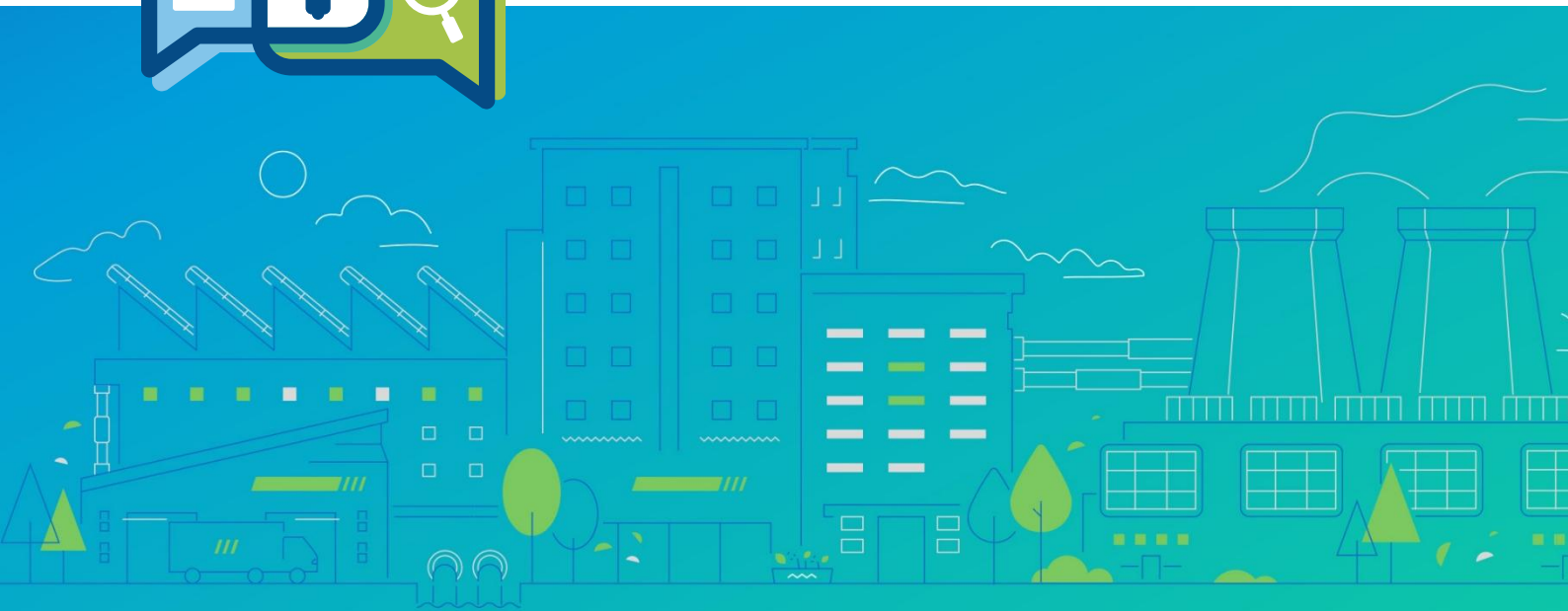
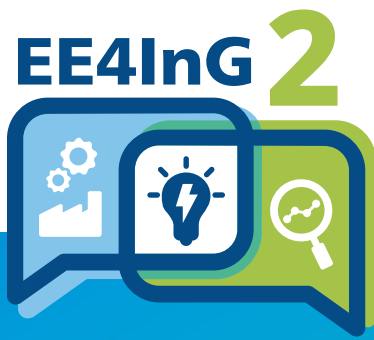


Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Thermische Energiespeicher für die Industrie Technikentwicklung, Marktpotenzial und Forschungs- förderung

Studie im Rahmen des Verbundvorhabens EE4InG2

EE4InG2

Begleitforschung für
Energieeffizienz in
Industrie und Gewerbe 2.0

ee4ing2.de

Karlsruhe, Aachen, Bensheim
19. Mai 2026

Das Begleitforschungsvorhaben EE4InG2 im Überblick

Projekthintergrund

Die **Energieforschungsförderung** orientiert sich an den energie- und klimapolitischen Zielen der Bundesregierung. Hauptziel ist dabei Klimaneutralität bis 2045 unter anderem durch höhere Energieeffizienz und den Ausbau erneuerbarer Energien. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) flankiert diese Ziele durch **Forschungsförderung der angewandten Energieforschung** im Rahmen des **Energieforschungsprogramms**. Ein Fokus liegt dabei auf der Energie- und Ressourceneffizienz in Industrie und Gewerbe. Das **Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe** fördert den Austausch von Experten in diesen Bereichen. Das BMWE prüft die Wirksamkeit des Energieforschungsprogramms und dessen zukünftige Entwicklung durch **Begleitforschung**. Die Begleitforschung dient schließlich als Instrument zur Bewertung und Weiterentwicklung der Forschungsförderung.

Projektziele

Das Verbundvorhaben EE4InG2 wurde konzipiert als **Begleitforschungsprojekt** für das **Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe (FN luG)**. Ein zentrales Projektziel ist die **wissenschaftliche Querauswertung der angewandten Energieeffizienzforschung und -förderung** durch das Energieforschungsprogramm im Hinblick auf Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Ein weiteres Projektziel ist die **Förderung des Austausches zwischen relevanten Akteuren des Innovationssystems** (Industrie, Wissenschaft, Politik), koordiniert durch eine im Projekt zu schaffende Koordinierungsstelle für das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe. Das Projekt knüpft an die inhaltlichen Vorarbeiten des vorausgegangenen Verbundvorhabens "EE4InG: Forschungsnetzwerk Energie in Industrie und Gewerbe – Vernetzung und Begleitung der FuE-Aktivitäten sowie Beschleunigung der Ergebnisverbreitung" (FKZ: 03ET1630A-B) an.

Kontakt

projektleitungEE4InG2@irees.de

<https://ee4ing2.de/>

Projektpartner



IREES – Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien GmbH

Durlacher Allee 77
76131 Karlsruhe
Ansprechpartnerin:
Dr. Heike Brugger

Tel.: +49 721 9152636-0
E-Mail: h.brugger@irees.de



RWTH Aachen University
Institut für Industrieofenbau und Wärmetechnik (IOB)

Kopernikusstr. 10
52074 Aachen
Ansprechpartner:
Felix Kaiser

Tel.: +49 241 80 26068
E-Mail: kaiser@iob.rwth-aachen.de



ETA-Solutions GmbH

Darmstädter Str. 239
64625 Bensheim
Ansprechpartnerin:
Juliane Heydemann

Tel. +49 6251 82555 42
E-Mail: heydemann@eta-solutions.de

Hinweise

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben „EE4InG2 – Begleitforschung für Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe 2.0“ wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 03EN2107A-C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt ausschließlich bei den Autorinnen und Autoren.

Autorenschaft, Zitationshinweise

Antretter, Michelle; Maertens, Robert (2026): Thermische Energiespeicher für die Industrie: Technikentwicklung, Marktpotenzial und Forschungsförderung. Studie im Rahmen des Begleitforschungsvorhabens EE4InG2. Hg. v. IREES GmbH. Karlsruhe.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary	6
2	Hintergrund, Zielsetzung und methodisches Vorgehen	9
3	Darstellung der Technik: Thermische Energiespeicher	11
3.1	Funktionsprinzip	11
3.2	Reife und Stand der Technikentwicklung	13
3.2.1	Aktueller Entwicklungsstand und Technologiereife	13
3.2.2	Technische Herausforderungen und erforderlicher FuE-Bedarf	15
3.2.3	Stand der Technik im internationalen FuE-Wettbewerb.....	17
3.2.3.1	Patentaktivität im internationalen Vergleich	17
3.2.3.2	Publikationsaktivität und wissenschaftliche Kompetenz.....	19
3.2.3.3	Anwendungsperspektive und Technologietransfer.....	20
3.2.3.4	Fazit.....	21
3.3	Anwendungsbereiche, Bedeutung und Marktpotenziale.....	22
3.3.1	Anwendungsbereiche.....	22
3.3.2	Energiewirtschaftliche Bedeutung	25
3.3.3	Marktpotenziale	26
3.3.3.1	Prognostiziertes Wachstum	26
3.3.3.2	Technikzyklus	28
3.4	Konkurrenztechniken	29
3.4.1	Beschreibung der Konkurrenztechniken	29
3.4.1.1	Elektrochemische Speicher	31
3.4.1.2	Chemische Speicher	32
3.4.1.3	Mechanische Speicher	33
3.4.1.4	Optionen ohne Speicher	33
3.4.2	Netzstabilisierung und elektrische Energiespeicherung.....	34
4	Ex-post-Evaluation zu TES in Deutschland und der EU.....	35
4.1	Förderung von FuE im Rahmen des Energieforschungsprogramms	35
4.1.1	Erstes bis drittes Energieforschungsprogramm (seit 1977)	37
4.1.2	Viertes bis sechstes Energieforschungsprogramm (1996 – 2018)	37
4.1.3	Siebtes und achtes Energieforschungsprogramm (seit 2018).....	38

4.2	Auswertung der nationalen Förderung für TES ab dem 6. EFP.....	40
4.3	Förderung von FuE auf EU-Ebene.....	44
4.4	Innovationssystem thermischer Energiespeicher.....	47
4.4.1	Nationales Innovationssystem in Deutschland.....	47
4.4.2	Internationales Innovationssystem.....	53
4.5	Interviews mit Projektbeteiligten von EFP-Projekten zu TES.....	54
4.5.1	Verlauf der Projektförderung.....	54
4.5.2	Technikentwicklung nach der EFP-Förderung.....	58
4.5.3	Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie.....	59
4.5.4	Einfluss der Förderung auf die Durchführung von Projekten.....	62
5	Identifizierte Hemmnisse und fördernde Faktoren.....	65
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	68
	Abbildungsverzeichnis.....	71
	Tabellenverzeichnis.....	72
	Literaturverzeichnis.....	73
	Anhang.....	76
A.	Suchstrategie der Patent- und Publikationsanalyse.....	76
B.	Globale Verteilung der Patentanmeldungen der TES-Typen.....	77
C.	Energieforschungsprogramme der Bundesregierung seit 1977.....	79

1 Executive Summary

Technologie und Relevanz

Die vorliegende Studie analysiert thermische Energiespeicher (TES) als zentrale Flexibilitätsoption für die Dekarbonisierung der industriellen Prozesswärme. Ziel ist es, den Zusammenhang zwischen der bisherigen Forschungsförderung, dem aktuellen technologischen Entwicklungsstand sowie dem zukünftigem Marktpotenzial zu bewerten und daraus Schlussfolgerungen für die Ausgestaltung der Energieforschung abzuleiten.

Die technologische Landschaft der TES ist durch drei grundlegende Speicherprinzipien – sensibel, latent und thermochemisch – geprägt. Diese unterscheiden sich deutlich hinsichtlich Energiedichte, Temperaturbereich, Reifegrad und Kostenstruktur. Während sensible Speicher bereits kommerziell eingesetzt werden, befinden sich latente Speicher in der Markteinführung und thermochemische Speicher überwiegend noch im Demonstrations- bzw. Forschungsstadium.

Thermische Energiespeicher besitzen eine hohe energiewirtschaftliche Relevanz für die Transformation des industriellen Energiesystems. Sie ermöglichen die Nutzung bislang unerschlossener industrieller Abwärme sowie die Integration erneuerbarer Energien durch die zeitliche Entkopplung von Energieangebot und -nachfrage. Für das deutsche Wärmesystem wird bis 2045 ein Speicherbedarf von 17 bis 34 TWh erwartet, was um den Faktor 150 – 300 höher als die heute installierte Kapazität von lediglich etwa 114 GWh liegt. TES leisten damit einen zentralen Beitrag zur Flexibilisierung des Energiesystems und stellen eine wichtige Infrastrukturkomponente dar.

Internationale Innovationsdynamik

Die Analyse der internationalen Forschungs- und Innovationsdynamik zu thermischen Energiespeichern allgemein zeigt eine deutlich zunehmende Aktivität. Die historische Patententwicklung weist einen erneuten Anstieg in den letzten Jahren auf. Latente und sensible Speicher dominieren dabei die Patentlandschaft, während thermochemische Speicher einen klaren Wachstumstrend ausgehend von niedrigem Niveau zeigen. Die sektorale Analyse zeigt, dass die meisten Patente im Zeitraum 2010 bis 2023 derzeit in den Bereichen Energieversorgung (385 Patente) und Gebäude (356 Patente) liegen, während die Industrie (155 Patente) und Wärmenetze (90 Patente) bislang weniger stark vertreten sind. Gleichzeitig ist insbesondere im Industriesektor ein deutlicher Aufwärtstrend zu erkennen, was auf eine zunehmende Relevanz von TES für industrielle Anwendungen hindeutet.

Auch die wissenschaftliche Publikationsaktivität ist stark gewachsen. Latente Speicher weisen die höchste Anzahl an Veröffentlichungen auf, gefolgt von thermochemischen und sensiblen Speichern. Besonders auffällig ist die hohe Publikationsaktivität Chinas über alle Speichertypen hinweg.

Förderlandschaft und Innovationssystem

Die Auswertung der nationalen Forschungsförderung (mit Schwerpunkt auf dem Zeitraum ab dem 6. Energieforschungsprogramm (EFP) und dem Anwendungsfeld Industrie) verdeutlicht, dass TES bereits seit den frühen Phasen der Energieforschung – namentlich im vierten und fünften EFP – als wichtige Querschnittstechnologie kontinuierlich adressiert wurden. In dieser Zeit lag der Schwerpunkt jedoch maßgeblich auf Anwendungen im Gebäudesektor sowie auf der internationalen Zusammenarbeit im Bereich der thermischen Solarkraftwerke. Ab dem 6. Energieforschungsprogramm wurden TES zunehmend als eigenständige Lösung für die industrielle Abwärmenutzung und Flexibilisierung von Produktionsprozessen angesehen. Seit dem 7. und insbesondere im 8. EFP werden sie als zentrales Element für Systemintegration, Sektorkopplung und industrielle Dekarbonisierung eingeordnet.

Die Auswertung der nationalen Förderstrukturen zeigt eine klare Dominanz wissenschaftlicher Einrichtungen innerhalb des Innovationssystems. Ein Großteil der geförderten Projekte wird von außeruniversitären Forschungseinrichtungen gefolgt von Universitäten getragen, während industrielle Akteure – insbesondere spezialisierte Technologieanbieter – vergleichsweise selten unter den Zuwendungsempfängern vertreten sind.

Insgesamt ergibt sich daraus ein stark forschungsgetriebenes nationales Innovationssystem, in dem technologische Entwicklung und Markthochlauf teilweise parallel und nicht eng verzahnt verlaufen. Die geringe Präsenz industrieller Akteure in der Förderung sowie die Existenz nicht geförderter Marktakteure deuten auf eine Lücke zwischen öffentlicher FuE-Förderung und marktnaher Technologieentwicklung hin. Dabei ist anzumerken, dass firmeninterne Innovationen ohne öffentliche Förderung möglicherweise unerkannt bleiben, bis diese am Markt angeboten oder auf Messen präsentiert werden.

Auf EU-Ebene ergänzen Programme wie Horizon Europe, Clean Energy Transition Partnership (CETP) und Innovation Fund (IF) die nationale Förderung. Je nach Bundesland gibt es auch noch thematisch relevante Förderaufrufe, die mit EFRE-Mitteln ausgestattet werden. Auch im Horizon Europe Programm dominieren Institutionen der angewandten Forschung, jedoch ist die Beteiligung industrieller Akteure tendenziell höher als in der nationalen Förderung.

Ergebnisse der Interviews

Die Auswertung von Interviews mit Projektbeteiligten aus dem EFP ergänzt die Rechercheergebnisse um eine Perspektive auf die Wirkung der Förderung und die Herausforderungen im Technologietransfer. Die Förderung wird überwiegend als zentraler Enabler für die Durchführung von FuE-Projekten bewertet, insbesondere zur Reduktion technologischer Risiken und zur Ermöglichung von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Industrie. Gleichzeitig zeigen die Interviews, dass der Übergang von der Forschung in die industrielle Anwendung häufig durch fehlende Demonstrationsprojekte, hohe

Investitionsrisiken und Unsicherheiten hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Langzeitverhalten erschwert wird. Als wesentliche Hemmnisse werden zudem die Integration in bestehende industrielle Prozesse, begrenzte Flächenverfügbarkeit sowie regulatorische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen genannt. Insgesamt bestätigen die Interviews die strukturelle Lücke zwischen FuE und Marktdiffusion und unterstreichen die Bedeutung von Demonstrationsvorhaben.

Handlungsempfehlungen

Zusammengefasst lassen sich aus der Studie folgende zentrale Handlungsempfehlungen ableiten:

- **Differenzierte Förderung nach Technologiereife:** Die Förderung sollte nach Technologiereife differenzieren. Für sensible und latente Speicher sollten Demonstration, Skalierung und Integration in die Anwendungsumgebung im Vordergrund stehen. Für thermochemische Speicher ist weiterhin Grundlagenforschung (außerhalb des EFP) und mittelfristig die angewandte Forschung sowie die Erprobung in Pilotanlagen notwendig.
- **Stärkung von Demonstrationsanlagen und Leuchtturmprojekten:** Ein zentrales Hemmnis für die Marktdiffusion ist das Fehlen sichtbarer industrieller Referenzprojekte. Solange keine belastbaren Betriebsdaten aus großskaligen Demonstrationsanlagen vorliegen, bleibt die Skepsis auf Industrieseite groß. Die bestehenden Förderinstrumente sind nur eingeschränkt geeignet, langfristige, investitionsintensive Demonstrationsprojekte zu unterstützen. Hier besteht Anpassungsbedarf in der Ausgestaltung der Fördermechanismen. Ein positives Beispiel für eine entsprechende Weiterentwicklung ist der im November 2025 veröffentlichte Förderaufruf „Transferoffensive Großwärmepumpen und thermische Speicher für die Industrie“ (TOP-SI), der genau diese Lücke adressiert.
- **Stärkung der Verzahnung innerhalb des Innovationssystems:** Die Analyse zeigt, dass öffentliche Forschungsförderung und marktgetriebene Technologieentwicklung bislang nur unzureichend ineinandergreifen. Die Förderung sollte daher stärker auf den Übergang von FuE zu industrieller Anwendung ausgerichtet werden.
- **Vereinfachung von Projektanträgen, Beschleunigung von Bewilligungsprozessen und Schaffung verlässlicher politischer Rahmenbedingungen:** Antragsprozesse sollten vereinfacht werden und der administrative Aufwand reduziert werden, insbesondere durch schnellere Bearbeitung und transparente Rückmeldungen bei Ablehnungen. Eine langfristige Absicherung des Forschungshaushalts könnte die Forschungskontinuität erhöhen sowie Planungs- und Investitionssicherheit für alle Beteiligten verbessern.

2 Hintergrund, Zielsetzung und methodisches Vorgehen

Im Rahmen von EE4InG2 wird eine große Spannbreite an Techniken betrachtet, die entweder branchenspezifisch sind oder Querschnittstechnologien darstellen. Die vorliegende Analyse erstreckt sich dabei von der Betrachtung der Förderung von Forschung und Entwicklung (FuE) in der Vergangenheit über den aktuellen Entwicklungsstand bis hin zum Entwicklungspotenzial in der Zukunft. Das Hauptziel dieser Ausarbeitung ist die Beantwortung der Frage:

„Gibt es einen Zusammenhang zwischen FuE-Förderung, heutigem Erfolg und zukünftigem Potenzial der Technik (Markteintritt und -diffusion)?“

Die zu analysierende Technik wird aus einem erstellten Technikportfolio in einem zweistufigen Auswahlprozess über Kriterien zu folgenden Hauptaspekten identifiziert: Energiewirtschaftliche Relevanz (Energiebedarf und Einsparpotenzial heute bzw. in Zukunft), Relevanz in FuE, insbesondere im Energieforschungsprogramm (EFP) der Bundesregierung (EFP-Missionen/Ziele, FuE-Projekte/Publicationen) und Technology Readiness Level (TRL). Weitere Aspekte können Szenarienabhängigkeit, Anwendungsfelder, Produktionsperspektiven und Hemmnisse verschiedener Art sein. So sollen Effizienztechniken ausgewählt werden, die ein vielversprechendes Potenzial an Energieeffizienz aufweisen und eine deutliche Verknüpfung zum 8. EFP aufweisen. Die Ergebnisse des Auswahlprozesses (Vorauswahl) fließen in die Ausarbeitung der Analyse ein. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

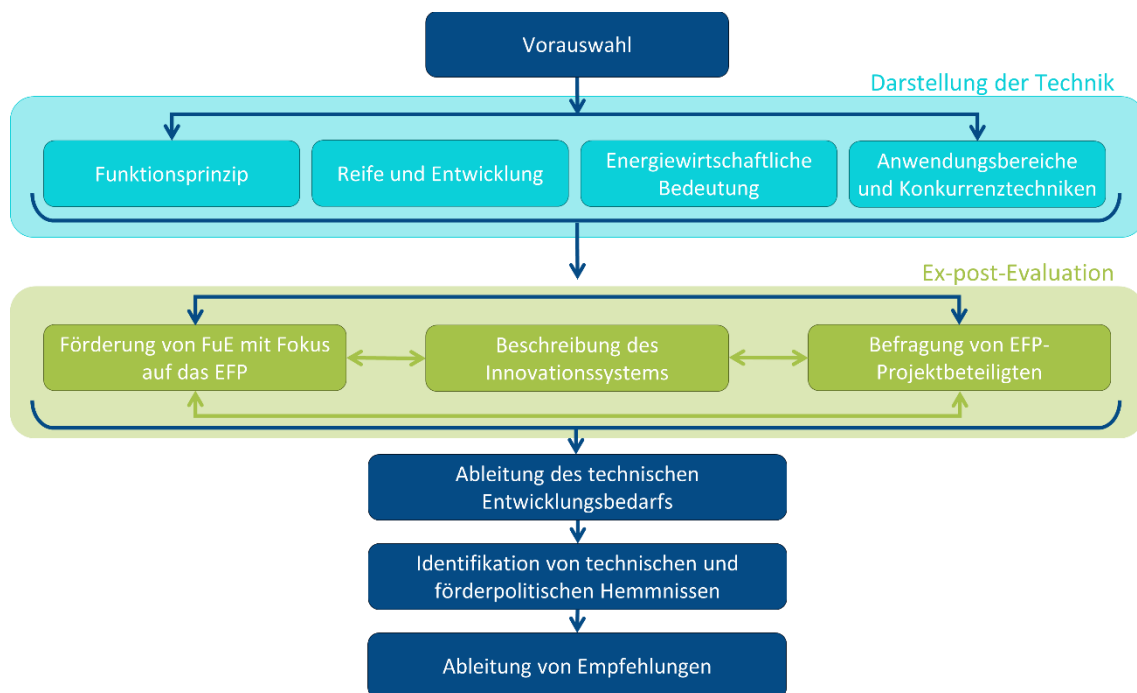


Abbildung 1: Übersicht der Methodik, angelehnt an die EDUAR&D-Methode.

Quelle: eigene Darstellung

Die genutzte Methodik ist angelehnt an EDUAR&D, kurz für „Energiedaten und -analyse R&D“, ein strukturierter Such- und Analyseprozess, der verschiedenste methodische Ansätze zur Darstellung, Analyse und Bewertung der Techniken miteinander verbindet (Jochem, 2009; Schäfer *u. a.*, 2021).

Definition des Untersuchungsrahmen der vorliegenden Analyse: Thermische Energiespeicher

Die untersuchte Technik ist der thermische Energiespeicher (TES) nach der Definition der Internationalen Energieagentur (IEA). Dieser speichert thermische Energie und stellt sie zeitversetzt bereit. Die Anwendung soll im industriellen Bereich liegen, sodass der Fokus auf Mittel- und Hochtemperaturanwendungen liegt.

In der Darstellung der Technik (Kapitel 3) wird nach einer Kurzbeschreibung zu Funktionsprinzip und wichtigen Parametern, die Reife und Entwicklung der Technik thematisiert sowie absehbare Anwendungsbereiche aufgezeigt. Außerdem werden der internationale FuE-Wettbewerb und mögliche Konkurrenztechniken aufgezeigt. Zur Beurteilung der energiewirtschaftlichen Bedeutung werden die Energieeffizienz- und Einsparpotenziale durch die Verwendung von thermischen Energiespeichern ermittelt. Weiterhin fließen Patent- und Publikationsanalysen mit in dieses Kapitel ein, um den internationalen FuE-Wettbewerb und das Innovationssystem zu veranschaulichen. Zusammenfassend liefert die Darstellung der Technik eine tiefe Analyse der ausgewählten Effizienztechniken Grundlage für die anschließende Ex-post-Evaluation.

Der zentrale Teil der Ex-post-Evaluation in Kapitel 4 ist die FuE-Relevanzanalyse der Technik. Dort wird die bisherige Förderung von FuE in Deutschland und speziell im Rahmen des EFP betrachtet sowie die Verankerung der Technik im aktuellen 8. EFP des BMWF aufgezeigt. Damit soll erarbeitet werden, wie die Technik in der Vergangenheit im deutschen FuE-System verortet wurde und sich im aktuellen Forschungsprogramm wiederfindet. Die Projektförderung von TES wird durch eine Analyse der Fördervolumina und der zentralen Zuwendungsempfänger sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene quantifiziert. Mit der Beschreibung des Innovationssystems sollen die wichtigsten Akteurinnen und Akteure zur Entwicklung und Diffusion der Technik dargestellt werden. Dabei spielen wissenschaftliche Einrichtungen, Herstellende, Anwendende und Intermediäre eine Rolle. Die Ausarbeitung der Ex-post-Evaluation wird durch Interviews abgerundet. Die Befragungen der ehemaligen Projektleitenden der geförderten FuE-Projekte dienen zur Einschätzung des Erfolges der damaligen Arbeiten sowie zu Hemmnissen, Co-Benefits und Wechselwirkungen mit anderen Techniken.

Die Analyse schließt mit der Ableitung des Entwicklungsbedarfs der Technik und möglicher Entwicklungsziele, sowie der Identifikation von technischen und ökonomischen Hemmnissen aus den vorherigen Analyseschritten (Kapitel 5). Hieraus werden dann in Kapitel 6 Handlungsempfehlungen abgeleitet, insbesondere für die zukünftige Energieforschung des Bundes.

3 Darstellung der Technik: Thermische Energiespeicher

3.1 Funktionsprinzip

Thermische Energiespeicher sind Technologien zur Speicherung von Energie in Form von Wärme oder Kälte. Die Speicherung erfolgt als Exergiedifferenz zwischen einem betrachteten thermischen System und seiner Umgebung. Die gespeicherte Energie kann zeitlich entkoppelt von ihrer Erzeugung wieder freigesetzt und direkt als thermische Energie genutzt werden. Eine etablierte Definition findet sich bei (Sternner und Stadler, 2017), wonach thermische Speicher der zeitlichen Entkopplung von Wärmeerzeugung und -nutzung dienen und damit eine zentrale Flexibilitätsoption in Energiesystemen darstellen.

In der Praxis wird bei thermischen Energiespeichern stets entweder Wärme oder Kälte als „Produkt“ gespeichert, wobei die Nutzung der gespeicherten Energie unmittelbar auf einem Temperaturniveau erfolgt, das dem jeweiligen Anwendungsfall entspricht. Typische Einsatzgebiete sind:

- die solare Wärmeerzeugung (z. B. solarthermische Anlagen),
- die Nutzung und Zwischenspeicherung industrieller Abwärme,
- die Speicherung mittels Power-to-Heat elektrisch erzeugter Wärme,
- die Wärmespeicherung im Kontext von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen zur Entkopplung von Strom- und Wärmeerzeugung.

Die Annahme, dass eine Rückverstromung kein relevantes Einsatzgebiet thermischer Speicher sei, entspricht jedoch nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Mit dem Konzept der Carnot-Batterie hat sich in den letzten Jahren ein Ansatz etabliert, bei dem elektrische Energie in Wärme umgewandelt, thermisch gespeichert und bei Bedarf wieder rückverstromt wird. Auch die Nutzung industrieller Abwärme zur Stromerzeugung ist inzwischen Stand der Technik. Die Round-Trip-Effizienz solcher Konzepte liegt, insbesondere im Vergleich mit anderen Langzeitspeicherrouten, in einem konkurrenzfähigen Bereich. Das DLR hat entsprechende Arbeiten zu Carnot-Batterien im internationalen Kontext insbesondere in den ES TCP-Task 36¹ eingebracht.

Grundsätzlich lassen sich drei Speicherprinzipien unterscheiden, die sich hinsichtlich physikalischem Mechanismus, erreichbarer Energiedichte, Temperaturbereich und technischer Reife unterscheiden, siehe Abbildung 2:

¹ <https://iea-es.org/task-36/> (zuletzt überprüft am 29.04.2026)

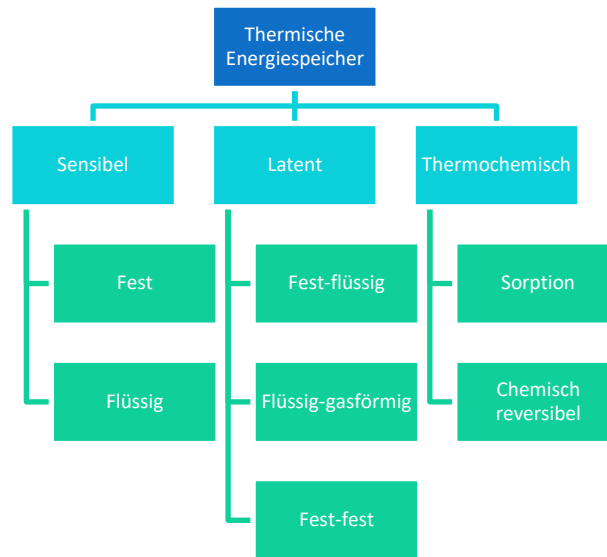


Abbildung 2: Einteilung der thermischen Energiespeicher

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf (Stadler und Hauer, 2017)

Bei **sensiblen Speichern** wird Energie durch eine Temperaturänderung eines Speichermediums aufgenommen bzw. abgegeben, ohne dass ein Phasenwechsel stattfindet. Die gespeicherte Energiemenge ist proportional zur Masse des Mediums, seiner spezifischen Wärmekapazität und der nutzbaren Temperaturspreizung. Typische Speichermedien sind Wasser, Öl, Beton, Gestein oder keramische Materialien. Sensible Speicher zeichnen sich durch eine einfache technische Auslegung, hohe Zuverlässigkeit und vergleichsweise geringe spezifische Investitionskosten aus, weisen jedoch begrenzte Energiedichten auf.

Latente Speicher nutzen die Enthalpie eines Phasenwechsels (meist fest–flüssig) eines sogenannten Phasenwechselmaterials (PCM). Während des Phasenübergangs kann Wärme bei nahezu konstanter Temperatur gespeichert bzw. freigesetzt werden. Dadurch lassen sich im Vergleich zu sensiblen Speichern höhere Energiedichten bei engen Temperaturfenstern realisieren. Die Auswahl geeigneter PCM ist stark vom gewünschten Temperaturbereich abhängig. Die maßgeschneiderte Herstellung solcher Materialien hat sich inzwischen zu einem eigenständigen Geschäftsfeld entwickelt, das von spezialisierten Anbietern wie etwa der Firma Rubitherm² bedient wird; im Temperaturspektrum bestehen jedoch nach wie vor einzelne Lücken. Technische Herausforderungen ergeben u. a. in der Wärmeübertragung, der Materialstabilität und der Zyklenfestigkeit.

Thermochemische Speicher basieren auf reversiblen chemischen oder sorptiven Reaktionen. Die Speicherung erfolgt durch Auftrennung eines Stoffsystems mittels Wärmezufuhr; bei der Rückreaktion wird Wärme wieder freigesetzt. Diese Speicherform ermöglicht sehr hohe theoretische Energiedichten und nahezu verlustfreie Langzeitspeicherung, da die Energie chemisch gebunden vorliegt. Gleichzeitig sind thermochemische

² <https://www.rubitherm.eu/> (zuletzt geprüft am 29.04.2026)

Speicher technologisch komplex, häufig noch im Entwicklungs- oder Demonstrationsstadium und mit höheren Investitions- und Systemkosten verbunden.

Zur systematischen Charakterisierung thermischer Energiespeicher werden in dieser Studie folgende zentrale Kenngrößen herangezogen:

- Speicherdauer (Kurz-, Mittel- oder Langzeitspeicherung),
- (spezifische) Leistungs-/Energiedichte, bezogen auf Masse oder Volumen des Speichermediums,
- Ein- und Ausspeicherleistung,
- Reaktionszeit, insbesondere bei der Ausspeicherung,
- Zyklenstabilität und Lebensdauer,
- Temperaturbereich der Be- und Entladung,
- Effizienz, einschließlich Ein- und Ausspeichereffizienz sowie Speicherverluste,
- ökonomische Kenngrößen, insbesondere spezifische Investitionen bezogen auf die Speicherleistung sowie Speicherkosten bezogen auf die bereitgestellte Energiemenge,
- Systemeinbindung (zentrale vs. dezentrale Speicher),
- Mobilität (stationäre vs. mobile Speicher).

Die im Rahmen dieser Technikanalyse betrachteten thermischen Energiespeicher sind überwiegend als dezentrale, stationäre Speicherlösungen einzuordnen, die direkt in industrielle Prozesse oder in deren unmittelbares Umfeld integriert werden. Sie leisten dort einen Beitrag zur Flexibilisierung von Wärmeströmen, zur besseren Nutzung erneuerbarer Wärmequellen und Abwärme sowie zur Reduktion fossiler Energieeinsätze.

3.2 Reife und Stand der Technikentwicklung

3.2.1 Aktueller Entwicklungsstand und Technologiereife

Der Entwicklungsstand thermischer Energiespeicher unterscheidet sich deutlich zwischen sensiblen, latenten und thermochemischen Speicherprinzipien. Diese Unterschiede zeigen sich insbesondere in erreichbaren Speicherdauern, Energiedichten, Leistungsbereichen sowie in Effizienz und Lebensdauer der Systeme. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die zentralen Kenngrößen der unterschiedlichen Speichertypen. Die Aussagen beziehen sich auf Zahlen aus (Stadler und Hauer, 2017) und (IRENA, 2020).

Tabelle 1: Zentrale Kenngrößen thermischer Energiespeicher

Prinzip	Energiedichte	Leistung	Speicherdauer	Reifegrad
Sensibel	15–200 kWh/m ³	kW – 100 MW	Stunden – Monate	kommerziell
Latent	50–90 kWh/m ³	kW – wenige MW	Stunden – Tage	teilmarktreif
Thermochemisch	200–1.200 kWh/m ³	kW – 1 MW	Wochen – Monate	Demo / FuE

Quelle: (IRENA, 2020)

Speicherkapazität und Energiedichte

Die erreichbare Energiedichte unterscheidet sich deutlich zwischen den Speicherprinzipien. Sensible Speicher weisen geringe volumetrische Energiedichten auf und liegen typischerweise im Bereich von 15 bis 80 kWh/m³ (z. B. Wasser- oder Erdsondenspeicher) und bis zu 200 kWh/m³ bei Salzschmelzespeichern. Latente Speicher erreichen höhere Energiedichten, meist im Bereich von 50 bis 90 kWh/m³, bei Eisspeichern auch darüber. Thermochemische Speicher ermöglichen deutlich höhere Energiedichten und erreichen – abhängig vom Prozess – 200 bis über 1200 kWh/m³.

Ein- und Ausspeicherleistung

Sensible Wärmespeicher zeichnen sich durch sehr hohe Lade- und Entladeleistungen aus. Je nach Bauform reichen die realisierten Leistungsbereiche von wenigen Kilowatt bis zu mehreren hundert Megawatt, etwa bei Salzschmelzespeichern oder großskaligen Unterspeichern. Latente Speicher sind derzeit überwiegend im Kilowatt- bis niedrigen Megawattbereich angesiedelt, da Wärmeübertragung und Phasenwechsel die Leistungsdichte begrenzen. Thermochemische Speicher weisen aktuell deutlich geringere typische Leistungsbereiche auf, häufig im Kilowatt- bis niedrigen Megawattbereich, was ihre Eignung für hochdynamische Anwendungen einschränkt.

Speicherdauer

Thermische Energiespeicher decken ein breites zeitliches Anwendungsspektrum ab. Sensible Speicher werden heute sowohl für Kurzzeitanwendungen im Stunden- bis Tagesbereich als auch für Langzeit- und saisonale Speicherzeiträume von mehreren Wochen bis Monaten eingesetzt, etwa in Form großvolumiger Wasser- oder Unterspeicher. Latente Speicher sind überwiegend für kurz- bis mittelfristige Speicherzeiträume ausgelegt und kommen typischerweise im Stunden- bis Tagesbereich zum Einsatz. Thermochemische Speicher adressieren explizit die Langzeitspeicherung, da die gespeicherte Energie chemisch gebunden und über Monate nahezu verlustfrei vorgehalten werden kann.

Reaktionszeit

Sensible Speicher reagieren sehr schnell und erlauben eine flexible, bedarfsgerechte Be- und Entladung. Latente Speicher zeigen längere Reaktionszeiten, insbesondere bei ungleichmäßigem Phasenwechsel. Thermochemische Speicher besitzen die längsten Reaktionszeiten, da Reaktionskinetik und Stofftransport die Entladung bestimmen.

Zyklusstabilität und Lebensdauer

Sensible Speicher gelten als besonders robust und langlebig. Technische Lebensdauern von 40 bis 50 Jahren sind Stand der Technik, bei Feststoffspeichern werden zudem Zyklenzahlen von mehreren Tausend Lade-/Entladevorgängen erreicht. Latente Speicher weisen typischerweise geringere Zyklenzahlen auf, häufig im Bereich von einigen hundert bis wenigen tausend Zyklen, abhängig vom eingesetzten Material. Thermochemische Speicher können zwar kalendarisch lange Lebensdauern erreichen, sind jedoch zyklus- und materialseitig deutlich sensibler und bislang nur begrenzt erprobt.

Temperaturbereich

Thermische Energiespeicher decken nahezu das gesamte relevante Temperaturspektrum ab: Sensible Speicher reichen von unter 0 °C (Kältespeicherung) bis zu weit über 1.000 °C bei Feststoffspeichern. Latente und thermochemische Speicher sind auf materialabhängige Temperaturfenster festgelegt, die für die Anwendung ausgewählt werden müssen. Alle Speichertypen sind damit für industrielle Prozesswärme relevant.

Effizienz

Sensible und latente Wärmespeicher erreichen in der Praxis hohe Gesamtwirkungsgrade von über 90 %, bei Salzschnmelzespeichern sogar nahe 98 %. Thermochemische Speicher weisen demgegenüber deutlich geringere Systemwirkungsgrade auf; je nach Prozess liegen diese häufig im Bereich von 45 bis 63 % (IRENA, 2020), was ihre Wirtschaftlichkeit aktuell begrenzt.

3.2.2 Technische Herausforderungen und erforderlicher FuE-Bedarf

Thermische Energiespeicher bieten ein hohes Potenzial zur Dekarbonisierung industrieller Prozesse und zur Flexibilisierung der Energieversorgung im gewerblichen Umfeld. Ihr breiter Einsatz in Industrie und Gewerbe wird jedoch durch spezifische technische Herausforderungen gehemmt.

Fehlende Standardisierung der Bewertungsmethoden

Die energetische Bewertung von Speichersystemen ist komplex und bislang nicht standardisiert. Insbesondere fehlen eine Vergleichbarkeit des Gesamtwirkungsgrads mit und ohne Speicher sowie eine systematische Analyse der Mehrkosten flexibler gegenüber unflexibler Energiebereitstellung. Dies erschwert die systemische Einordnung und die wirtschaftliche Bewertung von Speicherlösungen erheblich. (Mennel und Fischer, 2024)

Begrenzte Flächenverfügbarkeit und Infrastrukturanforderungen

Ein zentrales Hindernis stellt die begrenzte Flächenverfügbarkeit dar. In industriellen Anlagen konkurrieren potenzielle Speicherflächen direkt mit produktiven Nutzungen. Hinzu kommen häufig erhebliche Investitionen in begleitende Infrastruktur wie Verrohrung, Wärmeübertragungssysteme oder Prozessanpassungen, die die Gesamtwirtschaftlichkeit belasten. (Mennel und Fischer, 2024)

Unzureichende Marktreife und Materialelektion

Viele Speicherlösungen im Hochtemperaturbereich befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Die Vielzahl potenzieller Speichermaterialien erschwert die Identifikation und Auswahl geeigneter Systeme für spezifische Anwendungen. Während latente Wärmespeicher vereinzelt, kommerziell verfügbar sind (TRL 6-9), befinden sich thermochemische Speicher überwiegend in frühen Entwicklungsphasen (TRL 1-4). Die Skalierung auf industrielle Dimensionen ist bislang unzureichend erfolgt. (Mennel und Fischer, 2024)

Das vergleichsweise niedrige TRL der eingesetzten Technologien erzeugt ein hohes Wahrnehmungsrisiko bei potenziellen Anwendern. Für die Markteinführung sind vor allem Standardisierung, Skalierung und Systemintegration entscheidend, wofür größere Demonstratoren notwendig sind, um Wechselwirkungen im Betrieb realistisch zu prüfen. (Interviewauswertung)

Herausforderungen bei der Systemintegration

Die Integration thermischer Speicher in bestehende industrielle Infrastrukturen stellt eine besondere technische Herausforderung dar. Der ungestörte Betrieb von Kraftwerks- und Industrieanlagen hat dabei oberste Priorität, was den Handlungsspielraum für Anpassungen deutlich einschränkt. Integrationsarbeiten sind häufig nur während geplanter Revisionszeiträume möglich und binden die Umsetzung an enge Zeitfenster. Hinzu kommen erhöhte Anforderungen an Regelung und Prozessführung, die sich aus dem veränderten thermischen Verhalten hochgedämmter Anlagen ergeben. Auch die messtechnische Erfassung relevanter Betriebsgrößen erfordert mitunter eine aufwendige Nachrüstung von Messinstrumenten in Bestandsanlagen. (Interviewauswertung)

Unsicherheiten bezüglich Langzeitverhalten und Rentabilität

Die Langlebigkeit der Materialien unter zyklischer Belastung und die Rentabilität der Investitionen sind aufgrund fehlender Langzeiterfahrungen schwer abschätzbar. Großskalige Demonstrationsprojekte, die belastbare Betriebsdaten und praxisnahe Erkenntnisse zur Systemintegration und zum Langzeitbetrieb liefern könnten, fehlen weitgehend. (Mennel und Fischer, 2024)

Industrielle Prozessanlagen sind häufig auf Laufzeiten von mehreren Jahrzehnten ausgelegt und bieten kaum Spielräume für Betriebsunterbrechungen. Die damit verbundene Notwendigkeit einer konservativen Speicherauslegung führt jedoch oft zu überdimensionierten Systemen, was die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheitstechnik sowie die Reparaturfreundlichkeit und Wartbarkeit der Systeme spielen dabei eine zentrale Rolle. (Interviewauswertung)

3.2.3 Stand der Technik im internationalen FuE-Wettbewerb

Die internationale Forschungs- und Entwicklungslandschaft im Bereich thermischer Energiespeicher ist durch eine hohe Innovationsdynamik und technologische Vielfalt gekennzeichnet. Um aktuelle Trends, regionale Schwerpunkte und zeitliche Entwicklungen zu erfassen, wurden transnationale Patentanmeldungen sowie relevante wissenschaftliche Publikationen systematisch analysiert.

Ziel der Untersuchung ist es, zentrale Fragen zur globalen Technikausrichtung und -entwicklung zu beantworten:

- Wie hat sich die technologische Entwicklung in den vergangenen Jahrzehnten gestaltet? Lassen sich klare Schwerpunkte erkennen oder zeigen sich Verschiebungen im Fokus?
- In welchen Ländern oder Institutionen werden welche thermischen Speichertypen bevorzugt erforscht und eingesetzt?
- Wie werden die verschiedenen thermischen Speichertypen in den jeweiligen Anwendungsbereichen eingesetzt? Lassen sich dabei typische Einsatzmuster oder bevorzugte Kombinationen erkennen?

Die Ergebnisse liefern wertvolle Einblicke in den internationalen FuE-Wettbewerb und die strategische Ausrichtung einzelner Akteure im Bereich thermischer Energiespeicher.

Der Fokus der Untersuchung bei der Patent- und Publikationsanalyse liegt dabei auf den drei Speichertypen: Sensible, latente und thermochemische Speicher.

3.2.3.1 Patentaktivität im internationalen Vergleich

Für die Patentuntersuchung wurde die Datenbank „World Patents Index“ (WPI) herangezogen, die sich durch eine hohe Stichwortgenauigkeit und eine breite internationale Abdeckung auszeichnet. Der Schwerpunkt lag insbesondere auf transnationalen Patentanmeldungen, da sie eine fundierte Grundlage für Ländervergleiche bieten und häufig technologisch und wirtschaftlich besonders relevante Erfindungen repräsentieren.

Es hat sich gezeigt, dass eine kombinierte Suchstrategie aus Stichwörtern und IPC-Klassifikationen (International Patent Classification) besonders zielführend ist, um relevante Patente systematisch zu identifizieren und thematisch einzugrenzen. Eine Übersicht aller Suchstrategien für die Patentanalyse inklusive Stichwörter und IPC-Klassen-Kombinationen ist im Anhang A zu finden.

Die Analyse der Patentdaten zur Frage, wie sich die Entwicklung thermischer Energiespeichertechniken in den vergangenen Jahrzehnten gestaltet hat, zeigt ein deutliches zyklisches Muster: Bis zum Jahr 2012 war ein starker Anstieg der Patentanmeldungen zu verzeichnen, ein regelrechter „Boom“, der auf ein hohes Innovationsinteresse in diesem

Zeitraum hinweist. Anschließend kam es zu einem Rückgang, bevor die Zahlen in den letzten Jahren wieder kontinuierlich anstiegen (Vgl. Abbildung 3).

Inhaltlich dominieren die latenten Wärmespeicher über den gesamten Zeitraum hinweg die Patentlandschaft. Sie stellen den größten Anteil an Erfindungen dar und werden derzeit intensiv beforscht. Auffällig ist jedoch, dass sensible Speicher, insbesondere nach dem jüngsten Wiederanstieg, ein vergleichbares Niveau erreicht haben und somit an Bedeutung gewinnen. Thermochemische Speicher befinden sich weiterhin auf einem niedrigen Patentniveau, zeigen jedoch einen klaren Aufwärtstrend, was auf zunehmende Forschungsaktivitäten in diesem Bereich hindeutet.

Die Analyse der transnationalen Patentanmeldungen zeigt, dass sich die wichtigsten Anmeldeländer je nach Speichertyp deutlich unterscheiden. Bei sensiblen Speichern liegen die EU28-Staaten an erster Stelle, dicht gefolgt von China, das sich seit einem sehr niedrigen Ausgangsniveau im Jahr 2010 stark entwickelt hat. Danach folgen die USA und Japan, wobei Deutschland etwa auf dem Niveau Japans liegt. Südkorea ist in diesem Bereich deutlich schwächer vertreten.

Im Bereich der latenten Speicher ist zu Beginn der 2010er Jahre ein erster Innovationschub erkennbar, dem ein zweiter Boom Anfang der 2020er Jahre folgt. Die EU28-Länder führen auch in diesem Bereich das Feld an, dicht gefolgt von den USA und Japan. Deutschland weist, wie bei den sensiblen Speichern, ein vergleichbares Aktivitätsniveau wie Japan auf. China und Südkorea sind bei diesem Speichertyp hingegen nur schwach vertreten.

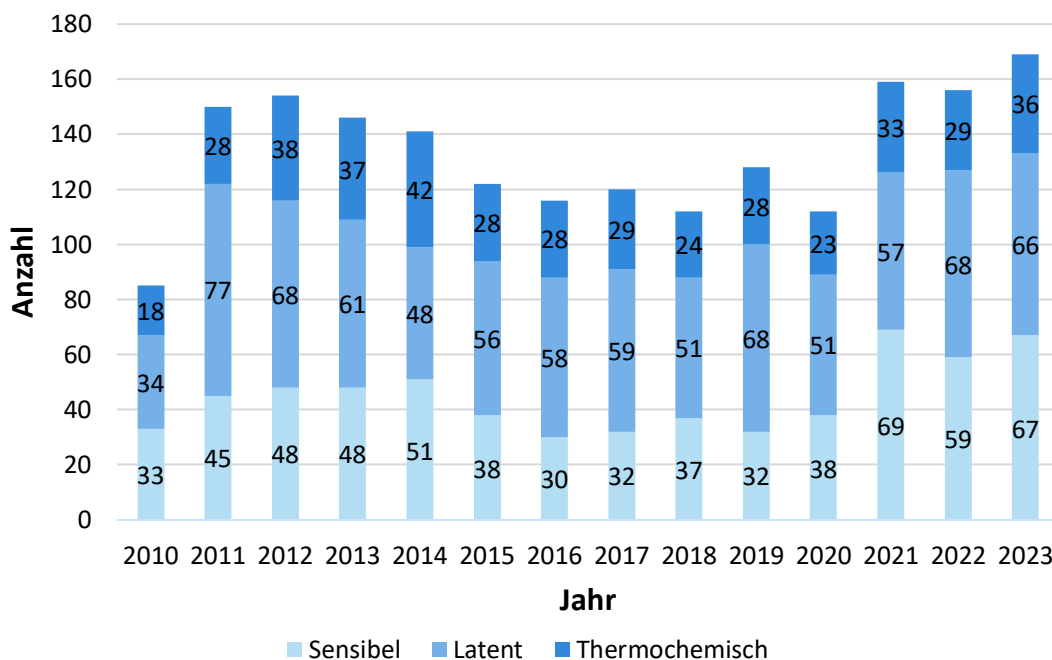


Abbildung 3: Zeitverlauf der Patentanmeldungen zu verschiedenen Typen von TES.

Quelle: eigene Darstellung, IREES, Daten von Prof. Ulrich Schmoch – Fraunhofer ISI

Bei den thermochemischen Speicherlösungen zeigt sich ein anderes Bild: Hier liegen die USA an der Spitze, gefolgt von den EU28-Staaten und China. Japan, Deutschland und

Südkorea rangieren deutlich weiter unten. Auffällig ist ein starker Ausreißer bei den US-Patentanmeldungen Mitte der 2010er Jahre, während die Werte der EU28 über den gesamten Zeitraum hinweg stabil bleiben. Spitzen sind sowohl zu Beginn der 2010er Jahre als auch zu Beginn der 2020er Jahre zu beobachten. Insgesamt liegen die Aktivitäten von China, Japan und Südkorea bei thermochemischen Speichern deutlich unter denen der USA und der EU28, wobei Südkorea konstant niedrig bleibt. Die Abbildungen der Patentanmeldungen im Zusammenhang mit ihrer globalen Verteilung sind im Anhang zu finden.

3.2.3.2 Publikationsaktivität und wissenschaftliche Kompetenz

Zur Analyse der wissenschaftlichen Forschung wurden Recherchen in der Datenbank „Web of Science“ (WoS) durchgeführt. Dabei wurden dieselben Stichwörter wie bei den Patentrecherchen verwendet. Im Anhang A wird die Suchstrategie bei der Publikationsanalyse näher erläutert.

Bei den Publikationen sind die Zahlen zu latenten Wärmespeichern mit Abstand am höchsten. Wie auch bei der Patentanalyse sind hier thermochemische Wärmespeicher am schwächsten vertreten, sie liegen jedoch dicht an sensiblen Speichern. Bei allen drei Typen ist ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen (Vgl. Abbildung 4). Der Aufwärtstrend in allen drei Speichertypen deutet auf eine zunehmende wissenschaftliche Aktivität in diesem Feld hin.

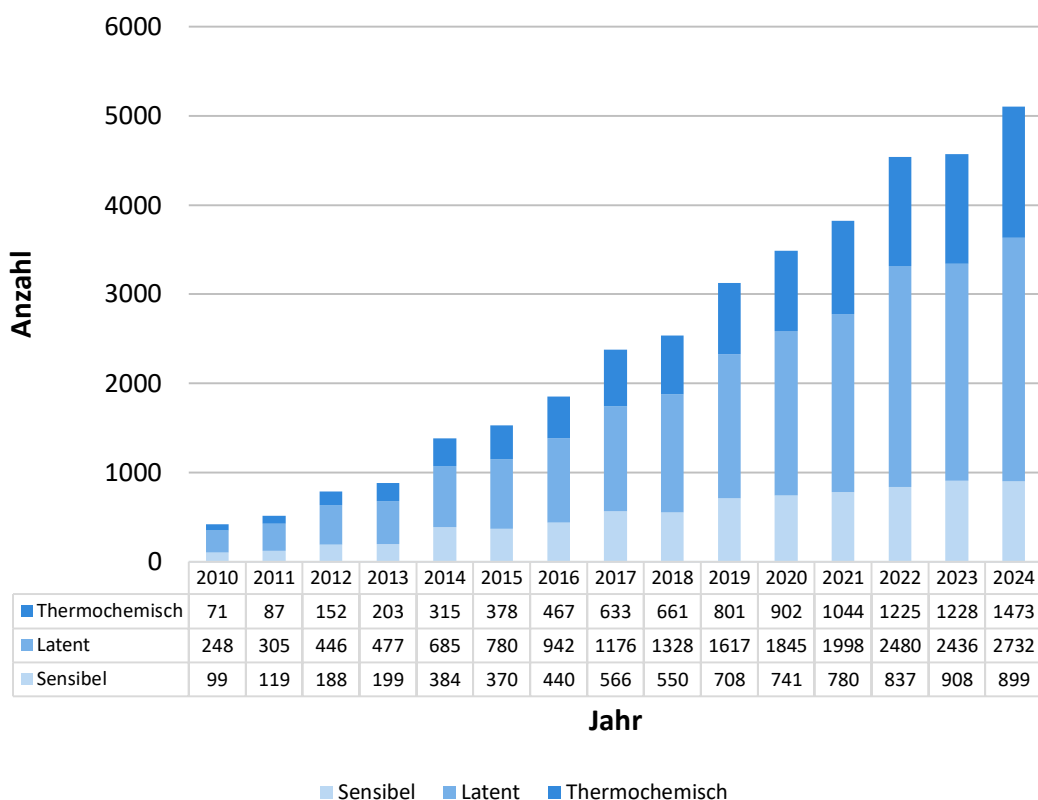


Abbildung 4: Publikationen in WoS zu verschiedenen Typen von Wärmespeichern.

Quelle: eigene Darstellung, IREES, Daten von Prof. Ulrich Schmoch – Fraunhofer ISI

Die Auswertung der wissenschaftlichen Publikationen nach Ländern beruht auf Daten aus WoS und umfasst damit ausschließlich Veröffentlichungen aus peer-reviewten Fachzeitschriften. Sie zeigt, dass die EU28 sowohl in der Forschung als auch im Bereich der Patente zu thermischen Speichern stark vertreten ist. Besonders auffällig ist die hohe Anzahl chinesischer Veröffentlichungen zu sämtlichen Speichertypen. Dies gilt auch für latente und thermochemische Speicher, obwohl China in der Patentstatistik in diesen Bereichen bislang nur eine untergeordnete Rolle spielt³.

Die intensive Publikationstätigkeit lässt sich nicht ohne Weiteres als Beleg für eine breit aufgebaute wissenschaftlich technologische Kompetenz im Sinne anschlussfähiger industrieller Verwertung lesen. Ob aus der Publikationsaktivität in den kommenden Jahren tatsächlich ein deutlicher Anstieg der Patentanmeldungen zu latenten und thermochemischen Speichern folgt, bleibt abzuwarten und hängt von zahlreichen Rahmenbedingungen des chinesischen Innovationssystems ab.

3.2.3.3 Anwendungsperspektive und Technologietransfer

Bei der Auswertung von Patenten zu verschiedenen Anwendungen von Wärmespeichern zeigt sich, dass besonders viele Anmeldungen aus den Bereichen Gebäude und Energieversorgung stammen. Es folgen Anwendungen in der Industrie, die in den letzten Jahren einen deutlichen Aufwärtstrend verzeichnen. Der Bereich der Wärmenetze ist aktuell noch schwach ausgeprägt, zeigt aber ebenfalls einen Anstieg.

Während bei sensiblen Wärmespeichern der massive Anstieg im Gebäudebereich auffällt, ist bei latenten Wärmespeichern der Anstieg im Industriebereich auffällig. Nach einem Boom im Bereich der Energieversorgung zu Beginn der 2010er Jahre und einem anschließend moderaten Verlauf in allen Anwendungsgebieten ist bei den thermochemischen Speichern aktuell ein Zuwachs zu beobachten. Es ist zu erwarten, dass die Bedeutung thermochemischer Speicher in den nächsten Jahren zunehmen wird, was sich mit dem in Abbildung 3 dargestellten Trend deckt. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Relevanz der Anwendungssektoren nach Speichertypen aus der Patentanalyse.

³ Eine hohe Publikationsaktivität in einem Technologiefeld kann als Indikator dafür gelesen werden, dass dort eine breite wissenschaftlich-technische Kompetenz aufgebaut wird, aus der mittelfristig auch industrielle Aktivitäten und Unternehmensgründungen hervorgehen können. Inwieweit dieser Zusammenhang im konkreten Fall trägt, hängt jedoch von zahlreichen Rahmenbedingungen des jeweiligen Innovationssystems ab und lässt sich nicht pauschal aus der Publikationszahl ableiten.

Tabelle 2: Wärmespeichertypen und Anwendungssektoren, Patente 2010 bis 2023.

Wärmespeichertyp	Industrie	Gebäude	Wärmenetze	Energieversorgung
Sensibel	67	163	34	182
Latent	52	144	37	119
Thermochemisch	36	49	19	84
Gesamt	155	356	90	385

Quelle: Daten von Prof. Ulrich Schmoch – Fraunhofer ISI

Bei der Verteilung nach Anwendungssektoren liegen die Energieversorgung (385 Patente) und der Gebäudesektor (356 Patente) vorne, während die Industrie (155 Patente) und Wärmenetze (90 Patente) weniger im Fokus stehen.

Sensible Wärmespeicher sind für die meisten Anwendungen der wichtigste Speichertyp. Eine bemerkenswerte Ausnahme zeigt sich jedoch bei Wärmenetzen: Hier liegen latente Speicher mit 37 Patenten knapp vor sensiblen Speichern mit 34 Patenten. Aus diesen Zahlen lassen sich allerdings keine direkten technologischen Schlussfolgerungen ableiten. Die Patentaktivität zeigt zunächst nur, dass Anwender bereit sind, in beide Technologien in vergleichbarem Umfang zu investieren. Sie ist damit eher ein Indikator für erwartete wirtschaftliche Verwertbarkeit als für die tatsächliche technische Eignung. Patente werden dort angemeldet, wo Akteure relevante Gewinnpotenziale vermuten und ihre Position absichern wollen. Ein erhöhtes Patentaufkommen lässt daher Rückschlüsse auf die wahrgenommene strategische Bedeutung eines Technologiefelds zu und könnte eine Einschätzung der Reife oder Eignung für den konkreten Einsatzzweck darstellen.

3.2.3.4 Fazit

Die Analyse der internationalen Forschungs- und Entwicklungslandschaft im Bereich der thermischen Energiespeicher zeigt eine technologisch vielfältige und dynamisch wachsende Branche. Über alle drei Speichertypen hinweg ist ein Innovationsaufschwung erkennbar. Nach einem Rückgang ab dem Jahr 2012 ist in den vergangenen Jahren bei den Patentanmeldungen wieder eine deutliche Zunahme zu verzeichnen. Die Anzahl der wissenschaftlichen Publikationen steigt über den gesamten Zeitraum hinweg.

Derzeit dominieren latente Speicher sowohl die Patent- als auch die Publikationslandschaft. Regional zeigt sich ein intensiver Wettbewerb zwischen den EU28-Staaten, den USA und China. Während Europa und die USA traditionell führend sind, entwickelt sich China zunehmend zu einem ernstzunehmenden Akteur mit hoher wissenschaftlicher Produktivität, die mittelfristig in verstärkte Patentaktivität münden dürfte. Diese geografische Verschiebung deutet auf eine zunehmende Globalisierung der Innovationslandschaft hin und unterstreicht die strategische Bedeutung thermischer Energiespeicher für die weltweite Energiewende.

Hinsichtlich der Anwendungssektoren zeigen sich deutliche Schwerpunkte: Mit jeweils über 350 Patenten dominieren der Gebäudesektor und die Energieversorgung die Patentlandschaft und repräsentieren damit die wichtigsten Einsatzfelder thermischer Speichertechnologien. In der Industrie ist in den letzten Jahren ein deutlicher Aufwärtstrend zu verzeichnen, insbesondere bei latenten Speichern. Der Bereich der Wärmenetze ist aktuell zwar noch schwach ausgeprägt, zeigt aber ebenfalls einen Anstieg. Insgesamt unterstreicht die breite Anwendungsvielfalt die strategische Bedeutung thermischer Energiespeicher für die weltweite Energiewende.

3.3 Anwendungsbereiche, Bedeutung und Marktpotenziale

3.3.1 Anwendungsbereiche

Die aktuellen Anwendungsfelder für thermische Energiespeicher lassen sich auf die Bereiche Integration erneuerbarer Energien, Abwärmennutzung sowie Bereitstellung von Systemdienstleistung und Netzflexibilität einteilen.

Kernelement der **Integration von erneuerbaren Energien** ist die Elektrifizierung der Prozesswärme (Power to Heat, PtH, P2H). Thermische Energiespeicher erlauben die Entkopplung von Stromangebot und Wärmenachfrage, sodass schwankende Strompreise abgepuffert werden können. Im Rahmen des Modells „Heat-as-a-Service“ (HaaS) eröffnen sich bedeutende Marktpotenziale insbesondere für industrielle Anwendungen elektrifizierter Prozesswärme. Der Umstieg auf elektrifizierte Wärmelösungen erfordert häufig technisches Know-how, das in Unternehmen selbst nicht vorhanden ist. Der Erwerb und Betrieb solcher Technologien, die nicht zum Kerngeschäft gehören, können ineffizient und teuer sein sowie das Unternehmen inhaltlich überfordern. Statt den eigenen Wärmeversorgungsanlagen und den damit verbundenen Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungsrisiken zu unterliegen, kann ein Unternehmen die Wärmeversorgung an einen spezialisierten Dienstleister (Contractor) auslagern. Dieser stellt die Anlage bereit, betreibt sie über die Vertragslaufzeit und liefert die Wärme zu einem vereinbarten konstanten Preis pro Energieeinheit, ganz analog dem klassischen fossilen Energieliefermodell mit klar kalkulierbarem Tarif (WBCSD, 2022).

Darüber hinaus bietet das Modell Vorteile bei der Kapitalbindung: Da Investitionen in Wärmeerzeugungsanlagen nicht mehr vom Nutzer, sondern vom Energiedienstleister getragen werden, entfällt die für das Unternehmen die Notwendigkeit der hohen Anfangsinvestitionen (CAPEX) transformativer Techniken. Stattdessen wird der Wärmebezug über Betriebskosten (OPEX) abgerechnet, was unmittelbare Kostenvorteile ermöglicht und finanzielle Flexibilität schafft, Kapital in das eigentliche Kerngeschäft zu lenken. Zugleich können erfahrene Energiedienstleister technologische Innovationen schneller einführen und durch ihre Marktkenntnis Chancen aus neuen Marktmechanismen gezielt nutzen (WBCSD, 2022).

Thermische Energiespeicher sind das zentrale Element von HaaS-Dienstleistungen, wie sie aktuell bereits von einigen Start-ups angeboten werden. So plant Rondo Energy⁴ beispielsweise eine 100 MWh HaaS Lösung für die Brauerei Heineken in Portugal. Auch ENERGYNEST⁵ bietet für seinen TES eine HaaS Lösung an, bei der die Investitionen vom Dienstleister getragen werden. Die folgenden HaaS Anbieter wurden bei einer Recherche ermittelt, siehe Tabelle 3. Es handelt sich überwiegend um Start-ups mit zahlreichen angekündigten Projekten, aber bisher wenigen realisierten Anlagen.

Tabelle 3: Anbieter von Heat-as-a-Service-Lösungen (HaaS)

Name	Land	TES-Technik	Temperaturniveau	Wärmeübertragung
Rondo Energy	USA	Hochtemperatur-Feststoffspeicher aus feuerfestem Material	bis ca. 1.200 °C	Luft oder Dampf
ENERGY-NEST	Norwegen	Sensible Wärme in Hochtemperatur-Betonmodulen	bis ca. 450 °C	Thermalöl oder Dampf
Brenmiller Energy	Israel	Partikelbett aus vulkanischem Gestein	bis ca. 750 °C	Luft, Dampf oder Thermalöl
Kaaj Energy	Kanada	Feststoffspeicher auf Eisenoxidbasis	bis ca. 1.000 °C	Heißluft oder Dampf
Kyoto Group	Norwegen	Salzschmelze-Speicher	bis ca. 415 °C	Dampf oder Heißwasser
Exergy3	Vereinigtes Königreich	Ultrahochtemperatur-Feststoffspeicher (Keramik/Graphit)	bis ca. 1.200 °C	Heißluft oder Gase
NewHeat	Frankreich	Solarthermie mit Wasser- oder Salzspeicher	80–200 °C	Heißwasser oder Dampf
Build To Zero	Spanien	Salzschmelze-Speicher	bis ca. 400 °C	Dampf oder Thermalöl
Skyven Technologies	USA	Elektrische Prozesswärme mit Wärmepumpen & Pufferspeicher	bis ca. 150 °C	Wasser oder Dampf
Good Heat	Australien	Keramik-, Beton-, Metallspeicher je nach Projekt	200–1.200 °C	Luft, Dampf oder Thermalöl

Die **Abwärmennutzung** ist ein weiterer Anwendungsbereich für TES, welcher insbesondere bei Batchprozessen attraktiv ist. In der industriellen Praxis werden Power-to-Heat und Abwärmennutzung heute meist gemeinsam betrachtet und technisch kombiniert, weil beide Konzepte ähnliche Infrastruktur und Speichertechnologien nutzen. Reine Abwärmennutzung senkt zwar Energiebedarf und CO₂-Emissionen, ersetzt aber keine fossilen Brennstoffe vollständig. PtH ergänzt hier als CO₂-freie Erzeugungsoption. In der Regel werden thermische Speicher so ausgelegt, dass sie flexibel sowohl elektrische Überschussenergie als auch industrielle Abwärme aufnehmen können. Diese hybride Betriebsweise erlaubt es, die Speicherkapazitäten optimal auszulasten und das Temperaturniveau je

⁴ <https://www.rondo.com/customers> (zuletzt geprüft am 12.11.2025)

⁵ <https://energy-nest.com/de/heat-as-a-service/> (zuletzt geprüft am 12.11.2025)

nach Bedarf anzuheben oder abzusenken. Besonders in diskontinuierlichen Prozessen, bei denen Abwärme nur zeitweise anfällt, ermöglichen TES-Systeme eine zeitlich entkoppelte Nutzung der Energie.

Beispiele hierfür finden sich bei Unternehmen wie Brenmiller Energy, ENERGYNEST und Kraftblock, deren Speicherlösungen gezielt zur Koppelung von Abwärme und erneuerbarem Strom entwickelt wurden. So können etwa Brenmillers⁶ *bGen*-Systeme sowohl mit Strom als auch mit Prozessabwärme geladen werden und stellen bedarfsgerecht Dampf, Heißwasser oder Luft bereit. Kraftblock nutzt ein keramisches Hochtemperaturspeichermaterial, das sich direkt mit Abgasen oder Abwärmeströmen beladen lässt, gleichzeitig aber auch elektrische Energie, beispielsweise per Elektroluftherhitzer, aufnehmen kann. Im Pilotprojekt mit PepsiCo⁷ wird der Speicher mit erneuerbarem Strom beheizt, während interne Prozessabwärme zurückgeführt wird, damit der Speicher unabhängig von der Verfügbarkeit einzelner Energiequellen betrieben werden kann.

Eine reine Abwärmenutzung findet sich vor allem in Branchen mit konstanten Hochtemperaturprozessen, bei denen große Wärmemengen kontinuierlich anfallen, etwa in der Stahl-, Glas- oder Zementindustrie. Hier kommen Systeme wie jene von Storasol⁸ zur Anwendung, bei denen heiße Abluft aus Öfen in Hochtemperaturspeichern zwischengespeichert und bei Bedarf genutzt wird. Solche Anwendungen zeigen, dass TES auch ohne zusätzliche elektrische Beheizung wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann, wenn ausreichend kontinuierliche Abwärmequellen vorhanden sind.

Systemdienstleistung und Netzflexibilität gewinnen im Zuge der fortschreitenden Elektrifizierung der Prozesswärme an Bedeutung. TES in Verbindung mit Power-to-Heat ermöglichen die Entkopplung von Stromerzeugung und Wärmenachfrage und können so Lastverschiebung durchführen. Sie können auf Preissignale reagieren und damit zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen beitragen. Perspektivisch eröffnet dies Industrieunternehmen neue Erlösmöglichkeiten durch die Teilnahme an Flexibilitätsmärkten und unterstützt gleichzeitig die Versorgungssicherheit im Gesamtsystem.

Erste Leuchtturmprojekte verdeutlichen jedoch das Potenzial thermischer Speichertechnologien im industriellen Maßstab: Die Wärmebatterie von Rondo Energy bei Covestro⁹, ein 100-MWh-Wärmespeicher bei Heineken¹⁰ sowie Power-to-Heat-Systeme von ENERGYNEST¹¹. Eine breite Marktdiffusion steht jedoch noch aus.

⁶ <https://bren-energy.com/technology/> (zuletzt geprüft am 12.11.2025)

⁷ <https://www.kraftblock.com/de/projekte/volt-eneco-pepsico> (zuletzt geprüft am 12.11.2025)

⁸ https://storasol.com/wp-content/uploads/2022/12/190205_STORASOL_Economics-Example-brick-factory.pdf (zuletzt geprüft am 12.11.2025)

⁹ <https://www.covestro.com/press/de/covestro-setzt-innovative-waerme-batterie-von-rondo-energy-ein/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

¹⁰ https://www.solarserver.de/2025/11/10/waerme-aus-photovoltaik-rondo-energy-installiert-100-mwh-waermespeicher-fuer-heineken/?utm_source=newsletter&utm_campaign=newsletter (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

¹¹ <https://energy-nest.com/de/projekte/leonhard-kurz/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

3.3.2 Energiewirtschaftliche Bedeutung

Thermische Energiespeicher besitzen eine zentrale energiewirtschaftliche Bedeutung für die Transformation des industriellen Energiesystems, da sie sowohl die Nutzung bislang unerschlossener Wärmequellen ermöglichen als auch die Elektrifizierung und Systemintegration erneuerbarer Energien unterstützen. Ihre Relevanz lässt sich entlang von drei Kategorien quantifizieren:

- Erschließung industrieller Abwärmepotenziale
- Ermöglichung einer grünen Elektrifizierung der Prozesswärme
- Beitrag zur Flexibilisierung des Energiesystems

Für Deutschland wird das theoretische industrielle **Abwärmepotenzial** in Abgasströmen auf rund 227 PJ pro Jahr (entspricht ca. 63 TWh/a, bezogen auf eine Referenztemperatur von 35 °C) abgeschätzt (König *u. a.*, 2019, S. 78). Ein wesentlicher Teil dieser Abwärme fällt in Temperaturbereichen an, die für eine energetische Nutzung grundsätzlich geeignet sind. Stichprobenbasierte Auswertungen von König et al. (2019) zeigen, dass etwa die Hälfte der ermittelten Exergie sowohl im Bereich von 25 bis 350 °C als auch oberhalb von 350 °C anfällt, wobei ein kleiner Anteil sehr hochtemperierter Abwärmequellen einen überproportionalen Exergieanteil trägt (König *u. a.*, 2019, S. 77). Eine geringe Anzahl an Anlagen in der Studie trug zum Großteil der erhobenen Gesamtabwärmemenge bei. Gleichzeitig weisen die Erhebungen auf eine ausgeprägte zeitliche und betriebliche Heterogenität der Abwärmeströme hin. Thermische Speicher können daher als Schlüsseltechnologie zur Nutzbarmachung industrieller Abwärme eingeordnet werden, da sie den zeitlichen Versatz zwischen Abwärmeeinfall und Wärmenachfrage überbrücken und damit eine kontinuierliche Nutzung diskontinuierlich anfallender Wärmequellen ermöglichen (Tafelmeier, Zunft und Gschwander, 2022).

Aus energiewirtschaftlicher Sicht gelten insbesondere der mittlere und hohe Temperaturbereich (ca. 100 - 500 °C und darüber) als besonders attraktiv für den Einsatz thermischer Speicher, da hier einerseits ein hoher spezifischer Exergiegehalt vorliegt und andererseits die direkte Nutzung ohne oder mit nur geringer zusätzlicher Temperaturhebung möglich ist (Tafelmeier, Zunft und Gschwander, 2022). Das Potenzial bis zu 100 °C ist bereits teilweise für die Wärmebereitstellung im Gebäudesektor erschlossen (Toro, Jochem und Lösch, 2022), sodass der zusätzliche systemische Nutzen von Speichern in diesem Bereich vor allem in der zeitlichen Entkopplung, weniger in der Erschließung bislang ungenutzter Potenziale liegt.

Für die Abschätzung des durch TES adressierbaren **Elektrifizierungspotenzials** ist der speicherfähige industrielle Prozesswärmebedarf maßgeblich. In den Langfristszenarien für Deutschland wird für das Jahr 2045 ein Prozesswärmebedarf von rund 247 TWh/a auf einem Temperaturniveau ausgewiesen, das grundsätzlich für den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmespeichern geeignet ist (Mennel und Fischer, 2024, S. 25). Diese Größe beschreibt die physikalisch-technische Obergrenze des industriellen Wärmesegments, in

dem TES in Kombination mit elektrischen Wärmeerzeugern eingesetzt werden können. Die Rolle von TES für die „grüne“ Elektrifizierung ergibt sich insbesondere aus ihrer Fähigkeit, fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung zeitlich von der Wärmenachfrage zu entkoppeln. Energiesystemstudien für ein klimaneutrales Deutschland zeigen, dass im Jahr 2045 in der Größenordnung von etwa 48 TWh/a erneuerbarer Stromerzeugung ohne zusätzliche Flexibilitätsoptionen abgeregelt werden müsste (Mennel und Fischer, 2024, S. 18). Diese Energiemenge stellt ein potenzielles Einsatzfeld für strombasierte Wärmeerzeugung in Kombination mit thermischen Speichern dar. Für sensible Großtankspeicher im Niedertemperaturbereich (typischerweise < 100 - 120 °C) bestehen aus technischer Sicht nur geringe Einschränkungen hinsichtlich der Aufnahme großer Wärmemengen (Mennel und Fischer, 2024, S. 18). Für höhere Temperaturniveaus sind Speicher erforderlich, deren Einsatz aufgrund höherer Materialanforderungen, geringerer technologischer Reife und höherer Kosten derzeit mit deutlich größeren technischen und wirtschaftlichen Limitationen verbunden ist (Mennel und Fischer, 2024).

Über die Erschließung von Abwärme und die Elektrifizierung hinaus besitzen thermische Energiespeicher eine eigenständige energiewirtschaftliche Bedeutung als **Flexibilitäts- und Infrastrukturkomponente**. Sie erhöhen die zeitliche Entkopplung von Erzeugung und Nachfrage und tragen damit zur Integration hoher Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien bei (Tafelmeier, Zunft und Gschwander, 2022). Für das deutsche Fernwärmesystem wird in Szenarien für das Jahr 2045 ein erforderlicher Speicherinhalt in der Größenordnung von 17 bis 34 TWh abgeschätzt, was etwa 10 bis 20 % der dann erwarteten jährlichen Wärmeerzeugung entspricht (Mennel und Fischer, 2024, S. 17). Im Vergleich zur heute installierten Speicherkapazität von rund 114 GWh ergibt sich daraus ein Ausbaubedarf um den Faktor 150 bis 300. Diese Größenordnungen unterstreichen, dass TES nicht nur als Hilfstechnologie einzelner Anlagen, sondern als systemrelevante Infrastrukturkomponente zu betrachten sind, die Lastverschiebung, Spitzenlastreduktion und die Nutzung erneuerbarer Überschüsse im gekoppelten Strom-Wärme-System ermöglichen.

3.3.3 Marktpotenziale

3.3.3.1 Prognostiziertes Wachstum

Wie anhand der energiewirtschaftlichen Bedeutung gezeigt, prognostizieren mehrere Studien ein starkes Marktwachstum für TES in den kommenden Jahrzehnten. Laut IRENA (2020) wird sich die weltweite Kapazität installierter thermischer Speicher bereits bis 2030 von rund 234 GWh in 2019 auf über 800 GWh verdreifachen. Dieses Wachstum erfordert erhebliche Investitionen. Allein für die weit verbreiteten sensiblen TES in CSP-Anlagen beziffert IRENA (2020) den Investitionsbedarf bis 2030 auf 12 bis 24 Mrd. USD.

Der aktuelle Markt für TES in Europa ist im Vergleich zu diesen Potenzialen noch sehr klein. Nach dem European Energy Storage Inventory¹² waren im November 2025 nur 49 Projekte mit einer Gesamtleistung von 2,12 GW in Betrieb und 24 Projekte mit einer Leistung von 1,25 GW in Planung (Gonzalez, 2025). Der Großteil davon entfällt auf Spanien und Finnland, siehe Abbildung 5.

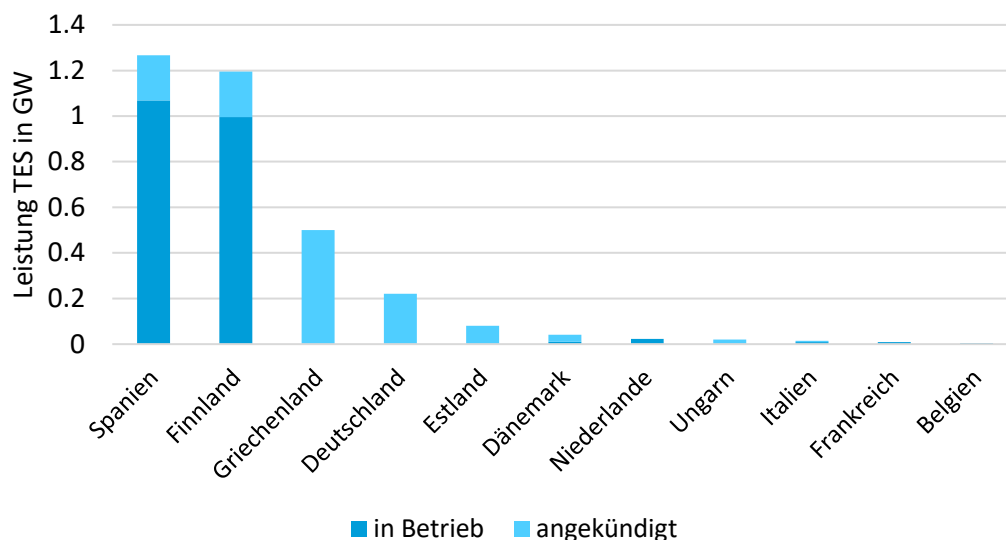


Abbildung 5: Installierte und angekündigte Leistung TES in Europa

Quelle: (Gonzalez, 2025), Stand November 2025

Spanien gilt als Vorreiter beim Einsatz thermischer Energiespeichern in Verbindung mit CSP-Anlagen, in denen ausschließlich sensible Flüssigsalz-Speicher verwendet werden. Die Flüssigsalz-Speicher werden vom solar erwärmten Thermalöl beheizt. Durch die Speicherung der thermischen Energie kann die Stromerzeugung auch in den Nachtstunden aufrechterhalten werden. Um ein Erstarren des Salzes und damit eine irreparable Zerstörung der Anlage zu vermeiden, muss der Speicher in sonnenarmen Zeiten extern beheizt werden, was in der Regel mit fossilen Brennstoffen geschieht (Dersch u. a., 2021).

Die spanische Vorreiterrolle ist allerdings nicht losgelöst von deutscher Beteiligung zu betrachten. Die großen CSP-Projekte und zugehörigen Forschungsanlagen sind unter maßgeblicher Mitwirkung deutscher Akteure entstanden, insbesondere des DLR sowie der ehemaligen Energiesparte von Siemens, die aufgrund ihrer günstigen geografischen Bedingungen für die höchste Effizienz in Spanien platziert wurden. Die in diesen Projekten gewonnenen Erkenntnisse, etwa zu höheren Arbeitstemperaturen und gesteigerter Effizienz, fließen heute über die Weiterentwicklung der Technologie nach Deutschland zurück und tragen so zur hiesigen Forschungs- und Anwendungslandschaft bei.

Finnlands Wärmespeicher werden vor allem dazu genutzt, Überschussenergie aus diversen Quellen aufzunehmen und saisonal zeitversetzt als Heizwärme bereitzustellen. Eine zentrale Rolle spielen erneuerbare Stromüberschüsse (v. a. aus Windkraft), die mittels

¹² <https://ses.jrc.ec.europa.eu/storage-inventory-maps> (zuletzt geprüft am 28.04.2026)

Power-to-Heat in Wärme umgewandelt werden. So werden etwa im Projekt Varanto (Vantaa) zwei Elektroheizkessel mit je 60 MW Leistung installiert, um günstigen Überschussstrom in Wärme für einen großen Kavernenspeicher umzuwandeln¹³. Neben den Wasserspeichern kommen aber auch Hochtemperatur-Speicher¹⁴ zum Einsatz, in denen die Energie bei 500 °C in Sand gespeichert wird. Bemerkenswert ist, dass Speicherkonzepte dieser Art bereits im Rahmen des vierten und fünften Energieforschungsprogramms in Deutschland mit hoher Beteiligung der heimischen Forschung entwickelt wurden, bevor sie eine breitere Internationalisierung erfahren haben. Hier ist insbesondere die Hochschulforschung am Solarinstitut Jülich im Kontext des Solarturms hervorgehoben¹⁵.

3.3.3.2 Technikzyklus

Der Technikzyklus, auch Gartner Hype Cycle genannt, beschreibt die typische Erwartungs- und Reifeentwicklung neuer Technologien. Er verläuft entlang der Phasen von überhöhten Erwartungen bis zur produktiven Marktdurchdringung (Dedehayir und Steinert, 2016). Wie auch andere Energiespeicher lassen sich die thermischen Energiespeicher jedoch aufgrund ihrer technologischen und anwendungsseitigen Vielschichtigkeit nicht einheitlich innerhalb dieses Schemas verorten (Khodayari und Aslani, 2018). In der nachfolgenden Abbildung 6 wird versucht, einige der hier vorgestellten Techniken graphisch in den Hype Cycle einzuordnen.

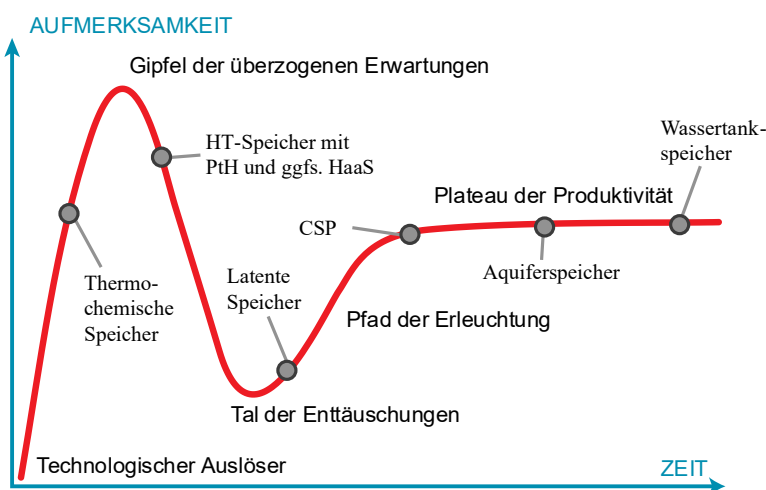


Abbildung 6: Gartner Hype Cycle mit Einordnung ausgewählter TES-Techniken

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gartner_Hype_Cycle.svg mit eigenen Ergänzungen

¹³ <https://www.vantaanenergia.fi/en/about-us/projects/varanto-the-cavern-thermal-energy-storage/> (zuletzt geprüft am 14.11.2025)

¹⁴ <https://polarnightenergy.com/sand-battery/> (zuletzt geprüft am 14.11.2025)

¹⁵ <https://www.fh-aachen.de/forschung/institute/sij/> (zuletzt geprüft am 29.04.2026)

So gelten sensible Wassertankspeicher im Gebäudebereich und in Fernwärmenetzen als technologisch vollständig etabliert und befinden sich somit im „Plateau der Produktivität“. Ähnlich hoch ist die Reife von Aquiferspeichern, die jedoch in Deutschland bisher nur in geringem Maße genutzt werden (Fleuchaus *u. a.*, 2021).

Flüssigsalz-Speicher in CSP-Anlagen stellen ebenfalls eine technologisch ausgereifte Lösung dar. Sie haben ihre technische Funktionsfähigkeit und Systemintegration im kommerziellen Betrieb vielfach unter Beweis gestellt. Ihre Marktdynamik ist jedoch regional begrenzt und stark vom weiteren Ausbau konzentrierender Solarthermie abhängig, so dass sie eher am Übergang zum Plateau bzw. in einer Phase der Marktsättigung einzuordnen sind.

Demgegenüber sind Hochtemperatur-Wärmespeicher in Kombination mit Power-to-Heat-Anwendungen zur industriellen Dekarbonisierung in einer deutlich früheren Phase des Hype Cycles einzuordnen. Trotz hoher politischer und industrieller Aufmerksamkeit bestehen weiterhin Unsicherheiten hinsichtlich großskaliger Demonstration, Systemintegration und tragfähiger Geschäftsmodelle. Diese Technologien sind daher derzeit zwischen dem „Gipfel der überzogenen Erfahrungen“ und „Tal der Enttäuschungen“ zu verorten, was auch an der großen Anzahl der angekündigten und in der Umsetzung befindlichen Projekte erkennbar ist, siehe Abschnitt 3.3.1. Die meisten dieser „neuen“ HaaS-Anbieter sind private, venture-capital finanzierte Unternehmen ohne Börsennotierung. Die Kursverluste der wenigen börsennotierten Unternehmen in diesem Sektor (Brenmiller Energy -95 % in einem Jahr; Kyoto Group ebenfalls starke Verluste, dann von der Börse genommen) deuten ebenfalls auf eine kommende Konsolidierung hin. Auch das deutsche Start-Up Lumenion ging nach kurzem Aufstieg aufgrund von Liquiditätsengpässen insolvent¹⁶

Ergänzend gewinnen thermochemische und Latentwärmespeicher zunehmend Forschungs- und Marktaufmerksamkeit. Aufgrund begrenzter großtechnischer Referenzen und offener Kosten- und Stabilitätsfragen befinden sich diese Konzepte überwiegend noch in der frühen Phase des Hype Cycles und sind für kurzfristige industrielle Anwendungen bislang von untergeordneter Bedeutung.

3.4 Konkurrenztechniken

3.4.1 Beschreibung der Konkurrenztechniken

Grundsätzlich kann Energie nach (Sternner und Stadler, 2017) nicht nur thermisch, sondern auch elektrisch, elektrochemisch, chemisch und mechanisch gespeichert werden. Für die Betrachtung der Konkurrenztechniken zu den thermischen Energiespeichern wird auf diese Kategorisierung zurückgegriffen. Eine Konkurrenztechnik wird darüber

¹⁶ <https://www.zri-online.de/aktuell/strukturierter-verkaufsprozess-fuer-die-gesellschaften-der-econnext-gruppe-eingeleitet-82353/> (zuletzt geprüft 08.05.2026)

definiert, dass sie die gleiche Aufgabe mit einem anderen Wirkprinzip oder auf einem anderen Lösungsweg erfüllen kann. Für diese Analyse werden folgende Aufgaben von thermischen Energiespeichern definiert:

1. Kurzzeitspeicherung von Wärme (Stunden)
2. Langzeitspeicherung von Wärme (Tage bis Monate)
3. Speicherung von elektrischer Energie zum Lastmanagement, zur Netzstabilisierung oder zur Nutzung günstiger Energiepreise,
4. Prozesswärmebereitstellung in der Industrie
5. Effizienzsteigerung durch zeitlich versetzte Nutzung von Abwärme

In Tabelle 4 sind die potenziellen Konkurrenztechniken aufgelistet. Zudem sind auch Optionen ohne Speicher genannt, die die gleichen Aufgaben erfüllen.

Tabelle 4: Konkurrenztechniken zu thermischen Energiespeichern

Aufgabe	Konkurrierende Speichertechniken				Optionen ohne Speicher
	Elektrisch	Elektrochemisch	Chemisch	Mechanisch	
Kurzzeitspeicherung von Wärme (Stunden)	-	Batterie + Direktheizung oder Wärmepumpe	PtX oder Wasserstoff + Verbrennung	-	Lastverschiebung und Nutzung der thermischen Gebäudemasse
Langzeitspeicherung von Wärme (Tage bis Monate)	-	-	PtX oder Wasserstoff + Verbrennung	-	
Speicherung von elektrischer Energie	Spulen und Kondensatoren	Batterie	PtX oder Wasserstoff + Rückverstromung	Pumpspeicher, Druckluftspeicher, Schwungradspeicher	Lastverschiebung ohne Speicher durch Batch-Betrieb oder Pause
Prozesswärmebereitstellung in der Industrie	-	Batterie + Direktheizung oder Wärmepumpe	PtX oder Wasserstoff + Verbrennung	-	
Effizienzsteigerung durch zeitlich versetzte Nutzung von Abwärme	-	Stromerzeugung aus Abwärme, Speicherung und PtH	-	-	Direkte Abwärmenutzung, ggfs. großräumige Wärmeintegration am gesamten Standort

Basierend unter anderem auf (IRENA, 2020; Siedler, Kraft und Bauer, 2020; European Association for Storage of Energy, 2023)

Eine nicht explizit genannte Alternative ist immer die direkte Nutzung von Strom oder fossilen Rohstoffen zu den jeweiligen Marktpreisen, um Wärme zu erzeugen. Die dazugehörige Konkurrenztechnik ist dann die Direktheizung (Siedler, Kraft und Bauer, 2020).

Tabelle 5 gibt eine Übersicht der konkurrierenden Speichertechnologien. Für die Ausarbeitung wird davon ausgegangen, dass der Ausgang des Speichers für die Wärmeerzeugung genutzt wird. Die Wärmeerzeugung selbst ist nicht mehr in den angegebenen Kennwerten enthalten.

Tabelle 5: Vergleichende Übersicht konkurrierender Speichertechnologien

Technologie	Energiedichte		Wir-	Selbst-	Lebens-	CAPEX		OPEX fix
	Wh/kg	kWh/m ³	kungs-	entla-	dauer	€/kWh	€/kW	€/kWh
			grad	dung	Zyklen			
TES sensibel	10-50	100-300	45-75	k.A.	5000	0,2-8	80-130	0,1
TES latent	49-97	113	75-90	k.A.	5000	15-50	80-160	0,1-0,5
TES thermochemisch	120-960	120-250	80-100	k.A.	3500	8-100	k.A.	k.A.
Lithium-Batterie	110-190	190-375	90-97	0,008-0,041	400-6000	100-140 ¹⁷	100-140	0,13-0,76
Power-to-H ₂ Kavernenspeicher	34000 ¹⁸	350 ¹⁸	54-72 ¹⁹	k.A.	k.A.	k.A.	935-6000 ¹⁹	k.A.
Pumpspeicher	0,3-1,4	0,35-1,1	70-82	0-0,5	12800-33000	40-180	550-2040	0,08
Druckluftspeicher	k.A.	2-7	40-55	0-10	8620-17.100	40-80	340-1145	0,01-0,26
Schwungmassenspeicher	5-90	210	83-93	72-100	> 1 Mio.	650-2625	125-275	1

Quelle: nach (Sternier und Stadler, 2017), Ergänzungen separat kenntlich gemacht

3.4.1.1 Elektrochemische Speicher

Um mit einem elektrochemischen Speicher, d.h. einem Akkumulator, Wärme zu speichern, muss der Beheizungsprozess elektrifiziert werden. Die relevanten elektrischen Beheizungsprozesse wurden vom Fraunhofer ISI (2024) zusammengefasst und sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Effizienz der elektrifizierten Prozesse ist höher als vergleichbare fossile beheizte Prozesse. Vor allem bei niedrigen Temperaturniveaus kann durch eine Wärmepumpe zusätzlich die Effizienz gesteigert werden. Im Gegensatz zu thermischen Speichern sind elektrochemische Speicher sehr teuer, siehe Tabelle 5. Elektrochemische Speicher bieten sich demzufolge an, wenn die Prozesse bereits elektrifiziert sind und es lediglich darum geht, Spitzen abzufuffern („Peak shaving“).

¹⁷ Angabe aktualisiert nach (European Commission. Joint Research Centre., 2022). Ursprünglicher Wert aus (Sternier und Stadler, 2017): 170-600 €/kWh

¹⁸ Angaben nur bezogen auf den Kavernenspeicher

¹⁹ Angabe nur bezogen auf die H₂-Elektrolyse

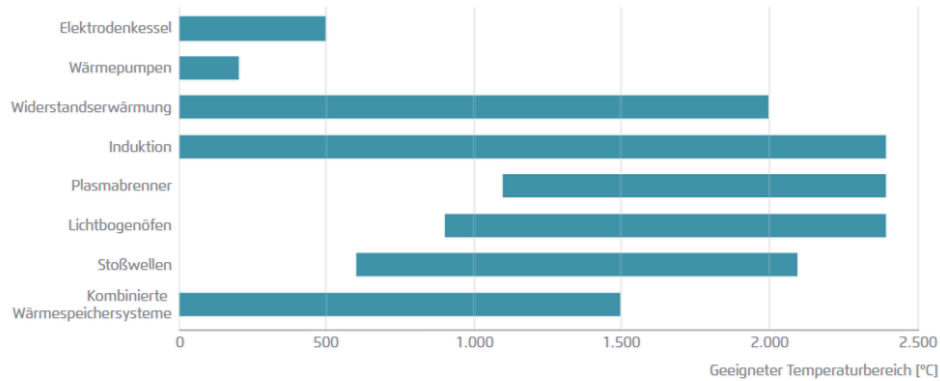


Abbildung 7: Potenzielle Entwicklung des geeigneten Temperaturbereichs für elektrische Wärmetechnologien in Industrieanwendungen bis 2035

Quelle: (Fraunhofer ISI, 2024)

Die Speicherung größerer Energiemengen für Prozesse mit sehr hohem Wärmebedarf und für lange Speicherdauern von mehreren Stunden ist nicht wirtschaftlich. Auch wenn die zu speichernde Energie nicht in Form von Strom, sondern in Form von Wärme anfällt (z.B. industrielle Abwärme), sind elektrochemische Speicher nicht wirtschaftlich: Die in diesem Fall notwendige Verstromung der Wärme, z.B. durch einen Organic Rankine Cycle (ORC) mit einem geringen Wirkungsgrad von 7% - 21 % (Jochem, 2022) wirkt sich äußerst negativ auf die Round-Trip-Efficiency (RTE) der gesamte Prozesskette aus.

3.4.1.2 Chemische Speicher

In diese Kategorie fallen sämtliche Prozesse, die die einzuspeichernde Energie in Form von chemischen Verbindungen einlagern. Darunter fallen nach (Sternner und Stadler, 2017) die Elektrolyse von Wasser zur Gewinnung von Wasserstoff sowie die gesamte Palette der PtX-Verfahren. Chemische Speicher haben den Vorteil einer günstigen und praktisch verlustlosen Langzeitspeicherung. Aufgrund der bereits zuvor beschriebenen Verluste bei der Wandlung von Wärme in Strom sind chemische Speicher nur dann wirtschaftlich attraktiv, wenn die Wärmeerzeugung mit chemischen Energieträgern erfolgt. Beispielsweise bedeutet dies, dass die Nutzung von Wasserstoff als Speichermedium nur dann wirtschaftlich sinnvoll ist, wenn auch der Wasserstoff zur Erzeugung der Prozesswärme verwendet wird.

Die Gasspeicherung ist für Erdgas seit vielen Jahren etablierter Stand der Technik. Die Speicherung gasförmiger Energieträger kann sowohl in obertägigen als auch in untertägigen Anlagen erfolgen. Für großvolumige Anwendungen sind untertägige Speicher in geologischen Formationen von zentraler Bedeutung. Dazu zählen ausgeförderte Gas- oder Öllagerstätten, Aquifere sowie insbesondere Salzkavernen, die durch Auslaugung im Steinsalz erzeugt werden. Salzkavernen zeichnen sich durch hohe Dichtigkeit, chemische Inertheit des Salzes und eine hohe Flexibilität beim Betrieb aus. Erfahrungen aus Großbritannien und den USA zeigen, dass Wasserstoff dort bereits über längere Zeiträume sicher gespeichert werden konnte. (Sternner und Stadler, 2017)

Porenspeicher, die für Erdgas eine große Rolle spielen, sind für Wasserstoff bisher nur eingeschränkt geeignet, da chemische Reaktionen und mikrobiologische Aktivitäten zu Verlusten und Verunreinigungen führen können. Ähnliche Herausforderungen bestehen bei Aquiferspeichern, die ebenfalls über große Potenziale verfügen, deren Eignung für Wasserstoff jedoch erst erforscht wird. Felskavernen und ausgekleidete Kavernen stellen eine weitere Option dar, die vor allem dort von Interesse ist, wo keine Salzformationen verfügbar sind. Sie sind technisch machbar, jedoch mit hohen Investitionskosten verbunden, und für Wasserstoff existieren bislang keine Betriebserfahrungen. Insgesamt gelten Salzkavernen derzeit als bevorzugte Lösung für die Speicherung von Wasserstoff, während Poren- und Aquiferspeicher aufgrund ihres hohen Potenzials eine wichtige Ergänzung darstellen können, sobald die bestehenden technischen Herausforderungen überwunden sind. (Sternner und Stadler, 2017)

3.4.1.3 Mechanische Speicher

Mechanische Speicher arbeiten nach einem rein physikalischen Wirkprinzip, indem sie Energie als Lage- oder Druckenergie speichern. Sie können ebenfalls keine Wärme direkt einspeichern, sondern in der Regel Strom. Aufgrund der doppelte Wandlung Strom – mechanische Energie – Strom beträgt die RTE zwischen 40 % und 82 %, siehe Tabelle 5 (Sternner und Stadler, 2017). Somit stellen die mechanischen Speicher keine relevante Konkurrenztechnik dar und werden nicht weiter betrachtet.

3.4.1.4 Optionen ohne Speicher

Neben dem Einsatz eines dezidierten thermischen Speichers ist es auch denkbar, thermische Massen im System als Speicher zu verwenden. Beispielsweise sei hier die thermische Masse eines Gebäudes genannt, durch die die Gebäudeheizung für einige Stunden ohne merklichen Komfortverlust ausgeschaltet werden kann.

In Produktionsumgebungen kann durch eine gezielte und variable Taktung von Batch-Prozessen ein variabler Betrieb ohne thermischen Speicher erreicht werden. Die Speicherung erfolgt dann auf Ebene der Zwischenprodukte. Am eigenen Standort ist insbesondere bei diskontinuierlich arbeitenden Anlagen eine direkte Abwärmenutzung häufig nicht möglich, sodass ein thermischer Energiespeicher erforderlich wäre. Dies kann durch eine weiträumigere Abwärmenutzung an einem Verbundstandort²⁰ oder in einem Industriepark²¹ realisiert werden.

²⁰ <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

²¹ <https://www.industriepark-hoechst.com/de/stp/standort/standortleistungen/energie/lieferungen-und-loesungen-fuer-die-energieversorgung/waerme/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

3.4.2 Netzstabilisierung und elektrische Energiespeicherung

In den Kapiteln 3.4.1.1 bis 3.4.1.4 wurde festgestellt, dass die geeignete Technik zur Speicherung von Wärme vor allem davon abhängt, wie der Prozess mit Wärme versorgt wird. Eine interessante Konkurrenzsituation ergibt sich für den speziellen Anwendungsfall der mittelfristigen Speicherung von elektrischer Energie. Für diesen Speicherzeitraum zwischen 8 h und 1 Woche konkurrieren die elektrochemischen Speicher mit thermischen und mechanischen Speichern. In ihrer Analyse zeigen Gautam, Andresen und Victoria (2022), dass sich keine der untersuchten Speichertechnologien in allen Dimensionen als überlegen herausstellt, sondern dass jeweils spezifische Stärken und Schwächen bestehen. Elektrochemische Speicher wie Lithium-Ionen-Batterien punkten durch hohe Wirkungsgrade, schnelle Reaktionszeiten und eine ausgereifte Technologie, sind jedoch durch hohe Investitionskosten limitiert. Thermische Speicher sind insbesondere dann vorteilhaft, wenn neben der Strombereitstellung auch Wärme genutzt werden kann, da hier niedrige Kosten und lange Speicherzeiten möglich sind, ihre Effizienz bei der Rückverstromung jedoch begrenzt ist. Mechanische Speicher wie Pump- oder Druckluftspeicher erlauben große Kapazitäten zu vergleichsweise geringen Kosten, erfordern jedoch geeignete geographische Voraussetzungen und weisen ebenfalls Effizienzeinbußen bei der Rückverstromung auf.

Die Rückgewinnung elektrischer Energie aus thermischen Speichern erfolgt primär über Wärmekraftprozesse, wobei das Konzept der Carnot-Batterie zunehmend an Bedeutung gewinnt. Hierbei wird überschüssiger Strom genutzt, um über Wärmepumpen oder resistive Heizelemente thermische Energie einzuspeichern. Für die Rückverstromung wird diese gespeicherte thermische Energie genutzt, um ein Arbeitsmedium zu verdampfen und über eine Turbine wieder einen Generator anzutreiben.

Obwohl diese Systeme im Vergleich zu elektrochemischen Speichern geringere Round-Trip-Wirkungsgrade aufweisen – bedingt durch die thermodynamischen Verluste des Carnot-Faktors bei der Umwandlung von Wärme in Arbeit –, bieten sie signifikante Vorteile: Da die spezifischen Kosten pro Kilowattstunde thermischer Kapazität deutlich unter denen elektrochemischer Zellen liegen, skalieren thermische Speicher besonders wirtschaftlich bei längeren Ausspeicherzeiten. Zudem erlaubt die Integration in bestehende Infrastrukturen die Weiternutzung vorhandener Turbinensätze und Netzanschlüsse, was die Investitionshürden für die großskalige Netzstabilisierung senkt. (Serrano *u. a.*, 2024)

4 Ex-post-Evaluation zu TES in Deutschland und der EU

4.1 Förderung von FuE im Rahmen des Energieforschungsprogramms

Die verschiedenen Energieforschungsprogramme wurden in Zusammenarbeit mehrerer Bundesministerien erstellt. Dabei wechselte die Federführung ab dem 4. EFP vom Forschungsministerium zum Wirtschaftsministerium. In den 5. und 6. EFP wurden getrennte Programmschwerpunkte von den beteiligten Bundesministerien ausgewiesen. Im 7. EFP geschah dies gemeinsam ohne eine Schwerpunktsetzung einzelner Ministerien in Abgrenzung voneinander. Im 8. EFP werden keine Bundesministerien neben dem BMWi mit einer Beteiligung am Programm und seiner Ausgestaltung genannt, siehe auch Anhang B. Die nachfolgende Abbildung 8 gibt einen Überblick, der in den Abschnitten 4.1.1 bis 4.1.3 detailliert ausgeführt wird. Zusammengefasst lässt sich sagen, dass sich die saisonale Langzeitspeicherung mittels Erdbecken-Wärmespeichern, Aquifer-Speichern und Erdsondenspeichern als Konstante durch alle EFP zieht. Im ersten bis fünften Energieforschungsprogramm waren die thermischen Energiespeicher budgetär mit anderen Speichertechnologien zusammengefasst. Im 4. und 5. EFP lag ein großer Schwerpunkt auf thermischen Speichern für Gebäude und Niedertemperatur-Wärmenetze, jedoch wurden auch im industriellen Bereich bereits PCM für höhere Temperaturbereiche erforscht. Die vorliegende Studie bezieht sich im Wesentlichen auf den Zeitraum ab dem 6. EFP und fokussiert sich auf thermische Speicher für industrielle Anwendungen.

1977	1. EFP 1977-1980	<ul style="list-style-type: none"> Saisonale Langzeitspeicherung in Wärmespeicherseen und Aquifer-Speichern
1990	2. EFP 1981 – 1990	<ul style="list-style-type: none"> Saisonale Langzeitspeicherung in Wärmespeicherseen und Aquifer-Speichern Latente und thermo-chemische Speicher
1995	3. EFP 02.1991 – 06.1996	<ul style="list-style-type: none"> Saisonale Langzeitspeicherung in Aquifer- und Erdsondenspeichern Erwähnung des Einsatzpotenzials von TES in Industrieprozessen, auch für HT-Wärme bis 1200 °C Thermochemische Speicher sowie Mittel- und Hochtemperaturspeicher
2000	4. EFP 07.1996 – 06.2005	<ul style="list-style-type: none"> Förderung im Kontext von Niedrig-Exergie-Technologien (Fokus Gebäude) Saisonale Langzeitspeicherung in Erdbecken-, Aquifer- und Erdsondenspeicher Thermochemische Speicher für Bereich 300 – 500 °C Dynamische Latentwärmespeicher und Kurzzeit-HT-Speicher ab 600 – 700 °C
2005	5. EFP 07.2005-06.2011	<ul style="list-style-type: none"> Kurz- und längerfristige Wärme- und Kältespeicherung durch thermische Untergrundspeicher, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher Förderung im Kontext von Niedrig-Exergie-Technologien (Fokus Gebäude) TES mit generell niedriger Priorität im Förderprogramm
2010	6. EFP 07.2011-08.2018	<ul style="list-style-type: none"> TES erstmals als wichtige Querschnittstechnologie angesehen Ziel: Signifikante Verbesserungen in der Wärmespeichertechnik und insbesondere der Wirtschaftlichkeit durch die Erhöhung der Speicherdichte und Zyklenfestigkeit sowie die Reduzierung der Herstellkosten Relevanter Temperaturbereich 0 – 250 °C Parallele, separate „Förderinitiative Energiespeicher“
2015	7. EFP 09.2018-09.2023	<ul style="list-style-type: none"> TES als zentrales Element zur Systemintegration und Flexibilisierung des Energiesystems sowie als Querschnittsthema der Energieforschung Förderschwerpunkte innovative Speichermaterialien, neue Speicherkonzepte, optimierte Komponenten und kostengünstige Produktionsprozesse Integration von Energiespeichern in den Kraftwerksprozess Power-to-Heat als Werkzeug zur Sektorkopplung Weiterhin Förderung von Speichern für saisonale thermische Energie
2020	8. EFP Seit 10.2023	<ul style="list-style-type: none"> TES als zentrales Element der Mission Wärmewende mit zugehörigem Sprinterziel 2030: <i>„Speicherlösungen, die Überschussenergie (aus Strom, Abwärme oder Solarthermie) so kosteneffizient speichern, dass die entladene Nutzwärme preislich konkurrenzfähig zur Wärmeerzeugung aus Strom oder synthetischen Brennstoffen ist“</i> Förderung von Erdbecken-, Erdsonden- oder Aquiferspeichern sowie zugehörigen Betreibermodellen Erweiterung des Spektrums an Speichertemperaturen durch Nutzung neuer Speichermaterialien zur Hochtemperatur-Wärmespeicherung TES als Werkzeug der Sektorkopplung und zur Entlastung der Stromnetze durch Power-to-Heat und Rückverstromung von Hochtemperaturwärme

Abbildung 8: Förderung der TES in den EFP der Bundesregierung

Quelle: Eigene Darstellung

4.1.1 Erstes bis drittes Energieforschungsprogramm (seit 1977)

Im ersten Energieforschungsprogramm von 1977 spielten thermische Speicher vor allem in Bezug auf die Langzeitspeicherung von Wärme eine Rolle. So sollten im Programmzeitraum ein Wärmespeichersee errichtet und Aquifer-Speicher in unterirdischen Wasservorkommen untersucht werden. (BMWE, 2017, S. 26)

Auch im zweiten Energieforschungsprogramm von 1981 war die Forschung zu thermischen Speichern auf die Langzeitspeicherung von Niedertemperaturwärme für Heizzwecke ausgerichtet, z.B. durch Speicherseen und Aquifer-Speichern. Neben diesen Arbeiten sollte auch die Forschung auf dem Gebiet der latenten und thermo-chemischen Speicher weitergeführt werden. Deren Vorteile bezüglich höherer Energiedichte und praktisch verlustfreier Langzeitspeicherung wurden schon damals erkannt. (BMWE, 2017, S. 111).

Das dritte Energieforschungsprogramm von 1991 erwähnt erstmals das Einsatzpotenzial von thermischen Energiespeichern in vielen industriellen Prozessen. Es werden Wärmespeicher mit hoher Leistung für den gesamten Temperaturbereich zwischen 100 °C und 1200 °C gefördert. Insgesamt wird die Förderung von thermischen Energiespeichern innerhalb des EFP jedoch nur niedrig priorisiert, da Beiträge aus anderen Bereichen der Forschung erwartet wurden. Thematisch wurden Aquiferwärmespeicher, Erdsondenspeicher sowie allgemein thermochemische Speicher und Mittel- und Hochtemperaturspeicher für Solaranlagen genannt. Es wurde auch festgestellt, dass die bekannten Ansätze zur Energiespeicherung die weitreichenden Hoffnungen, insbesondere im Bereich saisonaler Abwärmespeicher und billiger Solarsysteme, noch nicht erfüllen konnten. (BMWE, 2017, S. 190)

4.1.2 Viertes bis sechstes Energieforschungsprogramm (1996 – 2018)

Erstmals wurden die thermischen Speicher im vierten Energieforschungsprogramm von 1996 budgetär und inhaltlich von den elektrischen Speichern getrennt behandelt. Thematisch nennt das 4. EFP mehrere Speichertypen und -anwendungen:

- Langfristige saisonale Wärmespeicher wie Erdbeckenspeicher, Aquifer- und Erdsondenspeicher und Thermochemische Speicher, wie z. B. Zeolith/Wassersysteme
- Kurzzeitspeicher wie dynamische Latentwärmespeicher
- Thermochemische Speicher auf Basis von MgH_2 für Temperaturen zwischen 300 °C und 500 °C
- Kurzzeit-Hochtemperaturwärmespeicher im Temperaturbereich ab 600-700 °C für industrielle Hochtemperatur-Prozesswärme.

Erneut wurde jedoch festgestellt, dass Speicher stark gefördert wurden, aber trotzdem keine wirtschaftlich befriedigenden Lösungen vorlägen. Es seien auch keine grundsätzlich neuen Lösungen erkennbar gewesen. (BMWE, 2017, S. 259)

Im 5. EFP aus dem Jahr 2005 wird der Bereich der thermischen Energiespeicher nur am Rande behandelt. Beispielsweise werden die Entwicklung und Erprobung aussichtsreicher Techniken der kurz- und längerfristigen Wärme- und Kältespeicherung für die Beheizung und Klimatisierung durch thermische Untergrundspeicher, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicherverfahren gefördert. Als Anwendung wird erneut die Langzeitwärmespeicherung für solare Anwendungen genannt. Unter der Überschrift „effizientere Techniken zur Nutzung industrieller Abwärme“ werden auch Wärmespeicher genannt, jedoch ohne weitere Spezifizierung. (BMWE, 2017, S. 336)

Das 6. EFP von 2011 war ein gemeinsames Programm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Durch die Aufteilung auf mehrere Ressorts wirkt es wesentlich zersplitterter und überlagerter als frühere EFP. Generell sieht es thermische Speicher erstmals als wichtige Querschnittstechnologie an, die einen wichtigen Beitrag zur Netzstabilisierung leisten können (BMWE, 2017, S. 374). Das Ziel der Förderung im 6. EFP war es, signifikante Verbesserungen in der Wärmespeichertechnik und insbesondere der Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Dies soll durch die Erhöhung der Speicherdichte und Zyklenfestigkeit einerseits und die Reduzierung der Herstellkosten andererseits geschehen. Als relevanter Temperaturbereich wird 0 – 250 °C genannt; als Anwendungen sowohl Prozesswärme als auch solare Warmwasserspeicher und thermische Speicher für Solarkraftwerke.

Explizit wird auch auf die „Förderinitiative Energiespeicher“ verwiesen, die das Themenfeld ab 2011 innerhalb des Energieforschungsprogramms förderte. Ihre Ziele waren nicht nur technischer Natur (beschleunigte Entwicklung von Speichertechnologien sowie verbessertes Verständnis der Grundlage von Speichertechnologien), sondern hatten auch systemischen Charakter (Hemmnisse für Markteinführung überwinden und Verständnis der Rolle von Speichern im Energiesystem erhöhen). Von den 184,3 Mio. € Fördermitteln entfielen 37,7 Mio. € auf die thermischen Speicher. Den Großteil des Förderbudgets nahmen mit 62,0 Mio. € und 58,9 Mio. € die elektrochemischen Speicher sowie die Wasserstoffherzeugung und -speicherung in Anspruch.

4.1.3 Siebtes und achtes Energieforschungsprogramm (seit 2018)

Das 7. EFP von 2011 sieht die thermischen Speicher als ein zentrales Element zur Systemintegration und Flexibilisierung des Energiesystems und damit zugleich ein breit aufgestelltes Querschnittsthema der Energieforschung. Speicher sollen in Gebäuden, Quartieren und in der Industrie eingesetzt werden. Förderfähig im 7. EFP waren innovative Speichermaterialien, neue Speicherkonzepte, optimierte Komponenten und kostengünstige Produktionsprozesse (BMWi, 2018, S. 26).

Wie schon in vielen EFP zuvor war die (Weiter-)Entwicklung von Speichern für saisonale thermische Energie, z.B. Aquifer-Speicher, förderfähig. Neu hinzugekommen ist die

Förderung der Integration von Energiespeichern in den Kraftwerksprozess, z. B. Hochtemperaturwärmespeicher, Strom-Wärme- und Strom-Wärme-Strom-Speicher oder isentrope Speicher, bei denen erneuerbarer Strom reversibel in Wärme und gegebenenfalls in mechanische Energie umgewandelt werden kann.

Das 8. EFP aus dem Jahr 2023 widmet dem Thema der thermischen Energiespeicher das Programmziel 3 „Robuste Infrastruktur zum effizienten Verteilen und Speichern von Wärme und Kälte gestalten“ innerhalb der „Mission Wärmewende“. In diesem Kontext werden Erdbecken-, Erdsonden- oder Aquiferspeicher gefördert. Neben den technischen Herausforderungen wird auch die Entwicklung auch passender Betreibermodelle für großskalige Wärme- und Kältespeicher gefördert. Auch bei der Defossilierung von Mittel- und Hochtemperaturprozessen sollen Wärmespeicher eine wichtige Rolle spielen, indem sie den Gesamtenergiebedarf senken. (BMWK, 2023)

Thermische Speicher werden als ein Werkzeug der Sektorkopplung und zur Entlastung der Stromnetze durch Power-to-Heat und Rückverstromung von Hochtemperaturwärme gefördert. Das „Sprinterziel 2030“ des 8. EFP fordert, dass Speicherlösungen entwickelt werden, die Überschussenergie (aus Strom, Abwärme oder Solarthermie) so kosteneffizient speichern, dass die entladene Nutzwärme (ggf. in Kombination mit Wärmepumpen) preislich konkurrenzfähig zur Wärmeerzeugung aus Strom oder synthetischen Brennstoffen ist.

Neben den bereits in früheren EFP geförderten saisonalen Wärmespeichern (Erdbecken, Erdsonden oder Aquiferspeicher) werden erstmals auch Hochtemperaturspeicher zur Speicherung größerer Energiemengen über längere Zeiträume genannt.

Generell sollen thermische und thermochemische Speicher für den Industriebedarf so weiterentwickelt werden, dass Kosten gesenkt, Wirkungsgrade gesteigert sowie Lade-/Entladevorgänge optimiert werden. Ein Ziel ist die Erweiterung des Spektrums an Speichertemperaturen durch Nutzung neuer Speichermaterialien zur Hochtemperatur-Wärmespeicherung.

4.2 Auswertung der nationalen Förderung für TES ab dem 6. EFP

Die nachfolgende Abbildung 9 zeigt die zeitliche Abfolge der Forschungsprojekte zu thermischen Energiespeichern im Rahmen der nationalen Förderung. Dabei wird der Fokus auf die Förderung ab dem 6. EFP gelegt. In diese Auswertung fließen neben den rein nationalen Verbundvorhaben auch Projekte der Clean Energy Transition Partnership (CETP) ein. Da diese transnationalen Projekte zwar auf europäischer Ebene koordiniert, jedoch maßgeblich aus Mitteln des nationalen EFP finanziert und über den PtJ administrativ abgewickelt werden, sind sie dieser Kategorie zugeordnet.

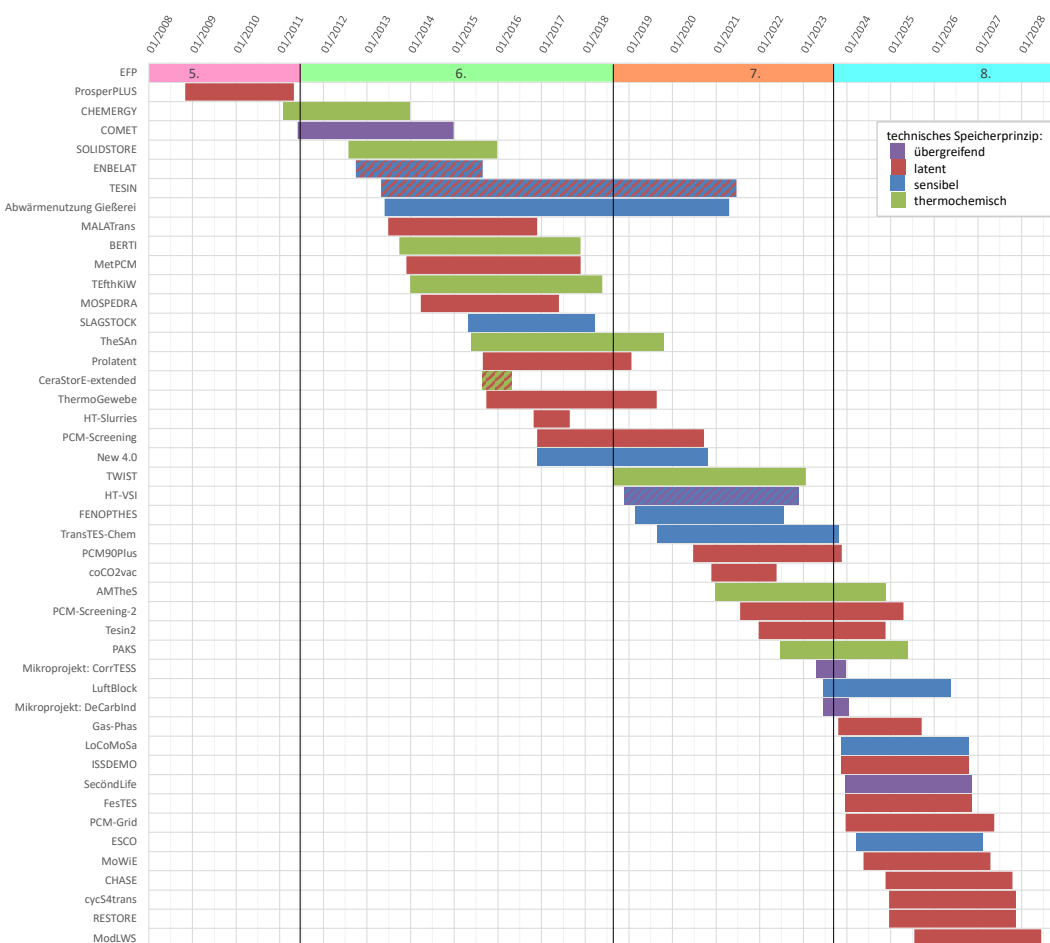


Abbildung 9: Zeitstrahl national geförderter FuE Projekte zu TES

Quelle: Daten aus enargus sowie vom Projektträger Jülich

In Bezug auf die Speichertechnologien fällt auf, dass sensible Speicher in allen betrachteten Phasen vertreten sind, mit einer besonderen Häufung im 6. und 7. Energieforschungsprogramm. Thermochemische Speicher standen insbesondere im 6. EFP stark im Fokus, sind in den jüngeren Förderphasen jedoch weniger prominent vertreten. Demgegenüber gewinnen latente Speicher kontinuierlich an Bedeutung und dominieren die aktuell laufenden Forschungsprojekte.

Zudem zeigt sich eine deutliche zeitliche Korrelation zwischen den Startzeitpunkten der Energieforschungsprogramme und den Projektanläufen. Dies ist sowohl im Zeitraum

2013–2014 im Zusammenhang mit dem 6. EFP als auch erneut ab 2024 mit Beginn des 8. EFP zu beobachten. In beiden Programmen wurden thermische Energiespeicher explizit als zentrale Elemente und wichtige Querschnittstechnologie hervorgehoben.

Während die Projektlaufzeiten in den frühen Phasen der Energieforschungsprogramme noch deutlich heterogen waren, hat sich in den letzten Jahren eine klare Standardisierung auf typische Laufzeiten von drei bis vier Jahren herausgebildet. Dies kann als Indikator für die zunehmende Reife und Professionalisierung der Förderabwicklung im Bereich thermischer Energiespeicher gewertet werden.

Die unterschiedliche Priorisierung der thermischen Speicher und / oder Budgetausstattung der einzelnen EFPs ist auch in Abbildung 10 gut zu erkennen. Der Berechnung liegt eine gleichmäßige Verteilung des Projektbudgets auf die Projektlaufzeit zugrunde. Die Zunahme der Fördermittel über die Laufzeit der Programme kann möglicherweise damit erklärt werden, dass größere Demonstrationsvorhaben typischerweise eine längere Vorlaufzeit haben, bevor sie budgetär zum Tragen kommen.

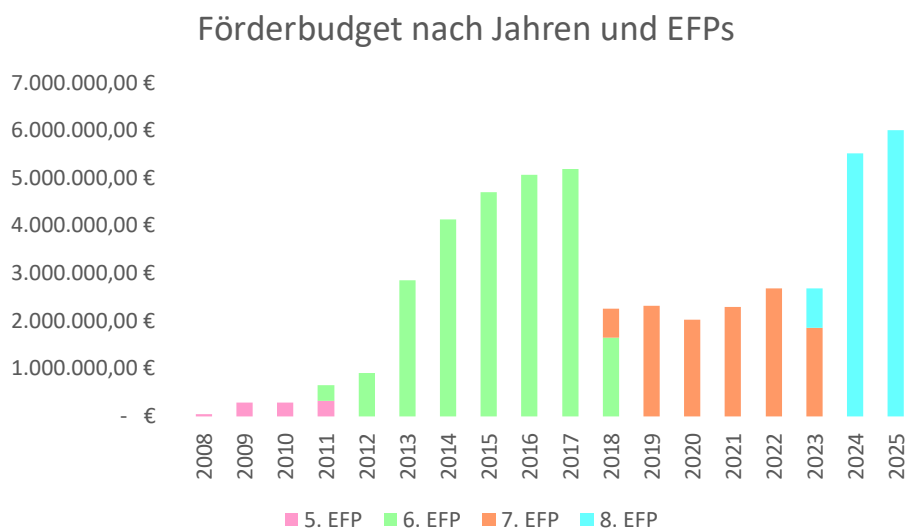


Abbildung 10: Förderbudget nach Jahren und Energieforschungsprogrammen

Quelle: Eigene Abbildung unter Verwendung von Zahlen aus enargus

Neben der zeitlichen Verteilung der Fördermittel wurde auch die Zuordnung zu einzelnen Akteuren des Innovationssystems untersucht, siehe Abbildung 11. Dabei wurden die Akteure in die Kategorien Universitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen sowie Industrie und Gewerbe eingeordnet.

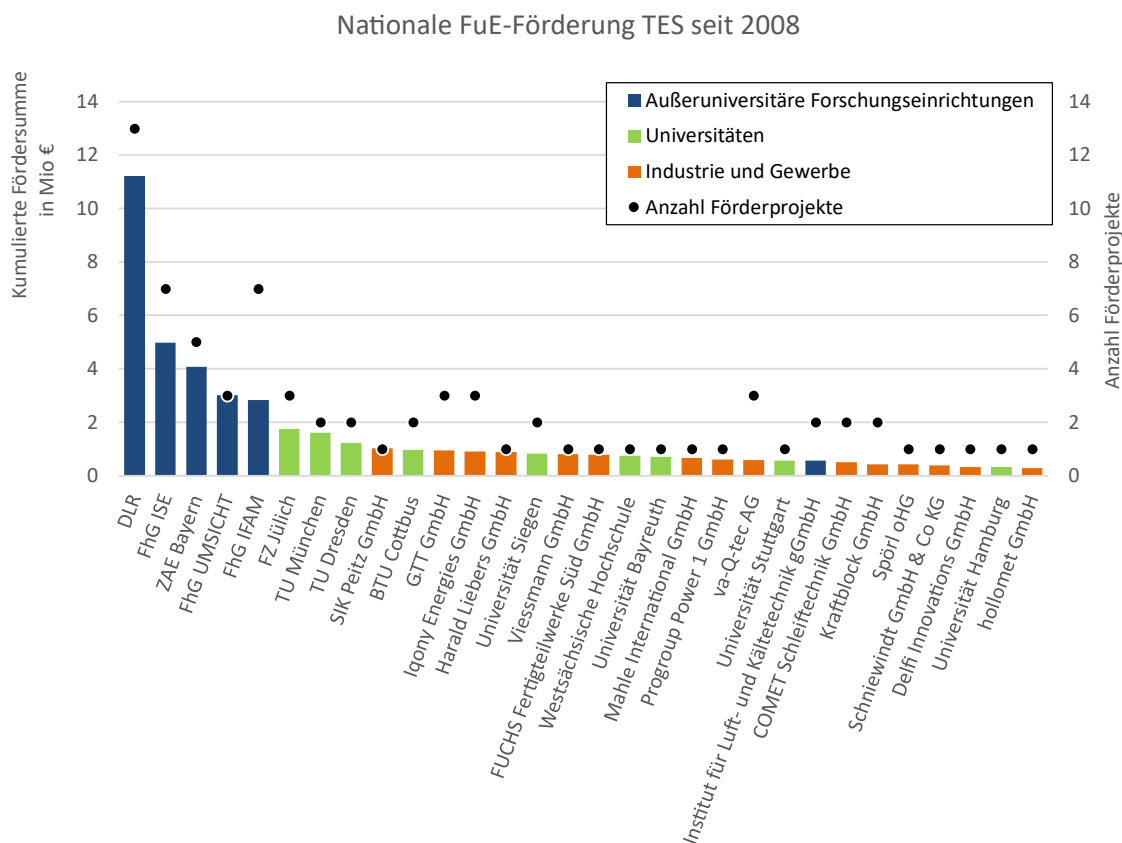


Abbildung 11: Seit 2008 im Rahmen des EFP geförderte Zuwendungsempfänger

Quelle: Eigene Abbildung unter Verwendung von Zahlen aus enargus

Die Auswertung der Zuwendungsempfänger zeigt eine deutliche Konzentration der Fördermittel auf wenige große Akteure. Mit Abstand größter Empfänger ist das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), gefolgt von weiteren außeruniversitären Forschungseinrichtungen wie der Fraunhofer-Gesellschaft, dem Forschungszentrum Jülich sowie dem Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern). Die bis heute starke Rolle des DLR begründet sich in der historisch mit dem 1. EFP vorgenommenen Ansiedelung wichtiger nichtnuklearer Energieforschungsthemen wie Gasturbinen und Solarenergie bei der DLR-Vorgängerorganisation DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt).

In der Gesamtbetrachtung dominiert außeruniversitären Forschungseinrichtungen das Fördergeschehen. Im Vergleich zu Unternehmen aus Industrie und Gewerbe erhalten sie jedoch höhere Förderquoten, was die absolut gesehen höheren Fördersummen zumindest teilweise relativiert. Universitäten tragen ebenfalls zur angewandten Forschung im Energieforschungsprogramm bei, jedoch mit geringeren kumulierten Fördervolumina.

Akteure aus Industrie und Gewerbe sind zwar in nennenswerter Breite beteiligt, erhalten im Durchschnitt jedoch deutlich geringere Volumina als die großen außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Die industrielle Beteiligung zeigt sich damit eher in einer Vielzahl kleinerer Förderfälle als in wenigen großen Vorhaben.

Bei genauerer Betrachtung der geförderten Unternehmen fällt auf, dass es sich überwiegend um Anwender von thermischen Energiespeichern handelt. Lediglich die folgenden Unternehmen werden als Komponenten- oder Systemanbieter für TES eingestuft:

- Harald Liebers GmbH: Behälterbau für Wärmespeicher²²
- Viessmann (Projekt PCM-Grid): Hersteller von Industriekesseln und -dampferzeugern²³
- va-Q-tec liefert PCM-Materialien, die für TES genutzt werden können.²⁴
- Die Firma Kraftblock²⁵ ist der einzige Hersteller von TES unter den geförderten Unternehmen.
- Schniewindt²⁶ bietet elektrische Heizelemente für Power-to-Heat Lösungen an.

Selten gibt es ein TES-Gesamtprodukt eines einzigen Herstellers. Das Innovationssystem in Deutschland besteht eher aus vielen Zulieferern für den Speicherbau. Diese stammen häufig aus dem klassischen Bereich des Anlagen- und Sondermaschinenbaus, teils auch mit auf fossilen Energien basierenden Geschäftsmodellen. Durch die Förderung im EFP bietet sich für diese Komponentenhersteller die Möglichkeit, die Transformation weg von fossilen Energien zu bewältigen.

Auffällig ist darüber hinaus, dass ein Teil der aktuell in Deutschland sichtbaren Anbieterlandschaft für thermische Energiespeicher nicht in der Liste der Zuwendungsempfänger erscheint. Insbesondere im Bereich der Hochtemperatur-Speicher treten mehrere Unternehmen am Markt mit konkreten Referenzen und Anwendungsvorhaben auf, ohne dass sie in der hier ausgewerteten nationalen FuE-Förderung sichtbar werden. Beispiele hierfür sind die (mittlerweile insolvente und liquidierte) Lumenion GmbH oder die STORASOL GmbH.

Ergänzend zeigt sich, dass in Deutschland auch industrielle Referenzprojekte mit internationalen Speicheranbietern umgesetzt werden, etwa im Zusammenhang mit der „Rondo Heat Battery“ bei Covestro in Brunsbüttel oder bei den Projekten von ENERGYNEST. So wurde bei der Firma Leonhard Kurz ein Power-to-Heat-System mit Hochtemperatur-Wärmespeicher realisiert, und auch ein weiteres großskaliges Vorhaben bei tesa ist angekündigt. Diese Beispiele verdeutlichen, dass industrielle Anwendungen sensibler Hochtemperaturspeicher zunehmend in die Umsetzung gelangen. Weitere Informationen zu diesen Vorhaben sind in Abschnitt 4.4 zu finden.

²² <https://www.liebers-behaelterbau.de/de/produkte-leistungen/behaelter-apparate> (zuletzt geprüft am 03.03.2026)

²³ <https://www.viessmann.de/de/loesungen/gewerbe-und-industrie/kesselhauskomponenten.html> (zuletzt geprüft am 03.03.2026)

²⁴ <https://www.va-q-tec.com/> (zuletzt geprüft am 03.03.2026)

²⁵ <https://www.kraftblock.com/de> (zuletzt geprüft am 03.03.2026)

²⁶ <https://schniewindt.de/produkte/beheizungstechnik.html> (zuletzt geprüft am 03.03.2026)

4.3 Förderung von FuE auf EU-Ebene

Für die Analyse der europäischen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich der thermischen Energiespeicher fokussiert sich die vorliegende Auswertung gezielt auf die Rahmenprogramme Horizon 2020 und Horizon Europe. Dabei lagen die Schwerpunkte ähnlich wie im Energieforschungsprogramm in den Bereichen industrielle Abwärmenutzung, saisonale Wärmespeicherung in Gebäuden oder zentralen Speicher sowie thermische Solarkraftwerke²⁷. Die Analyse der Horizon-geförderten Projekte zeigt, dass der Umfang der Forschungsförderung zu den thermischen Energiespeichern kontinuierlich zugenommen hat, siehe Abbildung 12.

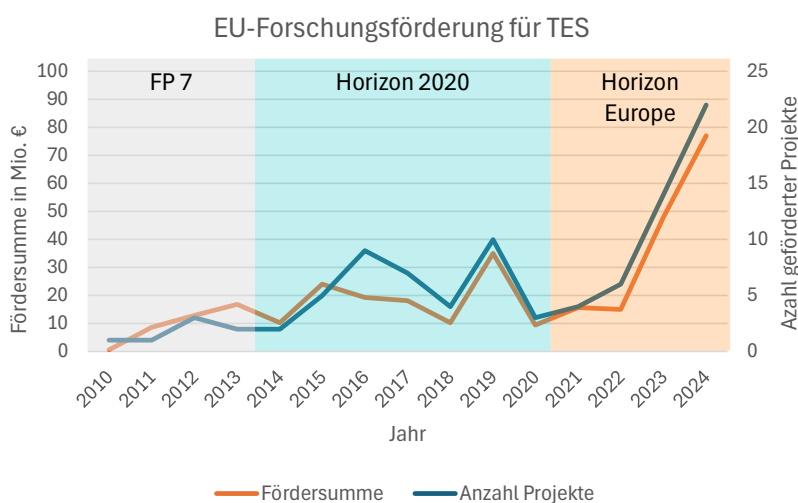


Abbildung 12: Auswertung der EU-Forschungsförderung für TES in den Horizon-Programmen
 Eigene Auswertung der CORDIS Datenbank nach dem Stichwort „Thermal Energy Storage“

Zwar fließen auch aus struktur- und regionalpolitischen Instrumenten wie dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) signifikante Mittel in die Speicherbranche – ein prominentes Beispiel hierfür ist der Speicherhersteller Lumenion, der über solche Regionalmittel bei der Etablierung und Skalierung unterstützt wurde. Der Fokus dieser Regionalfonds liegt jedoch primär auf dem Technologietransfer in die lokale Wirtschaft und dem strukturellen Kapazitätsaufbau, weniger auf der Energieforschung. Der in Abbildung 13 gezeigte Zeitstrahl EU geförderter FuE Projekte zu thermischen Energiespeichern in industriellen oder industriennahen Anwendungen erlaubt die Auswertung nach den überwiegend geförderten Speichertypen. Die Kategorisierung „industriell oder industriennah“ wurde dabei anhand der Kurzbeschreibungen der Projekte vorgenommen, mit dem Ziel, reine Gebäude- und Wärmenetzanwendungen von der Auswertung auszuschließen.

²⁷ Basierend auf einer Auswertung der Call for proposal der EU-Kommission <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities>

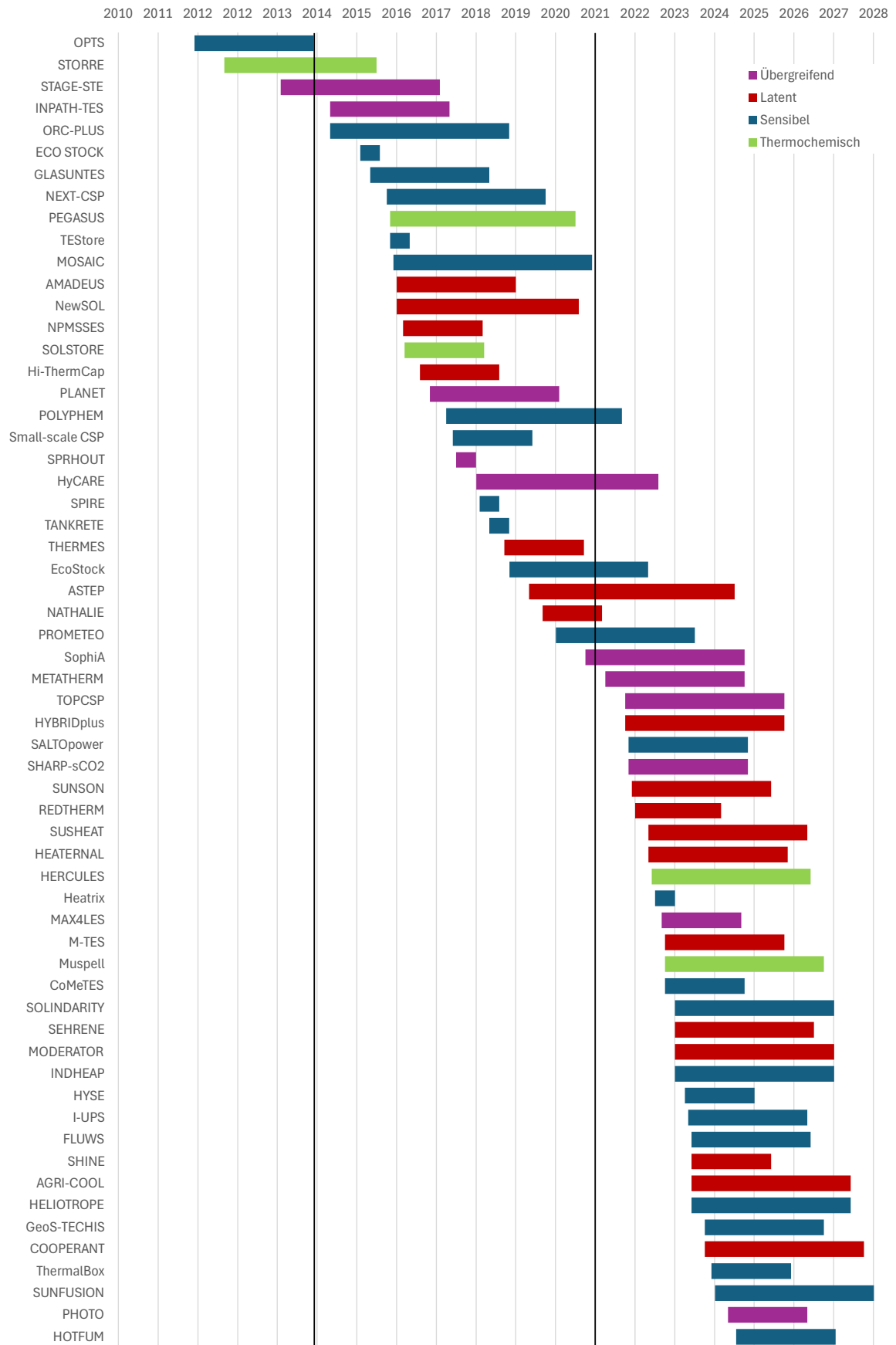


Abbildung 13: Zeitstrahl EU geförderter Horizon FuE Projekte zu TES

Eigene Auswertung der CORDIS Datenbank

Die zeitliche Einordnung der EU-geförderten Projekte zeigt eine deutliche Zunahme der Forschungsaktivitäten im Bereich thermischer Energiespeicher ab Beginn von Horizon 2020. Während in der frühen Phase vor allem sensible Speichertechnologien dominieren, nimmt ab etwa 2018 der Anteil von Projekten zu latenten Speichern deutlich zu. Parallel dazu steigt der Anteil technologieübergreifender Projekte, was auf eine stärkere Ausrichtung der Forschung auf Systemintegration und Anwendungskontexte hindeuten könnte. Im Gegensatz zur nationalen Förderung (siehe Abbildung 9) bleiben die sensiblen Speicher jedoch weiterhin auf einem hohen Niveau und werden weiterhin gefördert.

Analog zur nationalen FuE Förderung wurde auch für die EU-Förderung ermittelt, welche Zuwendungsempfänger aus welchen Bereichen des Innovationssystems Förderungen erhalten haben, siehe Abbildung 14.

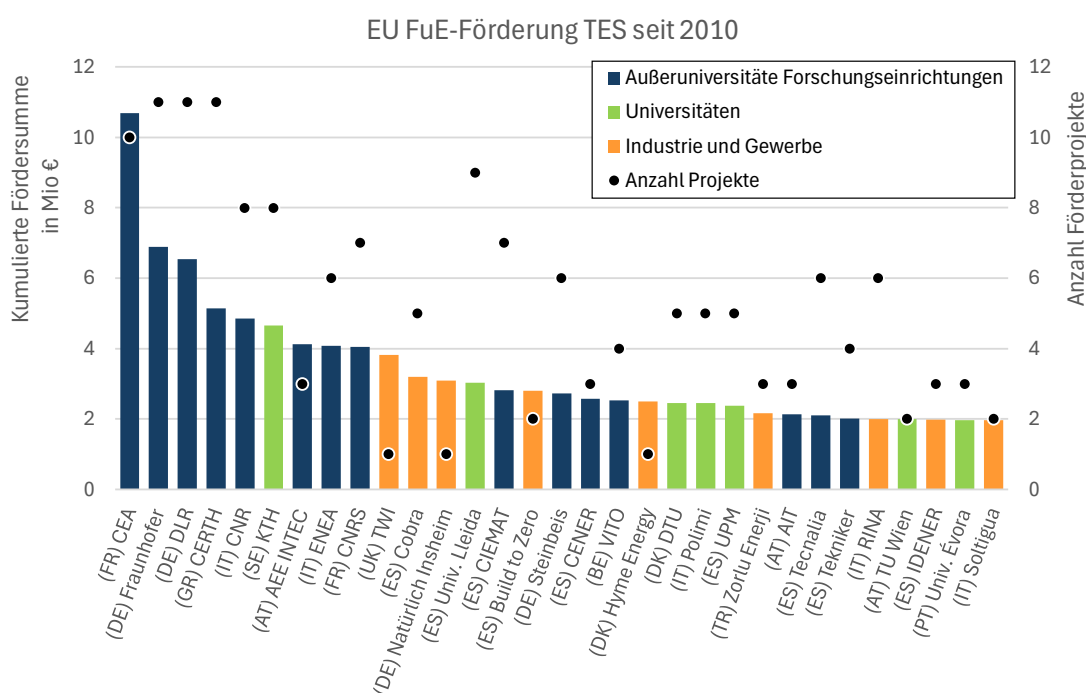


Abbildung 14: Seit 2010 auf EU-Ebene geförderte Institutionen und Unternehmen

Eigene Auswertung der CORDIS Datenbank

Die Auswertung der kumulierten EU-Fördermittel für TES-bezogene Vorhaben seit 2010 zeigt eine deutliche Konzentration der Mittel auf eine vergleichsweise kleine Gruppe etablierter Forschungsakteure. Insbesondere große außeruniversitäre Forschungseinrichtungen dominieren sowohl hinsichtlich der eingeworbenen Fördervolumina als auch der Projektbeteiligungen.

Strukturell fällt auf, dass die Kategorie Angewandte Forschung den größten Anteil an den kumulierten Fördermitteln auf sich vereint. Dies deutet auf eine technologie- und demonstrationsnahe Ausrichtung vieler TES-Vorhaben im EU-Kontext wieder. Einrichtungen der Grundlagenforschung (insbesondere technische Universitäten) sind zwar regelmäßig beteiligt, erreichen jedoch in Summe geringere Fördervolumina pro Organisation.

Akteure aus Industrie und Gewerbe treten demgegenüber deutlich seltener als Empfänger großer Fördervolumina auf. Dies deutet darauf hin, dass die EU-TES-Förderlandschaft weiterhin stark forschungsgetrieben ist. Immerhin sind mit den Industrieunternehmen Build to Zero²⁸ und Hyme Energy²⁹ zwei Systemanbieter von TES unter den am stärksten geförderten Akteuren.

4.4 Innovationssystem thermischer Energiespeicher

4.4.1 Nationales Innovationssystem in Deutschland

Das Konzept des Technik-Innovationssystems zeigt auf, dass der Technologie- und Informationsfluss zwischen Menschen, Unternehmen und Institutionen der Schlüssel zu einem innovativen Prozess ist. Es umfasst die Interaktionen zwischen den erforderlichen Akteuren, um eine Idee in eine Technologie oder ein Verfahren auf dem Markt umzusetzen (Carlsson und Stankiewicz, 1991). Abbildung 15 zeigt die Vernetzung und das Zusammenspiel der beteiligten Akteure.

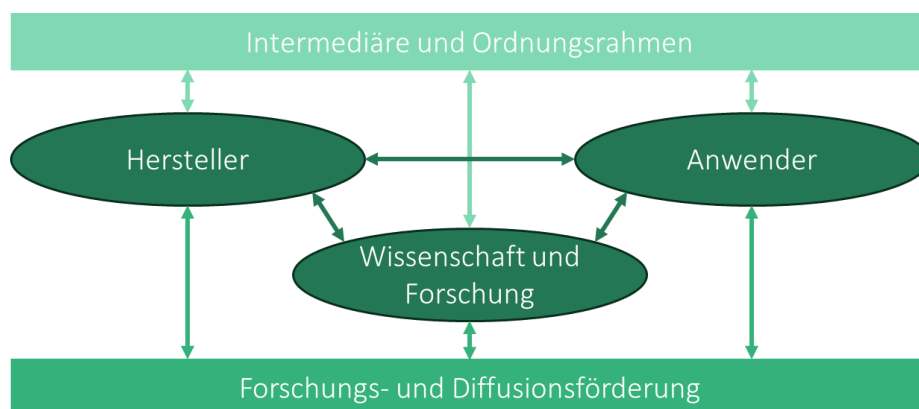


Abbildung 15: Vernetzung und Zusammenspiel der Akteure im Innovationssystem

Quelle: Eigene Darstellung

Die folgenden Abschnitte zeigen eine Auswahl der zentralen Akteure für thermische Energiespeicher nach Kategorien dargestellt. Zusätzlich werden einige Forschungsprojekte genannt, die auf der Zusammenarbeit von Akteuren aus den verschiedenen Kategorien beruhen.

Im Bereich der *Wissenschaft und Forschung* sind das Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung der Universität Stuttgart³⁰, das Zentrum für Energietechnik (ZET) an der Uni Bayreuth³¹ sowie die Technische Universität Berlin und die RWTH Aachen mit Arbeiten zu thermischen Energiespeichern aktiv. Auch angewandte

²⁸ <https://buildtozero.es/> (zuletzt geprüft am 04.03.2026)

²⁹ <https://www.hyme.energy/> (zuletzt geprüft am 04.03.2026)

³⁰ <https://www.igte.uni-stuttgart.de/forschung/thermische-energiespeichersysteme/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³¹ <https://www.zet.uni-bayreuth.de/de/index.html> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

Forschungszentren wie das Zentrum für angewandte Energieforschung Bayern (ZAE) haben Pionierarbeit bei Latentwärmespeichern und PCM-Materialien geleistet. Eine umfassendere Liste stellt das internationale Wirtschaftsforum regenerative Energien (2016) bereit. In der angewandten Forschung widmen sich mehrere Fraunhofer-Institute dem Thema: Das Fraunhofer ISE (Freiburg) entwickelt Wärme- und Kältespeicher für Gebäude und industrielle Anwendungen im Temperaturbereich von -30 °C bis 1400 °C ³². Es erforscht sensible, latente und thermochemische Speicher – von Wasser- und Salzspeichern über PCM (organische, Salzhydrate, Metalllegierungen) bis hin zu Adsorptions- und chemischen Speichern. Ein Schwerpunkt liegt auf neuen Materialien mit höherer Speicherdichte und Stabilität sowie auf der Systemintegration von Speichern. Das Fraunhofer UMSICHT (Sulzbach-Rosenberg) konzentriert sich auf angewandte Speichertechnologien für die Industrie. So koordiniert UMSICHT aktuell das EU-Projekt ISSDEMO³³, in dem ein ultra-dynamischer Hochtemperatur-Latentwärmespeicher (Metalllegierungs-PCM, $250\text{--}500\text{ °C}$) entwickelt und bei der Bitburger Brauerei in Betrieb genommen wird. Dieser neuartige Speicher soll mittels Phasenwechsel flexibel Prozessdampf aus erneuerbarem Strom bereitstellen und Lastspitzen glätten. UMSICHT baut hierbei auf jahrelange Vorarbeiten zu Metall-PCM und deren Verkapselung (patentierter Legierungen) auf. Auch weitere Fraunhofer-Institute wie IFAM (Bremen/Dresden) sind im Bereich der thermischen Energiespeicher aktiv. Das IFAM hat den Fokus auf innovativen Latentwärmespeichern (PCM) und sorptiven Wärmespeichern (Adsorptionswärme) bis ca. 350 °C ³⁴. Hier werden Materialcharakterisierung, Herstellung (z. B. Makroverkapselung von PCM) und Fertigungstechniken für industrielle Maßstäbe erforscht.

In Deutschland sind in den letzten Jahren mehrere spezialisierte *Hersteller* entstanden, die thermische Speichersysteme für industrielle Zwecke entwickeln oder produzieren. Ihre Technologien decken sensible, latente und thermochemische Speicherprinzipien ab. Zu den bekanntesten Herstellern zählt Kraftblock GmbH³⁵ aus dem Saarland. Das Unternehmen entwickelt Hochtemperaturspeicher auf Granulatbasis, die als modulare Containerlösungen aufgebaut sind. Diese Speicher können elektrische Überschussenergie als Wärme bis zu etwa 1300 °C speichern (Power-to-Heat) und eignen sich besonders für energieintensive Branchen wie die Stahl-, Glas-, Keramik- und Chemieindustrie. Ein weiterer wichtiger Anbieter war die Lumenion GmbH³⁶ aus Berlin. Das Unternehmen hat ein Power-to-Heat-System auf Basis massiver Stahlspeicher entwickelt, das im Temperaturbereich zwischen 120 °C und 450 °C arbeitet. Diese Technologie dient der Bereitstellung von Prozesswärme für Industrieanlagen sowie der kommunalen Wärmeversorgung. Ein

³² <https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/klimaneutrale-waerme-und-gebaeude/waerme-und-kaeltespeicher.html> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³³ <https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/de/presse/pressemitteilungen/2024/Projekt-ISSDEMO.html> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³⁴ <https://www.ifam.fraunhofer.de/de/Branchen/Energie/elektrische-und-thermische-energiespeicher.html> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³⁵ <https://www.kraftblock.com/de> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³⁶ <https://lumenion.com/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

Beispiel ist ein 20-MWh-Speicher in Schleswig-Holstein, der mit Windstrom betrieben wird und einen Gemüseverarbeitungsbetrieb vollständig mit CO₂-freier Prozesswärme versorgt. Die STORASOL GmbH³⁷ mit Sitz in Baden-Württemberg und Bayern produziert Hochtemperatur-Feststoffspeicher mit Luft als Wärmeträger. Die modularen Systeme, bekannt unter der Bezeichnung OPTES®, erreichen Temperaturen über 1000 °C und können mit nachgeschalteten Turbinen oder ORC-Anlagen auch Strom bereitstellen. Eine Demonstrationsanlage im Megawatt-Maßstab läuft seit mehreren Jahren an der Universität Bayreuth. STORASOL richtet sich vor allem an Industrie- und Kraftwerkskunden, die ihre Prozesse flexibilisieren oder Abwärme effizient nutzen möchten. Ein stärker international tätiges Unternehmen ist die Firma ENERGYNEST³⁸ aus Norwegen, die Lösungen für den Temperaturbereich bis 450 °C anbietet. Sie setzen wie alle zuvor genannte Hersteller auf das Prinzip der sensiblen Energiespeicherung.

Im Bereich der Latentwärmespeicher reicht die industrielle Historie in Deutschland weit zurück. Eine zentrale Rolle nimmt hierbei die Rubitherm Technologies GmbH³⁹ mit Sitz in Berlin ein, die historisch aus dem Wachs- und Paraffingeschäft des Chemiekonzerns Sasol hervorgegangen ist und sich früh auf die Herstellung von PCM spezialisiert hat. Rubitherm bietet ein breites Portfolio an organischen Paraffinen und anorganischen Salzhydraten an, die Temperaturen zwischen -90 °C und +150 °C formstabil speichern können. Deutlich später, nämlich im Nachgang der weitreichenden Förderinitiative Energiespeicher der Bundesregierung (ab 2011), etablierte sich ein weiterer wichtiger Akteur: Die Axiotherm GmbH⁴⁰ aus Nordrhein-Westfalen. Auch sie entwickelt und produziert heute führende PCM-Speichersysteme in verschiedenen Temperaturbereichen, die sowohl in der Kühlketten- und Klimatechnik als auch in industriellen Wärmeanwendungen zum Einsatz kommen.

Neben diesen spezialisierten Herstellern gibt es Unternehmen mit breiterem Anlagenbau- oder Kraftwerksbezug, die thermische Speichertechnologien integrieren. Dazu zählen Kraftanlagen Energies & Services⁴¹ (München) mit Großwasserspeichern für Fernwärmesysteme, Everllence (früher MAN Energy Solutions) (Augsburg) und Siemens Energy, die elektrothermische Speicher und Carnot-Batterien im Megawattbereich entwickeln. Start-ups wie Kraftblock erforschen zudem thermochemische Speicherverfahren, etwa im Projekt „Porotherm-Solar⁴²“, das auf die Weiterentwicklung reaktiver Speichermaterialien zielt.

Diese Herstellerlandschaft verdeutlicht, dass Deutschland über eine breit aufgestellte und innovationsstarke Industrie verfügt, die thermische Speichertechnologien für die

³⁷ https://storasol.com/de_de/ (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³⁸ <https://energy-nest.com/de/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

³⁹ <https://www.rubitherm.eu/ueber-uns.html> (zuletzt geprüft am 29.04.2026)

⁴⁰ <https://www.axiotherm.de/de/anwendungsgebiete/industrie---gebaeude/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

⁴¹ <https://www.kraftanlagen.com/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

⁴² <https://www.kraftblock.com/de/projekte/porotherm-solar> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

Dekarbonisierung industrieller Prozesse und die Sektorkopplung in verschiedenen Temperatur- und Leistungsbereichen entwickelt und zur Marktreife bringt.

Die Analyse der Hersteller zeigt, dass vor allem thermische Energiespeicher nach dem Prinzip der sensiblen Wärmespeicherung angeboten werden. Konsequenterweise sind es auch diese Systeme, die in ersten *industriellen Anwendungen* vertreten sind. So entstand 2025 bei der Firma Leonhard Kurz (Oberflächentechnik, Kunststoffveredelung) im Werk Sulzbach-Rosenberg ein Power-to-Heat-System der Firma ENERGYNEST mit 12 MWh Wärmespeicher. Es handelt sich um Deutschlands erste industrielle Power-to-Heat-Anlage mit Hochtemperaturspeicher – überschüssiger Solar- und Windstrom wird per 3 MW-Elektro-Heizer in einen Feststoffspeicher geladen und liefert bei Bedarf 400 °C-Heißölwärme. Dadurch kann die Fa. Kurz seinen Erdgasbedarf um 3,5 GWh/Jahr reduzieren und ca. 700 t CO₂ einsparen. (*Industrielle Power-to-Heat-Anlage mit Wärmespeicher in Deutschland gestartet*, 2025). Weitere Pilotprojekte sind das Projekt Hall-A⁴³ der Firma Kraftblock, bei dem die Abwärme der Stahlindustrie für zur Dekarbonisierung von Heizwärme genutzt werden soll und ein Projekt von LUMENION bei der Firma Bio-Frost Westhof, in welchem eine stabile Versorgung mit grünem Prozessdampf für die Schäl-, Blanchier- und Autoklavierprozesse in der Tiefkühlgemüseproduktion erreicht werden soll⁴⁴. Ein weiteres Beispiel für die industrielle Skalierung sensibler Hochtemperaturspeicher ist das 2026 angekündigte Projekt von tesa und ENERGYNEST, bei dem eine der größten industriellen Power-to-Heat-Anlagen Deutschlands mit integriertem Hochtemperatur-Wärmespeicher realisiert werden soll, um erneuerbaren Strom in großem Maßstab in Prozessdampf für den Produktionsstandort Hamburg zu überführen⁴⁵.

Ein zentraler Akteur aus dem Bereich der *Intermediäre* ist der Bundesverband Energiespeicher Systeme e.V. (BVES). Er vertritt nach eigener Aussage „die Interessen von Unternehmen und Institutionen mit dem gemeinsamen Ziel der Entwicklung, Vermarktung und dem Einsatz von Energiespeichersystemen in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität.“⁴⁶ In Stellungnahmen und Positionspapieren betont der BVES die Bedeutung thermischer Speicher als Rückgrat effizienter Wärmenetze und setzt sich für bessere Rahmenbedingungen ein. Als technisch-wissenschaftlicher Verband der Wärmewirtschaft spielt AGFW (Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V.) eine zentrale Rolle bei Standardsetzung, Normung und Wissenstransfer. Der Verband ist ein Zusammenschluss von über 500 Unternehmen, die leitungsgebunden Wärme oder Kälte liefern, woher auch der frühere Name „Arbeitsgemeinschaft Fernwärme“ stammt. In Bezug auf thermische Energiespeicher fokussiert sich der AGFW vor allem auf deren (hoch relevanter) Nutzung im Kontext von Wärmenetzen und hat dazu technische Regelwerke und Arbeitsblätter entwickelt, z.B. zur Auslegung von Großwärmespeichern (AGFW e.V., 2015).

⁴³ <https://www.kraftblock.com/de/projekte/hall-a> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

⁴⁴ <https://lumenion.com/bio-frost-westhof/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

⁴⁵ <https://energy-nest.com/de/tesa-und-energy-crest-realisieren-eine-der-groessten-industriellen-power-to-heat-anlagen-deutschlands/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

⁴⁶ <https://www.bves.de/> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

Die Deutsche Energie-Agentur (dena) agiert als unabhängiger Intermediär zwischen Politik und Wirtschaft und hat im Bereich industrielle Wärme einige wichtige Initiativen gestartet. Sie ermittelt Potenziale und Hemmnisse beim Einsatz von Wärmespeichern und Abwärme und informiert politische Entscheidungsprozesse. So hat die dena gemeinsam mit anderen Akteuren im Auftrag des BMWK ein Gutachten für eine Wärmespeicher-Strategie erstellt (Mennel und Fischer, 2024), das den steigenden Bedarf an thermischen Speichern für die Nutzbarmachung von Solarthermie und industrieller Abwärme betont. Auch innerhalb des Forschungsnetzwerks Industrie und Gewerbe sind die thermischen Energiespeicher im Forschungsfeld Wärme und Abwärme vertreten.

Aus Sicht der Normierung stellt die Deutsche Normungsroadmap Energiespeicher (DIN e. V. u. a., 2021) die Aktivitäten übersichtlich zusammen. Die relevanten Arbeitsgremien für thermische Energiespeicher in industriellen Anwendungen sind die DKE/K 374 „Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung“ der Deutschen Kommission Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik in DIN und VDE, der Normenausschuss NA 082-00-20 AA „Thermische Energiespeicher für gewerbliche bzw. industrielle Anwendungen“ des DIN und der VDI-Fachausschuss „Energiespeicher“. Die in der Normungsroadmap genannten Handlungsempfehlungen betonen die Wichtigkeit von Normen und Standards für ein einheitliches Sicherheitsniveau und für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Speichertechnologien. Angesichts des geringen Normungsstands sollten zusätzliche technische Regeln geprüft und der Informationsaustausch zwischen Gremien intensiviert werden, um Doppelnormung zu vermeiden. Langfristig sei eine europäische oder internationale Harmonisierung anzustreben.

Die Forschungs- und Diffusionsförderung zu thermischen Energiespeichern in industriellen Anwendungen wird in Deutschland maßgeblich vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE) getragen. Über das Energieforschungsprogramm und die Forschungsnetzwerke Energie werden Wissenschaft, Industrie und Politik systematisch vernetzt, um Forschungsergebnisse in industrielle Anwendungen zu überführen. Die vorhergehenden Kapitel 4.1 bis 4.2 geben einen detaillierten Überblick zur Förderung der Technik in Deutschland und der EU.

Tabelle 6 gibt einen kompakten Überblick der zentralen Akteure im Innovationssystem der thermischen Energiespeicher

Tabelle 6: Auswahl zentraler Akteure im Innovationssystem der TES

Forschungsförderung und Diffusionsförderung <ul style="list-style-type: none"> • BMW • Projektträger Jülich (PtJ) sowie Anbindung an das Energy Storage TCP der IEA • Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe, darin das Forschungsfeld Wärme und Abwärme • Deutsche Energie-Agentur (dena) • BAFA 	
Wissenschaft und angewandte Forschung Universitäten <ul style="list-style-type: none"> • Universität Stuttgart – Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) • TU Dresden • BTU Cottbus • Universität Bayreuth • Technische Universität Berlin • RWTH Aachen • Technische Universität München • Hochschule Zittau/Görlitz 	Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen <ul style="list-style-type: none"> • Fraunhofer-Institute ISE, UMSICHT, IFAM • Zentrum für angewandte Energieforschung Bayern (ZAE Bayern) • Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Hersteller von TES Spezialisierte TES-Hersteller <ul style="list-style-type: none"> • Kraftblock GmbH (Saarland) • STORASOL GmbH (Baden-Württemberg/Bayern) • ENERGYNEST GmbH (Norwegen/Deutschland) Industrie- und Anlagenbauer mit TES-Komponenten <ul style="list-style-type: none"> • Kraftanlagen Energies & Services GmbH (München) • Everllence (ehem. MAN Energy Solutions, Augsburg) • Siemens Energy • Axiotherm GmbH (NRW) • Rubitherm Technologies GmbH 	Anwender von TES Konkrete Projekte <ul style="list-style-type: none"> • Leonhard Kurz GmbH (Sulzbach-Rosenberg) - ENERGYNEST • Bio-Frost Westhof (Schleswig-Holstein) – Lumenion • Kraftblock / Projekt Hall-A • tesa (Hamburg) – ENERGYNEST • PROGROUPE • Wehl und Partner GmbH Geeignete Sektoren <ul style="list-style-type: none"> • Metall- und Stahlindustrie: Nutzung von Abwärme und Prozesswärme • Keramik- und Baustoffindustrie: Trocknungs- und Brennprozesse • Lebensmittelindustrie: Prozessdampfbereitstellung, Wärmerückgewinnung • Chemische Industrie: Integration von TES in Dampfnetze • Energieversorger und Stadtwerke: Lastmanagement und Flexibilisierung in Fernwärmenetzen.
Intermediäre Branchen- und Fachverbände <ul style="list-style-type: none"> • BVES Bundesverband Energiespeicher Systeme e. V.: Politische Interessenvertretung der Speicherbranche sowie Anbindung an das Energy Storage TCP der IEA • AGFW Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V: Gesetzgebung und Normung im Bereich Wärme- und Speichertechnik • dena Deutsche Energie-Agentur: Politikberatung, Studien und Koordination im Bereich industrielle Abwärmenutzung und Wärmespeicherstrategie. Normungs- und Standardisierungsgremien <ol style="list-style-type: none"> 1) DIN / DKE / VDI – Erarbeitung der <i>Deutschen Normungsroadmap Energiespeicher</i> (2021). 2) Relevante Gremien: <ul style="list-style-type: none"> ○ DKE/K 374: Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung. ○ DIN NA 082-00-20 AA: Thermische Energiespeicher für gewerbliche und industrielle Anwendungen. ○ VDI-Fachausschuss Energiespeicher: Richtlinienarbeit (u. a. VDI 4657 Blatt 2). 	

4.4.2 Internationales Innovationssystem

Das Konzept des Technik-Innovationssystems verdeutlicht, dass der Technologie- und Informationsfluss zwischen Menschen, Unternehmen und Institutionen der Schlüssel zu einem innovativen Prozess ist. Ein wesentlicher Pfeiler dieses Systems, der über die nationale Ebene hinausreicht, ist die internationale Kooperation. Im Bereich der thermischen Energiespeicher nimmt das **Energy Storage Technology Collaboration Programme (ES TCP)** der Internationalen Energieagentur hierbei eine zentrale Rolle ein. Dieses Programm fungiert als intermediäre Plattform, die wissenschaftliche Impulse mit industriellen Verwertungspartnerschaften verknüpft.

Die Bedeutung des IEA ES TCP für das deutsche Innovationssystem lässt sich an folgenden Punkten festmachen:

- **Wissenstransfer und Standardisierung:** Durch die Arbeit in sogenannten „Tasks“ (Arbeitsgruppen) findet ein direkter Austausch über neueste Forschungsergebnisse und Best-Practice-Beispiele statt. Dies reduziert technologische Risiken für nationale Hersteller und Anwender.
- **Deutsche Beteiligung:** Eine Vielzahl dieser Tasks erfolgt unter aktiver deutscher Beteiligung. Dies ermöglicht es heimischen Akteuren, internationale Trends frühzeitig mitzugestalten und die eigene technologische Marktführerschaft zu festigen.
- **Skalierung und Marktzugang:** Das TCP unterstützt die „Diffusionsförderung“, indem es globale Netzwerke schafft, die über die reine Grundlagenforschung hinausgehen und die Markteinführung thermischer Speicherlösungen beschleunigen.

Die deutsche Beteiligung am **IEA Energy Storage TCP** ist besonders in den Arbeitsgruppen (Tasks) ausgeprägt, die eine hohe Relevanz für die industrielle Wärmewende und die Netzstabilität aufweisen. Beispielhaft stehen hierfür:

- **Task 36 (Carnot Batteries):** Hier steht die Untersuchung von Systemen im Fokus, die elektrische Energie als Wärme speichern und bei Bedarf wieder in Strom umwandeln.
- **Task 39 (Flexible Sector Coupling by High-Temperature Thermal Energy Storage):** Dieser Task adressiert die Integration von Hochtemperatur-Wärmespeichern in industrielle Prozesse.
- **Task 40 (Compact Thermal Energy Storage):** In diesem Bereich wird an Materialien mit hoher Energiedichte (z. B. Phasenwechselmaterialien oder thermochemische Speicher) geforscht.

4.5 Interviews mit Projektbeteiligten von EFP-Projekten zu TES

Insgesamt wurden fünf leitfadengestützte Interviews mit Projektbeteiligten von drei abgeschlossenen und zwei laufenden EFP-Projekten zu thermischen Energiespeichern durchgeführt. Ein zentraler Aspekt der Ex-post-Evaluation war die Frage nach dem Zusammenhang zwischen FuE-Förderung und technologischem Erfolg in Bezug auf Markteintritt und -diffusion.

Dabei zeigte sich eine deutliche Differenzierung in der Projektstruktur:

- Umsetzungs- und Anwendungsprojekte: Diese sind durch starke Industriekonsortien und Herstellerbeteiligung geprägt. Der Fokus liegt auf der Systemintegration und der ökonomischen Validierung unter Realbedingungen.
- Forschungslastige Projekte: Hier steht die wissenschaftliche Grundlagenarbeit oder die Entwicklung neuer Materialien bzw. Konzepte im Vordergrund. Diese Projekte werden oft von Instituten vorangetrieben, wobei die Industrie eher eine beratende oder assoziierte Rolle einnimmt.

Aufgrund der geringen Stichprobenmenge können diese Fragen nur im Ansatz beantwortet werden. Eine vollumfängliche Analyse bedürfte einer tiefergehenden Datenbasis. Dennoch konnten durch Interviews, schriftlichen Austausch und Projektbeschreibungen wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden.

4.5.1 Verlauf der Projektförderung

Ziele und Perspektiven der Projekte zu thermischen Energiespeichern

Die im Rahmen der Forschungsförderung des EFP untersuchten Projekte verfolgten unterschiedliche Zielsetzungen und Herangehensweisen. Zwei der fünf Projekte bauten dabei auf Ergebnissen vorangegangener Forschungsarbeiten auf.

Projekt 1: Skalierung von Haushalts- zu Industrieanwendungen. Im Mittelpunkt stand die Weiterentwicklung einer bestehenden Wärmespeichertechnologie für den Industriesektor. Ziel war es, höhere Betriebstemperaturen zu ermöglichen und damit die Effizienz der Wärmespeicherung zu steigern. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Nutzung des hohen Abwärmepotenzials energieintensiver Industriebetriebe – sowohl für die betriebsinterne Verwendung als auch für die externe Einspeisung ins Fernwärmenetz. Diese Ziele wurden durch eine verbesserte Dämmung des Wärmespeichers adressiert.

Projekt 2: Hochskalierung vom Pilot- zum MW-Maßstab. Dieses Projekt konzentrierte sich auf die Skalierung einer Speichertechnologie in den Megawatt-Bereich. Aufbauend auf einem Vorprojekt wurden ergänzende Experimente durchgeführt und Modelle entwickelt, um offene Fragen zum Design eines großtechnischen Reaktors zu klären. Parallel wurde die Planung einer MW-Demonstrationsanlage vorangetrieben.

Projekt 3: Kostenoptimierung und Integrationskonzepte. Der Fokus lag hier auf der Vorbereitung einer Demonstrationsanlage mit dem Ziel, das Kostenpotenzial einer etablierten Speichertechnologie durch innovative Ansätze zu verbessern. Zudem wurde die Integration solcher Technologien in bestehende Industriestandorte konzeptionell untersucht. Hierzu wurden Methoden und Software-Tools entwickelt, die eine systematische Analyse und techno-ökonomische Bewertung verschiedener Speichertechnologien und Integrationsoptionen ermöglichen. Die entwickelte Methodik ist auch auf andere Anwendungsfelder wie Kraftwerkstechnik und Industrierwärme übertragbar.

Projekt 4: Vermeidung von Energieverlusten und fossiler Abhängigkeit. Ziel dieses Projekts ist es, thermische Energiespeicher so einzusetzen, dass Dampf bei Produktionsstillständen nicht mehr in die Umwelt abgeführt werden muss. Der TES soll Lastspitzen abpuffern und den bisherigen Ölkessel, der zum Anfahren der Anlage benötigt wird, ersetzen. Dadurch werden sowohl Energieverluste reduziert als auch die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringert.

Projekt 5: Praxistest elektrischer Dampferzeuger mit Speicher. Das Ziel ist die Erprobung eines elektrischen Dampferzeugers mit Speicher unter realen Betriebsbedingungen. Dazu wird eine Pilotanlage konstruiert und gemeinsam mit einem Endanwender im praktischen Einsatz betrieben. Im Rahmen des Projekts werden verschiedene Speichertechnologien systematisch verglichen, wobei der Schwerpunkt auf der Bewertung unterschiedlicher Konzepte und der Weiterentwicklung der Speichertechnologie liegt.

Zusammenhang zwischen FuE-Förderung und Erfolg der Technik (Markteintritt und -diffusion)

Die Erfahrungen belegen einen direkten Einfluss der FuE-Förderung auf den Erfolg von Technologien und deren Markteintritt. Ohne finanzielle Unterstützung wären alle Projekte – insbesondere für Einrichtungen ohne eigene Grundfinanzierung – nicht realisierbar gewesen. Die Fördermittel ermöglichen die Entwicklung und Erprobung innovativer Technologien sowie den Aufbau von Know-how, Demonstrationsanlagen und Prototypen, die für die spätere industrielle Umsetzung entscheidend sind.

Darüber hinaus schafft die Förderung die Grundlage für Kooperationen zwischen Forschung und Industrie. Der intensive Austausch ermöglicht eine praxisnahe Optimierung der Technologien und deren Überführung in Folgeprojekte, was die Marktdiffusion beschleunigt. Zudem erhöht die Bereitstellung von Ressourcen für technische Validierung und Demonstration die Akzeptanz bei potenziellen Anwendern und senkt Markteintrittsbarrieren.

Insgesamt zeigt sich, dass gezielte FuE-Förderung sowohl die technische Reife als auch die wirtschaftliche Marktfähigkeit erheblich beschleunigt und damit einen zentralen Erfolgsfaktor für den Transfer von der Forschung in die industrielle Anwendung darstellt.

Erfolgsfaktoren

Ein zentraler Erfolgsfaktor ist die Kostenstruktur der entwickelten Speichertechnologien. Bestimmte Systeme weisen gegenüber konventionellen Wärmespeichern deutliche Kostenvorteile auf, die vor allem aus geringeren Materialkosten resultieren. In Kombination mit guter Skalierbarkeit lassen sich mit zunehmender Anlagengröße weitere Kostensenkungen realisieren, was die Wirtschaftlichkeit erhöht. Dabei ist die ökonomische Wettbewerbsfähigkeit oft entscheidender als technische Vorteile gegenüber etablierten Konzepten.

Die erfolgreiche Übertragbarkeit von Forschungsergebnissen in marktfähige Produkte stellt einen weiteren kritischen Erfolgsfaktor dar. Das Beispiel einer aus der Forschung hervorgegangenen Serientechnologie in der Haushaltsgeräteindustrie zeigt: Dieser Schritt gelingt insbesondere dann, wenn Material- und Komponentenkosten beherrschbar bleiben. Nach Sicherstellung der technischen Funktionsfähigkeit ist in der Praxis die Wirtschaftlichkeit ausschlaggebend.

Trotz bereits verfügbarer etablierter sensibler Speicher auf dem Markt besteht bei den Projektbeteiligten der Wunsch, auch Innovationen voranzutreiben und neue Ansätze zu verfolgen. Latentwärmespeicher schließen dabei eine wichtige Lücke: In Anwendungsfällen mit großen geforderten Temperaturunterschieden wäre der Platzbedarf konventioneller Feststoffspeicher zu hoch. Alternative Speicherkonzepte stellen daher eine sinnvolle Ergänzung dar.

Hemmnisse während der Förderung

Während der Förderung traten vielfältige technische, wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen auf. Ein wesentliches Hindernis bestand in der Unsicherheit hinsichtlich Folgekosten, Zuverlässigkeit und Langzeitstabilität neuer Technologien. Da industrielle Prozesse häufig auf Laufzeiten von mehreren Jahrzehnten ausgelegt sind und nur geringe Spielräume für Unterbrechungen oder Umbaumaßnahmen bieten, ist eine sichere und konservative Auslegung von zentraler Bedeutung. Dies führt jedoch oft zu überdimensionierten Systemen, was die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Zudem stellte das veränderte thermische Verhalten hochgedämmter Anlagen erhöhte Anforderungen an Regelung und Prozessführung.

Wirtschaftliche und regulatorische Rahmenbedingungen

Neben technischen Aspekten spielten wirtschaftliche Faktoren eine wichtige Rolle. Dazu zählen hohe Personalkosten – insbesondere bei mobilen Anwendungen – sowie rechtliche Unsicherheiten im Zusammenhang mit Contracting-Modellen und der Absicherung von Liefer- und Risikorahmen. Auf regulatorischer Ebene wirken Netzentgelte, Umlagen und Steuern hemmend, da sie die Wirtschaftlichkeit thermischer Energiespeicher gegenüber konventionellen Energieträgern wie Gas deutlich verschlechtern.

Mangelnde Praxiserfahrung und Sichtbarkeit

Ein zentrales Hemmnis ist die bislang geringe praktische Erfahrung mit thermischen Energiespeichern in Deutschland. Solange kaum sichtbare Demonstrationsanlagen existieren, bleibt die Zurückhaltung auf Industrieseite entsprechend groß. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung von Leuchtturmprojekten hervorgehoben, die Vertrauen schaffen, Praxiserfahrungen ermöglichen und die Marktsichtbarkeit der Technologie erhöhen. Gleichzeitig benötigen diese hohen Investitionen, die industrieseitig häufig gescheut werden.

Technische Herausforderungen

Auf technischer Ebene zeigten sich mehrere projektspezifische Herausforderungen. Das niedrige TRL der eingesetzten Speichertechnologien stellte ein hohes Risiko für potenzielle Anwender dar. Besonders anspruchsvoll waren die Integration der Speicher in bestehende Infrastrukturen und laufenden Produktionsanlagen. Der ungestörte Betrieb von Kraftwerks- und Industrieanlagen hatte dabei oberste Priorität, was den Handlungsspielraum für Anpassungen deutlich einschränkte. In einem Projekt musste die ursprünglich deutlich größere Auslegung des Speichers aus Budgetgründen verworfen und auf eine kleinere Skalierung reduziert werden.

Weitere Herausforderungen betrafen die Reparaturfreundlichkeit und Wartbarkeit der Systeme, wobei Forschungspartner konkrete Gestaltungshinweise lieferten. Auch innovative Konzepte, etwa die Beladung eines Speichers mit Dampf anstelle elektrischer Energie, stellten neue Anforderungen an Auslegung und Betrieb. Fragen der Zuverlässigkeit und Sicherheitstechnik spielten dabei eine zentrale Rolle, insbesondere im Hinblick auf störungsfreien Betrieb und die Vermeidung potenzieller Gefährdungen. Erschwerend kam hinzu, dass Integrationsarbeiten häufig nur während geplanter Revisionszeiträume der Anlagen möglich waren, was die Umsetzung an enge Zeitfenster band. Schließlich erforderte die messtechnische Erfassung relevanter Betriebsgrößen wie Volumenströme eine aufwändige Nachrüstung von Messinstrumenten in bestehenden Anlagen.

Co-Benefits während der Förderung

Während der Förderung ergaben sich zahlreiche positive Nebeneffekte. Hervorzuheben ist insbesondere die enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie, die einen intensiven Austausch ermöglichte und die Basis für weitere gemeinsame Projekte schuf. Darüber hinaus führten die Vorhaben zu wissenschaftlichen Publikationen, Promotionen und Fachvorträgen, welche den Wissenstransfer stärkten. Auch der Aufbau spezifischer Kompetenzen in den beteiligten Einrichtungen stellt ein wichtiges Ergebnis dar, das über den unmittelbaren Projektverlauf hinauswirkt.

Die Förderung ermöglichte es beteiligten Unternehmen, neue Produkte oder Geschäftszweige zu entwickeln. Es entstanden langfristige Kooperationen mit Forschungseinrichtungen sowie Folgeprojekte. Der hohe Know-how-Gewinn und praktische Erfahrungen ermöglichten den Einstieg in neue Märkte.

4.5.2 Technikentwicklung nach der EFP-Förderung

Weiterentwicklung nach Projektende

Nach Abschluss der Projekte wurden unterschiedliche Entwicklungswege eingeschlagen. An Forschungseinrichtungen entstanden Dissertationen, Patente und Folgeprojekte, die den Wissenstransfer in die Industrie unterstützen. Erste Kooperationen mit Unternehmen bestehen fort, beispielsweise durch Anfragen, Messeauftritte und Netzwerkkontakte.

Der Technologiereifegrad variiert stark: Einige Komponenten sind bereits marktreif, während sich andere noch in frühen Entwicklungsstadien befinden. In vielen Fällen konnten jedoch Fortschritte von niedrigen hin zu mittleren Reifegraden erzielt werden. Die Integration einzelner Komponenten in funktionierende Gesamtsysteme bleibt dabei eine zentrale Herausforderung. Für die Markteinführung sind vor allem Standardisierung, Skalierung und Systemintegration entscheidend. Hierfür sind Konzepte für die Serienfertigung sowie größere Demonstratoren notwendig, um Wechselwirkungen im Betrieb realistisch zu prüfen.

Trotz wirtschaftlicher Hürden bestehen Chancen für Nachfolgeprojekte. Neben Validierungen im größeren Maßstab, wie beispielsweise Pilotanlagen mit mehreren Megawattstunden Speicherkapazität, rückt vor allem die Realisierung sichtbarer Demonstrationsanlagen beim Endanwender in den Fokus, da sie den Schlüssel für den Übergang zur industriellen Anwendung darstellen. Bei den aktuell laufenden Projekten stehen zunächst Langzeiterfahrungen im Vordergrund. Auch wenn einzelne Projekte 2027 enden, sollen die Speicher weiter betrieben und untersucht werden. Der Austausch über mögliche Folgeprojekte erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt.

Die Wärmeversorgung ist in jedem Industrieprozess relevant. Obwohl sich aktuelle Projekte auf konkrete Speichersysteme konzentrieren, ist es für die beteiligten Unternehmen wichtig, durch die Förderung Expertise in diesem Themenfeld aufzubauen. Dies dient als Anknüpfungspunkt für zukünftige Projekte und Aufträge.

Wechselwirkungen mit anderen Technologien

Die betrachteten thermischen Energiespeichertechnologien stehen nicht isoliert, sondern treten in vielfältige Wechselwirkungen mit anderen Ansätzen zur Energie- und Wärmeerzeugung. Je nach Anwendungsfall können sie dabei sowohl in Konkurrenz zueinander stehen als auch komplementär wirken.

Wärmepumpen werden beispielsweise häufig als Alternative diskutiert, stoßen jedoch bei bestimmten Anforderungen an technische Grenzen. In solchen Fällen können Speicherlösungen oder andere Systeme ergänzend eingesetzt werden, um Flexibilität und Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Ob es sich eher um Konkurrenz oder Ergänzung handelt, hängt stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen ab. Insbesondere wenn

eine vollständige Dekarbonisierung angestrebt wird, stellen kombinierte Lösungen oft die wirtschaftlichere Option dar.

Darüber hinaus treten auch neue Materialien und Konzepte auf, die bestehende Lösungen herausfordern oder ergänzen können. Neben der Wirtschaftlichkeit spielt vor allem die Weiterentwicklung von Herstellungsverfahren eine zentrale Rolle.

Ein wichtiger Aspekt ist zudem die Übertragbarkeit auf unterschiedliche Branchen und Anwendungen. Während sich für die Industrie vor allem großskalige Systeme anbieten, sind für kleinere Unternehmen eher modulare Ansätze relevant. Entscheidend ist jeweils die Passung zu den Temperatur- und Lastprofilen der Prozesse sowie die vorhandenen Wärmeträgermedien (z. B. Wasser, Druckwasser, Dampf, Thermalöl, Luft).

Langfristig ist diese Entwicklung eng mit Zielen wie der stärkeren Integration erneuerbarer Energien und der Sektorkopplung verbunden. Hier eröffnen sich Potenziale, klassische Systeme weiterzuentwickeln und so zur Flexibilität und Nachhaltigkeit der Energieversorgung beizutragen.

4.5.3 Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie

Suche nach Verbundpartnern

Die Suche nach Verbundpartnern erfolgt häufig auf Basis bestehender Kontakte, die durch frühere Projekte oder Vorarbeiten entstanden sind. Dadurch können Kooperationen in Folgeprojekten leichter vertieft werden, da bereits Vertrauen vorhanden ist und die Strukturen eingespielt sind.

Gleichzeitig entstehen neue Partnerschaften direkt aus der Projektarbeit, beispielsweise durch Fachkonferenzen, Messen oder gezielte Öffentlichkeitsarbeit. Auf diesem Weg konnten bereits Kontakte zu Industrie und Forschung geknüpft und in Konsortien eingebunden werden. Darüber hinaus ergeben sich neue Kooperationen aus thematischen Weiterentwicklungen wie der Ausweitung auf andere Temperaturbereiche oder Stoffsysteme. Forschungsinstitute übernehmen dabei oft eine Impulsgeberrolle, indem sie wissenschaftliche Ergebnisse einbringen, die gemeinsam mit der Industrie weiterentwickelt werden.

Praxisbeispiele für Partnerfindung

Ein konkretes Beispiel zeigt die Zusammenarbeit bei einem Projektkonsortium: Das Projekt wurde von beiden Partnern initiiert, wobei die Kontakte über einen gemeinsamen Kollegen entstanden waren. Trotz anfänglicher Verzögerungen durch Förderungsunsicherheiten und Haushaltssperren konnte das Vorhaben schließlich umgesetzt werden. Der Projektansatz erwies sich als besonders geeignet, da der laufende Betrieb nicht gestört wurde und das System parallel betrachtet werden konnte.

In einem anderen Fall traten Hersteller aktiv auf einen Endanwender zu, der zuvor keine Berührungspunkte mit Speichertechnologien hatte. Obwohl Themen wie thermische

Speicher und erneuerbare Energien beobachtet wurden, erfolgte keine aktive Auseinandersetzung damit. Das proaktive Herantreten wurde als sehr positiv empfunden, insbesondere weil bereits klar war: Die Technik funktioniert grundsätzlich, die Rahmenbedingungen sind realistisch und es besteht die Chance auf echten Nutzen.

Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und Wissenschaft

Die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen wurde von den Beteiligten ambivalent wahrgenommen. Einerseits wurde die enge Abstimmung und der direkte Austausch als sehr positiv bewertet, da sie einen effektiven Wissenstransfer und praxisnahe Lösungsansätze ermöglichten. Andererseits kam es jedoch auch zu Schwierigkeiten, die insbesondere durch fehlende Kommunikation oder das Ausbleiben notwendiger Daten für Simulationsarbeiten verursacht wurden. Diese gegensätzlichen Erfahrungen verdeutlichen, dass erfolgreiche Kooperationen stark von kontinuierlicher und transparenter Kommunikation abhängen.

Bei mehreren Projekten wurde die Zusammenarbeit als sehr partnerschaftlich beschrieben. Regelmäßige Absprachen und gemeinsame Arbeitstreffen prägten die Kooperation sowohl zwischen Endanwendern und Forschungseinrichtungen als auch zwischen Herstellern und wissenschaftlichen Partnern. Die Beteiligten wurden zu Konferenzen und Austauschtreffen eingeladen – Veranstaltungen, die ohne das FuE-Projekt nicht zustande gekommen wären. Diese ermöglichten es, andere Akteure kennenzulernen und die eigene Position im Feld besser einzuschätzen.

Darüber hinaus wurde die Partnerschaft durch das Projekt gestärkt. Die Beteiligung führte zu erhöhter Sichtbarkeit und Anfragen von außen. Zudem bot sie die Chance, die Themen intern im Unternehmen zu bewerben. Bei erfolgreichem Projektabschluss wird eine größere Offenheit auf Management-Ebene für weitere Vorhaben erwartet.

Trotz der positiven Erfahrungen zeigten sich auch Unterschiede in den Perspektiven: Während Forschungseinrichtungen Interesse an Detailforschung haben, fokussiert sich die Industrie auf robuste Anlagentechnik. Die Forschung arbeitet häufig sehr detailorientiert, während die Industrie auf Effizienz und Schnelligkeit angewiesen ist. Unternehmen müssen Ergebnisse liefern, die funktionieren und bezahlbar sind – Budget und Kosten müssen gering gehalten werden.

Diese unterschiedlichen Anforderungen erfordern ein gegenseitiges Verständnis und klare Absprachen über Projektziele und Erwartungen, um die jeweiligen Stärken optimal zu nutzen.

Vernetzung und Forschungsnetzwerke

Die Einschätzungen zum Thema Vernetzung mit Forschung und Industrie fallen unterschiedlich aus. Einige Akteure sehen sich weniger in einer aktiven Netzwerkrolle und konzentrieren sich stärker auf die technische Arbeit. Sie profitieren jedoch vom Austausch, wenn es um konkrete Erfahrungen mit Industrieunternehmen, Referenzen oder Kontakte geht. Andere Einrichtungen verfügen bereits über ein starkes internes Netzwerk mit guten Verbindungen zu Forschung und Industrie und bewerten diese Strukturen als hilfreich für die Projektarbeit.

Grundsätzlich wird die Entwicklung und Etablierung von Forschungsnetzwerken positiv wahrgenommen, auch wenn nicht alle Beteiligten gleichermaßen aktiv daran teilnehmen. Netzwerke bieten eine Plattform, um Vorhaben zu präsentieren, Erfahrungen auszutauschen und Kooperationen anzubahnen. Gleichzeitig zeigen sich jedoch auch Grenzen: Bei Querschnittstechnologien wie thermischen Speichern gestaltet sich die Vernetzung besonders schwierig. Hier überschneiden sich Anwendungsfelder wie Kraftwerke, industrielle Prozesswärme oder Wasserstoffwirtschaft, die jeweils in eigenen Netzwerken organisiert sind. Dadurch wird eine systematische und themenübergreifende Zusammenarbeit erschwert.

Entsprechend findet die Netzwerkarbeit zu thermischen Energiespeichern in der Regel technologieübergreifend statt. Als hilfreich wird es daher angesehen, die etablierten Statusseminare und Workshops, um zusätzliche Austauschformate zu ergänzen. Ein Beispiel hierfür sind die sogenannten „Speicher-Streitgespräche“, in deren Rahmen einzelne Themenfelder, etwa die Sorptionspeicherung, gezielt vertieft werden konnten. Solche fokussierten Arbeitsgruppen ermöglichen einen intensiveren fachlichen Austausch, als er in größeren Veranstaltungsformaten möglich ist.

Der Nutzen von Forschungsnetzwerken wird insgesamt anerkannt. Gleichzeitig besteht Potenzial, ihre Aktivität und Reichweite weiter auszubauen und sie gezielter auf Querschnittsthemen auszurichten.

Den Beteiligten ist das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe bekannt, ihre aktive Teilnahme variiert jedoch deutlich. Einige Akteure sind selbst weniger eingebunden, während Kolleginnen und Kollegen innerhalb ihrer Einrichtungen stärker im Netzwerk vertreten sind. Gleichzeitig wird betont, dass Treffen und Austauschformate im Projektalltag zeitlich und organisatorisch eingeplant werden müssen, um die Teilnahme verbindlicher zu gestalten.

Darüber hinaus wird wahrgenommen, dass das FN IuG in den letzten Jahren weniger aktiv war als andere vergleichbare Netzwerke. Für die zukünftige Arbeit wird daher erwartet, dass die Dynamik gesteigert und die Angebote so gestaltet werden, dass ein kontinuierlicher, für die Mitglieder spürbarer Mehrwert entsteht.

4.5.4 Einfluss der Förderung auf die Durchführung von Projekten

Unverzichtbarkeit der Förderung und Förderquoten

Keines der befragten wissenschaftlichen Institute hätte das Projekt ohne die Förderung durch das EFP umgesetzt. Für Institute ohne Grundförderung sind die finanziellen Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung; auch Universitäten sind auf zusätzliche Mittel angewiesen, da die hohen technischen Kosten eine eigenständige Durchführung ausschließen. Aus Unternehmenssicht gilt dasselbe: Selbst größere Familienunternehmen verfügen oft über kein Budget für FuE-Projekte, und ohne Forschungspartner sowie öffentliche Förderung wären solche Vorhaben schlicht nicht realisierbar.

Aus Sicht der befragten Akteure läge die wünschenswerte Förderquote in der Regel bei 85 bis 90 %, in einigen Fällen sogar bei 100 %. Diese Angaben spiegeln allerdings den geäußerten Bedarf wider und nicht die tatsächlich realisierbaren Förderquoten: Das EU-Beihilferecht deckelt die Förderung für industrielle Forschung grundsätzlich bei rund 50 %, mit gewissen Aufschlägen je nach Konstellation (vgl. AGVO Art. 25). Zwischen Wunsch und beihilferechtlich Möglichem besteht somit eine strukturelle Lücke, die in der Förderpraxis berücksichtigt werden muss.

Der konkrete Bedarf hängt zudem stark von den beteiligten Unternehmen ab: Während großindustrielle Einrichtungen eher Eigenmittel einbringen können, sind kleine und mittlere Unternehmen deutlich stärker auf öffentliche Mittel angewiesen. Da viele Projekte erst ab einem TRL von 3 beginnen, ist eine Eigenfinanzierung durch Unternehmen kaum möglich. Hinzu kommt, dass in der Vergangenheit häufig die notwendige Grundlagenforschung fehlte, sodass eine kontinuierliche Beistelleistung zur Unterstützung der anwendungsorientierten Forschung erforderlich war. Erst ab einem höheren Reifegrad – etwa ab TRL 6 – verändert sich die Situation, sodass Firmen das Risiko eher selbst tragen können.

Vorteile des Energieforschungsprogramms

Die Beteiligten nehmen das EFP als zentrale Anlaufstelle für Forschungsprojekte wahr, insbesondere bei ausschließlich deutschen Förderkonsortien. Ohne diese Unterstützung hätten viele Projekte nicht durchgeführt werden können, da Universitäten und Institute auf die Förderung angewiesen sind, um hohe technische Kosten, etwa für den Betrieb von Techniken, zu decken und heutzutage kaum mehr über Planstellen verfügen.

Positiv hervorgehoben wird das Konzept der Mikroprojekte. Durch das schlanke, einstufige Verfahren mit frühem Skizzengespräch lassen sich Anträge zielgerichtet vorbereiten. Der Aufwand bleibt gering und es entsteht schnell Klarheit über die Erfolgsaussichten.

Ein Blick auf benachbarte Förderbereiche zeigt zudem, dass förderpolitische Konzepte aus angrenzenden Themenfeldern wichtige Impulse für die Speicherförderung geliefert haben. Insbesondere die Förderkonzepte EnEff:Wärme und EnEff:Stadt im Bereich Gebäude und Quartiere haben gezeigt, wie kooperative Umsetzungsprojekte und

übergreifende Förderlogiken erfolgreich gestaltet werden können⁴⁷. Diese Erfahrungen haben sich positiv auf die Gestaltung der Förderung im Bereich Industrie und Gewerbe ausgewirkt und schließlich auch der Speicherförderung als Enabler für kooperative Umsetzungen den Weg geebnet.

Nachteile des Energieforschungsprogramms

Die Umsetzung von Projekten im EFP ist mit mehreren Herausforderungen verbunden. Insbesondere bei Demonstrationsanlagen bestehen Unklarheiten bezüglich Eigentums, Risikoübernahme und Zuständigkeiten. Die aktuelle Förderstruktur bietet hierfür keine ausreichenden Lösungen. Hinzu kommt, dass Forschende durch komplexe Fördermechanismen Aufgaben übernehmen müssen, die über ihre eigentliche Rolle hinausgehen. Das bindet Ressourcen. Für wirtschaftlich relevante Projekte fehlen zudem geeignete Investitionsmittel. Eine fehlende Koordination mit anderen Förderinstrumenten erschwert die Überführung von Forschungsergebnissen in die Industrie. Auch zu kurze Projektlaufzeiten behindern eine nachhaltige Zusammenarbeit.

Insgesamt eignet sich das EFP daher nur eingeschränkt für groß angelegte Demonstrationsvorhaben. Notwendig wären klarere Regelungen, eine bessere Abstimmung mit anderen Programmen sowie längere Projektzeiträume.

Einschätzung zum achten Energieforschungsprogramm

Die Befragten sehen im aktuellen EFP-Ansatz sowohl Chancen als auch Optimierungspotenziale. Generell besteht der Wunsch nach einer Option für einen „zweiten Schuss“, also der Möglichkeit, Projekte mit Problemen im ersten Durchlauf gezielt fortzuführen. So könnten technische Herausforderungen aus dem ersten Projekt behoben und das Wissen direkt für die Weiterentwicklung bis zur Marktreife genutzt werden.

Ein zentraler Vorteil gegenüber einem vollständigen Nachfolgeprojekt wäre der deutlich geringere administrative Aufwand, da der gesamte Projektbewilligungsprozess nicht erneut durchlaufen werden muss und keine neuen Partner gesucht werden müssen. Stattdessen könnte eine optionale Anschlussphase von etwa einem Jahr direkt an das ursprüngliche Projekt mit neuer Förderung angehängt werden.

Die EFP-Förderung ist so ausgelegt, dass die Industrie die weiterentwickelte Technik nach Abschluss der Förderphase eigenständig weiterführt. Eine unmittelbare Umsetzung der Technologie ist nicht vorgesehen. Dies wird von den Beteiligten nicht als Hindernis gesehen. Als sinnvoll erachtet werden weitere Fördermöglichkeiten wie Validierungsprogramme oder Reallabore, insbesondere um höhere TRL abzudecken. Ebenso sollten größere, anderweitig finanzierte Pilotierungen durch das 8. EFP begleitet werden können.

⁴⁷ https://www.bundeswirtschaftsministerium.de/Redaktion/DE/Downloads/F/foerderaufruf-begleitforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (zuletzt geprüft am 29.04.2026)

Nutzung weiterer Förderprogramme neben dem Energieforschungsprogramm

Neben dem EFP wurden in mehreren Fällen auch weitere Förderprogramme genutzt, da das EFP beispielsweise nicht für den Aufbau größerer Demonstrationsanlagen ausgelegt ist. Die Förderlandschaft jenseits des EFP stellt sich dabei differenzierter dar, als es auf den ersten Blick erscheint: Außerhalb der Förderinitiative Energiespeicher gab es über längere Zeit kaum noch eine entsprechende Förderung durch das BMBF und auch die DFG war in diesem Bereich lange nicht mehr aktiv. Erst mit dem Aufkommen der Forschung zur Carnot-Batterie hat sich diese Situation wieder verändert. Zu nennen ist außerdem das BMU, in dessen Energieforschungsförderung über einen gewissen Zeitraum Speicherprojekte im direkten Zusammenhang mit erneuerbaren Energien unterstützt wurden. Hinzu kamen Programme des BMWF sowie verschiedene Landesmittel, etwa aus Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg oder Bayern. Ergänzend wurden auch internationale Programme wie das Horizon-Programm der EU oder Initiativen wie die Clean Energy Partnership genutzt.

Allerdings sind nicht alle Förderquellen gleichermaßen für Forschungsprojekte geeignet. So decken bayerische und nordrhein-westfälische Landesmittel beispielsweise lediglich einen Teil der Kosten ab. Das setzt einen hohen Eigenanteil von Industrie und Forschung voraus und schränkt den Einsatz in wissenschaftsgetriebenen Vorhaben erheblich ein.

5 Identifizierte Hemmnisse und fördernde Faktoren

In diesem Kapitel werden die im Rahmen der Analyse identifizierten Hemmnisse sowie fördernden Faktoren für thermische Energiespeicher für industrielle Anwendungen dargestellt. Die Betrachtung erfolgt entlang der folgenden Kategorien: regulatorische bzw. politische, technische sowie wirtschaftliche Hemmnisse und fördernde Faktoren.

Regulatorische Hemmnisse und fördernde Faktoren

Innerhalb dieses Umfelds stellt die fehlende Planbarkeit der Forschungsförderung dar. Aufgrund unklarer Haushaltslagen ist oft nicht absehbar, wann neue Projekte starten können, was die strategische Planung erschwert und zu Verzögerungen führt. Ergänzend bestehen rechtliche Unsicherheiten bei Contracting-Modellen sowie der Absicherung von Liefer- und Risikorahmen, die den praktischen Einsatz thermischer Speicher erschweren. (Interviewauswertung)

Als fördernder Faktor wirkt die gezielte FuE-Förderung durch Programme wie das EFP. Sie schafft die Grundlage für Kooperationen zwischen Forschung und Industrie, ermöglicht den Aufbau von Know-how und Demonstrationsanlagen und senkt damit Markteintrittsbarrieren nachhaltig. (Interviewauswertung)

Technische Hemmnisse und fördernde Faktoren

Die wesentlichen technischen Hemmnisse umfassen Herausforderungen bei der Systemintegration, das niedrige TRL vieler Speichertechnologien, Unsicherheiten beim Langzeitverhalten sowie den Mangel an Praxiserfahrung durch fehlende Demonstrationsanlagen. Diese Aspekte werden ausführlich in Kapitel 3.2.2 dargestellt (Interviewauswertung). Besonders thermochemische Speicher weisen trotz steigender Forschungsaktivität international noch einen frühen Entwicklungsstand auf, und auch die Technologieadaption im Industriesektor ist im Vergleich zu anderen Anwendungsbereichen bislang gering. (Schmoch, Fraunhofer ISI)

Als fördernder Faktor kommt Leuchtturmprojekten eine zentrale Rolle zu: Sie schaffen Vertrauen, liefern belastbare Betriebsdaten und erhöhen die Marktsichtbarkeit. Der international deutliche Anstieg von Patentanmeldungen und Publikationen signalisiert zudem eine wachsende technologische Reife und ein zunehmendes Innovationsinteresse, insbesondere im Industriebereich. (Interviewauswertung; Schmoch, Fraunhofer ISI)

Wirtschaftliche Hemmnisse und fördernde Faktoren

Ein grundlegendes ökonomisches Hemmnis, das über lange Zeit weite Bereiche der Wärmeversorgung geprägt hat, ist die nahezu kostenfreie Verfügbarkeit von Abwärme aus der fossilen Energieerzeugung. An vielen entscheidenden Stellen steht Wärme bis heute quasi zum Nulltarif zur Verfügung, was die Entwicklung tragfähiger Business Cases für thermische Speichertechnologien erheblich erschwert. Dieser strukturelle Rahmen wirkt sich auch auf die Wahrnehmung und Priorisierung regulatorischer Fragen aus.

Ein weiteres wesentliches wirtschaftliches Hemmnis für den Einsatz thermischen Energiespeichern ist die mangelnde Attraktivität von Power-to-Heat-Lösungen im

Allgemeinen. Nachteilig für Power-to-Heat-Lösungen sind die hohen Stromnebenkosten in Deutschland. Elektrischer Strom ist im Vergleich zu Erdgas mit diversen Umlagen, Abgaben und Steuern belastet, was die Betriebskosten von Power-to-Heat-Anlagen stark erhöht (BDEW e.V., 2020). Zwar wurde die EEG-Umlage 2022 abgeschafft und die Stromsteuer wurde zum 01.10.2025 für produzierendes Gewerbe und Landwirtschaft auf das EU-Minimum gesenkt, aber dennoch fallen weiterhin erhebliche Netzentgelte und Umlagen an, die auch für elektrisch betriebene Heizkessel oder Wärmepumpen entrichtet werden müssen. Anders als für Batteriespeicher gibt es aktuell keine allgemeine Netzentgeltbefreiung für Strom, der in eine Wärmespeicherung fließt (Energiewirtschaftsgesetz, 2025). Ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Rahmenbedingungen ist hingegen die mit der Novelle des Stromsteuergesetzes vom November 2025 beschlossene Aufhebung der Doppelbesteuerung von Stromspeichern: Speicher werden seit dem 1. Januar 2026 technologieoffen als Teil des Versorgungsnetzes behandelt, sodass eine Steuerentstehung erst bei der Entnahme des Stroms geprüft wird. Eine vergleichbare dauerhafte Lösung bei den Netzentgelten steht hingegen weiterhin aus.

Trotz dieser punktuellen Verbesserungen schmälern diese Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit beträchtlich, da der gespeicherte Wärmenutzen oft nicht die Zusatzkosten des Strombezugs deckt. So konstatiert auch der BDEW (2020), dass Power-to-Heat-Anlagen nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Zusätzlich verzerren aktuelle Regelungen im EU-Emissionshandel die Konkurrenz zwischen elektrischer Wärme (die indirekt CO₂-Kosten aus dem Stromsektor trägt) und fossiler Wärme: Energieintensive Unternehmen erhalten teils kostenlose CO₂-Zertifikate für Gasverbrennung, was den Anreiz mindert, auf strombasierte Wärme umzusteigen (Agora Industrie und FutureCamp, 2022). In der Praxis versuchen viele industrielle Anwender, durch Eigenstromnutzung die Netzentgelte zu vermeiden und die Kosten zu senken, so auch bei den oben genannten Anwendungsbeispielen bei den Firmen Leonhard Kurz und Bio-Frost Westhof.

Projekterfahrungen zeigen ergänzend, dass die konservative Auslegung von Speichersystemen aufgrund langer industrieller Laufzeiten häufig zu Überdimensionierung und damit eingeschränkter Wirtschaftlichkeit führt. Wirtschaftliche Relevanz erreichen viele Projekte zudem erst ab einer bestimmten Anlagengröße, was die Einstiegshürde erhöht. (Interviewauswertung) Eine zentrale Erkenntnis langjähriger Forschung, etwa am ZAE Bayern und DLR, ist in diesem Zusammenhang, dass sich die Effizienz von Energiespeichern maßgeblich aus der erreichten Zyklenzahl ergibt. Eine wirtschaftlich tragfähige Auslegung muss daher nicht allein die Anlagengröße, sondern auch die zu erwartende Nutzungsintensität über die gesamte Lebensdauer in den Blick nehmen.

Als fördernde Faktoren weisen bestimmte Speichertechnologien durch geringere Materialkosten deutliche Kostenvorteile gegenüber konventionellen Systemen auf, die sich mit zunehmender Anlagengröße durch Skalierungseffekte weiter verstärken. Die FuE-Förderung ermöglicht Unternehmen zudem, neue Geschäftsfelder zu erschließen und langfristige Kooperationen aufzubauen. Mittelfristig dürfte der zunehmende globale

Innovationswettbewerb zusätzliche Kostensenkungspotenziale erzeugen. (Interviewauswertung; Schmoch, Fraunhofer ISI)

Neben den direkten Kostenfaktoren spielen auch strukturelle Eigenschaften des Innovationssystems eine Rolle für die Marktdiffusion thermischer Energiespeicher. Die Analyse der Förderlandschaft zeigt, dass industrielle Akteure zwar in nennenswerter Breite beteiligt sind, jedoch meist nur kleinere Fördervolumina erhalten und nur wenige spezialisierte Anbieter von thermischen Energiespeichern unter den Zuwendungsempfängern vertreten sind. Dies deutet auf eine noch schmale industrielle Anbieterbasis hin, während das Innovationssystem weiterhin stark von Forschungseinrichtungen geprägt ist. Gleichzeitig zeigt sich, dass ein Teil der heute sichtbaren Anbieterlandschaft sowie einzelne industrielle Referenzprojekte nicht in der nationalen FuE-Förderung erscheinen. Daraus lässt sich schließen, dass öffentliche Forschungsförderung und marktgetriebene Technologieentwicklung bislang nur unzureichend ineinandergreifen.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Technologieentwicklung und FuE-Bedarf

Thermische Energiespeicher für industrielle Anwendungen befinden sich je nach Speicherprinzip in sehr unterschiedlichen Reifestadien. Sensible Speicher sind kommerziell verfügbar und gelangen zunehmend in erste industrielle Anwendungen. Latente Speicher stehen kurz vor der Marktreife, benötigen aber noch gezielte Förderung zur Systemintegration und Kostensenkung. Thermochemische Speicher weisen trotz steigender internationaler Forschungsaktivität, erkennbar am Aufwärtstrend bei Patentanmeldungen und Publikationen, noch einen frühen Entwicklungsstand auf. Die Analyse zeigt, dass die Förderpriorität im EFP historisch mit diesen Reifegraden korrespondiert: Sensible Speicher standen im 6. und 7. EFP stark im Fokus, treten in jüngeren Förderphasen jedoch zurück, während latente Speicher die aktuell laufenden Projekte dominieren.

Empfehlung „Differenzierte Förderung nach Technologiereife“: Die Förderung sollte nach Technologiereife differenzieren. Für sensible und latente Speicher sollten Demonstration, Skalierung und Integration in die Anwendungsumgebung im Vordergrund stehen. Für thermochemische Speicher ist weiterhin Grundlagenforschung (außerhalb des EFP) und mittelfristig die Erprobung in Pilotanlagen notwendig. Ergänzende Instrumente wie Validierungsprogramme oder Reallabore sind sinnvoll, um höhere Technologiereifegrade systematisch abzudecken. Die aktuellen thematischen Schwerpunkte des EFP bilden – erkennbar an der Ausrichtung der geförderten Projekte – diese Empfehlungen gut ab. Eine kontinuierliche Evaluation und bedarfsgerechte Anpassung ist jedoch erforderlich.

Leuchtturmprojekte und Demonstrationsanlagen

Ein zentrales Hemmnis für die Marktdiffusion ist das Fehlen sichtbarer industrieller Referenzprojekte. Solange keine belastbaren Betriebsdaten aus großskaligen Demonstrationsanlagen vorliegen, bleibt die Skepsis auf Industrieseite groß. Die wenigen existierenden Anlagen etwas bei Leonhard Kurz/ENERGYNEST oder Bio-Frost Westhof/Lumenion zeigen, dass industrielle Umsetzung möglich ist, sind aber noch zu vereinzelt, um branchenweites Vertrauen zu schaffen. Erschwerend kommt hinzu, dass das EFP strukturell nicht gut auf die Förderung großer Demonstrationsanlagen ausgelegt ist: Fragen zu Eigentum, Risikoübernahme und Investitionsvolumina sind ungeklärt, und die oft zu kurzen Projektlaufzeiten behindern eine nachhaltige Zusammenarbeit.

Empfehlung „Stärkung von Demonstrationsanlagen und Leuchtturmprojekten“: Es sollte ein dediziertes Instrument für Großdemonstratoren geschaffen bzw. weiter ausgebaut werden, das über die klassische FuE-Förderung des EFP hinausgeht. Erforderlich ist hierfür eine koordinierte Förderung mit anderen Programmen, etwa den Reallaboren der Energiewende oder KfW-Instrumenten. Beihilferechtlich relevant ist in diesem Zusammenhang, dass mit dem 6. EFP zusätzliche Artikel der AGVO, über den bisher dominierenden Artikel 25 (Forschungs- und Entwicklungsbeihilfen) hinaus, als Förderrechtsgrundlagen verfügbar wurden. Mit dem 8. EFP sind weitere Möglichkeiten, etwa für

Investitions- und Umweltschutzförderung (Art. 36 ff., Art. 41 AGVO), hinzugekommen, die auch eine Förderung von Anlageninvestitionen ermöglichen.

Ein zentrales Beispiel für diese Weiterentwicklung ist die im Rahmen des 8. EFP initiierte „Transferoffensive Großwärmepumpen und thermische Speicher für die Industrie“ (TOP-SI), die gezielt den Übergang von der Forschung in die industrielle Anwendung unterstützt und damit eine wichtige Lücke im bisherigen Förderinstrumentarium schließt⁴⁸. Im Unterschied zu den bisherigen EFP-Förderlinien, die ausschließlich auf FuE-Aktivitäten ausgerichtet waren, kombiniert TOP-SI einen FuE-Anteil mit einer Investitionsförderung von bis zu 35 %, wobei für beide Komponenten unterschiedliche Förderquoten gelten. Diese Erweiterung um eine Investitionsförderung adressiert damit die Lücke zwischen vormarktlichen Technologiestufen und der industriellen Implementierung.

Ergänzend wird, abgeleitet aus den Interviews mit Projektbeteiligten, eine optionale Anschlussphase von etwa einem Jahr direkt an bestehende Projekte empfohlen, um technische Herausforderungen aus dem ersten Durchlauf zu beheben, ohne den gesamten Bewilligungsprozess neu durchlaufen zu müssen.

Wissenstransfer und Innovationssystem

Das Innovationssystem ist derzeit stark von Forschungseinrichtungen geprägt. Industrielle Akteure erhalten zwar Förderung, aber meist in geringem Umfang, und nur wenige spezialisierte TES-Hersteller erscheinen unter den Zuwendungsempfängern. Auffällig ist zudem, dass ein Teil der aktiven Anbieterlandschaft, darunter internationale Anbieter mit konkreten deutschen Referenzprojekten, ohne EFP-Förderung tätig ist. Dies zeigt, dass öffentliche Forschungsförderung und marktgetriebene Technologieentwicklung bislang nur unzureichend ineinandergreifen. Mehrere Anbieter von TES haben ihre heutige Marktposition offenbar ohne staatliche Förderung aufgebaut. Dies erklärt sich teilweise darauf, dass etablierte Anlagenlieferanten Lösungen aus benachbarten Geschäftszweigen, etwa der konventionellen Energieerzeugung oder dem Bereich konzentrierender Solarkraftwerke, auf den Anwendungsfall thermischer Speicher übertragen konnten. Andere Akteure haben ihre Entwicklung erfolgte eher nach dem Muster technologieorientierter Start-ups über private Investitionen und Risikokapital als nach dem klassischen Modell stark öffentlich geförderter Technologieanbieter.

Empfehlung „Stärkung der Verzahnung innerhalb des Innovationssystems“: Die Förderung sollte gezielter auf industrielle Anwender und spezialisierte Hersteller ausgerichtet werden, um die Anbieterbasis zu stärken. Das Forschungsnetzwerk Industrie und Gewerbe sollte seine Aktivität und Reichweite weiter ausbauen und gezielter auf Querschnittsthemen wie thermische Energiespeicher ausrichten, um den Austausch zwischen geförderten FuE-Projekten und marktnahen Akteuren zu intensivieren.

⁴⁸<https://www.energieforschung.de/de/foerderung/foerderangebote/transferoffensive-grosswaerme-pumpen-und-thermische-speicher-fuer-die-industrie> (zuletzt geprüft am 11.03.2026)

Projektantrag, Bewilligungsprozess und politischer Rahmen

Der Bewilligungsprozess wird von vielen Beteiligten als langwierig und komplex wahrgenommen. Selbst im günstigsten Fall dauert die Antragsstellung rund neun Monate, häufig über ein Jahr, mit der Folge, dass Industriepartner in dieser Zeit abspringen oder der ursprünglich geplante Inhalt des Projekts nicht mehr dem aktuellen Bedarf entspricht. Das Konzept der Mikroprojekte mit einstufigen Verfahren und frühem Skizzengespräch wird demgegenüber ausdrücklich positiv hervorgehoben. Ein übergeordnetes strukturelles Problem ist die fehlende Planbarkeit der Förderung aufgrund unklarer Haushaltslagen, die strategische Planung erschwert und zu Verzögerungen führt.

Empfehlung: Antragsprozesse sollten vereinfacht werden und der administrative Aufwand reduziert werden, insbesondere durch schnellere Bearbeitung und transparente Rückmeldungen bei Ablehnungen. Eine langfristige Absicherung des Forschungshaushalts, etwa durch längerfristige Finanzierungsvereinbarungen oder Verpflichtungsermächtigungen, könnte Forschungskontinuität erhöhen sowie Planungs- und Investitionssicherheit für alle Beteiligten verbessern.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der Methodik, angelehnt an die EDUAR&D-Methode.	9
Abbildung 2: Einteilung der thermischen Energiespeicher.....	12
Abbildung 3: Zeitverlauf der Patentanmeldungen zu verschiedenen Typen von TES.	18
Abbildung 4: Publikationen in WoS zu verschiedenen Typen von Wärmespeichern.	19
Abbildung 5: Installierte und angekündigte Leistung TES in Europa	27
Abbildung 6: Gartner Hype Cycle mit Einordnung ausgewählter TES-Techniken	28
Abbildung 7: Potenzielle Entwicklung des geeigneten Temperaturbereichs für elektrische Wärmetechnologien in Industrieanwendungen bis 2035	32
Abbildung 8: Förderung der TES in den EFP der Bundesregierung.....	36
Abbildung 9: Zeitstrahl national geförderter FuE Projekte zu TES.....	40
Abbildung 10: Förderbudget nach Jahren und Energieforschungsprogrammen	41
Abbildung 11: Seit 2008 im Rahmen des EFP geförderte Zuwendungsempfänger	42
Abbildung 12: Auswertung der EU-Forschungsförderung für TES in den Horizon- Programmen	44
Abbildung 13: Zeitstrahl EU geförderter Horizon FuE Projekte zu TES.....	45
Abbildung 14: Seit 2010 auf EU-Ebene geförderte Institutionen und Unternehmen	46
Abbildung 15: Vernetzung und Zusammenspiel der Akteure im Innovationssystem	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zentrale Kenngrößen thermischer Energiespeicher	14
Tabelle 2: Wärmespeichertypen und Anwendungssektoren, Patente 2010 bis 2023. ...	21
Tabelle 3: Anbieter von Heat-as-a-Service-Lösungen (HaaS)	23
Tabelle 4: Konkurrenztechniken zu thermischen Energiespeichern	30
Tabelle 5: Vergleichende Übersicht konkurrierender Speichertechnologien.....	31
Tabelle 6: Auswahl zentraler Akteure im Innovationssystem der TES.....	52

Literaturverzeichnis

AGFW e.V. (2015) „FW 313: Berechnung der thermischen Verluste von thermischen Energiespeichern“. Frankfurt am Main.

Agora Industrie und FutureCamp (2022) *Power-2-Heat: Erdgaseinsparung und Klimaschutz in der Industrie*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2021/2021-05_IND_DE-P4Heat/A-EW_269_Power-2-Heat_WEB.pdf (Zugegriffen: 4. März 2026).

BDEW e.V. (2020) *Power-to-Heat*. Berlin: BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. Verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20200427_Power-to-Heat.pdf (Zugegriffen: 8. Oktober 2025).

BMWE (2017) 1.-6. *Energieforschungsprogramm der Bundesregierung 1977 - 2017*.

BMWi (2018) 7. *Energieforschungsprogramm der Bundesregierung*.

BMWK (2023) 8. *Energieforschungsprogramm der Bundesregierung*.

Carlsson, B. und Stankiewicz, R. (1991) „On the nature, function and composition of technological systems“, *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), S. 93–118. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/BF01224915>.

Dedehayir, O. und Steinert, M. (2016) „The hype cycle model: A review and future directions“, *Technological Forecasting and Social Change*, 108, S. 28–41. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.005>.

Dersch, J. u. a. (2021) *Blueprint for Molten Salt CSP Power Plant. Final report of the research project "CSP-Reference Power Plant" No. 0324253*. Verfügbar unter: <https://elib.dlr.de/141315/> (Zugegriffen: 23. Februar 2026).

DIN e. V. u. a. (2021) *Deutsche Normungsroadmap Energiespeicher – Version 2*.

Energiewirtschaftsgesetz (2025). Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/enwg_2005/__118.html (Zugegriffen: 8. Oktober 2025).

European Association for Storage of Energy (2023) *Thermal Energy Storage*. Brüssel. Verfügbar unter: https://energystorageeurope.eu/wp-content/uploads/2023/09/2023.09.26-Thermal-Energy-Storage_for-distribution.pdf.

European Commission. Joint Research Centre. (2022) *Clean Energy Technology Observatory, Batteries for energy storage in the European Union: status report on technology development, trends, value chains and markets*. LU: Publications Office. Verfügbar unter: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/808352> (Zugegriffen: 9. September 2025).

Fleuchaus, P. u. a. (2021) „Aquiferspeicher in Deutschland“, *Grundwasser*, 26(2), S. 123–134. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00478-y>.

Fraunhofer ISI (2024) *Direkte Elektrifizierung von industrieller Prozesswärme. Eine Bewertung von Technologien, Potenzialen und Zukunftsaussichten für die EU. Zusammenfassung im Auftrag von Agora Industrie*. Verfügbar unter: https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projects/2023/2023-20_IND_Electrification_Industrial_Heat/A-IN_340_Electrification_Industrial_Heat_DE_WEB.pdf.

Gautam, K.R., Andresen, G.B. und Victoria, M. (2022) „Review and Techno-Economic Analysis of Emerging Thermo-Mechanical Energy Storage Technologies“, *Energies*, 15(17), S. 6328. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/en15176328>.

Gonzalez, C.I. (2025) *Overview of Energy Storage Deployment in Europe*, *JRC Publications Repository*. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.2760/3846606>.

Industrielle Power-to-Heat-Anlage mit Wärmespeicher in Deutschland gestartet (2025) <https://www.industr.com>. Verfügbar unter: <https://www.industr.com/de/industrielle-power-to-heat-anlage-mit-waermespeicher-in-deutschland-ges-2790503> (Zugegriffen: 7. Oktober 2025).

Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (2016) *Forschungszentren, Speicherbranche.de*. Verfügbar unter: <https://www.speicherbranche.de/forschung/forschungszentren> (Zugegriffen: 7. Oktober 2025).

IRENA (2020) *Innovation outlook: Thermal energy storage*.

Jochem, E. (Hrsg.) (2009) *Improving the Efficiency of R&D and the Market Diffusion of Energy Technologies*. Heidelberg: Physica-Verlag HD. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2154-3>.

Jochem, E. (2022) *ORC-Anlagen als Abwärme nutzende Anlagen zur Stromerzeugung: FuE-Bedarf, Hemmnisse und Empfehlungen*. Karlsruhe: IREES GmbH.

Khodayari, M. und Aslani, A. (2018) „Analysis of the energy storage technology using Hype Cycle approach“, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 25, S. 60–74. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.12.002>.

König, J. u. a. (2019) *Erhebung, Abschätzung und Evaluierung von industrieller Abwärme in Deutschland - Potentiale und Forschungsbedarf. Abschlussbericht des Verbundvorhabens*. Freiburg.

Mennel, T. und Fischer, T. (2024) *Gutachten zur Wärmespeicherstrategie*. Berlin. Verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Projektportrait/Energiepolitische_Beratung_des_Bundesministeriums_fuer_Wirtschaft_und_Klimaschutz/Gutachten_zur_Waermespeicherstrategie.pdf (Zugegriffen: 8. Oktober 2025).

Schäfer, B. u. a. (2021) „Bewertung von Energieeffizienztechnologien mit der Methodik EDUAR&D an zwei Beispielen“, *Chemie Ingenieur Technik*, 93(8), S. 1247–1256. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1002/cite.202000251>.

Serrano, M.I.R. u. a. (2024) „Retrofit of a coal-fired power plant with a rock bed thermal energy storage“, *Journal of Energy Storage*, 75, S. 109238. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109238>.

Siedler, I., Kraft, A. und Bauer, T. (2020) *Wärmespeicher in NRW: Thermische Speicher in Wärmenetzen sowie in Gewerbe- und Industrieanwendungen*. Verfügbar unter: <https://enerko.de/wp-content/uploads/2025/04/Waermespeicher-in-NRW.pdf>.

Stadler, I. und Hauer, A. (2017) „Thermische Energiespeicher“, in M. Sterner und I. Stadler (Hrsg.) *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 579–618. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-48893-5_10.

Sterner, M. und Stadler, I. (Hrsg.) (2017) *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-48893-5>.

Tafelmeier, S., Zunft, S. und Gschwander, S. (2022) „Rolle thermischer Speicher im zukünftigen Energiesystem“, *Forschung für die Wärmewende: Klimaneutral, effizient und flexibel. FVEE-Jahrestagung*, Berlin: Forschungsverband Erneuerbare Energien.

Toro, F., Jochem, E. und Lösch, O. (2022) *Bewertung der thermischen Energiespeicher (Latentwärmespeicher) als eine Komponente industrieller Abwärmenutzung: FuE-Bedarf, Marktpotentiale, Hemmnisse und Empfehlungen – ein Statuspapier*. IREES GmbH.

WBCSD (2022) *Heat as a service: How to decarbonize commercial and industrial heat use with third-party capital investments*. World Business Council for Sustainable Development. Verfügbar unter: <https://www.wbcd.org/wp-content/uploads/2023/10/Heat-as-a-Service.pdf> (Zugegriffen: 12. November 2025).

Anhang

A. Suchstrategie der Patent- und Publikationsanalyse

Die Patentrecherchen basieren auf Stichworten, die in der genutzten Datenbank *World Patents Index (WPI)* gut recherchierbar sind, sowie der Patent-Klassifikationen der Patenthauptgruppe F28D 20 (*Heat storage plants or apparatus in general*) in Kombination mit den Stichworten:

S (EP or WO)/PC

S L1 and (((therm?(3W)(energy storage)) or heat storage or heat buffering or thermal storage) or F28D0020/IPC)

Bei der Suchstrategie für thermische Energiespeicher wurde zwischen verschiedenen Typen von Wärmespeichern unterschieden, die nach ihrer Speicherfähigkeit in sensible, latente und thermochemische Speichertypen unterteilt sind. Die folgenden Suchstrategien für die verschiedenen Speichertypen werden immer in Kombination mit den oben angegebenen Suchstrings verwendet:

1) (sensible OR molten salt OR water tank OR hot water OR concrete OR packed bed OR solid media OR granular OR pebble bed OR rock bed OR solid?(3W)storage or thermal oil or bulk solids or bulk material)

2) (latent OR phase change material? OR PCM OR thermal storage(3W)phase transition or paraffin? OR salt hydrat?)

3) (thermochemical OR thermo-chemical OR chemical OR adsorption OR zeolites or silica gel or salt solutions or metal oxides)

Zur Unterscheidung nach Anwendungsbereichen der verschiedenen Speichertypen werden die Suchstrings folgendermaßen definiert:

****Anwendung Industrie**

(industrial process? OR process heat OR waste heat OR process integration OR high temperature process? OR kiln OR furnace OR industrial heating)

****Anwendung Gebäude**

(building heating OR building cooling OR HVAC OR air conditioning OR domestic hot water OR residential heating OR space heating OR cooling system? OR heat pump? OR building energy storage)

****Anwendung Wärmenetze / Fernwärme**

(district heat? OR district cooling OR network? OR thermal network? OR seasonal storage OR large-scale storage OR central heating system? OR community heating)

****Anwendung Energieversorgung / Stromnetze**

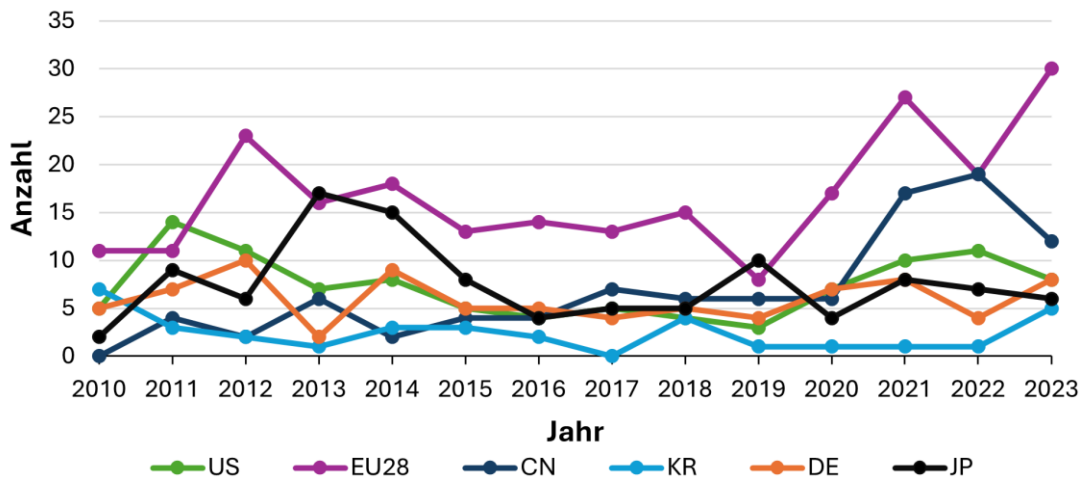
(solar or concentrated solar power OR CSP OR solar thermal power OR renewable integration OR grid balancing OR load shifting OR power-to-heat OR electricity grid OR energy system integration OR dispatchable renewable? OR flexible generation)

Bei Patenten werden die Recherchen auf Basis transnationaler Patente durchgeführt. Das sind Anmeldungen beim Europäischen Patentamt und/oder bei der *Internationalen Patentorganisation (WIPO)*. Diese ermöglichen gute Ländervergleiche. Außerdem handelt es sich um eine Auswahl hochwertiger Patente.

Die Publikationsrecherchen in der Datenbank *Web of Science (WoS)* basieren ausschließlich auf Stichworten, da es keine geeigneten Klassifikationen gibt:

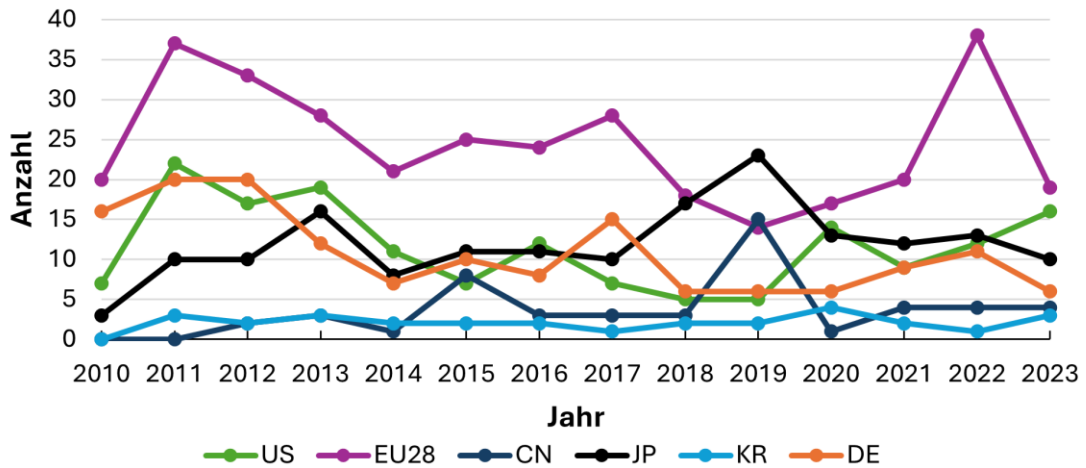
TS=((therm* and "energy storage") or "heat storage" or "heat buffering" or "thermal storage") And
 TS=(latent OR "phase change material*" OR PCM OR ("thermal storage" and "phase transition") or paraffin* Or "salt hydrat*")

B. Globale Verteilung der Patentanmeldungen der TES-Typen



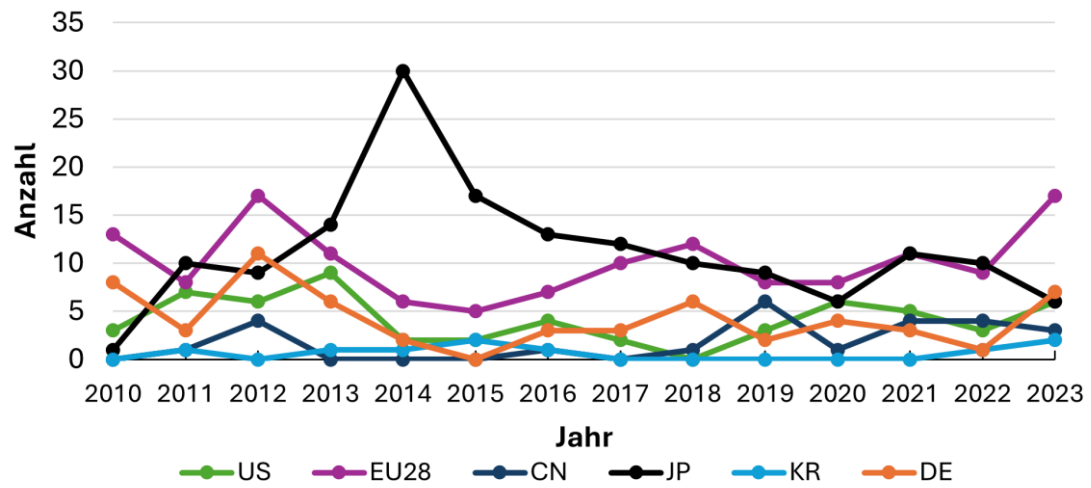
Wichtigste Anmeldeländer zu Patenten zu sensiblen Wärmespeichern.

Quelle: eigene Darstellung, IREES, Daten von Prof. Schmoch – Fraunhofer ISI



Wichtigste Anmeldeländer zu Patenten zu latenten Wärmespeichern.

Quelle: eigene Darstellung, IREES, Daten von Prof. Schmoch – Fraunhofer ISI



Wichtigste Anmeldeländer zu Patenten zu thermochemischen Wärmespeichern.

Quelle: eigene Darstellung, IREES, Daten von Prof. Schmoch – Fraunhofer ISI

C. Energieforschungsprogramme der Bundesregierung seit 1977

EFP	Federführung	Zeitraum	Programm	Förderbekanntmachung	Förder- volumen
1. EFP	Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 – 1980 (BMFT, BMWi, BMI)				
	BMFT	1977-1980	1977		
2. EFP	Zweites Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMFT, BMWi, BMI, BM Bau, BML, BMZ)				
	BMFT	1981-1991	1981		
3. EFP	3. Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMFT, BMWi, BMZ und BMU) ⁴⁹				
	BMFT	1991-1996	Feb. 1991		
4. EFP	4. Programm Energieforschung und Energietechnologien (BMBF, BML, BMZ, BMU)				
	BMBF	1996-2005	Jul. 1996		
5. EFP	Innovation und neue Energietechnologien - 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMWA, BMU, BMVEL, BMBF)				
	Beschleunigung des Übergangs zu einer nachhaltigen Energieversorgung				
	BMWA	2005-2011	Jul. 2005	Ende 2005	Ca. 0,7 Mrd. €
6. EFP	Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversor- gung - 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung (BMW, BMU, BMELV, BMBF)				
	Anwendungsorientierter Bereich, Abbildung der gesamten Energiekette				
	BMW	2011-2018	Jul. 2011	Sep. 2011 Dez. 2014	Ca. 4 Mrd. €
7. EFP	Innovationen für die Energiewende - 7. Energieforschungsprogramm der Bundesre- gierung (BMW, BMBF, BMEL)				
	Ausrichtung auf Energiewende durch zukunftsweisende Energietechnologien, Fokus auf Technologie- und Innovationstransfer und Einführung der „Reallabore der Ener- giewende“				
	BMW	2018-2023	Sep. 2018	Jun. 2021	Ca. 6,4 Mrd. €
8. EFP	8. Energieforschungsprogramm zur angewandten Energieforschung - Forschungsmissionen für die Energiewende				
	Missionsorientierte Innovationspolitik für die Energiewende mit Förderschwerpunk- ten Energiesystem, Wärmewende, Stromwende, Wasserstoff und Transfer				
	BMWE	laufend	Okt. 2023	Mai 2024	

⁴⁹ Eine Reihe von Projekten wurden im 3. EFP in Kooperationen mit BMWi, BMZ und BMU durchgeführt, ohne dass diese Bundesministerien im Vergleich zu den anderen EFP stärker beteiligt waren.