.

Planerisch zeigen sich Herausforderungen in der praktischen Umsetzung des Planungskonzepts und der Regulierungstechnik. Es gibt bislang nur wenig etablierte und vor allem breitflächig bekannte und einsatzfähige Lösungen für einen netzdienlichen Einsatz von Wärmeerzeugern in Kombination mit Wärmespeichern, zudem sind diese meist über spezielle Anbieter verfügbar, welche diese Lösungen z.B. nur in Kombination mit einer PV-Anlage anbieten. Eine universell funktionierende Smart Meter Gateway (SMGW) Infrastruktur, die über digitale Steuerungstechnik mit den Wärmeerzeugern und -speichern kommunizieren kann, ist wichtig, um Flexibilitätspotenziale der Speicher im Gebäudesektor zu heben. Sowohl der Roll-out als auch die einfache Einbindung des Systems Wärmeerzeuger stehen noch vor Herausforderungen. Dazu gehört eine hohe technische Komplexität durch viele Anwendungsfälle, wie das Anbieten von Regelleistung, strommarktorientierte Steuerung, spannungsgeführte Steuerung im Verteilnetz oder Maximierung der Eigenversorgung. Gleichzeitig besteht eine mangelnde Interoperabilität der Systeme, sodass bereits verbaute Wärmepumpen nicht unbedingt in ein neues Energiemanagementsystem mit optimierter Steuerung eingebunden werden können. Sobald sich regulatorische Rahmenbedingungen ändern, sind hier wiederum Umstellungen notwendig. Ein massiver Ausbaubedarf der technischen Hilfsmittel steht dabei mangelnden Ressourcen an geeignet geschultem Personal und teilweise auch Material sowie zusätzlichen Kosten gegenüber. Hinzu kommt, dass Energieberatende und Handwerksbetriebe teilweise nach unterschiedlichen Ansätzen arbeiten. Das kann in der Projektumsetzung zu Problemen führen, wenn z. B. der Energieberatende eine Speicherlösung als sinnvoll sieht, der Handwerksbetrieb diese aber nicht einbaut, sich mit der Technologie nicht auskennt oder den Vorteil davon nicht sieht. Aufgrund von **Informationsdefiziten**

³⁹ Ariadne-Hintergrund (2022): Herausforderungen bei der Digitalisierung der Energieversorgung (ariadneprojekt.de). https://ariadneprojekt.de/media/2022/11/Ariadne-Hintergrund_DigitalisierungEnergieversorgung_November2022.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

und geringem Interesse an der Optimierung des Heizsystems und fehlenden Erfahrungswerten ist privaten Nutzenden der technische und ökonomische Mehrwert (in Verbindung mit zukünftig nutzbaren, volatilen Strompreisen) eines Speichers kaum bewusst. Dies befördert sowohl eine mangelnde Bereitschaft für den Einbau von Speichern als auch für den externen Zugriff auf die Temperatursteuerung zur netzdienlichen Regelung der Wärmeversorgung.

2.1.3 Speicher in Wärmenetzen

Ökonomische Hemmnisse bestehen sowohl bei den Investitionen als auch bei den Betriebskosten. Bei den Investitionen besteht aufgrund der mangelnden Erfahrung und des je nach Technologie bestehenden Fündigkeitsrisikos ein insgesamt hohes Projektrisiko bei gleichzeitig hohen Investitionsbedarfen.⁴⁰ Ursache dafür sind insbesondere die hohen initialen Investitionen, die sich durch fehlende Erfahrungen weiter erhöhen und insgesamt zu einem ungünstigen Investitionsprofil führen. Für die Betriebskosten besteht die Schwierigkeit darin, dass bislang die Anreize zur Nutzung von günstigem Strom und Überschussstrom fehlen, da systemisch angepasste Netzentgelte, Umlagen und Steuern für Power-to-Heat-Anlagen (hier: Großwärmepumpen oder Heizkessel) noch unterentwickelt sind.⁴¹ Regelungen wie § 13k EnWG „Nutzen statt Abregeln 2.0“ wirken faktisch nur regional und unter sehr eingeschränkten Bedingungen (vgl. Box in 1.6.8). Aktuell sind die dort verankerten Entlastungen nicht ausreichend und standortbedingt nur von wenigen Wärmenetzen nutzbar.

Hinzu kommt, dass Simulationen zur Abschätzung möglicher Einsparungen in der Zukunft bei den Betriebskosten stark annahmenbasiert und damit recht unsicher sind. Wirtschaftlichkeitsanalysen, die auf aktuellen Energiepreisen beruhen, führen zu mangelnden Anreizen zum Aufbau (saisonaler) Speicherkapazitäten, da erneuerbare (Überschuss-)Wärmequellen noch nicht ausreichend vorhanden sind und Flexibilität mit konventionellen Erzeugern bereitgestellt werden kann. Allerdings lässt sich ein Unterschied zwischen Tankspeichern und Saisonalspeichern feststellen. Während letztere aufgrund der geringen Anzahl an Nutzungszyklen nur in großen Netzen und kleineren Netzen bei der Einbindung von Solarthermie eine gewisse Wirtschaftlichkeit aufweisen⁴², rechnen sich Tankspeicher mit hoher Anzahl an Nutzungszyklen in der Kombination mit KWK-Anlagen schneller.⁴³

Technische Schwierigkeiten liegen besonders durch die Wärmeverluste sowohl bei der Speicherung der Wärme als auch beim Transport hin zu den Wärmenetzen vor. Bei sehr großen Wärmespeichern dauert es darüber hinaus lange, bis sich die Wärmeverluste auf ein stabiles Niveau einpendeln. Einflüsse wie Grundwasser und unsichere Abwärmequellen machen eine langfristige Prognose der Speicherung schwierig. Bei Aquifer- und Erdsondenspeichern kommen die Schwierigkeiten geringer Ener-

⁴⁰ SenUVK Berlin, IÖW (2021): https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/entwicklung-waermestrategie-land-berlin.pdf?ts=1709559808. Zugriff am: 26.07.2024.

⁴¹ Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

⁴² Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

⁴³ KWK-Anlagen nutzen heute vor allem fossile Energieträger. Sie werden in dieser Form nicht mehr Teil einer regenerativen Wärmeversorgung sein, weshalb Investitionen in Speicher vor dem Hintergrund der verbleibenden Restlaufzeit zu prüfen sind.

giedichte innerhalb des Speichers und bei Aquiferspeichern (ATES) die geringe Ein- und Ausspeicherungsleistung pro Bohrloch hinzu.⁴⁴ Aufgrund mangelnder Erfahrungen gibt es Prognoseunsicherheiten beim Langzeitverhalten insbesondere bei ATES, die bislang nicht breitflächig eingesetzt werden. Auch der Bau der Speicher geht einher mit technischen Risiken. Erdbeckenspeicher stehen vor der Problematik gegebenenfalls hoher Grundwasserstände oder eines ungeeigneten Aushubs.

Während größere Tankspeicher schon breitflächig eingesetzt werden, ist die geringe technische Marktreife bei Erdbecken-, Aquifer- und Erdsondenspeichern sowie die bisher geringe Marktdurchdringung eine Ursache für eine Vielzahl an **planerisch-informatorischen Hemmnissen** und bedingt zudem eine gewisse wirtschaftliche Unsicherheit, da aktuelle Simulationen wenig zuverlässig sind.⁴⁵ In der Praxis kommt es teilweise zu langen Genehmigungsverfahren (ggf. inkl. Umweltverträglichkeitsprüfung) u.a. wegen umfangreichen Anforderungen des Grundwasserschutzes sowie des Umwelt- und Naturschutzes. Auch vergleichsweise kleine Vorhaben benötigen, wenn sie als künstlicher Wasserspeicher eingestuft werden, zudem zumindest eine standortbezogene Vorprüfung des Einzelfalls nach UVPG. Außerdem kann eine aufwändige Plangenehmigung erforderlich sein (§ 65 Abs. 2 UVPG). Damit einher geht ein unklarer Planungs- und Genehmigungsverfahrensablauf. Weil die Speichertechnologien sich stark voneinander unterscheiden, gibt es kein allgemeines „Wärmspeichergenehmungsrecht“ (siehe dazu oben unter Abschnitt 1.6). Je nach technischer Konfiguration kann für einen Wärmespeicher eine Baugenehmigung, eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung und/oder eine Plangenehmigung erforderlich sein. Hinzu kommen je nach Konfiguration ggf. erforderliche „Nebengenehmigungen“ (z.B. eine wasser- oder bergrechtliche Genehmigung). Neben der verfahrensrechtlichen Frage der Genehmigungsbedürftigkeit sind eine Vielzahl materieller Rechtsvorgaben zu beachten, die sich beispielsweise in festgelegten Grenzwerten niederschlagen.

Das aktuelle Recht bietet dabei zu wenig Anhaltspunkte/Vorgaben für eine ausgewogene Bewertung. Dies führt dazu, dass bei der Abwägung von Schutzgütern (unter anderem mit dem Trinkwasserschutz) oftmals eine Auslegung zuungunsten des Wärmspeichers erfolgt. Grund hierfür dürfte ein Mangel an Erfahrung mit bzw. Kenntnis der Relevanz von Wärmspeichern sein. Bei ATES besteht darüber hinaus das Problem einer unterschiedlichen Auslegung (u.a. des Berg- und Wasserrechts) je nach Bundesland.⁴⁶ Für die Errichtung von PTES und BTES ist in der Regel zumindest eine Baugenehmigung erforderlich, deren Erteilung mit einer aufwendigen Prüfung einhergeht, da die Speicher einen großen Flächenbedarf haben und in der Regel außerhalb des Gebiets eines Bebauungsplans liegen.

Insgesamt mangelt es den Behörden und den Wärmenetzbetreibenden vielfach am nötigen **Know-How** zur angemessenen Einschätzung und Bewertung. An vielen Stellen sind auch die nötigen (Geo-)Daten zur Bestimmung geeigneter Standorte insbesondere für Aquifer- und Erdsondenspeicher nicht

⁴⁴ Vbsa, Ramboll (2015): Wärmspeicherung in Fernwärmenetzen. https://vbsa.ch/wp-content/uploads/2015/12/VBA040-Studie-W%C3%A4rmepeicherung-101_20151130-komprimiert-PDF-XPS.pdf. Zugriff am: 26.07.2024; Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

⁴⁵ Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

⁴⁶ TRACER (2019): Smart strategies for the transition in coal intensive regions. https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/10/TRACER_D2.1-Heat-Storages.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

verfügbar. Hinzu kommt ein Mangel an Planenden, Komponenten, Materialien und Infrastruktur aufgrund der bislang geringen Marktdurchdringung.⁴⁷

2.1.4 Wärmespeicher in der Industrie sowie in Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Unter den aktuellen Bedingungen ist der Einsatz von Prozesswärme-Speichern, die keinen besonderen prozessualen Mehrwert liefern, für die Betriebe bislang oft nicht wirtschaftlich. Die ungleiche Belastung von Strom und Erdgas macht aktuell vor allem Stromspeicher relevant und privilegiert die Bereitstellung von flexibler Wärme über erdgasbefeuerte Wärmeerzeuger gegenüber Wärmespeichern. Die Kosten für den Einsatz von Speichern sind hoch⁴⁸, während die möglichen Einsparungen durch den Einsatz von Speichern oft schwer vorherzusagen sind. Grund hierfür sind die Unsicherheiten in der Vorhersage zukünftiger CO₂-Preise sowie Strom- und Brennstoffkosten bzw. deren Schwankungen.⁴⁹ (Fossile) Energiepreise schwanken aktuell zu wenig und der Einsatz der Erneuerbaren ist gegenüber Erdgas zu teuer, auch aufgrund von diversen Befreiungen von Steuern und Umlagen für Erdgas.⁵⁰ Fixe Energiepreise und Netzentgelte bei erneuerbaren Energieträgern bieten wenig Anreiz für (Wärme-)Speichertechnologien. Grundsätzlich muss sichergestellt werden, dass Doppelbelastungen durch doppelt anfallende Steuern und Abgaben (bei Ein- und bei Ausspeicherung) vermieden werden, da sich sonst die Investitionen in die Anlage nicht mehr lohnt. Gleichzeitig werden nachfrageseitig keine Anreize über eine Differenzierung der Energiebesteuerung für grüne Energieträger geschaffen, wie es unter anderem auf Grundlage der Energy Tax Directive möglich wäre.

Die geringe Wirtschaftlichkeit im Betrieb wird durch herausfordernde Finanzierungsbedingungen verschärft. So sind die angesetzten Zinssätze aufgrund von technologischen Unsicherheiten, mangelndem Vertrauen und Erfahrungswerten sowie fehlenden Absicherungsinstrumenten eher hoch. Hinzu kommen lange Amortisationszeiten, die in der Industrie nicht üblich sind.⁵¹

Wie im Bereich der Wärmenetze ist die geringe Marktreife eines großen Teils der anwendbaren Speichertechnologien **technisch** herausfordernd. Insgesamt gibt es eine Vielzahl möglicher Speichermaterialien, was zunächst die Auswahl des am besten geeigneten Materials erschwert. Im Bereich der latenten Hochtemperaturspeicher sind bislang nur einzelne Speichermaterialien kommerziell verfügbar

⁴⁷ TRACER (2019): Smart strategies for the transition in coal intensive regions. https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/10/TRACER_D2.1-Heat-Storages.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht); SenUVK Berlin, IÖW (2021): Entwicklung einer Wärmestrategie für das Land Berlin. https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/entwicklung-waermestrategie-land-berlin.pdf?ts=1709559808. Zugriff am: 25.07.2024.

⁴⁸ IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

⁴⁹ DLR (2023): Projekt TransTES-Chem (unveröffentlicht).

⁵⁰ EnergieAgentur.NRW (2020): Wärmespeicher in NRW: Thermische Speicher in Wärmenetzen sowie in Gewerbe- und Industrieanwendungen. <https://enerko.de/wp-content/uploads/2020/08/EnergieAgentur.NRW-Waermespeicher-in-NRW.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024; IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

⁵¹ DLR (2023): Projekt TransTES-Chem (unveröffentlicht); McKinsey, (2022): Net-zero heat - Long Duration Energy Storage to accelerate energy system decarbonization. [https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/netzero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization](https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization). Zugriff am: 25.07.2024.

(Entwicklungsstand TRL 6 -9), gleiches gilt für thermochemische Speicher, wobei deren Entwicklungsstand meist noch geringer bei TRL 1 - 4 liegt. Bei thermochemischen Speichern besteht also noch ein erhebliches Entwicklungsrisiko, auch die Skalierung zu großen Industrieprojekten ist bislang unzureichend.⁵² Aufgrund des teilweise geringen TRL ist die Langlebigkeit der Materialien und damit die Rentabilität der Investition bislang schwer abschätzbar. Für viele Speichertechnologien fehlen großskalige Demonstrationsprojekte, welche eine Möglichkeit bieten, Erfahrungen mit der Betriebsweise zu machen bzw. diese niedrigschwellig einem breiten Akteurskreis zugänglich zu machen.⁵³ Für industrielle Anwendungen kommt hinzu, dass die Integration des Speichers in die entsprechenden Industrieprozesse erfolgen muss, was i.d.R. weitere Investitionen beispielsweise in entsprechende Verrohrung erfordert.⁵⁴ Darüber hinaus stellt sich auch im Bereich Industrie immer die Frage nach dem verfügbaren Platz für Wärmespeicher, der immer in Konkurrenz zu produzierenden Anlagen steht, die dort stattdessen errichtet werden könnten.⁵⁵

Eine Herausforderung bei der **Planung** und Umsetzung ist der Mangel an konkreten Regelwerken für den industriellen Einsatz der Speicher.⁵⁶ Damit geht einher, dass die Einstufung neuer Speichersysteme genehmigungstechnisch und sicherheitstechnisch oft noch unklar ist. Uneinheitliche Gefahrengrenzwerte bei der Nutzung des gleichen Stoffs in unterschiedlichen Einsatzgebieten (z.B. Nitritsalze in Speichern und in der Düngemittelverarbeitung) stellen bereits die Entwicklung von Prototypen vor Herausforderungen.

Aufgrund der starken Dominanz der Debatte durch Stromspeicher liegen bei den Anwendern zu wenig Informationen über Wärmespeicher vor. Aus diesem Grund bleibt eine gezielte Potenzialerfassung eines möglichen Wärmespeichereinsatzes oft aus. Barrieren im technischen Regelwerk hemmen zudem den Bau von Wärmespeichern.

⁵² IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Interviews mit Expertinnen und Experten aus Forschung und Entwicklung.

⁵³ IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Interviews mit Expertinnen und Experten aus Forschung und Entwicklung; DLR (2023): Projekt TransTES-Chem (unveröffentlicht).

⁵⁴ Interviews mit Expertinnen und Experten aus Forschung und Entwicklung.

⁵⁵ IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; Interviews mit Expertinnen und Experten aus Forschung und Entwicklung.

⁵⁶ IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02/Status-Bericht-LWS_IREES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024; EnergieAgentur.NRW (2020): Wärmespeicher in NRW: Thermische Speicher in Wärmenetzen sowie in Gewerbe- und Industrieanwendungen. <https://enerko.de/wp-content/uploads/2020/08/EnergieAgentur.NRW-Waermespeicher-in-NRW.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024.

2.2 Handlungsfelder und Lösungsansätze

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen in Kapitel 1 (0, 1.3.2, 1.4.2) zeigen, dass der Einsatz von Speichern bislang nur in wenigen Anwendungsbereichen wirtschaftlich ist. Das liegt u.a. an den vergleichsweise niedrigen Preisen für fossile Heizbrennstoffe in Verbindung mit deren eigener Speicherbarkeit, den heute vergleichsweise geringen Preis-Spreads im Strommarkt sowie der nicht ausreichenden Vergütung von Flexibilität (implizit und explizit) im Stromsystem. Gleichzeitig werden die Transformation des Energiesystems, die Flexibilisierungsanforderungen des Stromsystems und die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung einen verstärkten Einsatz von Wärmespeichern erfordern. Einige Versorgungs-technologien, wie beispielsweise Solarthermie sind technisch ohne den Einsatz von Speichern nicht realisierbar. Im Folgenden werden Ansätze dargestellt, die dazu beitragen können, den Markthochlauf von Wärmespeichern zu beschleunigen und die Lücke zwischen aktueller Verfügbarkeit und künftig erwartetem Bedarf an Wärmespeichern zu verringern. Diese lassen sich unterscheiden in regulatorische Optionen, Förderung und individuelle Lösungsansätze.

2.2.1 Übergreifende Handlungsfelder

Eine wesentliche Herausforderung, die sich über verschiedene Anwendungsbereiche erstreckt, besteht in der Anpassung der Strompreise, sodass sie die Systemdienlichkeit widerspiegeln. Eine wichtige **regulatorische Stellschraube** für den wirtschaftlichen und systemdienlichen Einsatz von Wärmespeichern ist die entsprechende **Gestaltung variabler, system- und netzdienlicher Stromtarife** inklusive eines klaren Anreizes, in Zeiten hoher erneuerbarer Einspeisung Überschussstrom zu nutzen. Das in § 13k EnWG geregelte „Nutzen statt Abregeln 2.0“ ist ein erster Schritt, um die Nutzung von Überschussstrom anzuregen. Wie oben ausgeführt, greift die aktuelle Ausgestaltung durch die regional und zeitlich enge Begrenzung jedoch deutlich zu kurz. Dieses Instrument ist im Kern auch dazu gedacht die Abregelung von (Offshore-)Windkraftanlagen zu verringern. Dadurch ergibt sich bereits die regionale und zeitliche Restriktion. Instrumente zur Anreizung von Wärmespeichern über die verstärkte und günstige Nutzung systemdienlicher Power-to-Heat Anlagen müssen breiter aufgestellt sein. Es darf keine regionale Begrenzung geben. Darüber hinaus sollten nicht nur Stunden mit auftretenden Netzengpässen berücksichtigt werden, sondern es sollte generell die Nutzung von Strom in Zeiten hoher EE-Einspeisung incentiviert werden. Damit ist die Reduktion (bzw. Rückerstattung) von Strompreisbestandteilen, in Zeiten, in denen große Anteile (erneuerbaren) Stroms im Netz sind, eine der Kernmaßnahmen, um viele Wärmespeicheranwendungen wirtschaftlich zu betreiben.

Ein zusätzliches Thema sind die Leistungspreise von Netzentgelten. Diese stellen vor allem für (bislang) seltener eingesetzte Elektroheizkessel, welche zeitweise hohe Leistungen entnehmen, ein Hemmnis dar. Eine konkrete Herangehensweise für Elektroheizkessel wäre, dass der Netzbetreiber eine Freigabe des Leistungsbezugs ausgibt, d.h. diese nicht in die Bepreisung der (Leistungs-)Netzentgelte einfließt, wenn sie zu systemdienlichen Zeiten erfolgt. Darüber hinaus bedarf es aber auch hier einer größeren Reform der Netzentgelte, um Netzentgelte, Umlagen und Steuern in Zeiten hoher EE-Einspeisung zu senken. Es wird empfohlen, die StromNEV mit dem Ziel zu ändern, dass die Bereitstellung netz- und systemdienlicher Flexibilitätspotenziale keinen schädlichen Einfluss auf die Gewährung eines individuellen Netzentgelts hat. Die bestehende Regulierung hat den Zweck den individuellen Beitrag zur Jahreshöchstlast widerzuspiegeln. Insbesondere steht die Option zur Verfügung, für die Sonderformen der Netznutzung gem. § 19 Abs. 2 S. 1, 2 StromNEV klarzustellen, dass beide Tatbestände auch dann erfüllt werden, wenn netz- und systemdienliche Flexibilitätspotenziale genutzt werden.⁵⁷ Das am 24.07.2024 veröffentlichte „Eckpunktepapier zur Fortentwicklung der Industrienetzentgelte im Elektrizitätsbereich“ stößt eine Entwicklung in diese Richtung bereits an.

Eine Dynamisierung von Netzentgelten, orientiert am Netzzustand, wurde bereits in der Vergangenheit als erforderlich identifiziert. Detaillierte Empfehlungen hierzu werden in der Beratung zur „nationalen Strategie für Großwärmespeicher ausgeführt“. Demzufolge sollten sich Netzentgelte an der Belastung des Netzes orientieren, also dann hoch sein, wenn zusätzlicher Verbrauch das Netz belastet und niedrig, wenn durch weiteren Verbrauch eine Entlastung des Netzes erreicht wird (zeitvariable Netzentgelte). Die Ausgestaltung kann entweder durch statische Netzentgelte (zwei oder mehr Zeitfenster unterschiedlicher Entgelthöhe mit langem Vorlauf⁵⁸) oder durch dynamische Netzentgelte (stündliche

⁵⁷ Das Kopernikus-Projekt SynErgie (2021): Positionspapier zu regulatorischen Änderungen (synergie-projekt.de). <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/SynErgie-Positionspapier-Regulatorische-Rahmenbedingungen.pdf>, S. 4 f. Zugriff am: 25.07.2024.

⁵⁸ Der Unterschied zwischen statischen Netzentgelten und atypischem Verbrauchsverhalten (§19 Abs. 2 StromNEV) zeigt sich darin, dass im ersten Fall bei einem Strombezug außerhalb der Zeitfenster die Reduktion oder Befreiung nicht komplett verfällt. Für diesen Zeitraum ist dann nur das Netzentgelt entsprechend höher. Auf Niederspannungs-Ebene steht eine entsprechende Regelung auf Grundlage eines Beschlusses der Bundesnetzaagentur bereits kurz vor der Umsetzung.

oder sogar viertelstündliche Änderung der Preise in Reaktion auf den aktuellen Netzzustand) erfolgen. Während statische Netzentgelte insbesondere dort gut geeignet sind, wo eine hohe Netzbelastung vorhersehbar ist, eignen sich dynamische Netzentgelte in Netzgebieten, bei denen die Entwicklung der Netzauslastung unklarer ist.⁵⁹

Für Wärmepumpen gibt es bereits eine Befreiung von Offshore-Netz- und KWK-Umlagen nach § 22 EnFG (Umlageerhebung bei elektrisch angetriebenen Wärmepumpen), um einen Beitrag zur Dekarbonisierung und zur Sektoren-Integration zu leisten.⁶⁰ Die einzige Voraussetzung ist, dass die betreffende Wärmepumpe über einen eigenen Zählpunkt mit dem Netz verbunden ist. Diese Regelung sollte auf P2H-Anlagen – insbesondere in Kombination mit Wärmespeichern – erweitert werden, da sie dem gleichen Ziel dienen. Zu beachten ist jedoch, dass hierfür ggf. eine beihilferechtliche Genehmigung erforderlich wäre. Dies hängt von der aktuell hinsichtlich das KWKG beim Europäischen Gerichtshof (EuGH) anhängigen Rechtsfrage ab, ob es sich bei den von den Netzbetreibern als Umlage erhobenen Mitteln um staatliche Mittel handelt und damit ob sowohl die Förderung als auch die Privilegierungstatbestände als Beihilfe einzuordnen sind (so die Lesart der Europäischen Kommission; anders das Gericht der Europäischen Union (EuG) in seinem KWKG-Urteil vom 24.01.2024, Rs. T-409/21).

Neben den Netzentgelten ist auch die Stromsteuer ein Strompreisbestandteil, der die Betriebskosten von elektrischen Wärmeerzeugern und damit verbundenen -speichern erhöht. Die Höhe dieser Steuer beträgt nach § 3 StromStG 2,05 ct/kWh.⁶¹ Mit dem Strompreispaket⁶² wurde der reguläre Steuersatz nun für alle Unternehmen des produzierenden Gewerbes ab dem 01.01.2024 um 2 ct/kWh auf 0,05 ct/kWh gesenkt und zugleich die Anforderungen abgesenkt, sodass die Entlastung von einer größeren Zahl von Unternehmen in Anspruch genommen werden kann (vgl. § 9b Abs. 2a StromStG). Diese Entlastung ist zunächst befristet bis zum 31.12.2025, soll aber auch darüber hinaus verlängert werden. Für den in Wärmeerzeugern und speichern eingesetzten Strom kommt damit eine Inanspruchnahme der Entlastung nach § 9b Abs. 2a StromStG in Betracht, sofern es sich bei dem Betreiber um ein produzierendes Unternehmen handelt. Auch darüberhinausgehende Begünstigungen für den in Wärmepumpen eingesetzten Strom sind denkbar, die konkrete Ausgestaltung bedarf aber einer vertieften Prüfung. Dies wäre ein weiterer Beitrag zur Senkung der Betriebskosten.⁶³

Neben dauerhaften Anreizen für eine flexible Nutzung von erneuerbarem Strom sowie einer stärkeren Nutzung von Strom in den drei Anwendungsbereichen über den Wegfall bestehender Preisbestandteile kann auch insbesondere im kommunalen und industriellen Kontext die Absicherung über langfristige Stromlieferverträge die ökonomische Planungssicherheit für den Einsatz von strombetriebenen

⁵⁹ Memorandum (2023): Zeitvariable Verteilnetzentgelte. Eine ökonomische Perspektive auf die deutsche Netzentgeltsystematik. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22-300/Stellungnahmen_zweite_Konsultation/LichtBlick%20SE%20und%20Neon%20Neue%20Energie%C3%B6konomik%20Memo.pdf?__blob=publicationFile&v=1. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶⁰ Gesetzentwurf der Bundesregierung (2022): Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiterer Maßnahmen im Stromsektor. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/016/2001630.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶¹ Stromsteuergesetz (StromStG) § 3 Steuertarif. https://www.gesetze-im-internet.de/stromstg/_3.html. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶² Bundesregierung (2023): Strompreispaket für produzierende Unternehmen – Bundesregierung entlastet stromintensive Unternehmen. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/strompreispaket-fuer-produzierende-unternehmen-bundesregierung-entlastet-stromintensive-unternehmen-2235602>. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶³ HIC Bericht (unveröffentlicht), Agora Energiewende (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. https://static.agora-energiwende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_DE_Large_Scale_Heatpumps/A-EW_293_Rollout_Grosswaermepumpen_WEB.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

Wärmeerzeugern und -speichern erhöht werden. Dabei kann die Absicherung entsprechender Verträge (Power Purchase Agreements) über staatliche Ausfallgarantien die Attraktivität im Markt erhöhen. Nicht zuletzt fordert auch die europäische Strommarktrichtlinie (Electricity Market Directive, EMD) die Prüfung entsprechender Instrumente von den Mitgliedsstaaten.

Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation von Wärmespeichern ist die Einführung von **Flexibilitätsmärkten**. Darunter versteht man zusammenfassend Modelle, bei denen der Verteilnetzbetreiber (VNB) als Single-Buyer Flexibilität von Anschlussnehmern in seinem Netz kontrahiert. Primär kommen hierfür Batterie-Betreiber und Anbieter von Lastflexibilität in Frage.⁶⁴ Auf diese Weise kann der VNB – in Analogie zu Redispatch-Maßnahmen oder Regelleistungsabrufen auf der Übertragungsnetzebene – durch eine direkte Steuerung der kontrahierten Anlagen in den Netzbetrieb eingreifen, um Netzengpass-Situationen zu überwinden. Dies stellt neue Verdienstmöglichkeiten für die Anlagenbetreiber dar. Gegenwärtig wird die Einführung solcher Märkte in der „Plattform klimaneutrales Stromsystem“ (PKNS) diskutiert.⁶⁵

In engem Zusammenhang dazu steht die Herausforderung, dass die Nutzung fossiler Energien immer noch sehr günstig ist. Dadurch können diese günstige, flexible Wärme bereitstellen und machen den Einsatz von Wärmespeichern weniger attraktiv. Ein **hoher CO₂-Preis** (z.B. durch Ansetzen der systemischen Folgekosten von CO₂-Emissionen) sowie der **Abbau von direkten und indirekten Subventionen von fossilen Energieträgern** könnten dem entgegenwirken.

Eine weitere Stellschraube ist die perspektivische Kennzeichnung von grünen Energieträgern (also Herkunfts nachweisen) insbesondere in Wärmenetzen und der Industrie. So werden Anreize für die Nutzung von grünem Strom sowie grüner Wärme gesetzt. Mit Blick auf die Speicherung sollte in diesem Kontext weiterhin sichergestellt werden, dass eingespeicherte Wärmemengen nicht ihre grüne Eigenschaft verlieren.

Förderung ist insbesondere dort notwendig, wo die **Praxiserfahrung mit Wärmespeichersystemen** fehlt. Dies ist vor allem bei der Anwendung von Groß- bzw. Hochtemperaturwärmespeichern in Wärmenetzen sowie im Bereich Industrie und GHD der Fall. Speichertechnologien in Gebäuden sind hingegen erprobt, hier fehlt es in der Regel nicht an der systemischen Praxiserfahrung mit der Technik an sich⁶⁶, sondern an deren Nutzung in Kombination mit Power-to-Heat im systemdienlichen Einsatz. Verstärkte Förderung und Umsetzung kann entscheidend dazu beitragen, Unsicherheiten zu verringern, Know-How bei Planenden, Behörden und Speicherbetreibern aufzubauen sowie repräsentative und anschauliche Referenzsysteme in den Markt zu bringen. Ein Ansatz, der in diesem Zusammenhang verfolgt werden könnte, ist die Förderung großskaliger Pilotprojekte (z.B. als Reallabore). Förderprogramme sollten weiterhin so ausgestaltet werden, dass das gesamte System aus erneuerbarer Wärmeerzeugung und lokaler Steuerung und Wärmetransport gefördert wird.

⁶⁴ vgl. hierzu die Publikationen der dena Initiative Netflex:

<https://www.dena.de/projekte/projekte/projektarchiv/initiative-netflex/#:~:text=Die%20Initiative%20Netflex%20hat%20das,Katalog%20f%C3%BCr%20regulatorische%20Sofortma%C3%9Fnahmen%20entwickelt>. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶⁵ vgl. BMWK (2024): Bericht über die Arbeit der Plattform Klimaneutrales Stromsystem (PKNS). Kap. 3.2.

https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/Integrierter-gesamtbericht-ueber-die-arbeit-der-pkns.pdf?__blob=publicationFile&v=4. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶⁶ Der Fokus der Förderung im Gebäudebereich sollte auch weiter auf der Sanierung der Gebäudehülle und der Reduktion des Energieverbrauchs im Gebäudebestand liegen.

Beratung und Information sollten einen besonderen Fokus auf die Vermittlung von Wissen und Erfahrungen legen. Besonders wichtig ist hier die Zielgruppe der Planenden und Energieberatenden, aber auch Finanzinstitute und Unternehmen sowie die zuständigen Behörden sollten dringend adressiert werden. Sie benötigen Informationen über das Dekarbonisierungspotenzial und die Wirtschaftlichkeit von Speichern. Mögliche Maßnahmen umfassen Konferenzen und Veranstaltungen, Erstellung von Lernvideos bzw. entsprechende Schulungskonzepte sowie die Besichtigung und Verbreitung von Leuchtturmprojekten.

2.2.1 Wärmespeicher in Gebäuden

Ein wichtiges **regulatorisches Handlungsfeld**, um einen netzdienlichen und damit auch wirtschaftlichen Einsatz von Speichern in Gebäuden zu ermöglichen, ist eine klarere Regulierung, um externe Speichersteuerung über ein Smart-Meter-Gateway zu ermöglichen. Dies ist eine Voraussetzung etwa für die Teilnahme an Flexibilitätsmärkten. Eingriffe in die Privatsphäre zur externen Steuerung von privaten Verbrauchern werden bereits in Projekten und Feldtests adressiert, so z.B. im Projekt unit-é im Bereich E-Mobilität⁶⁷. Ein weiteres Beispiel sind Aggregatoren wie Energie-Dock, die die Flexibilität von Haushaltskunden für die Nutzung durch Netzbetreiber vermarkten.⁶⁸ Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die nachgerüstete Regelungssysteme einen optimalen Nutzen für die Bewohnenden und das Gesamtsystem gewährleisten. Dienen sie beispielsweise der Nutzbarmachung der Gebäudehülle ist darauf zu achten, dass sie zunächst eine Befüllung der Pufferspeicher und Trinkwarmwasserspeicher veranlassen und erst im Anschluss daran die Raumtemperatur erhöht wird, da die Möglichkeiten der Steuerung zur Wärmeabgabe durch die Gebäudemasse eingeschränkt sind. Es muss sichergestellt werden, dass der im MsB G 2023 durch das BMWK aktualisierte Rolloutplan auch eingehalten wird. Nur so ist die digitale Infrastruktur ausreichend vorhanden, um das Potenzial von dezentralen Wärmespeichern in Gebäuden für die Stromnetze nutzbar zu machen. Hersteller von Wärmepumpen müssen zudem weiter an offenen und kompatiblen Schnittstellen arbeiten, welche eine digitale Ansteuerung des Heizungssystems von externen Signalen ermöglicht.

Der Bedarf an weiterer **Förderung** für Speichersysteme wird im Gebäudebereich insgesamt nicht gesehen. So stehen mit der Bundesförderung effiziente Gebäude (BEG) bereits gute Fördermöglichkeiten zur Verfügung. Es wird auch weiterhin empfohlen, wie bestehend, Förderungen auf das gesamte Heizungssystem zu beziehen und Wärmespeicher nicht einzeln zu fördern. Die Förderung berücksichtigt bereits die Umsetzung notwendiger elektronischer Systeme zur Betriebsoptimierung, Steigerung der Energieeffizienz und zur Verbesserung der Netzdienlichkeit geförderter heizungstechnischer Anlagen.⁶⁹ Darüber hinaus müssen förderfähige Wärmepumpen über Schnittstellen verfügen, über die sie automatisiert netzdienlich aktiviert und betrieben werden können (z. B. anhand der Standards „SG

⁶⁷ Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE): unIT-e² – Reallabor für verNETZte E-Mobilität <https://www.ffe.de/projekte/unite2/#:~:text=Das%20Projekt%20legt%20als%20Reallabor%20einen#:~:text=Das%20Projekt%20legt%20als%20Reallabor%20einen>. Zugriff am: 25.07.2024.

⁶⁸ Vgl. Energiedock: https://www.energiedock.de/?da_image=nemo-spot. Zugriff am: 29.7.2024.

⁶⁹ Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen – Sanieren (2024): BAFA - Energie - Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen – Sanieren (relevant 4.2 Weitere förderfähige Maßnahmen, insb. 4.2.2 Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), Gebäudeautomation, Energiemanagementsystem). Zugriff am: 25.07.2024.

Ready“ oder „VHP Ready“).⁷⁰ Beides sind die Grundvoraussetzungen für den systemdienlichen Einsatz der Wärmespeicher. Insgesamt bleiben die Optimierung der Dämmung der Gebäudehülle und die Einbindung klimaneutraler Wärmequellen zentrale Ansätze für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors und die Entlastung der Stromnetze bzw. -erzeugung.

Es bestehen, speziell von Anbietern von PV-Systemen mit Stromspeichern, bereits technische Lösungen, welche z.B. einen Strommarkt-orientierten Betrieb ganzer Gebäude-Versorgungssysteme ermöglichen. Hier soll nach Angaben der Anbieter zudem eine spätere Einbindung von Wärmespeichern mit Wärmepumpen oder Heizstab möglich sein. Dieser Markt ist bisher allerdings klein und wenig durchschaubar, da z.B. keine einheitliche Zertifizierung der Systeme und ihrer Fähigkeiten besteht. Zwar sind PV-Speicher-Systeme mit diesen Steuerungen bereits verbaut, konkrete Zahlen hierzu und dazu, in wie vielen zusätzlich die Flexibilitäten von Wärmespeichern genutzt werden, liegen nach Wissen der Gutachterinnen und Gutachter jedoch nicht vor.

Im Gebäudebereich sollte der Schwerpunkt auch weiterhin auf **Beratung und Information** gelegt werden, die vor allem zwei Ziele verfolgen sollten: Die Aufbereitung und Weitergabe von Informationen sowie Vereinfachung eines Zugangs zu insgesamt guten und nachhaltigen Wärmeversorgungslösungen inklusive adäquater Beratung zu Speicherlösungen, beispielsweise durch die Etablierung eines „One-Stop-Shops“ oder die gezielte und fachlich fundierte Informationsbereitstellung durch neutrale Beratungsstellen wie die Verbraucherzentralen und als Multiplikatoren essenzielle Gebäudeeigentümerverbände, wie z.B. Haus und Grund. Dies ermöglicht den Planungsprozess aus einer Hand. Voraussetzung dafür ist, dass bei Energieberatern und Installationsunternehmen entsprechende Informationen zur Verfügung stehen und ein Aufbau der Expertise erfolgt. Sachliche Informationen können Sorgen zum Behaglichkeitsverlust und mangelnde Akzeptanz bei einer externen Speichersteuerung adressieren, auf Unterschiede bestehender technische Lösungen zum systemgestützten Einsatz von Wärmepumpen und -speichern hinweisen und wirtschaftliche sowie ökologische Vorteile aufzeigen. Der Einbau von Regelungstechnik mit Berücksichtigung der Behaglichkeitsgrenzen nach DIN EN 15251 mit der Möglichkeit der individuellen Steuerung kann die Bereitschaft zum Einsatz dieser Lösungen erhöhen. Im Gebäudebereich lässt sich die Flächenverfügbarkeit im Bestand nur eingeschränkt verbessern, da hierfür möglicherweise eine Umgestaltung der Versorgungsräume notwendig wäre. In einigen Fällen ist es aber möglich, bei einem Heizungswechsel die alten Aufstellungsflächen von Öl- und Gastanks für den Bau eines Pufferspeichers zu nutzen. Aus diesem Grund ist die Forschung an Energieversorgungs- und Speichersystemen mit hohen Speicherdichten und niedrigem Platzbedarf eine weitere Maßnahme, die technische Hürden reduzieren kann.

2.2.2 Speicher in Wärmenetzen

Im Gegensatz zum Gebäudebereich existiert im Kontext von Wärmenetzen eine Vielzahl an **regulatorischen Ansätzen**, die das Umfeld für den Ausbau und die Nutzung von Speichern verbessern würden. Wie bereits dargelegt, stellt die Umgestaltung der Stromtarife einen entscheidenden Hebel für die Wirtschaftlichkeit dar und erhöht die Erlösmöglichkeiten. Dies sollte derart gestaltet werden, dass

⁷⁰ Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) (2022): Abschnitt 3.4.3 Netzdienlichkeit.

https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html#:~:text=Mit%20der%20Bundesf%C3%BCrderung%20f%C3%BCr%20effiziente. Zugriff am: 25.07.2024.

netzdienliches Verhalten honoriert wird. Konkrete Maßnahmen können eine Befreiung oder Reduktion von Netzentgelten unter bestimmten Voraussetzungen sowie eine Begünstigung im Rahmen der Stromsteuer umfassen. Auch eine Befreiung von weiteren Power-to-Heat-Anlagen von Offshore-Netz- und KWKG-Umlage, wie sie bereits für Wärmepumpen umgesetzt ist, kann die Wirtschaftlichkeit von Speichern verbessern. Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt ist die Erhöhung von Dekarbonisierungsanstrengungen im Wärmebereich. Fossile Systeme kommen in der Regel ohne den Einsatz von Speichern aus bzw. verfügen durch den Einsatz von Tankspeichern in Verbindung mit KWK-Anlagen bereits jetzt über wirtschaftliche Einsatzfelder. Der Ausbau erneuerbarer Energien in Wärmenetzen schafft erhöhten Bedarf an saisonalen Wärmespeichern mit entsprechenden Anreizen.

Alternative Finanzierungskonzepte und Absicherungsmöglichkeiten wie kommunale Bankbürgschaften können – wie bereits in Dänemark erfolgreich umgesetzt – zur Erzielung niedriger Zinssätze für Fremdkapital genutzt werden. Der Einsatz von Mezzanine-Kapital, das über staatlichem Beteiligungsgegesellschaften bereitgestellt würde, ist eine weitere Möglichkeit, die Finanzierungsbedingungen zu verbessern.⁷¹

Für den Bau von Aquiferspeichern (ATES) fehlen bislang vielfach noch geologische Informationen. Das Geodatenzugangsgesetz, welches die Sammlung von Geologiedaten regelt, müsste um eine Freigabe der entsprechenden Bewertungsdaten ergänzt werden. Bei Aquifer-Speicher-Projekten (ATES) ist darüber hinaus eine Absicherung des Fündigkeitsrisikos notwendig. Die Fündigkeitsversicherung für Geothermie, die im nächsten Jahr anlaufen soll, sollte deshalb in einem zweiten Schritt auch auf ATES ausgeweitet werden.

Ein weiterer essenzieller Aspekt betrifft die Auslegung und Anwendung bestehender Regulierung. Eine weite Auslegung der nach § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB privilegierten Vorhaben zur öffentlichen Wärmeversorgung kann dazu führen, dass die Aufstellung eines (vorhabenbezogenen) Bebauungsplans für Wärmespeicher nicht mehr erforderlich ist. Auch sollte sichergestellt werden, dass das in § 2 Abs. 3 WPG für den Wärmebereich erstmalig statuierte „überragende öffentliche Interesse“ bei der Schutzwertabwägung im realen Verwaltungshandeln auch beim Thema Wärmespeicher Eingang findet (vgl. dazu auch Abschnitt 2.3.4, insbesondere Referentenentwurf GeoWG). Zur künftigen Verfahrenserleichterung wäre es zudem denkbar, die Pflichten zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung auf das unionsrechtlich vorgegebene Maß zu reduzieren. Hierzu gehört z.B. die Möglichkeit, eine standortbezogenen Vorprüfung nach § 7 Abs. 2 UVPG entfallen zu lassen, sofern es sich um künstliche Wasserspeicher handelt, die dem Ziel einer klimaneutralen Wärmeversorgung (überragendes öffentliches Interesse) dienen.

Eine **Förderung** von Wärmespeichern in Fernwärmenetzen sollte vor dem Hintergrund erfolgen, dass eine ausreichende Marktreife und -durchdringung noch nicht erreicht sind. Folglich sollte die Förderung insbesondere zu einer Skalierung und Verbreitung von Wärmespeichern am Markt beitragen. Es ist dabei zu beachten, dass die Förderung ein klares Dekarbonisierungsziel verfolgt und stets das Gesamtsystem Wärmenetz im Blick hat. Dies könnte beispielsweise über ein Sonderprogramm zu großskaligen Reallaboren erfolgen. Ein auf erneuerbaren Energien basierendes Wärmesystem kann nur mit adäquaten Speichern sinnvoll umgesetzt werden. Um die Schwierigkeit hoher Anfangsinvestitionen zu adressieren, sind neben einer Erhöhung der bestehenden Förderung (beispielsweise investive

⁷¹ vgl. dena (2024): Eigenkapitalähnliche Hybridinstrumente. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Eigenkapitalaehnliche_Hybridinstrumente.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

Förderung nach KWKG oder BEW, bzw. Förderung der vorangehenden Planung im Rahmen von Machbarkeitsstudien nach BEW) auch Modelle mit vergünstigten Krediten oder eine Förderung von Investitionen, die in Abhängigkeit der erzielten Kosteneinsparungen durch den Speicher zurückgezahlt werden, denkbar. Auch öffentliche Bürgschaften, die wie in Dänemark Zugang zu Kapital mit niedrigen Zinsen ermöglichen, stellen eine vielversprechende Option dar. Hinsichtlich saisonaler Speicher besteht in Zukunft – bei Umsetzung der empfohlenen Anpassungen – nur in manchen Fällen ein Bedarf an Förderung der Betriebskosten. Sollte eine Wärmepumpe für die Nacherhitzung zur Einspeisung in das Wärmenetz nötig sein, ist eine Förderung der Kosten für den Betrieb der Wärmepumpen notwendig. Dies sollte jedoch nur unter der Bedingung erfolgen, dass zuvor ausschließlich emissionsfreie Wärme in den Wärmespeicher eingespeichert wurde.

Beratung und Information können insbesondere Schwierigkeiten im Planungs- und Genehmigungsprozess aufgreifen, indem Leitfäden (beispielsweise für die Erstabschätzung der Sinnhaftigkeit von Großwärmespeichern, ergänzt durch einen Technikleitfaden für verschiedene Speichertechnologien oder zur Erläuterung von Genehmigungsverfahren) und Erklär-Material entwickelt sowie die Erfahrungen aus Leuchtturmprojekten verbreitet werden. Dies leistet einen Beitrag zur Vereinheitlichung von Planungsgrundlagen und Standards. Solche Leitfäden sollten durch ein Konsortium entwickelt werden, welches Forschung und Industrieverbände mit einbezieht. Auftraggeber sollte hierbei das BMWK sein (ähnlich wie beim Leitfaden zur kommunalen Wärmeplanung). Ein Bund-Länder-Arbeitsgremium könnte für klare Verfahrensweisen innerhalb des föderal geprägten Umfelds sorgen (z.B. für die Raumplanung mit unterschiedlichen Ansätzen auf Bund, Länder, Kommunaler Ebene). Das gilt gerade für Großwärmespeicher mit den Hemmnissen im Wasser- und Bergrecht.⁷² Vorbild hierfür könnte die Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) sein, um ein fachübergreifendes Denken und abgestimmtes methodisches Arbeiten zu optimieren. Es sollte auch eine sektorübergreifende Planung und Ermittlung zukünftiger strategischer Standorte oder Eignungsgebiete für Wärmespeicher im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung durchgeführt werden. Dies kann auch dazu beitragen, Konflikte um verfügbare Flächen zu entschärfen.

2.2.3 Wärmespeicher in der Industrie sowie in Gewerbe Handel, Dienstleistungen

Die Bereiche Industrie sowie GHD zeichnen sich durch sehr unterschiedliche Wärmebedarfe aus. Dort, wo Industrie und GHD in ihrer Wärmenutzung mit den Gebäuden vergleichbar sind, finden die in Teil 2.2.2 dargestellten Hinweise zu großen Teilen Anwendung. Für andere Anwendungen wurden folgende Handlungsfelder identifiziert:

Zentraler Ansatzpunkt für **regulatorische Anpassungen** zur Erleichterung des Einsatzes von Speichern in der Industrie ist, ähnlich wie bei den Wärmenetzen, eine Anpassung von Netzentgelten, Umlagen und Steuern, um die Nutzung von Überschussstrom wirtschaftlicher zu machen.⁷³ Eine Verteuerung fossiler Energieträger beispielsweise durch einen steigenden CO₂-Preis würde die Wirtschaftlichkeit von Strom und grünen Gasen und daran gekoppelten Speicherlösungen verbessern. Wichtig ist

⁷² HIC Studie (unveröffentlicht), S. 37.

⁷³ Notwendig wäre dafür eine Anpassung von EEG und StromNEV, um den netzdienlichen Einsatz anzureizen. Eine Befreiung der Abwärmeverstromung, also der Nutzung von Speichern zur Verstetigung der Abwärme, von Steuern und Umlagen wäre eine gute Ergänzung.

außerdem die Entwicklung weiterer Geschäftsmodelle als ergänzende Finanzierungs- und Marktinstrumente unter Umständen auch mit staatlicher Unterstützung (wie spezielle Strom-PPAs zur Schaffung von Preissicherheit für elektrische Wärmeerzeuger in Kombination mit Wärmespeichern). Contracting-Modelle können das Risiko der langen Amortisationszeiten der Investitionen von den Industriebetrieben auf andere Akteure verlagern, welche diese eher akzeptieren. Neben der regulatorischen Verbesserung des finanziellen Umfelds ist, je nach Speichermedium, auch eine Anpassung der Gefahrstoffgrenzwerte zu prüfen. Beispielsweise sind die geltenden Gefahrstoffgrenzwerte der 12. BlmSchV für Kaliumnitrat (Dünger), die auf die eingesetzten Salze zur thermischen Speicherung ausgeweitet werden sollten, eine Möglichkeit, um die regulatorischen Hemmnisse im Prozesswärmebereich zu reduzieren.

Die Einführung einer Pflicht für die Industrie zur Ausweisung von internen (netzdienlichen) Potenzialen, insb. der Möglichkeiten durch Wärmespeicher, macht Einsparungs- und Dekarbonisierungspotenziale transparent und trägt so zur Etablierung von Speicherlösungen in der Praxis bei.

An dieser Stelle ist nochmals auf die Empfehlung zu verweisen, die StromNEV mit dem Ziel zu ändern, dass die Bereitstellung netz- und systemdienlicher Flexibilitätspotenziale keinen schädlichen Einfluss auf die Gewährung eines individuellen Netzentgelts hat (vgl. Abschnitt 2.1.1). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die BNetzA hierzu einen Reformvorschlag entwickelt hat und dieser während der Finalisierung dieses Gutachtens in die Konsultation geht. Diese Änderungen sind von der BNetzA und der Bundesregierung umzusetzen. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Leistungsspitzen, die aufgrund von Systemdienstleistungen entstehen, sollten bei der Ermittlung des Leistungspreises grundsätzlich unberücksichtigt bleiben, um zu vermeiden, dass Verbraucher, die netz- oder systemdienlich handeln, höhere allgemeine Netzentgelte entrichten müssen. Dazu sollten erbrachte Lastspitzen (und auch negative Lastausschläge), die während der dokumentierten Erbringung von Systemdienstleistungen entstanden sind, bei der Berechnung der Jahreshöchstlast und der Benutzungsstundenzahl „herausradiert“ werden.
- Wegen des Kostenverursacherprinzips (§ 21 Abs. 1 EnWG) muss definiert werden, welches Verbrauchsverhalten netzdienliche oder netzstabilisierende Wirkung entfaltet, um zum einen das Anrecht auf die Berechnung eines individuellen Netzentgelts und zum anderen die diesbezügliche Unschädlichkeit überlagerter Flexibilität zu rechtfertigen.
- Europarechtliche Vorgaben, insbesondere Art. 107 ff. AEUV, sind einzuhalten.⁷⁴

Ähnlich wie bei den Speichern in Wärmenetzen ist für Industrieanwendungen die **Förderung** von Pilotprojekten ein wichtiger Ansatz, der die Marktreife und -durchdringung sowie die Akzeptanz im Anwendungsbereich relevant beschleunigen kann. Die geförderten Projekte sollten dabei verschiedene Schlüsselindustrien umfassen und regional verteilt sein. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Erkenntnisse breit, zumindest über Branchenverbände, kommuniziert werden und idealerweise auch, z.B. zweimal jährlich, Begehungen durch Interessierte erfolgen können.

⁷⁴ Das Kopernikus-Projekt SynErgie (2021): Positionspapier zu regulatorischen Änderungen (synergie-projekt.de). <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/SynErgie-Positionspapier-Regulatorische-Rahmenbedingungen.pdf>, S. 4 f. Zugriff am: 25.07.2024.

Ein weiterer Ansatzpunkt zum Aufbau eines entsprechenden Marktes ist die Förderung und das Anreizen von Potenzialstudien für spezielle Anwendungen in einzelnen Industrieprozessen, wie beispielsweise prozessbasiert in der Lebensmittelindustrie oder in Querschnittsanwendungen wie der Dampfbereitstellung. Flankierend muss die vorgelagerten Wertschöpfungskette gestärkt werden. Beides dient dem Wissensaufbau und unterstützt die Entwicklung in Deutschland. Ein Beispiel dafür ist die Klimaschutzoffensive der KfW, die auf der EU-Taxonomie beruht.

Die Bundesförderung Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (EEW) umfasst bereits Wärmespeicher und fördert diese mit dem Ziel der absoluten Emissionseinsparung. Dieser vielversprechende und systemische Ansatz sollte ausgeweitet werden und könnte beispielsweise um einen Mechanismus einer anschließenden, sukzessiven Abzahlung der Fördersumme über die jährlichen Einsparungen durch den Einsatz des Speichers ergänzt werden. Zusätzlich ist aufgrund der geringen Marktreife einiger Speichermaterialien noch Forschungsförderung notwendig. Damit können technische Schwierigkeiten, wie die Verbesserung der Zyklenzahl aber auch Schwierigkeiten mit der Materialerosion, adressiert werden. Hierbei sollte allerdings klar geprüft werden, ob die Förderung zielgerichtet erfolgt, sodass eine Konzentration auf Materialien und Institute besteht, welche an Materialien arbeiten, die in der Geschwindigkeit marktreif werden, dass ihre Anwendung die Erreichung des Ziels der Klimaneutralität im Jahr 2045 unterstützt. Ein höherer Digitalisierungsgrad in der Industrie und der Wärmespeichersysteme kann deren Einsatz vorantreiben. Dadurch können z.B. bessere Datengrundlagen zu Effizienzpotenzialen für die Prognose von Kosteneinsparpotenzialen oder effizientere Auslegung der Speicher gewonnen werden. Zudem ist eine digitale Steuer- und Regelungstechnik für einen effizienten Betrieb unerlässlich. Eine Möglichkeit wäre, das Kompetenzzentrum Energieeffizienz durch Digitalisierung (KEDi) zu nutzen, um entsprechende Informationen für KMU bereitzustellen.

Mindestens ebenso wichtig wie die punktuelle Förderung sind bei Wärmespeichern in der Industrie (und generell Dekarbonisierungsinvestitionen) staatliche Finanzierungsinstrumente. Dazu zählen Förderkredite, aber auch neuartige Ansätze wie die Bereitstellung von staatlichem Mezzanine-Kapital.⁷⁵ Durch eine staatliche Beteiligung an Unternehmen in der Transformation mit stimmrechtlosem Eigenkapital werden die Kreditkonditionen für die notwendigen Investitionen deutlich verbessert.

Zur **Beratung und Information** in der Industrie gehört, ähnlich wie in den anderen beiden Wärmeanwendungsbereichen, eine Verbreiterung des Wissens. Potenzialstudien und niedrigschwellig aufbereitete Anwendungsbeispiele für einzelne Anwendungen verbreiten das Wissen, indem sie erfolgreich umsetzbare Einsatzbereiche aufzeigen. Diese Informationen könnten durch Konferenzen, Veranstaltungen, Schulungen, Dienstleister und online verfügbare Lernvideos weiter in die Breite getragen werden. Eine zentrale Rolle spielen hier die Branchenverbände als Beratungs- und Vernetzungsinstitutionen. Hierbei sollten sich auch Informationen in der geeigneten Detailtiefe an Finanzinstitutionen richten. Zudem sollten zentrale Informationen auch über Initiativen der Wirtschaft verbreitet werden (z.B. Initiative für Energieeffizienz und Klimaschutznetzwerke (IEEKN) und die Klimaschutzunternehmen e.V.).

⁷⁵ vgl. dena (2024): Eigenkapitalähnliche Hybridinstrumente. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Eigenkapitalaehnliche_Hybridinstrumente.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

2.3 Empfehlungen und strategische Einordnung

In diesem Abschnitt werden die Empfehlungen des Gutachtens textlich und tabellarisch zusammenfassend dargestellt (vgl. Tabelle 4Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Der Fokus liegt dabei auf Handlungsfeldern des Bundes, ergänzt durch Hinweise auf mögliche Aktivitäten anderer föderaler Ebenen. Zu Beginn werden kurz die zentralen Argumente aus den ersten beiden Abschnitten zusammengefasst, sie begründen die Empfehlungen. Darauffolgend ist der Text dann nach Handlungsfeldern strukturiert. Ein abschließender Teil geht auf die vorgeschlagene Priorisierung und die strategische Einordnung der Vorschläge ein.

2.3.1 Herangehensweise & Bewertungskriterien

Leitend für die nachfolgenden Empfehlungen ist die Erkenntnis, dass gegenwärtig Hemmnisse bestehen, die den Einsatz von Wärmespeichern zur Unterstützung der Energiewende bremsen. Einige Hemmnisse werden allein durch marktwirtschaftliche Anreize abgebaut: Die zu erwartende Zunahme der Strompreisschwankungen in einem von fluktuierenden erneuerbaren Energien dominierten Stromsystem wird die Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern in Verbindung mit strombasierter Wärmeerzeugung (inkl. Wärmepumpen) im Großhandelsmarkt erhöhen. In anderen Fällen ist dagegen der Marktzugang erschwert, netzdienliche Flexibilität wird nicht ausreichend vergütet oder hohe betriebswirtschaftliche Risiken verhindern systemisch vorteilhafte Investitionen. In diesen Fällen ist staatliches Handeln sinnvoll. Dabei erscheinen Maßnahmen umso relevanter und effektiver, wenn sie folgende Kriterien beinhalten:

- Volkswirtschaftliche Kosteneffizienz
- Systemische Wirkung
- Effektivität bei der Erreichung der Dekarbonisierung
- Aufbau von Wissen
- Bezahlbarkeit der Wärmeversorgung

Das Kriterium der **volkswirtschaftliche Kosteneffizienz** kann Staatseingriffe überall dort rechtfertigen, wo betriebswirtschaftliche Anreize nicht ausreichen, um notwendige oder sinnvolle Investitionen zu tätigen. Ein Beispiel stellt die Forschungs- und Innovationsförderung dar: Da ein Unternehmen die Gewinne aus Forschungsergebnissen in der Regel nicht vollständig vereinnahmen kann, ist mit Unterinvestitionen zu rechnen. Entsprechend sollte der Staat sich hier mit Fördermaßnahmen engagieren. Ein weiteres Beispiel stellt die staatliche Absicherung hoher Investitionsrisiken dar, wie sie etwa im Zusammenhang von Tiefenbohrungen für Aquiferspeicher auftreten.

Unter das zweite Kriterium, die **systemische Wirkung**, fallen die Empfehlungen zum Speichereinsatz im Dienst der Sektoren-Integration: Regulatorisch muss ein Strommarktdesign umgesetzt werden, dass die netzdienliche Nutzung erneuerbaren Stroms belohnt. Dies trägt zur Funktionalität des Stromsystems bei, senkt die volkswirtschaftlichen Transformationskosten und leistet darüber hinaus auch einen Beitrag zur Bezahlbarkeit der Wärme sowohl für die Haushalte als auch für die industrielle und gewerbliche Nutzung. Konkret geht es etwa um die Nutzbarmachung der Lastflexibilität einer Wärmepumpe durch den Einsatz eines Wärmespeichers, die aber aus betriebswirtschaftlicher Sicht flexible Stromtarife voraussetzt oder alternativ eine Vermarktung in einem Flexibilitätsmarkt.

Unter das dritte Kriterium der **Effektivität bei der Erreichung der Dekarbonisierung** fallen Empfehlungen zur Stärkung einer Energiebereitstellung, die technisch bedingt einen Wärmespeicher erfordert. Ein Beispiel hierfür stellen solarthermische Anlagen zur Wärmeerzeugung dar. Aufgrund der Fluktuationen der Erzeugung ist ein Wärmespeicher erforderlich, um eine stetige Wärmebereitstellung zu gewährleisten, d.h. ohne den Speicher ist die klimaneutrale Technologie nicht volumnäiglich einsetzbar. Dies rechtfertigt eine Förderung des Speichers als Teil der Gesamtanlage. Auch die Überwindung planungsrechtlicher Hemmnisse fällt unter dieses Kriterium.

Der **Aufbau von Wissen** stellt ein wichtiges Kriterium dar, da bislang noch nicht ausreichend Informationen über den Einsatz von Wärmespeichern in der Breite verfügbar sind. Um den tatsächlichen Einsatz von Speichern in allen sinnvollen Anwendungsbereichen zu ermöglichen, muss bei Behörden, Kommunen, Branchenvertretern und Anwendenden ein Wissensaufbau gewährleistet werden, um über die Chancen aber auch Grenzen von Wärmespeichern in den verschiedenen Anwendungsbereichen zu informieren.

Die **Bezahlbarkeit der Transformation** steht im engen Zusammenhang mit der volkswirtschaftlichen Kosteneffizienz, ergänzt sie aber um eine betriebswirtschaftliche Komponente. Die Transformation zu einer nachhaltigen Wärmeversorgung unter dem Einsatz von Wärmespeichern erfordert Finanzierungssysteme und eine Refinanzierung, die eine Bezahlbarkeit in allen Anwendungsbereichen und für alle Marktteilnehmer ermöglicht.

Handlungsbedarf des Staates entsteht also erstens dort, wo regulatorische oder planerische Hemmnisse den systemisch effizienten Einsatz von Wärmespeichern verhindern, und zweitens dort, wo Technologien, die für die Erreichung der klimapolitischen Ziele gebraucht werden, auf den Einsatz von Speichern angewiesen sind, selbst aber noch nicht wirtschaftlich sind.

Im Folgenden werden entlang von drei großen Handlungsfeldern (Regulierung, Förderung und Finanzierung sowie Forschung- und Entwicklung) die Empfehlungen aus diesem Gutachten in den drei Anwendungsfeldern (Gebäude, Fernwärme, Industrie) zusammengefasst. Dabei wirken die einzelnen Maßnahmenvorschläge in einem unterschiedlichen Maße in den zuvor genannten fünf Kriterien oder Dimensionen. Tabelle 5 im Anhang dieses Gutachtens ordnet die einzelnen Instrumente entlang dieser Kriterien ein.

Tabelle 4 Zusammenfassung zentraler Maßnahmenvorschläge

Maßnahme	Ziele / Anschlussfähigkeit an bestehende Aktivitäten	Konkrete Maßnahmenvorschläge
Regulierung		
Stärkung der Sektoren-Integration	Bisherige Ansätze aus EnWG, ENV, Electricity Market Directive (EU-KOM) nutzen	Gestaltung variabler system- und netzdienlicher Stromtarife und Anreizregulierung
<i>in Gebäuden</i>	<p>Pufferspeicher als Flexibilität nutzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pflicht der EVU für Endkunden flexible Tarife anzubieten (<i>kommt voraussichtlich 2025</i>) ▪ Vergünstigung (in Zeiten hohen EE-Anteils) von EE-Strom für Wärmeerzeugung ▪ Projekte zu steuerbaren Verbrauchseinrichtungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weiterentwicklung flexibler Stromtarife mit Blick auf Speicher, ausgehend vom bisherigen Kabinettsbeschluss ▪ Dauerhafte Absenkung der Stromsteuer (perspektivisch auf Mindesthöhe der EU-Energy Tax Directive basierend auf CO₂-Gehalt) ▪ Klare Regelung für Steuerung über Smart Meter Gateway (Umsetzung des Rollout-Plans bis 2032)
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable Netzentgelte, um Systemdienlichkeit anzureizen ▪ Dadurch Flexibilisierung der Wärmeerzeugung stärken ▪ Begünstigung von der Stromsteuer ▪ Umlagebefreiung (variabel in Anlehnung an Netzentgelte) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable Netzentgelte oder Netzentgeltbefreiung für flexible netzdienliche Wärmeerzeuger ▪ Dauerhafte Absenkung der Stromsteuer (perspektivisch auf Mindesthöhe der EU-Energy Tax Directive basierend auf CO₂-Gehalt) ▪ § 13k EnWG (Nutzen statt Abregeln 2.0) ▪ Befreiung von Power-to-Heat Anlagen von Offshore-Netz- und KWKG-Umlage nach § 22 EnFG ▪ Einführung eines Flexibilitätsmarkts (Vermarktungsmöglichkeit)

<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reduzierung von Netzentgelten bei Bereitstellung von Flexibilitäten ▪ Begünstigung von der Stromsteuer ▪ Flexibilisierung der Wärmeerzeugung stärken ▪ Strompreiskompensation anpassen und verlängern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Variable Netzentgelte oder Netzentgeltbefreiung für flexible netzdienliche Wärmeerzeuger ▪ Dauerhafte Absenkung der Stromsteuer (§ 3 und § 9 StromStG) ▪ § 13 K EnWG (Nutzen statt Abregeln 2.0) ▪ Revision § 19 Abs. 3 S. 1,2 StromNEV: Anreize für Flexibilitäten setzen (Verfahren wurde von der Bundesnetzagentur eröffnet) ▪ Befreiung von Power-to-Heat Anlagen von Offshore-Netz- und KWKG-Umlage (vgl. die Befreiung für Wärmepumpen nach § 22 EnFG gilt für alle Netznutzer) ▪ Pflicht zur Ausweisung von internen netzdienlichen Potenzialen insbesondere für Wärmespeicher ▪ Strompreiskompensation verlängern und noch stärker an den Bezug von erneuerbaren Energien via PPA koppeln ▪ Einführung eines Flexibilitätsmarkts (Vermarktungsmöglichkeit)
Klarstellung Energiekennzeichnung für Wärme aus strombetriebenen Erzeugungsanlagen	Qualität von grünem Strom im Wärmesektor sichtbar machen	Prüfung des bisherigen Rechtsrahmens
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klarstellung, unter welchen Prämissen Strom aus erneuerbaren Energien als grün gelten kann 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frage, inwieweit Flexibilität und Eigenerzeugung ohne Nutzung des öffentlichen Netzes neben PPAs ebenfalls berücksichtigt werden soll ▪ Entsprechende Prüfung der Umsetzung des § 16 Gas-Wärme-Kälte-Herkunftsachweisregister-Verordnung (GWKHV): regelt die Ausstellung von Herkunftsachweisen für grüne Wärme auf Basis des § 79 EEG
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Klarstellung, unter welchen Prämissen Strom aus erneuerbaren Energien als grün gelten kann 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frage, inwieweit Flexibilität und Eigenerzeugung ohne Nutzung des öffentlichen Netzes neben PPAs ebenfalls berücksichtigt werden soll

		<ul style="list-style-type: none"> Entsprechende Prüfung der Umsetzung des § 16 Gas-Wärme-Kälte-Herkunftsachsnachweisregister-Verordnung (GWKHV): regelt die Ausstellung von Herkunftsachsnachweisen für grüne Wärme auf Basis des § 79 EEG
CO₂-Preis und Abbau direkter und indirekter fossiler Subventionen	CO₂-Preis für ökonomische Lenkungswirkung nutzen	EU Emission Trading System (ETS) und nationalen CO₂-Preis nutzen, um fossile Energie zu verteuern, fossile Lock-In Effekte vermeiden
<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> Preissignale für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors nutzen und Wärmespeicher als kostengünstige Teillösung erneuerbarer Wärmeversorgung etablieren 	<ul style="list-style-type: none"> Nationaler CO₂-Preis (künftiger EU-ETS II) für Preissignale nutzen
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> Stärkere Nutzung von erneuerbaren Energien 	<ul style="list-style-type: none"> Höherer CO₂-Preis im EU ETS KWK-Mindestanteil in § 22 KWKG für die Förderung von Speichern absenken (analog zur Wärmenetzförderung nach KWKG)
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> Stärkere Nutzung von erneuerbaren Energien 	<ul style="list-style-type: none"> Höherer CO₂-Preis im EU ETS KWK-Mindestanteil in § 22 KWKG für die Förderung von Speichern absenken (analog zur Wärmenetzförderung nach KWKG)
Förderung und Finanzierung		
Kombinierte Förderung für Speicher und Wärmeerzeuger; Förderung der Wertschöpfungsketten	Bestehende Förderprogramme für Markthochlauf nutzen und kohärent weiterentwickeln. Industrielle Wertschöpfung der Speicherbranche stärken.	Speicher als Fördergegenstand sichtbar machen. Aufbau einzelner Technologiecluster industriepolitisch fördern, denn Praxiserfahrung mit Wärmespeichern bislang unzureichend.
<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> Förderprogramme für Wärmespeicher als Teil eines dekarbonisierten Wärmesystems ausreichend 	<ul style="list-style-type: none"> Aufnahme der Flexibilität als komplementäres Förderziel neben der Effizienz/Einsparung Aufbau von Wertschöpfungsketten und Industrieclustern im Bereich Wärmespeicher

<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausweitung bestehender Förderprogramme 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KWKG und BEW: Prüfung einer Erhöhung der maximalen Fördersumme ▪ Förderung von Leuchtturm-Projekten zur Ausweitung der Erfahrungen ▪ Ausweitung auf Machbarkeitsstudien und Exploration ▪ Aufbau von Wertschöpfungsketten und Industrieclustern im Bereich Wärmespeicher
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Markthochlauf und Sichtbarkeit fördern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Förderung von Potenzialstudien für Speicheranwendungen in besonders relevanten Produktionsprozessen (ergänzend zu EEW und Klimaschutzverträgen) ▪ Erhöhung der EEW für Speicher ▪ Förderung von Pilotprojekten ▪ Aufbau von Wertschöpfungsketten und Industrieclustern im Bereich Wärmespeicher
Weitere Markt- und Finanzierungsinstrumente	Komplementäre Instrumente nutzen, um den Einsatz von Wärmespeichern zu optimieren	Definition weiterer zusätzlicher Instrumente und Förderbereiche
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prüfung weiterer komplementärer Instrumente 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prüfung weiterer Instrumente durch die KfW ▪ CfDs als weitere OPEX-Förderung prüfen ▪ Prüfung weiterer Finanzierungsinstrumente, um insbesondere privates Kapital zu aktivieren ▪ Stärkung von Strom-PPAs für elektrische Wärmeerzeuger in Kombination mit Wärmespeichern (EMD fordert u.a. Unterstützung über Risikoabsicherung)
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stärkung von PPAs im Strombereich, um erneuerbare Sektoren-Integration zu stärken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prüfung weiterer Instrumente durch die KfW ▪ Prüfung weiterer Finanzierungsinstrumente, um insbesondere privates Kapital zu aktivieren

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stärkung des Contracting, um hohe Anfangsinvestitionen für die Industrie zu senken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stärkung von Strom-PPAs für elektrische Wärmeerzeuger in Kombination mit Wärmespeichern (EMD fordert u.a. Unterstützung über Risikoabsicherung für PPA im Strommarkt) ▪ Contracting-Modelle für Wärmespeicher stärken, um langen Amortisationszeiten entgegenzuwirken
Risikoabsicherung für ATES	Absicherung des hohen Projektrisikos von Aquiferspeichern	Schaffung eines Instruments, dass spezifische Risiken adressiert
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	Absicherung des technologischen Risikos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risikoabsicherung von Aquiferspeichern (ATES) analog zu einer Absicherung der Geothermie (Umsetzung aktuell über die KfW geplant)
<i>in der Industrie</i>		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risikoabsicherung von Aquiferspeichern (ATES) analog zu einer Absicherung der Geothermie (Umsetzung aktuell über die KfW geplant)
Neue Finanzierungsinstrumente	Stärkung der Kapitalnehmer über unterschiedliche Finanzinstrumente	Zugang zu Fremd- & Mezzanine-Kapital erleichtern
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bürgschaften, um Kapitalkosten für Wärmespeicher zu senken 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kommunale Bankbürgschaften (wie in Dänemark)
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stärkung der Kreditwürdigkeit von Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Risikoabsicherung von PPA-Offtakern ▪ EK-Hybrid-Instrumente um Finanzrating der Unternehmen zu verbessern
Forschung und Entwicklung		
Reallabore	Reallabore für zentrale anwendungsbezogene Fragestellungen nutzen	BMWK-Förderformat Reallabore der Energiewende

Aufbau Praxiserfahrung / Praktische Implementierung		
<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reallabore für ausgewählte Anwendungen und Fragestellungen nutzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trinkwasserspeicher in unterschiedlichen Gebäudetypen testen
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reallabore für ausgewählte Anwendungen und Fragestellungen nutzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reallabore für Großspeicherprojekte initiieren (PTES, BTES, ATES) ▪ Daten für ATES-Potenziale sichtbar machen
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reallabore für ausgewählte Anwendungen und Fragestellungen nutzen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Großkalige Hochtemperaturspeicher in der Industrie, um Potenziale sichtbar zu machen
Gezielte Forschungs-förderung	Stärkung der FuE im Bereich der Wärmespeicher	Marktfähigkeit stärken
<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung neuer Speicherlösungen im Energieforschungsprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forschung für Speichersysteme mit hohen Speicherdichten und geringem Platzbedarf ▪ In vielen Bereichen ist die Datenlage zu Speicherpotenzialen unzureichend, z.B. Puffer- und Trinkwasserspeicher ▪ Integrierte Betrachtung aller Speichertechnologien (Batterien, Wärme, Wasserstoff)
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung neuer Speicherlösungen im Energieforschungsprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der Zyklenzahl für industrielle Speicher ▪ Zukünftige Rolle von unterschiedlichen Wärmespeichern in der Fernwärme (PTES, ATES, TTEES) ▪ Optimierung der Oberflächenabdeckung von PTES ▪ Materialforschung zu günstigeren Speichermaterialien ▪ Integrierte Betrachtung aller Speichertechnologien (Batterien, Wärme, Wasserstoff)
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung neuer Speicherlösungen im Energieforschungsprogramm 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verbesserung der Materialeigenschaften insbesondere bei Hochtemperaturspeichern ▪ Nutzung der Digitalisierung für die Evaluierung der Ausgangslage und den Betrieb ▪ Materialforschung zu günstigeren Speichermaterialien

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wärmespeicherbedarfe in der Industrie ▪ Verbesserung der Zyklenzahl für industrielle Speicher ▪ Integrierte Betrachtung aller Speichertechnologien (Strom, Wärme, Wasserstoff)
Planung und Genehmigung		
Privilegierung in der Planung	Beschleunigung von Genehmigungsprozessen im Rahmen geltender Regelungen	Stärkung von Vorrangregelungen bei behördlichen Entscheidungen mit Wertungsspielräumen, um die Genehmigungsdauer zu minimieren
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auslegung und Anwendung bestehender Regulierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weite Auslegung von § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB (§ 35 Abs. 1 BauGB privilegiert Wärmespeicher im Außenbereich bisher nicht ausdrücklich, aber als ortsgebundene Anlage, die der Versorgung mit Wärme dient, ist Privilegierung bereits möglich, § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB) ▪ Anwendung § 2 Absatz 3 WPG (überragendes öffentliches Interesse auch bei Wärmespeichern, beachte auch § 4 GeoWGRefE)
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Auslegung und Anwendung bestehender Regulierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weite Auslegung von § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB (§ 35 Abs. 1 BauGB privilegiert Wärmespeicher im Außenbereich bisher nicht ausdrücklich, aber als ortsgebundene Anlage, die der Versorgung mit Wärme dient, ist Privilegierung bereits möglich, § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB) ▪ Anwendung § 2 Abs. 3 WPG (überragendes öffentliches Interesse auch bei Wärmespeichern, beachte auch § 4 GeoWG-RefE)
Planungsbeschleunigung	Beschleunigung von Genehmigungsverfahren über Anpassungen relevanter Normen	Privilegierung von Speichern
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ § 2 GeoWG-RefE ▪ Verwaltungsvorschriften zum Trinkwasserschutz ▪ Wegfall von standortbezogener Vorprüfung nach § 7 Abs. 2 UVPG bei Wasserspeichern

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aquiferspeicher (ATES) als Untergrundspeicher im Sinne des BBergG definieren
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vereinfachung und Beschleunigung der Genehmigung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ § 2 GeoWG-RefE ▪ Verwaltungsvorschriften zum Trinkwasserschutz ▪ Wegfall von standortbezogener Vorprüfung nach § 7 Absatz 2 UVPG bei künstlichen Wasserspeichern ▪ Aquiferspeicher (ATES) als Untergrundspeicher im Sinne des BBergG definieren
Harmonisierung von Prozessen und Planungen	Vereinheitlichung von Standards	Für Wärmespeicher relevante Planungsgrundlagen und Standards im föderalen System vereinheitlichen
<i>in Gebäuden</i>	---	---
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vereinheitlichung von Planungsgrundlagen und Standards ▪ Sektorübergreifende Analysen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bund-Länder Arbeitsgremium nach dem Vorbild der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) ▪ Verzahnung der kommunalen Wärmeplanung mit einer lokalen erneuerbaren Infrastrukturplanung und einem bundesweiten Systementwicklungsplan
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vereinheitlichung von Planungsgrundlagen und Standards 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vereinheitlichung von Gefahrstoff-Grenzwerten über genuine Anwendungsbereiche hinweg (z.B. Nitrat-Nutzung in der Landwirtschaft vs. Energiewirtschaft)
Wissensaufbau, Beratung und Information		
Aufbau von Planungskapazitäten und -expertise	Aufbau von Expertise im Markt und in der Verwaltung	Schulung relevanter Akteure

<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbau eines Schulungs- und Weiterbildungsangebots für zentrale Multiplikatoren (Handwerksbetriebe, Energieberatung, Kommunen) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ „One-Stop-Shops“ weiter stärken und Wärmespeicher als integrale Lösungsoption verankern
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbau eines Schulungsangebots für zentrale Akteure für Kommunen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energieberatung und Genehmigungsbehörden
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aufbau eines Schulungsangebots für industrielle und gewerbliche Speicherlösungen für Planende und Umsetzende 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Branchenverbände, Weiterbildungen zur Qualifikation für die Energieeffizienzexpertenliste, Energieeffizienznetzwerke
Zielgruppenspezifische Informationsvermittlung	Vermittlung von spezifischen Informationen an zentrale Zielgruppen	Informationsdefizite bei zentralen Anwendergruppen minimieren
<i>in Gebäuden</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationskampagne Anwenderinnen und Anwender 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationen zu zentralen handlungsleitenden Aspekten wie Wirtschaftlichkeit, Wohnkomfort, Wertsteigerung, Dekarbonisierungspotenzialen, Datenschutz bei Smart-Meter Anwendungen
<i>in der Fernwärme</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationskampagne für Kommunen und Betreiber 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationsmaterialien: Speichertypen, Potenziale und Machbarkeit ▪ Leitfäden: Genehmigungsverfahren für Großspeicher ▪ Erfahrungen aus der Praxis: Demonstrationsvorhaben sichtbar machen
<i>in der Industrie</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationskampagne für industrielle Anwender und Kapitalgeber 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Informationsmaterialien: Anwendungen und Wirtschaftlichkeit ▪ Leitfäden: Wirtschaftlichkeit und Finanzierung, Genehmigung ▪ Nutzen der Branchenverbände als Multiplikatoren

2.3.2 Regulatorische Empfehlungen für den strombasierten Betrieb von Wärmespeichern

In diesem Abschnitt werden die bereits in der Tabelle gegebenen regulatorischen Empfehlungen noch einmal zusammenfassend formuliert. Dabei liegt der Fokus auf Anpassungen von Gesetzen und Verordnungen, welche die Kosten und Erlöse von Speicherbetreibern in der Sektoren-Integration beeinflussen, ohne zu (zusätzlichen) Förderausgaben der Allgemeinheit zu führen. Im Wesentlichen handelt es sich um Verbesserungen der Erlösmöglichkeiten zugunsten der systemischen Wirkung und damit auch der Kosteneffizienz. Richtig ausgestaltet entfalten sie eine große Dekarbonisierungswirkung und unterstützen die Bezahlbarkeit der Wärmeversorgung.

Der erste Bereich betrifft die **Stärkung der Sektoren-Integration**: Unter dem gegenwärtigen Strommarktdesign wird die Bereitstellung von Flexibilität im Allgemeinen sowie insbesondere derjenigen Flexibilität, die Wärmespeicher in Verbindung mit strombasierter Wärmeerzeugung ermöglicht, nicht ausreichend vergütet (bzw. implizit belohnt). Eine Verbesserung dient der kosteneffizienten Erreichung der klimapolitischen Ziele zum einen für den Stromsektor, der die Flexibilität aufgrund der fluktuierenden Einspeisung erneuerbarer Energien benötigt. Zum anderen ist auch die künftige Wärmeversorgung auf eine verstärkte Nutzung erneuerbaren Stroms angewiesen. Das Thema ist für alle drei betrachteten Anwendungsfelder relevant, wobei die passenden Maßnahmen im Wesentlichen durch die Anschlussbene der Wärme-Erzeugungsanlage bestimmt werden:

- **Gebäude:** Wärmepumpen und elektrische Heizstäbe in Gebäuden sind auf der Verteilnetzebene angeschlossen. Wärmespeicher ermöglichen eine höhere Flexibilität beim Strombezug. Deshalb verbessert die **Weiterentwicklung von dynamischen Stromtarifen** bzw. Verbreitung im Markt deren Wirtschaftlichkeit. Indirekt würden Wärmespeicher zudem durch eine **Absenkung der Stromsteuer** begünstigt, da sie den Einsatz von Wärmepumpen (bzw. auch direkter Wärmeerzeugung) deutlich erleichtern.
- **Fernwärme & Industrie:** Eine **Netzentgeltbefreiung** des Strombezugs für die Wärmeerzeugung in Verbindung mit Wärmespeichern würde die Wirtschaftlichkeit von Großspeichern deutlich verbessern. Dies müsste auf Basis eines vertraglich vereinbarten netzdienlichen Einsatzes der Wärmeerzeugungsanlage erfolgen (Voraussetzung ist der gemessene Strombezug). Ebenso wie kleine Wärmespeicher würden auch größere Wärmespeicher von einer **Absenkung der Stromsteuer** für die Wärmeerzeugungsanlage profitieren, ebenso wie von **einer weiteren Umlagebefreiung**, die ggf. beihilferechtlich genehmigt werden müsste (vgl. Ziffer 2.2.1). Eine mit einem Wärmespeicher versehene Erzeugungsanlage könnte zudem von **einer Ausweitung der Regelung des § 13k EnWG („Nutzen statt Abregeln 2.0“)** profitieren und damit Strom nutzen, der ansonsten wegen Netzengpässen abgeregelt werden müsste (vgl. Box in 1.6.8). Voraussetzung ist die räumliche Nähe zur Wind- oder Solaranlage. Schließlich würden Anlagen zur Wärmeerzeugung in Verbindung mit Wärmespeichern auch durch die **Einführung eines Flexibilitätsmarktes** profitieren, in dem die Lastflexibilität zugunsten des Verteilnetzbetreibers vermarktet werden würde.

Die Wärmeerzeugung auf Basis fossiler Energieträger bedarf kaum eines Einsatzes von Wärmespeichern, da Erdgas und Öl leicht selbst gespeichert werden können. Im Gegensatz dazu werden Wärmespeicher in Verbindung mit erneuerbarer Wärmeerzeugung benötigt, da diese – ebenso wie die erneuerbare Stromerzeugung – fluktuierend ist. Das gilt in ähnlicher Weise für industrielle Abwärme.

Wärmespeicher werden also indirekt durch die Verdrängung der fossilen Wärmeerzeugung in Gebäuden, Wärmenetzen und der Industrie begünstigt, die durch die **CO₂-Bepreisung und den Abbau direkter und indirekter fossiler Subventionen** vorangetrieben wird.

Von einer **Energiekennzeichnung für strombasierte Wärmeerzeuger** würden diese und damit auch die integrierten Wärmespeicher profitieren. Auf diese Weise würde eine klimafreundliche Wärmebereitstellung offiziell anerkannt, was sowohl im Privat- als auch Geschäftskundenbereich für Vermarktungszwecke genutzt werden könnte. Das gilt sowohl für industriell erzeugte Produkte als auch für Fernwärme.

2.3.3 Empfehlungen zu Anpassung der Förderung & Verbesserung der Finanzierungsbedingungen

Die direkte Förderung von Wärmespeichern kann in begrenztem Maße empfohlen werden, wenn sie der Erhöhung der Systemeffizienz oder der Erreichung von Klimazielen dient. Dazu scheint in vielen Fällen jedoch bereits der gegenwärtige Förderrahmen ausreichend. Eine Aufstockung der Mittel wäre allerdings wünschenswert, um den Markthochlauf zu befördern und die Transformationsgeschwindigkeit zu erhöhen. Die gegenwärtigen Rechtsunsicherheiten in Bezug auf die beihilferechtlichen Genehmigungen bestehender Förderprogramme stellen darüber hinaus ein gegenwärtiges Hemmnis für die Transformation dar. Der Fokus sollte jedoch vor allem bei der Verbesserung der Finanzierungsbedingungen von Wärmespeichern liegen. Dies dient dem allgemeinen Ziel der Bundesregierung, verstärkt privates Kapital für die Transformation zu mobilisieren, das dann durch staatliche Mittel komplementiert wird. Volkswirtschaftlich steht dahinter das Argument, dass die Risiken bei Investitionen in Klimaneutralität nicht vollumfänglich betriebswirtschaftlich getragen werden können.

Zu empfehlen ist in jedem Fall **die kombinierte Förderung für Speicher und klimaneutrale Wärmeerzeuger**: Bei fluktuierender Wärmeerzeugung kann diese in der Regel ohne Speicher gar nicht sinnvoll verwendet werden. Im Sinne der Unterstützung einer Markteinführung etwa von solarthermischen Anlagen sollten z.B. auch die Speicher bei der Förderung berücksichtigt werden. Dies gilt sowohl im Gebäudebereich als auch in Wärmenetzen oder bei einer industriellen Anwendung. Im Falle der strombasierten Wärmeerzeugung dient Speicher-Förderung sowohl der Erhöhung der Energieeffizienz als auch der Flexibilisierung des Energiesystems.

- **Gebäude:** Die bestehenden Förderprogramme scheinen derzeit ausreichend zu sein.
- **Fernwärme:** Wärmespeicher werden im Rahmen der BEW (wie auch im KWKG) mitgefördert, wenn sie der Integration klimaneutraler Wärme dienen. Beide Fördermöglichkeiten sind aktuell jedoch mit Rechtsunsicherheiten behaftet, denen es zu begegnen gilt. Mit Blick auf die Förderrichtlinie BEW ist hier der fehlende gesetzliche Anspruch und die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln zu nennen. Hinsichtlich des gesetzlichen Anspruchs nach dem KWKG ergibt sich die Rechtsunsicherheit aus der ausstehenden beihilferechtlichen Genehmigung der Förderung über den 31.12.2026 hinaus.
- **Industrie:** Eine kombinierte Förderung von klimaneutraler Wärmeerzeugung mit Speichern kann im Sinne eines Markthochlaufs im Rahmen der bestehenden Programme erfolgen.

In der Energiewende verschiebt sich der Fokus immer stärker auf Finanzierungsinstrumente, die anstelle von Förderinstrumenten treten. Bei erneuerbaren Energien im Stromsektor sind dies z.B. Power Purchase Agreements (PPAs), also bilaterale Langfristverträge für die Stromabnahme, die mit Blick

auf strombasierte Wärmeerzeugung auch Wärmespeichern zugutekommen können und den Zugang zu günstigem Strom absichern können. Hierzu sollten die Voraussetzungen durch entsprechende Stärkung bzw. Begünstigung (etwa in Form der in 1.3.2 beschriebenen Steuer- und Abgabenerleichterung) geschaffen werden. Dies würde den Einsatz von strombasierter Wärmeerzeugung und damit auch Wärmespeichern sowohl in Fernwärmenetzen als auch in der Industrie fördern. Auch die direkte Absicherung des Geschäftsmodells selbst (wie von der EU in der EMD gefordert), kann die Attraktivität der Sektorenkopplung in Industrie und Fernwärmennetz stärken. Für den Einsatz von Wärmespeichern in der Industrie wäre auch die Stärkung des Contracting hilfreich, da es die hohen Investitionskosten für integrierte klimaneutrale Wärmelösungen vermeidet, die aufgrund der kurzfristigen Investitionszyklen in der Produktion ein Problem darstellen. Darüber hinaus sind weitere Instrumente für die Unterstützung von privaten Investoren im Bereich der klimaneutralen Wärmebereitstellung zu empfehlen. Dazu zählen erstens öffentliche Bürgschaften für Investitionen in Wärmennetze, einschließlich Erzeugungsanlagen und Wärmespeicher, zweitens die bewährten Förderkredite und drittens eigenkapitalähnliche Hybridinstrumente für Investitionen in klimaneutrale Produktionsprozesse in der Industrie. Bei diesem Instrument stellt der Staat Unternehmen Mezzanine-Kapital zur Verfügung, um den Zugang zu Fremdkapital zu erleichtern. Voraussetzung ist der Nachweis von Investitionen in Klimaneutralität; Wärmespeicher sollten hierbei ggf. Berücksichtigung finden. Im Bereich von Aquiferspeichern in Verbindung mit Fernwärmennetzen ist ferner die Prüfung komplementärer Instrumente zur Risikoabsicherung bei der Exploration zu empfehlen, da diese von privaten Investoren in der Regel nicht oder nur sehr schwer übernommen werden.

2.3.4 Empfehlungen für Förderschwerpunkte bei Wärmespeichertechnologien

Tabelle 5 zeigt die Empfehlungen für Förderschwerpunkte in den drei Anwendungsfeldern. Sie beruht auf der Einschätzung der an dieser Studie beteiligten technischen Gutachter. Bei der Priorisierung wurden sowohl das Innovationspotenzial, die technischen Erfordernisse aus Systemsicht als auch wirtschaftliche Aspekte zugrunde gelegt.

Tabelle 5 Vorschläge für Förderschwerpunkte bei Wärmespeichertechnologien

Technologie	Funktion	Begründung	Priorität
ATES in Wärmenetzen	Verringerung des Fündigkeitsrisikos durch eine verbesserte Datengrundlage	Das Fündigkeitsrisiko ist bei ATES in sehr tiefen Schichten ein sehr großes Risiko. Auch ist die Datenlage in großen Tiefen als schlecht einzustufen. Die Schaffung einer besseren Datenlage insbesondere in Wärmenetzgebieten könnte das Risiko minimieren.	2
Speicher in Wärmenetzen	Neue Finanzierungsinstrumente entwickeln und Testen	Hohe Anfangsinvestitionen (+ ggf. hohe Risiken) sind für große Wärmespeicher und Wärmeerzeuger in Wärmenetzen eine Herausforderung. Auch wird es nicht möglich sein, den Hochlauf nur über staatliche Förderung zu finanzieren. Es ist notwendig, privates Kapital zu aktivieren. Welche Finanzierungsinstrumente hierfür geeignet sind, sollte erforscht und getestet werden, idealerweise zusammen mit der Finanzwirtschaft.	3
Erzeugungsstruktur in Wärmenetzen	Weiterentwicklung Förderung von erneuerbaren Energien und unvermeidbarer Abwärme in Wärmenetzen (Evaluation und ggf. Ausweitung BEW)	Um die Potenziale zu heben, die Speicher für Wärmenetze und die Sektoren-Integration insgesamt erbringen können, muss sichergestellt werden, dass ein Überschuss an erneuerbarer Wärme und unvermeidbarer Abwärme mit geringen Kosten vorliegt, d.h. die nötigen Investitionen in klimaneutrale Erzeugungsstruktur getätigt werden. Es besteht ein Bedarf an Analysen, inwieweit die aktuelle Förderlandschaft ausreicht, um diesen Investitionsbedarf anzureizen.	2

Integrierte Betrachtung von Speichertechnologien (relevant für Gebäude, Industrie und Wärmenetze)	Analyse der Zusammenhänge und Konkurrenz von verschiedenen Speichertechnologien (Wärme, Wasserstoff, Strom)	<p>Die verschiedenen Speichertechnologien (Wärme, Wasserstoff und Strom) sollten übergreifend und aus einer Gesamtenergiesystemperspektive betrachtet werden, da zwischen den Technologien Konkurenzen bestehen, aber auch verschiedene Synergien genutzt werden können. Solche Analysen können mit Hilfe von Energiesystemmodellen durchgeführt werden, die alle Technologien und Sektoren abdecken. Dabei sollten die Interdependenzen zwischen den Speichertechnologien und den Sektoren im Vordergrund stehen und der systemdienliche Einsatz von Speichern unter regionalen Bedingungen (z.B. Wasserstofferzeugung im Norden) analysiert werden.</p> <p>Für die Analysen können unterschiedliche Perspektiven und Bilanzgrenzen gewählt werden, z.B. nationale und/oder europäische Perspektive oder regionale Perspektive.</p>	3
PTES in Wärmenetzen	Erforschung von Materialen für Oberflächenabdeckung von PTES	Forschungsbedarf zu verschiedenen Materialen für die Oberflächenabdeckung von PTES (anwendungsorientiert und ggf. mit Pilotversuchen). Mehrerer Vorteile könnten gehoben werden: (1) Temperaturen erhöhen, (2) höhere Effizienz, (3) Kostensenkung.	1
PTES vs. ATES + TTES in Wärmenetzen	Vergleich verschiedener Speichertechnologien in Wärmenetzen	Verschiedene Kombinationen von Wärmespeichern in Wärmenetzen möglich (z.B. PTES der sowohl saisonal als auch kurzfristig speichert oder eine Kombination von ATES für saisonale Speicherung und TTES für kurzfristige Speicherung). Es besteht Forschungsbedarf, welche Kombination besonders sinnvoll ist, je nach Netztyp und/oder unterschiedlichen regionalen Gegebenheiten. In diesem Kontext sind auch weitere Speicher (Wasserstoff, Strom) zu berücksichtigen (z.B. TTES in Kombination mit saisonalem Wasserstoffspeicher).	1
Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher in Gebäuden	Verbesserung der Datengrundlage	Zur exakteren Bestimmung der Speicherpotenziale wäre die statistische Erfassung von Pufferspeicher, Trinkwarmwasserspeicher inkl. Speichergrößen erforderlich.	3

Puffer- und Trinkwarmwasserspeicher in Gebäuden	Verbesserung der Umsetzbarkeit und Analyse von Speichernutzungspotenzialen	Förderung von Einzelvorhaben, die als Best Practice Beispiele dienen können und Lösungen zur konkreten Nutzung von Wärmespeichern im Gebäude in der Umsetzung testen, mit dem Fokus der Anwendbarkeit in verschiedenen Gebäuden gleicher Art.	2
Gebäudespeichermasse	Gesamtheitliche und repräsentative Analyse zur Nutzung der Gebäudespeichermasse unter dem Aspekt der Stromnetzentlastung	Durchführung umfassender und gesamtheitlicher Analysen zur Nutzung der Gebäudespeichermasse anhand verschiedener Gebäudetypen (Größe, Bauweise, energetischer Zustand der Gebäudehülle, Wärmeübergabesystem, etc.), die eine Hochskalierung auf den gesamten Gebäudebestand Deutschlands ermöglichen unter Berücksichtigung der Kopplung zum Energiesektor.	2
Alle Speichertechnologien betreffend	Systemische Analyse, um Förderschwerpunkte und Entwicklungsschwerpunkte abzuleiten	Systemische Analyse (technisch sowie ökonomisch) unter Berücksichtigung aller Sektoren und Speichertechnologien in den verschiedenen Sektoren (Gebäude, Energie, Industrie, Verkehr).	3
Großkalige Hochtemperatur-Wärmespeicher in der Industrie	Förderung großkaliger Projekte mit Verteilung über Deutschland und verschiedene Industriebranchen	Anwendbarkeit breitflächig sichtbar machen & Unsicherheiten reduzieren, um Finanzierung und Anwendung zu vereinfachen. Geeignet ist die Förderung von großen Pilotprojekten, z.B. im Rahmen der BIK.	1
Speichertechnologien in der Industrie	Demonstration verschiedener Speichertechnologien im industriellen Maßstab	Hemmnisse abbauen und Nachahmer gewinnen, indem verschiedene Speichertechnologien im industriellen Maßstab demonstriert werden. Geeignet ist die Förderung von großen Pilotprojekten, z.B. im Rahmen der BIK.	2
Speicherbedarf in der Industrie	Detailliertere Untersuchung zum Speicherbedarf für die Industrie	Eine neutrale Studie, die den Speicherbedarf für die Industrie detailliert aufzeigt und ökonomisch mit Alternativoptionen vergleicht.	3
Günstigere Speichermaterialien	Fokus auf die Entwicklung günstigerer Speichermaterialien	Entwicklung günstigerer Speichermaterialien für wirtschaftlichere Speicherlösungen. Geeignet ist u.a. die Förderung von großen Pilotprojekten, z.B. im Rahmen der BIK.	1

2.3.5 Empfehlungen zu Planung und Genehmigung

Bei der Planung und Genehmigung, die insbesondere im Hinblick auf Wärmespeicher im Zusammenhang mit Wärmenetzen und industrieller Wärmeversorgung als langwierig und unübersichtlich empfunden werden, gibt es verschiedene gesetzgeberische Ansätze, die zur Beschleunigung und Vereinfachung beitragen können. Eine Verbesserung der entsprechenden Prozesse und Abläufe senkt die Kosten der einzelnen Projekte und befördert damit die Durchsetzung von effizienten, klimaschutzförderlichen Wärmespeichereinbindungen.

Es ist zu empfehlen, Wärmespeicher in den Katalog der **bauplanungsrechtlich privilegierten Außenbereichsvorhaben** aufzunehmen. Die bauplanungsrechtliche Privilegierung hätte zur Folge, dass das Vorhaben auch ohne vorherige Bauleitplanung möglich ist; gleichzeitig bliebe die Standortgemeinde aber nicht ohne Einfluss, weil das gemeindliche Einvernehmen erforderlich ist. Eine bauplanungsrechtliche Privilegierung könnte somit die Gesamtdauer bis zur Realisierung signifikant verkürzen.

Nach aktueller Rechtslage besteht bereits eine Privilegierung für Vorhaben, die der öffentlichen Wärmeversorgung dienen. Dies dürfte Wärmespeicher allerdings in den meisten Fällen nicht erfassen, weil die Privilegierung nach der Rechtsprechung nur dann besteht, wenn das Vorhaben „ortsgebunden“ ist, also an einer ganz konkreten, vorher festgelegten Stelle entsteht, was bei Wärmespeichern regelmäßig nicht der Fall sein wird.

Normativ könnte die bauplanungsrechtliche Privilegierung unmittelbar im Baugesetzbuch integriert werden; entweder durch Ergänzung des Katalogs privilegierter Außenbereichsvorhaben in § 35 Abs. 1 BauGB oder durch Schaffung einer Sonderregelung für Wärmespeicher in den Schlussvorschriften, wie dies z.B. für Anlagen zur Herstellung und Speicherung von Wasserstoff bereits in § 249a BauGB erfolgt ist (vgl. zu letzterem auch den Kabinettsentwurf „Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie (EU) 2023/2413 in den Bereichen Windenergie an Land und Solarenergie sowie für Energiespeicheranlagen am selben Standort“).

Auch die explizite Regelung eines **Vorrangs für Wärmespeicher** sollte eingeführt werden, um einen Vorrang von Wärmespeichern gegenüber anderen Belangen im Zusammenhang mit Ermessens- und Abwägungsentscheidungen gesetzlich zu verankern. Eine solche Vorrangregelung hat zur Folge, dass im Kontext behördlicher Entscheidungen insbesondere auf Zulassungsebene im Falle von Rechtsgüterabwägungen dem öffentlichen Interesse an der Errichtung von Wärmespeichern das erforderliche Gewicht eingeräumt wird. Dies kann beispielsweise im Kontext der bauplanungsrechtlich gebotenen Abwägung zwischen dem privilegierten Außenbereichsvorhaben (dazu Vorschlag 1) und entgegenstehenden Belangen nach § 35 Abs. 3 BauGB oder auch in anderen Abwägungsentscheidungen, z.B. im Rahmen eines erforderlichen Planfeststellungsverfahrens eine entscheidende Rolle spielen. Die Vorrangregelung kann im Rahmen des § 3 WPG oder, wie derzeit im Referenten-Entwurf des Gesetzes zur Beschleunigung der Genehmigung von Geothermieanlagen, Wärmepumpen sowie Wärmespeichern vom 28.06.2024 (GeoWG-RefE) vorgesehen, im dortigen § 4 aufgenommen werden.

Ein weiterer wichtiger Baustein ist die **Beschleunigung des Zulassungsverfahrens**. Dabei ist zum einen zu bedenken, dass sich insoweit unionsrechtlicher Handlungsbedarf aus den Vorgaben der RED III (u.a. Art. 16) ergibt. Die gebotenen Beschleunigungsmaßnahmen sind bereits im GeoWG-RefE und zudem auch im als Kabinettsentwurf vorliegenden „Gesetzes zur Umsetzung der Richtlinie (EU)

2023/2413 in den Bereichen Windenergie an Land und Solarenergie sowie für Energiespeicheranlagen am selben Standort“ adressiert und bedürfen an dieser Stelle keiner Wiederholung. Ein weiterer Aspekt wäre für solche Speicher, die derzeit als künstliche Wasserspeicher im Sinne der Ziffer 19.9 des Anhang I zum UVPG anzusehen sind und die deswegen einerseits zumindest einer standortbezogenen Prüfung des Einzelfalls unterliegen und zudem gemäß § 65 Abs. 2 UVPG unter Umständen auch plangenehmigungsbedürftig sind, aus dem Anwendungsbereich des UVPG herauszunehmen. Es ist zu prüfen, inwieweit dies unionsrechtlich ohne Konflikt zur UVP-Richtlinie möglich ist. Generell erscheint dies jedenfalls nicht ausgeschlossen, denn die UVP-Richtlinie macht keine verbindlichen Vorgaben zum Schwellenwert, ab dem künstliche Wasserspeicher einer Vorprüfungspflicht unterliegen; dessen Festsetzung obliegt den Mitgliedstaaten.

Ein weiterer Aspekt, der zur Beschleunigung und Vereinheitlichung von Zulassungsverfahren beitragen kann, ohne dass es dafür Gesetzesänderungen bedürfte, sind Vorgaben zur Gesetzesanwendung und -auslegung. Hier existiert ein breiter Kanon von Möglichkeiten: Von (unverbindlichen) Anwendungshilfen (wie z.B. jüngst der Leitfaden des BMWK zu naturschutzfachlichen Mindestkriterien bei PV-Freiflächenanlagen vom 12.07.2024 oder Veröffentlichungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI)).

Es ist zu empfehlen, **Aquiferspeicher als Untergrundspeicher im Sinne des BBergG aufzunehmen**. Nach der derzeitigen Legaldefinition in § 4 Abs. 9 BBergG ist ein Untergrundspeicher „eine Anlage zur unterirdischen behälterlosen Speicherung von Gasen, Flüssigkeiten und festen Stoffen mit Ausnahme von Wasser“. Die Speicherung Wärme mit dem Trägermedium Wasser ist damit vom Anwendungsbereich des BBergG ausgenommen und wird dem Wasserrecht überlassen. Es erscheint sachgerecht, die Legaldefinition auf Aquiferspeicher auszuweiten. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass, sobald Sole als Speichermedium genutzt wird, der Anwendungsbereich eröffnet ist, drängt es sich auf, dies auch auf solche Wärmespeicher zu erstrecken, die als Medium Wasser einsetzen. Damit einhergehen würden einheitliche Verfahrensvorschriften für Zulassung und Betrieb von Aquiferspeichern und auch einheitliche behördliche Zuständigkeiten. Dem materiellen Wasserrecht und seinen Vorgaben würden Aquiferspeicher damit aber nicht entzogen, sodass insoweit keine Risiken bestehen.⁷⁶ Normativ könnte dies durch eine Klarstellung in § 4 Abs. 9 BBergG erfolgen und zwar dergestalt, dass „Wärme“ ausdrücklich Erwähnung findet und auch dergestalt, dass die Formulierung „mit Ausnahme von Wasser“ mit einer Rückausnahme für Aquiferspeicher versehen wird.

2.3.6 Empfehlungen zum Wissensaufbau, Beratung und Information

Der Hochlauf der Wärmespeicher und ihr systemdienlicher Einsatz lassen sich aufgrund der **bisher geringen Aufmerksamkeit für dieses Thema und fehlenden Erfahrungswerten** nicht allein regulatorisch oder technisch lösen. Fehlende Planungskapazitäten und -expertise sowie mangelnde Informationen bei Speichernutzenden und Multiplikatorinnen und Multiplikatoren müssen überwunden werden. Der Wissensaufbau ist damit eine zentrale Grundvoraussetzung.

⁷⁶ Philipp Neidig (2022): Rechtsfragen saisonaler Aquifer-Wärmespeicher, Berliner Schriften zum Energierecht, S. 112ff.

Zum Aufbau von Planungskapazitäten und entsprechender Expertise gehört insbesondere die Schulung zentraler Akteure. Kommunen müssen in die Lage versetzt werden, entsprechende Genehmigungsverfahren effizient und sachkundig zu betreuen. Begleitend dazu müssen Handwerksbetriebe und Beraterinnen und Berater entsprechend geschult werden, um passgenaue Speicherlösungen in den einzelnen Anwendungsbereichen planen und bauen zu können. Für den Gebäudebereich ist die Stärkung von „One-Stop-Shops“⁷⁷ eine zentrale Maßnahme, um Synergien zu heben.

Akzeptanz, effiziente Planungsprozesse und entsprechende Investitionsentscheidungen für Wärmespeicher in allen Anwendungsfeldern setzen voraus, dass ausreichend niedrigschwellig verfügbare Informationen zu Speichern bei allen Zielgruppen vorhanden sind. Dazu müssen Informationen zu Speichern zielgruppenspezifisch aufbereitet und Multiplikatorinnen und Multiplikatoren sowie Anwendern und Anwendern zur Verfügung gestellt werden.

Für den Auf- und Ausbau der systemdienlichen Nutzung von Speichern im Gebäudebereich ist eine Informationskampagne für Handwerksbetriebe, Energieberatungen und Kommunen notwendig, da sie bei der Gruppe der Anwendenden eine hohe Glaubwürdigkeit genießen. Energieagenturen, die bundesweit vorhanden und schon jetzt Ansprechpartner der Wärmewende sind, sollten hier eine zentrale Rolle spielen. Für eine neutrale und vertrauenswürdige Beratung der Gebäudeeigentümerinnen und -eigentümer sind Verbraucherzentralen und der Interessensverband Haus und Grund geeignete Anlaufstellen.

Für die Nutzung von Wärmespeichern in Fernwärmenetzen und Industrie ist ein Wissensaufbau bei den Kommunen und Stadtwerken ebenso erforderlich wie bei den Industrieunternehmen und Branchenverbänden. Erfahrungsaustausche zu Speicherprojekten und ihrem Langzeitbetrieb bauen Know-How auf und ermöglichen eine Skalierung erfolgreicher Lösungen. Für Industriebetriebe könnte das Thema über die Initiative Energieeffizienz-Netzwerke als notwendiges Thema für eine Zertifizierung aufgenommen werden. Für die Wärmespeicher in Wärmenetzen sollte das Thema, in Rücksprache mit dem Branchenverband AGFW, in die jährliche Fernwärmetagung aufgenommen werden. Weiterhin steigt die Nachfrage an separaten Austauschplattformen zwischen in räumlicher Nähe befindlicher FernwärmeverSORGER analog zu Energieeffizienz-Netzwerken für die Industrie, wie bereits im WärmeNetzWerk⁷⁸ umgesetzt. Eine enge Verknüpfung mit den Reallaboren in Wärmenetzen und Industrie ermöglicht Praxisnähe und Anwendungsbezug, was wiederum positiv auf die Akzeptanz zurückwirkt. Hier sollte das Thema ebenfalls als „notwendiges Thema“ aufgenommen werden.

Weitere Adressaten sind staatliche Genehmigungsbehörden, für die eine Fortbildung entsprechend der genannten Vorgaben und Materialien zu dem Bereich Wärmespeicher angeboten werden sollte. Zur Weiterbildung der Ansprechpartner von Finanzinstituten sollten fachlich neutrale Informationen und Entscheidungshilfen bereitgestellt werden.

⁷⁷ Unter dem Begriff „One-Stop-Shop“ wird die Möglichkeit verstanden, alle notwendigen bürokratischen Schritte, die zur Erreichung einer Genehmigung für ein Vorhaben führen, an einer einzigen Stelle durchzuführen.

⁷⁸ Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE): Reallabor für verNETzte E-Mobilität.

<https://www.ffe.de/projekte/unite2/#:~:text=unIT-e%2C2%20%20%20%93%20Reallabor%20f%C3%BCr%20verNETzte#:~:text=unIT-e%2C2%20%20%20%93%20Reallabor%20f%C3%BCr%20verNETzte.> Zugriff am: 26.07.2024.

2.3.7 Empfehlungen zu Forschung & Entwicklung

Wie im ersten Kapitel des Gutachtens erläutert, sind eine Reihe von technisch sinnvollen Anwendungen von Wärmespeichern derzeit noch nicht rentabel. Forschung und Entwicklung bieten die Chance, diese Situation zu verbessern, indem sie zur Kostensenkung von Wärmespeichern oder zu integrierten klimaneutralen Wärmeversorgungslösungen beitragen. Über die Forschungsförderung kann und sollte der Staat hierbei unterstützen. Das gilt nicht nur für die Forschung in Industrielaboren, sondern auch für die Testphase neuer technischer oder systemischer Lösungen in der Praxis.

In Bezug auf die **Forschungsförderung** verfügt Deutschland über ein umfangreiches Instrumentarium an Programmen (vgl. Abschnitt 1.7), die industrielle Forschung sowie die Forschung in staatlichen Institutionen unterstützen. In diesen Programmen sollten Wärmespeichern besondere Schwerpunkte gewidmet werden. Im Einzelnen sind die folgenden Themen besonders wichtig⁷⁹:

- Gebäude: Aufgrund der räumlichen Begrenztheit vieler Immobilien ist die Forschung zu Speichersystemen mit hohen Speicherdichten und geringem Platzbedarf besonders wichtig. Darüber hinaus fehlen im Zusammenhang mit Wärmespeichern in Gebäuden häufig Daten: So wäre die Analyse von Speicherpotenzialen von Puffer- und Trinkwasserspeicher sowie eine technische Potenzialanalyse von Gebäudespeichermasse sinnvoll. Schließlich sollte die Forschung sich mit einem systemischen Vergleich bzw. einer integrierten Betrachtung aller Speichertechnologien (Batterien, Wärme, Wasserstoff) unter Berücksichtigung der Energiebereitstellung durch unterschiedliche erneuerbare Energieträger befassen.
- Wärmenetze/Industrie: Ein sehr wichtiges Thema für die Forschung an Wärmespeichern ist die Erhöhung der Zyklenzahl. Außerdem sollte die Entwicklung kostengünstiger Speichermaterialien gefördert werden. In Bezug auf den Speichereinsatz in Wärmenetzen und Produktionsprozessen sind Digitalisierung und Automatisierung zentrale Themen. Darüber hinaus ist in diesen Anwendungsfeldern die Datenlage zu Speicherpotenzialen verbesserungsbedürftig.

Zur Vorbereitung der Praxiseinführung bieten sich vor allem **staatlich geförderte Reallabore** an. Auch hier gibt es in Deutschland eine gute und bewährte Praxis (etwa das bereits abgeschlossene SINTEG-Programm). Reallabore bieten sich zu den folgenden Bereichen an:

- Puffer und Trinkwasserspeichern in unterschiedlichen Gebäudetypen testen
- Datenermittlung zu Aquiferspeichern für Fernwärmennetze
- Potenzialuntersuchungen zu großskaligen Hochtemperaturspeichern in der Industrie

Darüber hinaus sind Pilotprojekte zu neuartigen Wärmespeichern (etwa mit innovativen Speichermedien) denkbar.

⁷⁹ Tabelle 5 gibt einen Überblick über empfohlene Forschungsschwerpunkte.

2.3.8 Strategische Einordnung

Die Analyse der Hemmnisse aber auch der Lösungsmöglichkeiten und der daraus abgeleiteten Kriterien zeigt auf, dass es für alle Ebenen des föderalen Systems einen Handlungsbedarf gibt. Dieser lässt sich in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Maßnahmen unterteilen. Tabelle 6 beschreibt, auf welchen Ebenen die Maßnahmen wirken, welche Zuständigkeit zu beachten ist und wie rasch die Umsetzung erfolgen sollte bzw. möglich ist.

Zu priorisieren sind dabei Maßnahmen, die eine große Hebelwirkung entfalten, da sie positive Effekte in mehreren Dimensionen hervorbringen, also volkswirtschaftlich kosteneffizient sind, einen systemischen Beitrag leisten, zur Dekarbonisierung beitragen, den Wissensaufbau befördern und eine Bezahlbarkeit der Wärmeversorgung insgesamt sicherstellen.

Der größte Handlungsspielraum besteht dabei auf der Bundesebene. Allerdings ist zu beachten, dass gerade im Hinblick auf das Strommarktdesign, die Kennzeichnung von grüner Energie und der Bepreisung von fossilen Emissionen Vorgaben und Prozesse auf **EU-Ebene** zu berücksichtigen sind.

Die Bundesregierung kann mit der Gestaltung des Marktumfelds und der Planungsprozesse auch kurzfristig signifikante Verbesserungen für den systemdienlichen Einsatz von Wärmespeichern umsetzen. Eine Reihe von konkreten, in Tabelle 6 dargestellten Maßnahmen tragen zur Stärkung der Sektoren-Integration unter Nutzung von Wärmespeicherpotenzialen bei. Regulatorische Anpassungen zur Privilegierung und Beschleunigung von Planungsprozessen senken die Kosten und erhöhen das Tempo der Transformation. Die Umgestaltung und Ausweitung von Förderprogrammen und Finanzierungsinstrumenten verbessert kurzfristig die Investitionsbedingungen und leistet damit eine entscheidende Unterstützung zum Markthochlauf. Gleiches gilt für die Unterstützung von Forschung und Entwicklung sowie den Aufbau von zielgruppenspezifischen Informationskampagnen. Die Bundesregierung ist damit der zentrale Akteur, um die Voraussetzungen für einen systemdienlichen Wärmespeicherhochlauf zu schaffen, der dann vor Ort umgesetzt werden muss.

Aufgrund des föderalen Systems und der entsprechenden Kompetenzen der Länder und Kommunen erfordern viele Maßnahmen ein **Zusammenspiel von Bund und Ländern sowie eine entsprechende Umsetzung auf kommunaler Ebene**. Bundesvorgaben zu Planung und Genehmigung müssen in den entsprechend zuständigen Ebenen angewandt und umgesetzt werden. Dort, wo landespezifische Regelungen vorhanden sind, müssen diese harmonisiert werden, um durch bundesweit gültige standardisierte Verfahren Vereinfachungen zu erzielen. Aufgrund der Vielzahl an beteiligten Akteuren und Regulierungsvorschriften wird dieser Prozess sicher längere Zeit in Anspruch nehmen und erst mittelfristig die gewünschten Ergebnisse zeigen. Eine **Kooperation von Bund und Ländern** ist auch bei dem Aufbau von Reallaboren wünschenswert, um die dort gewonnenen Erkenntnisse auch in die Optimierung von Verfahren übertragen zu können.

Länder und Kommunen müssen gemeinsam dafür Sorge tragen, dass der notwendige Aufbau an Planungskapazitäten und Expertise erfolgt, um angesichts des Fachkräftemangels in die Umsetzung zu kommen und Wissen angepasst an die Situation vor Ort zielgenau aufzubereiten und in die Breite zu tragen.

Tabelle 6 Einordnung der übergreifenden Maßnahmen

Maßnahme	Wirkebenen					Zuständigkeit	Umsetzungshorizont
	Volkswirtschaftliche Kosteneffizienz	Systemische Wirkung	Dekarbonisierung	Wissen	Bezahlbarkeit		
Regulierung							
Stärkung der Sektoren-Integration	X	X	X		(X)	Bund	kurzfristig
Klarstellung Energiekennzeichnung für Wärme aus strombetriebenen Erzeugungsanlagen		(X)	X	X		Bund, ggf. EU	mittelfristig
CO₂-Preis und Abbau direkter und indirekter fossiler Subventionen	X	X	X		X	EU und Bund	langfristig
Förderung und Finanzierung							
Kombinierte Förderung für Speicher und Wärmeerzeuger; Förderung der Wertschöpfungsketten	(X)	X	X			Bund, ggf. ergänzende Länderprogramme	kurzfristig
Weitere Markt- und Finanzierungsinstrumente	X	X	(X)			Bund, ggf. Länder und Kommunen	kurzfristig
Risikoabsicherung für ATES		X	X			Bund, ggf. Länder	kurzfristig

Kreditkonditionen verbessern	X	X	(X)			Bund, ggf. Kommunen	mittelfristig
Forschung und Entwicklung							
Reallabore		(X)	(X)	X		Bund und Länder	kurzfristig
Aufbau Praxiserfahrung / Praktische Implementierung							
Gezielte Forschungsförderung			(X)	X		Bund	kurzfristig
Planung und Genehmigung							
Privilegierung in der Planung	X	X	X			Bund	kurzfristig
Planungsbeschleunigung	X	X	X			Bund	mittelfristig
Harmonisierung von Prozessen und Planungen	X	X	X			alle	mittelfristig
Beratung und Information							
Aufbau von Planungskapazitäten und -expertise	X	(X)		X		Länder und Kommunen, ggf. Bund	mittelfristig
Zielgruppenspezifische Informationsvermittlung		(X)		X		alle	kurzfristig

3 Ausblick und Anforderungen an eine integrierte Speicherstrategie

Kapitel 1 hat die Bedeutung und die Funktion von Wärmespeichern für die Energiewende aufgezeigt. In Kapitel 2 wurden Hemmnisse für den Einsatz von Wärmespeichern und mögliche Lösungen diskutiert und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Im abschließenden Kapitel 3 wird nun ein Ausblick auf eine integrierten Speicherstrategie gegeben, deren Notwendigkeit sich aus den Anforderungen eines auf erneuerbaren Energien basierendem Energiesystem ergibt, in dem durch Sektoren-Integration erhebliche Synergien gehoben werden können. An dieser Stelle können nur Hinweise gegeben werden, die notwendigen Abwägungsentscheidungen in Bezug auf Handlungsempfehlungen für Strom- und Gasspeicher (vor allem Wasserstoff-Speicher) bleiben den Autorinnen und Autoren einer integrierten Speicherstrategie vorbehalten.

Wärmespeicher sind einer der bisher nicht in ausreichendem Umfang genutzten Bausteine, welche die Voraussetzung für die komplexe Transformation des Energiesystems hin zu einer vollständigen Dekarbonisierung unter Einhaltung der Kosteneffizienz darstellt. Denn sie leisten einen Beitrag zur Flexibilisierung von Erzeugung und Verbrauch von Wärme. Zudem bieten sie die Möglichkeit, Energie vorteilhaft für das Gesamtenergiesystem zu konvertieren und zu speichern.

Eine integrierte Speicherstrategie hat die Aufgabe, die Funktionen einzelner Speichertechnologien zu konkretisieren und Hinweise darauf zu geben, welche Speicher (Strom-, Wärme-, Gasspeicher⁸⁰) nach welchen Kriterien und in welchem Zusammenhang zur Anwendung kommen sollten bzw. welche Kombinationen sinnvoll sind. Sie bietet dafür den strategischen Rahmen und zeigt Wege für ihre optimale Einbindung im gesamten Energiesystem auf. Damit ermöglicht sie, Speicher bei der Entwicklung des Gesamtsystems stärker zu berücksichtigen und stellt das Bindeglied zu übergeordneten Strategien wie den Langfristzenarien oder die Systementwicklungsstrategie dar. Die Grundlage für die integrierte Speicherstrategie sind die vorliegenden Strategien zu Strom-, Wasserstoff- und Wärmespeichern. Im untenstehenden Abschnitt werden zentrale Ergebnisse der Wärmespeicherstrategie in einen Kontext mit möglichen Aspekten und Fragestellungen für eine integrierte Speicherstrategie gesetzt.

3.1 Zentrale Zugänge und Bezugspunkte für eine integrierte Speicherstrategie

Um handlungsleitend zu sein, muss eine integrierte Strategie die Speicher zunächst innerhalb des Systems adäquat verorten. Eine integrierte Speicherstrategie hat verschiedene Bezugspunkte und Elemente, die sie über einen systemischen Ansatz miteinander in ein Verhältnis setzen muss. Sie reagiert damit auf die Herausforderung, dass das Angebot von erneuerbarem Strom und Wärme sich schlechter steuern lässt als die Energieerzeugung in einem zentralen, auf fossilen Energieträgern basierenden System. Die verschiedenen Anforderungen der Steuerung und Regelung von Energieerzeugung und -abnahme (räumliche Verteilung, zeitliche Verlagerung (Speicher), und Anpassung der Nachfrage/des Verbrauchs) müssen in einem Gesamtsystem systemdienlich und kosteneffizient aufeinander abgestimmt werden. Der auf Basis zentraler Inputgrößen entwickelte strategische Handlungs-

⁸⁰ Mit Gasspeichern sind Speicher für Erdgas, Wasserstoff und Wasserstoff-Derivate gemeint.

rahmen muss dabei genügend Flexibilität für veränderte Ausgangslagen beinhalten. So wird sichergestellt, dass die Strategie auch bei einer veränderten Ausgangslage ihre Relevanz behält und der aviisierte Zielkorridor sicher erreicht wird.

Ausgehend von den bereits aufgezeigten fünf Wirkebenen (volkswirtschaftliche Kosteneffizienz, Bezahlbarkeit, Systemische Wirkung, Dekarbonisierung, Akzeptanz/Wissensvermittlung lassen sich insgesamt vier zentrale inhaltliche Zugänge/Ebenen für eine integrierte Speicherstrategie ableiten.

3.1.1 Systemische Wirkung: Rolle regionaler und zentraler Erzeugung sowie Infrastrukturen im Gesamtsystem

Für eine integrierte Strategie müssen Annahmen zu verschiedenen Energieträgern und Erzeugungsanlagen in einem dekarbonisierten Energiesystem getroffen werden, aus denen sich die mögliche Relevanz der drei zentralen Speichersysteme (Stromspeicher, Wärmespeicher, Wasserstoffspeicher) ableiten lässt. Diese drei Speichersysteme stehen nicht nur in einem engen Verhältnis zu den aktuell und zukünftig einzusetzenden erneuerbaren Erzeugungstechnologien, sondern auch zu der lokalen, regionalen und nationalen Infrastruktur. Dazu zählen die Stromnetze sowie die Frage nach Netzanschlüssen mit einer ausreichenden Kapazität (z.B. für Industrieunternehmen), bestehende Wärmenetze mit unterschiedlichen Temperaturniveaus sowie das künftige Gasnetz für die Einspeisung von grünem Wasserstoff und Biogas.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass einige Infrastrukturen und damit bestimmte Energieträger sich über große Strecken transportieren lassen (Strom, Gas), wohingegen Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch räumlich zusammenfallen müssen. Während die bisherige, vor allem fossile Wärmeerzeugung auf einem gut transportierbaren Energieträger beruht, erfordert die Nutzbarmachung lokaler direkter und indirekter Wärmepotenziale eine viel stärkere lokale Planung, Steuerung und Optimierung. Aufgrund der größeren Schwankungen insbesondere bei der erneuerbaren Stromproduktion kommt darüber hinaus der Kopplung und Integration der lokalen Wärmeversorgung mit dem überregionalen Energiesystem zukünftig eine wesentliche Bedeutung zu. So werden regional und überregional erzeugter Strom aus erneuerbaren Energieträgern für die Nutzung in (Groß-)Wärmepumpen sowie anderen Sektoren-Kopplungs-Technologien eine zentrale Rolle in der Wärmeversorgung einnehmen.

Damit wird deutlich, dass sowohl lokale, regionale und überregionale Faktoren einen bedeutenden Einfluss auf die zukünftige Struktur der Wärmeerzeugung haben werden. Für die Entwicklung einer Strategie bedeutet dies, dass die Elemente und Instrumente einer integrierten Strategie sowohl auf Basis eines Bottom-Up als auch Top-Down Ansatzes über die Energieträger hinweg entwickelt werden müssen. Aufgrund dieser miteinander abzugleichenden Wirkebenen und der sich im Laufe der Wärmetransformation grundlegend ändernden Erzeugungsstruktur müssen Instrumente und Maßnahmen kontinuierlich geprüft und unter Berücksichtigung der realen Anforderungen in der Praxis fortgeschrieben werden.

Grundlage für die Formulierung der Bottom-Up-Anforderungen und Energiebedarfe kann die kommunale Wärmeplanung sein. Aufgrund der hohen Interdependenzen innerhalb eines erneuerbaren Energiesystems empfiehlt sich ihre Weiterentwicklung zu einer integrierten Energieinfrastruktur- und Energiesystemplanung. Dies ermöglicht das Einbetten von Speichern in ein lokales Gesamtsystem über

die Erzeugungssektoren und Infrastrukturen hinweg. Daneben ist auch eine Einschätzung der Bedeutung von Pufferspeichern in Gebäuden notwendig, da diese abhängig ist von der Stromerzeugung (z.B. Eigenverbrauch), dem Wärmeerzeuger und der Stromnetztopologie sowie den konkurrierenden flexiblen Stromabnehmern (insbesondere in der Industrie sowie der Elektromobilität). Erst auf dieser Grundlage ist eine Entscheidung darüber möglich, wo Speichersysteme auf lokaler, regionaler oder überregionaler Ebene als systemdienliches Element unterstützt werden sollten.

Die vorliegende Wärmespeicherstrategie gibt dabei bereits Hinweise darauf, an welchen Stellen Speicher schon jetzt wirtschaftlich und effizient genutzt werden können und welche zukünftigen Potenziale die Nutzung bietet. Sie ermöglicht darüber hinaus die Orientierung hinsichtlich des (förder-)rechtlichen Rahmens und sensibilisiert für bestehende Hemmnisse. Im Austausch zwischen den verschiedenen Planungsebenen ermöglicht dies die Weiterentwicklung des regulatorischen und strategischen Rahmens im Kontext einer integrierten Gesamtstrategie.

3.1.2 Volkswirtschaftliche Kosteneffizienz und Bezahlbarkeit: Preissignale und ökonomischer Rahmen

Die Gestaltungen eines komplexen und interdependenten Energiesystems ist eine große Herausforderung. Wie Energie zu welchem Zeitpunkt erzeugt und in welcher Form für eine spätere Nutzung zur Verfügung gestellt werden soll, lässt sich nur innerhalb dieses Gesamtsystems bewerten. Preissignale können über den Markt eine zentrale Steuerungswirkung für die nachhaltige und effiziente Energieversorgung und den damit verbundenen Einsatz der Speicher übernehmen. Die dafür benötigten Märkte befinden sich jedoch noch im Entwicklungsstadium. Dies gilt für große Batteriespeicher ebenso wie für verschiedene Wärmespeicherarten sowie Wasserstoffspeicher. Die unterschiedlichen technischen und wirtschaftlichen Fragestellungen können nicht ausgehend vom Wärmesektor allein analysiert und beantwortet werden. Diese Märkte müssen deshalb jetzt entsprechend gestaltet werden. Eine sektorübergreifende Steuerungsfunktion könnte der Bundesnetzagentur als unabhängige Regulierungsbehörde zukommen, um Preissignale, Netzentgelte und –befreiungen mit dem Ziel einer kosteneffizienten Systemdienlichkeit auf Basis erneuerbarer Energieträger weiterzuentwickeln und Planungssicherheit für die jeweilige Speichertechnologie zu schaffen.⁸¹

Die vorliegende Wärmespeicherstrategie hat aufgezeigt, dass Wärmespeicher aufgrund der potenziell engen Verschränkung mit dem Stromsystem Vorteile für die Strom- und Wärmeversorgung sowie zur effizienten direkten Nutzung erneuerbarer Wärmequellen bieten können. Um dieses Potenzial zu heben, müssen die Rahmenbedingungen entsprechend gestaltet werden. Bereits die Wärmespeicherstrategie macht dabei deutlich, an welchen Stellen Anpassungen notwendig sind, um Potenziale zu heben und dafür zu sorgen, dass die Logik und die Strukturen der fossilen Energieerzeugung zukünftig nicht mehr maßgeblich sind. Im Rahmen der integrierten Speicherstrategie müssen diese auf die Anforderungen anderer Energiespeicher sowie auf die Gesamtstrategie abgestimmt und entsprechend entwickelt und ausgestaltet werden.

⁸¹ vgl. Bundesfinanzministerium (2024): Maßnahmen zur Unterstützung von Stromspeichern in der Wachstumsinitiative der Bundesregierung.
https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Oeffentliche-Finanzen/Bundesaushalt/bundesaushalt-2025-und-wachstumsinitiative-2.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

3.1.3 Dekarbonisierung: Grüne Eigenschaft von Wärme stärken

Solange in der Wärmeversorgung zum Großteil fossile Energieträger eingesetzt werden, spielt der tatsächliche Anteil erneuerbarer Energien für Abnehmer in Gebäuden, Fernwärmennetzen und der Industrie eine immer wichtigere Rolle. Denn mit Blick auf Dekarbonisierung und der damit einhergehenden, für einige Energieabnehmer auch verpflichtende Nachhaltigkeitsberichterstattung, kommt der Abgrenzung von grünem und grauen Energiebezug eine immer wichtigere Rolle zu. Über den Bezug von nachweislich grünen Energieträgern lässt sich die CO₂-Intensität des eigenen Energiebezugs bilanziell reduzieren. Der lokale oder regionale grüne Energiebezug stärkt zudem die Unabhängigkeit von volatilen internationalen Märkten und stellt schon heute zunehmend einen Standortvorteil dar.

Wie insbesondere im Strombereich bereits in Ansätzen erkennbar, besteht aufgrund der höheren ökologischen Wertigkeit die Möglichkeit, höhere Preise für Energie aus erneuerbaren Quellen zu erzielen. Dabei kommt der Kennzeichnung und Abgrenzung von grünen Energiemengen eine zentrale Rolle zu. Während die Energiekennzeichnung in Deutschland und Europa für Strom bereits klar geregelt ist, fehlen entsprechende grundlegende Regelungen für die Kennzeichnung von grünem Wasserstoff sowie grüner Wärme. Herkunftsachweise und Energiekennzeichnung müssen dabei über die Energieträger hinweg konsistent sein und die Beibehaltung der grünen Eigenschaft auch bei Speicherung und Umwandlung sicherstellen.

Im Rahmen einer integrierten Speicherstrategie sollten Ansätze entwickelt werden, die darauf abzielen, granulare Abgrenzungen von grüner Energie auf Basis des jeweiligen Eingangsenergiträgers zu ermöglichen. So könnte beispielsweise erneuerbarer Strom als grüne Wärme in Wärmennetzen oder der Industrie zur Dekarbonisierung eingesetzt werden. Aber auch für die netzdienliche Speicherung in Batteriespeichern sollten Regelungen gefunden werden, die eine Abgrenzung zwischen grünen und grauen Strommengen ermöglichen.

So könnten Ansätze und Konzepte, die auf eine Nutzung von grünen Energiemengen insbesondere in der Fernwärme und Industrie abzielen, gestärkt und die Dekarbonisierung über systemdienliche Erzeugungs- und Verbrauchskonzepte beschleunigt werden.

3.1.4 Wissensaufbau: Wärmespeicher als Baustein eines integrierten Systems vermitteln

Für den Markthochlauf von Wärmespeichern und ihrem systemdienlichen Einsatz kommt dem Wissen über und der Information zu den Potenzialen, Anwendungsfeldern und Praxiserfahrungen eine zentrale Rolle zu. Die Hemmnisanalyse der Wärmespeicherstrategie hat sehr deutlich gemacht, dass auf allen Planungs- und Umsetzungsebenen Wissensdefizite bestehen. Die Veröffentlichung einer Wärmespeicherstrategie und darauf aufbauend einer integrierten Speicherstrategie bietet die Möglichkeit, den unterschiedlichen Anwendergruppen und Entscheidungsträgern (Immobilienbesitzenden, Kommunen, Gewerbe- und Industrieunternehmen) handlungsleitende Informationen zu vermitteln und Optionen für eine effektive Nutzung von Speichern im jeweiligen Kontext aufzuzeigen. Dies kann flankiert werden von weiteren systemischen Maßnahmen, die neben ihrer direkten Wirkung auch immer dazu beitragen, Speicher präsenter zu machen. Dies gilt sowohl bei der Entwicklung und Kommunikation neuer Finanzierungsmechanismen, beim Aufzeigen flächeneffizienter und integrierter Planungs- und Projektlösungen, als auch beim Aufbau einer unterstützenden Regulatorik, bei Reallaboren und insbesondere bei der Kennzeichnung und entsprechenden Wertschätzung grüner Energieträger. Für die

integrierte Speicherstrategie ist dabei zentral, die entsprechenden Maßnahmen unter Berücksichtigung der gesamtsystemischen Anforderungen zu gestalten und in der Kommunikation auf die komplexen Zusammenhänge einerseits und auf die lokalen und direkten Wirkungen andererseits abzuzielen. So kann der anwendungsbezogene und systemdienliche Einsatz von Batterie-, Wärme- und Wasserspeichern indirekt gestärkt werden und die verschiedenen Optionen in ein Verhältnis zueinander gesetzt werden.

3.2 Offene Fragen und weiterer Forschungsbedarf

Die vorliegende Wärmespeicherstrategie gibt wichtige Hinweise für eine integrierte Speicherstrategie. Das vorliegende Dokument zeigt aber auch auf, dass die Transformation des Wärmesystems und der Hochlauf der Wärmespeicher noch am Anfang stehen. Strategische Dokumente müssen deshalb fortlaufend fortgeschrieben und an die Entwicklungen im Gesamtsystem angepasst werden. Dafür müssen offene Fragen adressiert und der aktuelle Forschungsstand weiterentwickelt werden. Forschungsbedarf gibt es sowohl auf der Ebene einer systemischen, integrierten Transformationsstrategie als auch im Hinblick auf die konkrete Nutzung und Einbindung von Wärmespeichertechnologien im lokalen Anwendungskontext.

Für eine umfängliche Darstellung des Gesamtsystembeitrags von Wärmespeichern ist ein Leitbild für die Erschließung der einzelnen Wärmequellen sowie für den Ausbau der relevanten Technologien erforderlich, welches in der Systementwicklungsstrategie münden sollte. Dabei sollte in einem immer noch stark fossil geprägten Wärmebereich das Dekarbonisierungspotenzial von Transformationslösungen im Fokus stehen.

Zum anderen ist der zukünftige Einsatz von Wärmespeichern auch im Verhältnis zu anderen Speicherarten (Kaskadierende Nutzung unterschiedlicher Speichersysteme) noch nicht ausreichend definiert. Dies gilt nicht nur für die hier betrachteten Speicher im Anwendungsbereich Wärme, sondern auch für Speicher, die Strom beispielsweise in Wärme speichern, um sie anschließend zur Rückverstromung zur Verfügung zu stellen.

Die Klärung dieser übergeordneten Fragen ist notwendig, um eine kosteneffiziente Dekarbonisierungs- und Transformationsstrategie zu entwickeln.

Aufgrund der geringen Marktreife einer Vielzahl von Speichertechnologien insbesondere für die industrielle Anwendung ergibt sich ein erheblicher Forschungsbedarf, wie in Abschnitt 2.3.7 ausgeführt (die Forschungsschwerpunkte werden mit einer Empfehlung zur Priorisierung in Tabelle 5 aufgeführt).

Darüber hinaus ergeben sich zentrale Fragen in der konkreten Umsetzung, für die es noch nicht ausreichend Beispiele gibt und die sich am besten im Rahmen von Reallaboren adressieren lassen. Weitere Forschungsfragen stellen sich hinsichtlich des zunehmenden Kühlungsbedarfs. Kältespeicher und Fernkältenetze als auch kombinierte Wärme- und Kältesysteme befinden sich jedoch noch am Anfang ihrer Entwicklung. Die damit verbundenen Fragen sollten zukünftig noch genauer untersucht werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Komponenten eines Speichersystems	10
Abbildung 2 Entwicklung des Speicherbedarfs	17
Abbildung 3 Übersicht über aktuell installierte Speicher	18
Abbildung 4 Erzeugungsstruktur der untersuchten Netze.....	20
Abbildung 6 Verfügbare Speichertechniken	24
Abbildung 7: Flüssigsalzspeicher, Kosten der ausgespeicherten Wärme	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zentrale Hemmnisse, Anwendungsbereiche und Lösungsvorschläge bei Wärmespeichern	7
Tabelle 2 Wirtschaftlichkeit von Speichern in Wärmenetzen.....	21
Tabelle 3 Übersicht über zentrale Hemmnisse in den Anwendungsfeldern	42
Tabelle 4 Zusammenfassung zentraler Maßnahmenvorschläge.....	62
Tabelle 5 Vorschläge für Förderschwerpunkte bei Wärmespeichertechnologien	74
Tabelle 6 Einordnung der übergreifenden Maßnahmen	82

Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende (2023): Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland.
https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2022/2022-11_DE_Large_Scale_Heatpumps/A-EW_293_Rollout_Grosswaermepumpen_WEB.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.
- Ariadne-Hintergrund (2022): Herausforderungen bei der Digitalisierung der Energieversorgung.
https://ariadneprojekt.de/media/2022/11/Ariadne-Hintergrund_DigitalisierungEnergieversorgung_November2022.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.
- BMWK (2024): Bericht über die Arbeit der Plattform Klimaneutrales Stromsystem (PKNS), Kap. 3.2.
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/integrierter-gesamtbericht-ueber-die-arbeit-der-pkns.pdf?blob=publicationFile&v=4>. Zugriff am: 25.07.2024.
- BMWK (2024): Speicher für die Energiewende – Bedeutung, Handlungsfelder und Maßnahmen für Strom-, Wärme- und Wasserstoffspeicher.
<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/speicher-fuer-die-energie-wende.pdf?blob=publicationFile&v=8>. Zugriff am: 13.03.2024.
- Borderstep Institut (2022): Wirtschaftlichkeit der Abwärmenutzung aus Rechenzentren in Deutschland.
https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2022/08/Abwaermenutzung_Rechenzentren_Update_2022.pdf Zugriff am: 12.07.2024.
- Bundesfinanzministerium (2024): Maßnahmen zur Unterstützung von Stromspeichern in der Wachstumsinitiative der Bundesregierung: <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/Oeffentliche-Finanzen/Bundesaushalt/bundesaushalt-2025-und-wachstumsinitiative-2.pdf?blob=publicationFile&v=3>. Zugriff 25.07.2024.
- Bundesregierung (2023): Strompreispaket für produzierende Unternehmen – Bundesregierung entlastet stromintensive Unternehmen. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/strompreispaket-fuer-produzierende-unternehmen-bundesregierung-entlastet-stromintensive-unternehmen-2235602>. Zugriff am: 25.07.2024.
- Deutsche Energie-Agentur (2024): DENA-GEBÄUDEREPORT 2024: Zahlen, Daten, Fakten zum Klimaschutz im Gebäudebestand, Deutsche Energie-Agentur. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2023/dena-Gebaedereport_2024.pdf. Zugriff am: 01.06.2024., S. 27.
- Deutsche Energie-Agentur (2024): Eigenkapitalähnliche Hybridinstrumente.
https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2024/Eigenkapitalaehnliche_Hybridinstrumente.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.
- DIN V 18599-2 (2018): Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen, Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- DLR (2023): Projekt TransTES-Chem (unveröffentlicht)
- EnergieAgentur.NRW (2020): Wärmespeicher in NRW: Thermische Speicher in Wärmenetzen sowie in Gewerbe- und Industrieanwendungen. <https://enerko.de/wp-content/uploads/2020/08/EnergieAgentur.NRW-Waermespeicher-in-NRW.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024.
- Energiedock: <https://www.energiedock.de/>. Zugriff am 29.7.2024)

Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE): unIT-e² – Reallabor für verNETzte E-Mobilität
<https://www.ffe.de/projekte/unite2/#:~:text=Das%20Projekt%20legt%20als%20Reallabor%20einen#:~:text=Das%20Projekt%20legt%20als%20Reallabor%20einen>. Zugriff am: 25.07.2024.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Langfristszenarien. T45-Szenarien.
<https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/>. Zugriff am: 07.06.2024.

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Langfristszenarien. Gebäude. T45-Szenarien. Anzahl der Heizungen T45.
https://www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschinenoele/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf. Zugriff am: 07.06.2024.

Fraunhofer ISI et al. (2023): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3 -T45-Szenarien- Modul Industriesektor.

Gesetzentwurf der Bundesregierung (2022): Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiterer Maßnahmen im Stromsektor. <https://dserver.bundestag.de/btd/20/016/2001630.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024.

Hamburg Institut (2024): Beratung zur nationalen Speicherstrategie für Großwärmespeicher (unveröffentlicht).

HIC Bericht (unveröffentlicht).

Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen – Sanieren (2024): BAFA - Energie - Infoblatt zu den förderfähigen Maßnahmen und Leistungen – Sanieren (relevant 4.2 Weitere förderfähige Maßnahmen, insb. 4.2.2 Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR), Gebäudeautomation, Energiemanagementsystem). Zugriff am: 25.07.2024.

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (2022): Forschungsdatenbank NichtWohnGebäude: Repräsentative Primärdatenerhebung zur statistisch validen Erfassung und Auswertung der Struktur und der energetischen Qualität des Nichtwohngebäudebestands in Deutschland., Institut Wohnen und Umwelt GmbH. https://www.datanwg.de/fileadmin/user/iwu/BMWi-03ET1315_ENOBdataNWG_Schlussbericht_final.pdf. Zugriff am: 01.06.2024.

ISO-Norm 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.

Interviews mit Expertinnen und Experten aus Forschung und Entwicklung;

IREES (2021): Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen. https://irees.de/wp-content/uploads/2021/02>Status-Bericht-LWS_I-REES-Final-002.pdf. Zugriff am: 25.07.2024.

Hausladen, G. et al. (2014): Lastverhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen und technischer Systeme - Speicher- und Lastmanagementpotenziale in Gebäuden: Endbericht, Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, <https://www.irbnet.de/daten/rswb/14109008253.pdf>. Zugriff am: 01.06.2024.

Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA BW) (2024): Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung. <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/einfuehrung-in-den-technikkatalog>. Zugriff am: 12.07.2024.

Kopernikus Projekt – Adriane (2023): Szenarien zur Klimaneutralität: Vergleich der „Big 5“-Studien. <https://ariadneprojekt.de/news-de/big5-szenarienvergleich/>. Zugriff am: 12.07.2024.

Kopernikus-Projekt SynErgie (2021): Positionspapier zu regulatorischen Änderungen ([synergie-projekt.de](https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/SynErgie-Positionspapier-Regulatorische-Rahmenbedingungen.pdf)). <https://synergie-projekt.de/wp-content/uploads/2020/09/SynErgie-Positionspapier-Regulatorische-Rahmenbedingungen.pdf>. Zugriff am: 25.07.2024.

McKinsey (2022): Net-zero heat - Long Duration Energy Storage to accelerate energy system decarbonization. [https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/netzero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization](https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/net-zero-heat-long-duration-energy-storage-to-accelerate-energy-system-decarbonization). Zugriff am: 24.07.2024.

Memorandum (2023): Zeitvariable Verteilnetzentgelte. Eine ökonomische Perspektive auf die deutsche Netzentgeltsystematik. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2022/BK6-22300/Stellungnahmen_zweite_Konsultation/Licht-Blick%20SE%20und%20Neon%20Neue%20Energie%C3%B6konomik%20Memo.pdf?blob=publicationFile&v=1. Zugriff am: 25.07.2024.

MVV Energie AG (2023): Abwärme von Rechenzentren. <https://partner.mvv.de/blog/abwaerme-von-rechenzentren-rztm>. Zugriff am: 12.07.2024.

Neidig Philipp (2022): Rechtsfragen saisonaler Aquifer-Wärmespeicher, Berliner Schriften zum Energierecht, S. 112ff.

Netzflex: Initiative-Netzflex. <https://www.dena.de/projekte/projekte/projektarchiv/initiative-netzflex/#:~:text=Die%20Initiative%20Netzflex%20hat%20das,Katalog%20f%C3%BCr%20regulatorische%20Sofortma%C3%9Fnahmen%20entwickelt>. Zugriff am: 25.07.2024.

Öko-Institut, ifeu, Hamburg Institut (2024): Wärmewende: Strategien für den Einsatz klimaneutraler Fernwärmetechnologien. AP4 Großwärmespeicher, Hemmnisse. Hamburg. 02.05.2024.

Ortner, S et al. (2021): Analyse des wirtschaftlichen Potenzials für eine effiziente Wärme- und Kälteversorgung. CLIMATE CHANGE 54/2021. Hrsg. Umweltbundesamt (UBA). <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-des-wirtschaftlichen-potenzials-fuer-eine>. Zugriff am: 10.07.2024.

Prognos et. al. (2024): <https://www.energiewechsel.de/KAENEF/Redaktion/DE/PDF-Anlagen/BEG/beg-evaluation-2022-beg-wg.pdf?blob=publicationFile&v=4>. Zugriff am: 26.07.2024.

Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM) (2022): https://www.bafa.de/DE/Energie/Effiziente_Gebaeude/effiziente_gebaeude_node.html#:~:text=Mit%20der%20Bundes%C3%B6rfnung%20f%C3%BCr%20effiziente (energiewechsel.de) (relevant Abschnitt 3.4.3 Netzdienlichkeit). Zugriff am: 25.07.2024.

SenUVK Berlin, IÖW (2021): https://www.berlin.de/sen/uvk/_assets/klimaschutz/klimaschutz-in-der-umsetzung/waermewende-im-land-berlin/entwicklung-waermestraegorie-land-berlin.pdf?ts=1709559808. Zugriff am: 26.07.2024.

Strodel, N. et. Al. (2024): Optimierte Integration thermischer Aquiferspeicher in Fernwärmesysteme. Statusseminar des Themenschwerpunktes TEA – BMBF Fachprogramm GEO:N, Freiberg.

Stromsteuergesetz (StromStG) § 3 Steuertarif. https://www.gesetze-im-internet.de/stromstg/_3.html. Zugriff am: 25.07.2024.

Task Force Wärmewende: Aquiferspeicher (WKO). <https://taskforce.wiefm.eu/wissensdatenbank/aquiferspeicher-warmte-koude-opslag-wko/> Zugriff am: 26.07.2024.

TRACER (2019): Smart strategies for the transition in coal intensive regions.
https://tracer-h2020.eu/wp-content/uploads/2019/10/TRACER_D2.1-Heat-Storages.pdf.
Zugriff am: 25.07.2024.

TUHH (2021): Planung und Bau eines Aquiferspeichers zur saisonalen Speicherung von Ab- und Überschusswärme. <https://www.tuhh.de/technische-thermodynamik/forschung/lau-fende-projekte/nrl-aquiferspeicher>. Zugriff am: 26.07.2024.

UBA (2023): Umweltzeichen Blauer Engel für Rechenzentren. https://www.umweltbundes-amt.de/sites/default/files/medien/11850/publikationen/69_2024_texte_blauer_engel_re-chenzentren.pdf. Zugriff am: 12.07.2024.

Vbsa, Ramboll (2015): Wärmespeicherung in Fernwärmenetzen. https://vbsa.ch/wp-content/uploads/2015/12/VBA040-Studie-W%C3%A4rmespeicherung-101_20151130-komprimiert-PDF-XPS.pdf. Zugriff am: 26.07.2024.

VDMA e.V. (2019): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland: Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten 2017.
https://www.fuchs.com/fileadmin/schmierstoffe/Produkte/Lieferprogramm/Industrieschmierstoffe/Kaeltemaschinenoele/Energiebedarf_fuer_Kaeltetechnik_in_Deutschland_Herausgeber_Forschungsrat_Kaeltetechnik_e.V._im_VDMA.pdf. Zugriff am: 05.07.2024.

Yu, Y. J. (2020): Optimierte Nutzung der Gebäude als dezentraler Wärmespeicher im Lastmanagement, Dissertation, Fraunhofer IRB-Verlag und Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik. <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/83b632ec-8b8c-4a97-b390-624efcf2c9f0/content>. Zugriff am 01.06.2024.

