

STUDIE

# THERMISCHE ENERGIESPEICHER FÜR QUARTIERE – AKTUALISIERUNG

Überblick zu Rahmenbedingungen, Marktsituation und  
Technologieoptionen für Planung, Beratung und politische  
Entscheidungen im Gebäudesektor

Februar 2023

# Impressum

## Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Chausseestraße 128 a

10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 66 777-0

Fax: +49 (0)30 66 777-699

E-Mail: [info@dena.de](mailto:info@dena.de) / [info@gebaeudeforum.de](mailto:info@gebaeudeforum.de)

Internet: [www.dena.de](http://www.dena.de) / [www.gebaeudeforum.de](http://www.gebaeudeforum.de)



## Redaktion:

Dr. Andreas Koch, Teamleiter Klimaneutrale Quartiere und lokale Versorgungslösungen, dena

Susanne Schmelcher, Arbeitsgebietsleiterin Quartier und Stadt, dena

Sirin Tezcan-Kamper, Seniorexpertin Quartier und Stadt, dena

## Autorinnen und Autoren:

Dr.-Ing. Anna Kallert, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

LL.M. Eric Lamvers, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

M. Sc. Marlen Schurig, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

Dr.-Ing. Young Jae Yu, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE

## Bildnachweis:

Titelbild – dena

## Datum der Veröffentlichung:

09/2021 - Erstausgabe

02/2023 - Aktualisierung

Das Veröffentlichungsdatum entspricht nicht zwangsläufig dem Stand dieser Publikation, da es zwischen Erstellung und Veröffentlichung einer Studie bereits Änderungen der inhaltlichen Rahmenbedingungen gegeben haben kann.

## Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2023)

„Thermische Energiespeicher für Quartiere - Aktualisierung, Überblick zu Rahmenbedingungen, Marktsituation und Technologieoptionen für Planung, Beratung und politische Entscheidungen im Gebäudesektor“

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.



**Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz**

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.



# Klimaneutrale Quartiere und Areale

Quartiere werden zum Gelingen der Energiewende immer wichtiger und übernehmen zunehmend eine Schlüsselrolle. Hier laufen viele Fäden zusammen: Stellschrauben liegen bei Verkehr, Gebäuden und der Energieversorgung. Daraus ergeben sich insbesondere auch vielfältige Synergien. In Städten und Gemeinden ist es zielführend, nicht nur einzelne Gebäude, sondern das Gebäude im räumlichen Zusammenhang zu betrachten. So erschließen sich ganz neue Effizienzpotenziale und Handlungsoptionen auf lokaler und regionaler Ebene.

Quartiere sind Schnittstellen. Hier kommt vieles zusammen, was historisch anders und vor allem als separate Systeme gewachsen ist. Gleichzeitig bieten Quartiere vielseitige Optionen für die politisch und gesellschaftlich angestrebte Klimaneutralität – und viele Vorteile: Beispielsweise können lokale

Erneuerbare-Energien- oder Effizienzpotenziale genutzt, Anlagen und Speicher optimal ausgelegt, positioniert und betrieben sowie unterschiedliche Bedarfsprofile ausgeglichen werden und die Flächen-effizienz im Gesamtquartier kann erhöht werden.

Mit ihrer Arbeit im Handlungsfeld Quartier will die Deutsche Energie-Agentur (dena) einen Beitrag dazu leisten, Quartierskonzepte in die breite Umsetzung zu bringen. Diesbezüglich hat die dena folgende Aktionsfelder identifiziert:

- Verbesserung des regulatorischen Rahmens
- Analyse von Technologien und Konzepten
- Stärkung von Prozessen und Geschäftsmodellen
- Darstellung von Best Practices national und international
- Vernetzung von Akteuren
- Durchführung von Modellvorhaben

Die Studie „**Thermische Energiespeicher für Quartiere**“ ist Teil einer **Reihe von Publikationen zum Thema Quartier**, die von der dena veröffentlicht werden. Sie liefert einen Überblick über aktuelle Speichertechnologien, die sich für den Einsatz in (nahezu) klimaneutralen Quartieren eignen, und stellt die Unterschiede heraus. Mit ihrer Hilfe soll einerseits die Auswahl der passenden Technologie für das jeweilige Vorhaben und andererseits politische Entscheidungsfindung unterstützt werden.

Weitere Veröffentlichungen zu diesem Schwerpunkt sind:

- Fazitpapier im Rahmen der interministeriellen Workshop-Reihe „**Handlungsfeld Quartier**“
- Studie „**Modellierung sektorintegrierter Energieversorgung im Quartier**“
- Studien „**Das Quartier (Teil 1)**“ und „**Das Quartier (Teil 2)**“
- Projektbericht „**Klimaneutrale Quartiere und Areale**“
- Factsheets „**Fokusthemen**“
- Factsheets „**Quartierskategorien**“
- Factsheets „**Praxisbeispiele**“

Alle Publikationen sind auf der Website des Gebäudeforums ([www.gebaeudeforum.de](http://www.gebaeudeforum.de)) zum Download zu finden.

# Inhalt

<b>Impressum</b> .....	<b>2</b>
<b>Inhalt</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Allgemeine Rahmenbedingungen</b> .....	<b>9</b>
2.1 Genehmigungsanforderungen .....	9
2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	11
2.3 Marktsituation und Geschäftsmodelle .....	13
<b>3 Thermische Energiespeicher für Quartiere</b> .....	<b>15</b>
3.1 Sensible Wärme- und Kältespeicherung (zentral) .....	15
3.1.1 Heißwasser-Wärmespeicher .....	15
3.1.2 (Erd-) Beckenspeicher.....	20
3.1.3 Aquiferspeicher .....	24
3.1.4 Erdwärmesondenspeicher .....	28
3.1.5 Wasserspeicher für Power-to-Heat-Anlagen (Elektrodenheizkessel).....	33
3.2 Sensible Wärme- und Kältespeicherung (dezentral und gebäudeintegriert)	37
3.2.1 Gebäudeintegrierte Wasserspeicher für kalte Nahwärmenetze .....	37
3.3 Latentwärme- und Kältespeicher .....	41
3.3.1 Eisspeicher .....	41
3.3.2 Phasenwechselmaterialien-Speicher (PCM-Speicher).....	45
3.4 Thermochemische Wärme- und Kältespeicher.....	51
3.5 Hochtemperatur-Speicher .....	56
3.6 Entscheidungsprozess für den Einsatz von Speichern.....	65
3.7 Zertifizierung Primärenergiefaktor nach AGFW Blatt 309.....	65

<b>4</b>	<b>Praxisbeispiele auf Quartiersebene .....</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>Bedeutung der thermischen Energiespeicher für die kommunale Wärmewende ....</b>	<b>74</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit .....</b>	<b>76</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>81</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>
	<b>Abkürzungen .....</b>	<b>99</b>
	<b>Einheiten- und Indexverzeichnis.....</b>	<b>102</b>
	<b>Anhang I .....</b>	<b>103</b>

# 1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende gewinnt die Dekarbonisierung des Wärmesektors zunehmend an Bedeutung, da der Anteil der Wärme am Endenergieverbrauch in Deutschland derzeit bei etwa 52,1 Prozent für das Jahr 2020 (AEE, 2021) liegt.

Wichtige Schlüsselmaßnahmen bzw. -technologien umfassen dabei die Wärmebedarfssenkung durch die Durchführung von Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen, die Integration von erneuerbaren Energien (EE) sowie die Systemintegration von Power-to-Heat-Anlagen (PtH) in Kombination mit thermischen Speichern.

Im Rahmen der Planung und der konkreten Umsetzung von Effizienz- und Sanierungsmaßnahmen sowie von sektorübergreifenden Lösungsansätzen sind Quartiere eine wichtige räumliche Einheit auf dem Weg zur nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems im Wärmesektor. In diesem Handlungsraum sollen Strategien und Maßnahmen der Energieeinsparung, der Steigerung der Energieeffizienz und der Nutzung von EE mit Speichertechnologien bei integrierter Betrachtung von Gebäuden, Verbrauchsgewohnheiten und technischen Infrastrukturen auf Quartiersebene abgestimmt werden. Beispielsweise können lokal verfügbare Photovoltaik- (PV) und Solarthermieanlagen, Blockheizkraftwerke (BHKWs), elektrisch angetriebene Wärmepumpen sowie PtH-Anlagen mit zentralen und dezentralen thermischen Energiespeichern verknüpft und netzdienlich betrieben werden.

Die wesentliche Aufgabe eines thermischen Energiespeichers auf Quartiersebene ist es, lokal verfügbare regenerative Energiequellen nutzbar zu machen, die starken Schwankungen aufgrund der volatilen Einspeisung von EE unterliegen. Dies ermöglicht eine erhöhte Versorgungssicherheit beim Netzbetrieb. Darüber hinaus kann die Nutzung von thermischen Speichern unerwünschte Tageslastspitzen ausgleichen bzw. reduzieren, um Energieressourcen effizienter einzusetzen. Damit kann ein großer Teil des Wärmebedarfs mit EE, beispielsweise Strom aus Wind- und PV-Anlagen in Kombination mit elektrischen Wärmepumpen, solarthermisch erzeugter Wärme, unvermeidbarer Abwärme aus Industrieprozessen und anderen Umweltwärmen aus unterschiedlichen Quellen (Erdreich, Grundwasser etc.) gedeckt werden.

Bei der Planung von thermischen Speichern für Quartiere können drei verschiedene Speicherkonzepte, die sich in sensible (Wärmespeicherung durch Temperaturveränderung des Speichermediums), latente (Wärmespeicherung hauptsächlich durch die Nutzung von Phasenwechsel (von fest zu flüssig) des Speichermediums und thermochemische Wärmespeichervarianten (Wärmespeicherung in Form einer reversiblen thermochemischen Reaktion) unterteilen lassen, unter Berücksichtigung von technischen, regulatorischen und wirtschaftlichen Aspekten betrachtet werden. Darüber hinaus sind der Anwendungsbereich (Wärme- und Kälteversorgung sowie Kopplung mit unterschiedlichen Wärmenetzsystemen), die Verortung der Speicher (zentral/dezentral bzw. gebäudeintegriert), die Speicherdauer (Langzeit- und Kurzzeitwärmespeicherung) und auch eine Einspeisung in das Netz in Form stationärer oder mobiler Ausführungen bei den technischen Aspekten zu berücksichtigen.

Ziel dieses Dossiers ist es, thermische Energiespeichertechnologien, die sich für Quartiersprojekte eignen, zu identifizieren und anhand der wichtigsten Planungsparameter zu vergleichen, um einen guten Überblick für künftige Anwender zu ermöglichen. Das Dossier gliedert sich wie folgt:

Allgemeine Rahmenbedingungen in Bezug auf Genehmigung, Wirtschaftlichkeit sowie Marktsituation und Geschäftsmodelle zum Einsatz von thermischen Energiespeichern werden in Kapitel 2 erläutert.

In Kapitel 3 werden technische, rechtliche und wirtschaftliche Eigenschaften von folgenden Speichertechnologien beschrieben:

**Heißwasser-Wärmespeicher (siehe Kapitel 3.1.1):** Beim Heißwasser-Wärmespeicher befindet sich das Wasser in einem isolierten Behälter, der je nach Anwendungsfall unterschiedliche Geometrien aufweisen kann. Die Möglichkeiten einer Speicherung von Heißwasser reichen dabei von kleinen Speichern mit wenigen Kubikmetern bis hin zu Großwasserspeichern für die saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen.

**(Erd-) Beckenspeicher (siehe Kapitel 3.1.2):** Bei einem (Erd-) Beckenspeicher dient ein Gemisch aus Kies und Wasser als Speichermedium. (Erd-) Beckenspeicher werden bisher überwiegend als Langzeitwärmespeicher oder Zwischenspeicher für solare Nahwärmenetze bzw. Gebäudekomplexe eingesetzt.

**Aquiferspeicher (siehe Kapitel 0):** Bei Aquiferspeichern werden wasserführende Gesteinsformationen (100 bis 500 m Tiefe) (Rundel et al., 2013) zur Wärmespeicherung genutzt, die möglichst nach oben und unten abgeschlossen sind. Das Wärmeträgermedium des Aquifers lässt sich beispielsweise mithilfe solar-thermischer Anlagen erwärmen.

**Erdwärmesondenspeicher (siehe Kapitel 0):** Bei Erdwärmesondenspeichern oder Erdwärmekollektoren dient das Erdreich bzw. Gestein als Speichermedium und die Erdwärmesonden (in der Regel Doppel-U-Rohre) dienen als Wärmeübertrager zum Be- und Entladen des Speichermediums. Sie finden häufig als Quartierspeicher in Kombinationen mit großen Solarfeldern/PV-Anlagen/Solarthermieanlagen zur Gebäudeheizung und -kühlung Anwendung.

**Wasserspeicher für Power-to-Heat-Anlagen (siehe Kapitel 0):** PtH-Anlagen basieren auf dem Prinzip der unmittelbaren Umwandlung elektrischer Wirkleistung in Wärme. Die Grundlagen bilden zwei unterschiedliche Varianten: Widerstands-Heißwasserkessel (Tauchsieder-Prinzip) und Elektroden-Heißwasserkessel.

**Gebäudeintegrierte Speicher (kaltes Nahwärmenetz) (siehe Kapitel 3.2.1):** Beim Einsatz von dezentralen Wärmepumpen in Kombination mit einem kalten Nahwärmenetz können thermische Energiespeicher für die Raumheizung und Trinkwarmwasser-Bereitung zur Optimierung des lokalen PV-Eigenstromverbrauchs eingesetzt werden.

**Eisspeicher (siehe Kapitel 3.3.1):** Eisspeicher dienen sowohl als Wärmequelle wie auch als saisonale Wärmespeicher. Es existieren technische Lösungen für kleine Gebäude (Ein- und Zweifamilienhäuser) und größere Gebäude sowie für die Einbindung in ein kaltes Nahwärmenetz.

**Phase Change Material (PCM) (siehe Kapitel 0):** Phasenwechselmaterialien speichern Wärme im Phasenwechsel des Speichermediums. Die PCM-Speicher werden bereits in zahlreichen stationären und mobilen Anwendungen eingesetzt und sind kommerziell verfügbar.

**Sorptionsspeicher (siehe Kapitel 0):** Die Wärmespeicherung erfolgt durch chemisch reversible Reaktionen oder den Sorptionsprozess (Ab- und Adsorption) und zeichnet sich besonders durch eine hohe Energiedichte aus.

**SaltX-Anlage (siehe Kapitel 0):** Bei SaltX-Anlagen wird Salz, das eine hohe Energiedichte aufweist, als Speichermedium eingesetzt. Die Energie wird dabei chemisch gespeichert, indem feuchtes Salz durch einen Trocknungsprozess erhitzt und so vom Wasser getrennt wird.

**Hochtemperatur-Speicher (siehe Kapitel 3.5):** Hochtemperatur-Speicher dienen der Wärmespeicherung auf Hochtemperatur-Niveau. Die Art der Wärmespeicherung lässt sich unterscheiden in sensibel (flüssiges oder Feststoffmedium), latent (Phasenwechsel meist fest/flüssig) und thermochemisch.

Die Vielfalt an Speichern in der Praxis und ihre verschiedenen Einsatzgebiete im Quartier werden in Kapitel 4 veranschaulicht. Kapitel 5 verdeutlicht dann noch einmal ihre Bedeutung im Rahmen der künftig durchzuführenden kommunalen Wärmeplanung.

Abschließend erfolgt im Kapitel 6 eine Gegenüberstellung von technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften verschiedener Speichertechnologien anhand grafischer Darstellungen sowie ein kurzes Fazit. Dabei zeigt sich, dass die Anwendung bzw. Umsetzung thermischer Speicher auf Quartiersebene in Bezug auf die übergeordnete Zielsetzung einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Energieversorgung betrachtet werden sollte. Darüber hinaus kann die Energiebereitstellung mittels Wärmespeichern in Form von Strom, Wärme und Kälte flexibilisiert und mit volatilen EE-Erzeugern gekoppelt werden. Dadurch kann die Effizienz in Fernwärmesystemen und Quartieren erhöht und die Leistung von fossil befeuerten Kraftwerken durch PtH-Anlagen ersetzt werden.

Abbildung 1: Übersicht über verfügbare Speichertechnologien, wobei o für „Einsatz möglich“ und Δ für „Einsatz nur mit zusätzlicher Investition möglich“ steht (Grafik: Fraunhofer IEE). stellt eine Übersicht über verfügbare Speichertechnologien dar, wobei in den folgenden Kapiteln die einzelnen thermischen Speicher näher beschrieben werden.

		Latente Wärmespeicherung	Sensible Wärmespeicherung	Thermochemische Wärmespeicherung	Zentral	Dezentral (gebäudeintegriert)	Fernwärme (>90 °C)	Niedertemperatur-Fernwärme (30-90 °C)	Kaltes Nahwärmenetz (<30 °C)	Heizung	Kühlung	Kurzzeitwärmespeicherung	Langzeitwärmespeicherung
Speichersystem	Heißwasser-Wärmespeicher		o		o		o	o		o		o	o
	(Erd-) Beckenwärmespeicher		o		o		o	o	o	o		o	o
	Aquiferspeicher		o		o		o	o	o	o	o	o	o
	Erdwärmesondenspeicher		o		o		o	o	o	o	o	o	o
	Wasserspeicher für Power-to-Heat-Anlagen		o		o		o			o		o	
	Gebäudeintegrierte Speicher (kaltes Nahwärmenetz)	Δ	o			o	o	o	o	o		o	
	Eisspeicher	o			o	o		o	o	o	o	o	o
	Phase Change Material (PCM)	o			o	o	o	o	o	o	o	o	o
	Sorptionsspeicher		o	o	o	o	o	o		o	o	o	o
	SaltX-Anlagen		o		o		o			o		o	o
	Hochtemperatur-Speicher	o	o	o	o		o					o	

o Einsatzmöglich  
 Δ Einsatzmöglich nur mit zusätzlichen Investitionen

Abbildung 1: Übersicht über verfügbare Speichertechnologien, wobei o für „Einsatz möglich“ und Δ für „Einsatz nur mit zusätzlicher Investition möglich“ steht (Grafik: Fraunhofer IEE).



## 2 Allgemeine Rahmenbedingungen

### 2.1 Genehmigungsanforderungen

Bei thermischen Energiespeichern für Quartiere werden unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Genehmigung gestellt. Diese Anforderungen sind unter anderem abhängig von der Speichertechnologie selbst, von dem zu nutzenden bzw. potenziell beeinflussten Umweltmedium und vom eingesetzten Speichermedium. So ist stets eine Einzelfallbetrachtung erforderlich. Die Genehmigung eines Speichers kann zusammen mit der Genehmigung für die mit dem Speicher verbundene Anlage beantragt werden. Die für die Genehmigung zuständige Behörde ist unter anderem abhängig vom geplanten Speichersystem.

Für Vorhaben im Zusammenhang mit der Aufsuchung (§ 4 I Bundesberggesetz (BBergG)) und Gewinnung (§ 4 II BBergG) von Erdwärme (z. B. bei Aquifer- und Erdwärmesondenspeichern) herrscht eine Anzeigepflicht nach § 49 I Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (WHG) und § 8 Geologiedatengesetz (GeolDG). Für Vorhaben mit einer Tiefe >100 m ist zusätzlich eine Anzeige nach § 127 BBergG bei der zuständigen Bergbehörde zu stellen (Griebler et al., 2014).

Grundsätzlich können neben der Anzeigepflicht auch wasser- und/oder bergrechtliche Genehmigungen (Kranz et al., 2008) sowie die Prüfung der Zulässigkeit des Vorhabens nach § 21 II Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle (StandAG) (Bundesverband Geothermie e.V., 2020) erforderlich sein, sofern „in einer Teufe von 300 bis 1 500 Metern unter der Geländeoberkante stratiforme Steinsalz- oder Tonsteinformationen mit einer Mächtigkeit von mindestens 100 Metern, Salzformationen in steiler Lagerung oder Kristallin-gesteinsformationen mit einer vertikalen Ausdehnung von mindestens 100 Metern vorhanden sind oder erwartet werden können“ (§ 21 II S. 1 StandAG). In Abhängigkeit von der Aufsuchung oder Gewinnung der Erdwärme als bergfreier Bodenschatz können eine bergrechtliche Genehmigung (§§ 6 ff. BBergG i. V. m. § 3 III S. 2 Nr. 2 b) BBergG) und eine Betriebsplanpflicht (§ 127 I Nr. 2 i. V. m. §§ 51 ff. BBergG) erforderlich sein. Entsprechend würde sich die Zuständigkeit einer Bergbehörde ergeben. Ausgenommen von der Gewinnung ist unter anderem „das Lösen oder Freisetzen von Bodenschätzen in einem Grundstück aus Anlaß oder im Zusammenhang mit dessen baulicher oder sonstiger städtebaulicher Nutzung“ (§ 4 II Nr. 1 BBergG), sodass in den Fällen der grundstücksbezogenen Vorhaben eine wasserrechtliche Genehmigung i. S. d. § 8 WHG in der Regel ausreichend ist (Eisele et al., 2018) und somit eine untere Wasserbehörde zuständig wäre. Im Rahmen der Verwaltungspraxis der Bundesländer werden neben dieser Ausnahme zum Teil auch weitere Ausnahmen von der Gewinnung definiert<sup>1</sup>, sodass die Zuständigkeit der Wasser- bzw. Bergbehörde in den Bundesländern abweicht. Im Einzelfall kann durch die zuständige Behörde eine Betriebsplanpflicht nach § 127 I Nr. 2 BBergG auch bei wasserrechtlich zu genehmigenden Vorhaben mit einer Tiefe >100 m festgestellt werden, sofern dies nach §§ 51 ff. BBergG erforderlich ist.

Insbesondere bei der Betrachtung eines Aquiferspeichers sollte zudem die Vereinbarkeit mit dem geltenden Raumordnungsrecht betrachtet werden. Ist das jeweilige Vorhaben raumbedeutsam (§ 3 I Nr. 6 Raumordnungsgesetz (ROG)), ist eine Abstimmung mit den für die Raumordnung zuständigen Behörden notwendig. Raumbedeutsam ist ein Aquiferspeicher, wenn er raumbeanspruchend

---

<sup>1</sup> Nutzbarmachung geothermischer Energie in NRW – Grundsatz-Erlass des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Energie  
<https://www.bra.nrw.de/energie-bergbau/energietechnologie/geothermie-die-regenerative-energie-aus-dem-erdinneren/geothermie>

(Flächenbezug) oder raumbeeinflussend (Wirkungsbezug) ist. Eine Beurteilung muss im Einzelfall erfolgen (Holstenkamp et al., 2016).

Je nach Vorhaben kann ein Planfeststellungsverfahren erforderlich sein und die Pflicht zur Führung eines Betriebsplans oder zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung bestehen, beispielsweise i. S. d. § 57a BBergG i. V. m. dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) bzw. der Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau), (Brumme, 2009). Eine Liste der UVP-pflichtigen Vorhaben findet sich in Anlage 1 des UVP.

Auch aus der Verwendung des Speicher- bzw. Wärmeträgermediums können sich zusätzliche Anforderungen, beispielsweise gemäß § 62 WHG i. V. m. der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) (Eisele et al., 2018), ergeben. Ob solche Anforderungen bestehen, hängt unter anderem davon ab, welche Stoffe zum Einsatz kommen, welche Anlagen betrieben werden, ob die Anlagen ortsfest sind bzw. ortsfest genutzt werden, welche Mengen verwendet werden und in welche Wassergefährdungsklasse (WGK) die verwendeten Mengen einzuordnen sind (Jaeger, 2018).

Ethylenglykole, wie sie in Erdwärmetauschern verwendet werden, sind den wassergefährdenden Stoffen (WGK 1) zugeordnet und sollen nicht ins Grundwasser gelangen (Bonin, 2020), (Eisele et al., 2018). In diesem Rahmen sind Anlagenbetreiber dazu verpflichtet, die Grundsatzanforderungen nach § 17 AwSV zu erfüllen. Diese Anforderungen umfassen unter anderem, dass Anlagen „so geplant und errichtet werden, beschaffen sein und betrieben werden sollen, dass wassergefährdende Stoffe nicht austreten können“ (§ 17 I Nr. 1 AwSV), „Undichtheiten aller Anlagenteile, die mit wassergefährdenden Stoffen in Berührung stehen, schnell und zuverlässig erkennbar sind“ (§ 17 I Nr. 2 AwSV) und „austretende wassergefährdende Stoffe schnell und zuverlässig erkannt und zurückgehalten sowie ordnungsgemäß entsorgt werden. Dies gilt auch für betriebsbedingt auftretende Spritz- und Tropfverluste“ (§ 17 I Nr. 3 AwSV). Bei einer Betriebsstörung der Anlage sollen „anfallende Gemische, die ausgetretene wassergefährdende Stoffe enthalten können, zurückgehalten und ordnungsgemäß als Abfall entsorgt oder als Abwasser beseitigt werden“ (§ 17 I Nr. 4 AwSV). Die „Anlagen müssen dicht, standsicher und gegenüber den zu erwartenden mechanischen, thermischen und chemischen Einflüssen hinreichend widerstandsfähig sein“ (§ 17 II AwSV). Da einwandige unterirdische Behälter unter anderem für flüssige wassergefährdende Stoffe nach § 17 III AwSV unzulässig sind, bedarf es in der Regel doppelwandiger Behälter. Für Erdwärmesonden und -kollektoren gelten besondere Anforderungen, in deren Rahmen sie unter den Voraussetzungen des § 35 II AwSV auch einwandig ausgeführt werden dürfen, „wenn sie aus einem werkseitig geschweißten Sondenfuß und endlosen Sondenrohren bestehen“ (§ 35 II Nr. 1 AwSV), „sie durch selbsttätige Überwachungs- und Sicherheitseinrichtungen so gesichert sind, dass im Fall einer Leckage des Wärmeträgerkreislaufs die Umwälzpumpe sofort abgeschaltet und ein Alarm ausgelöst wird“ (§ 35 II Nr. 2 AwSV), und als Wärmeträgermedium „nicht wassergefährdende Stoffe“ (§ 35 II Nr. 3a) AwSV) oder „Gemische der Wassergefährdungsklasse 1, deren Hauptbestandteile Ethylen- oder Propylenglycol sind“ (§ 35 II Nr. 3b) AwSV), verwendet werden. Als Hilfe zur Einstufung der zu verwendenden Stoffe steht eine [Online-Plattform des Umweltbundesamtes \(UBA\)](#) zur Verfügung. Zudem ist die Verordnung zum Schutz des Grundwassers (GrwV) zu beachten (Brumme, 2009).

Eine baurechtliche Genehmigung i. S. d. Baugesetzbuchs (BauGB) und der Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (BauNVO) kann insbesondere bei oberirdischen Speichern, zum Beispiel Heißwasserspeichern, bzw. bei den mit den Speichern verbundenen Anlagen, zum Beispiel Heizzentralen, notwendig sein. Außerdem ist das Verhältnis des Baurechts zum Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (BNatSchG) zu berücksichtigen (§ 18 BNatSchG), wodurch Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege gegebenenfalls zu beachten sind.

Für große oberirdische Speicher sind die Bodenbeschaffenheit im Rahmen eines Bodengutachtens sowie die Prüfung der Statik zu beachten. Für die gebäudeintegrierten Speicher selbst gelten keine spezielleren Regelungen dieser Art. Auch eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung i. S. d. §§ 10, 19 Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (BImSchG), gegebenenfalls i. V. m. der 1., 4. oder 12. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchV), kann erforderlich sein (Bolay et al., 2017), (Brumme, 2009).

Die Einhaltung der Vorschriften der Technischen Anleitung (TA) Lärm und TA Luft haben die Hersteller von Anlagen zwar generell im Blick, dennoch sind diese Vorschriften durch die planenden Instanzen zu beachten und sollten im Zweifelsfall geprüft werden.

Der Vollzug der wasser-, berg- und baurechtlichen Bestimmungen obliegt, wie die meisten Verwaltungsangelegenheiten, den Ländern, sodass die Orientierung hinsichtlich der Zuständigkeit standortspezifisch erfolgen muss. Zudem können die Regelungen einiger Länder (Landesimmissionsschutzgesetz (LImSchG), Landeswassergesetz (LWG), Landesbauordnung (BauO Land) etc.) von denen des Bundes zielkonform abweichen. Grundsätzlich ist eine frühzeitige Einbindung zuständiger Behörden sinnvoll, um allen und insbesondere landesspezifischen Anforderungen zu genügen und somit mehr Sicherheit für den gesamten Planungsprozess zu erlangen.

## 2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Hinsichtlich der Investitionskosten lässt sich insbesondere die Abhängigkeit der Kosten vom Volumen der thermischen Speicher (Abbildung 2) erkennen.

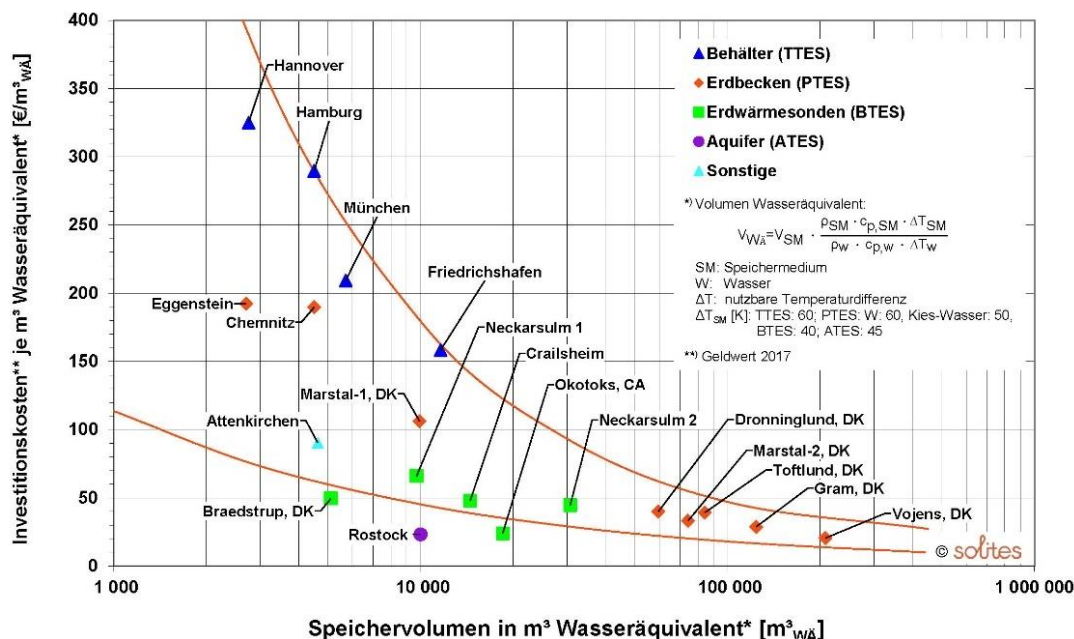


Abbildung 2: Spezifische Investitionskosten saisonaler thermischer Speicher ohne Planungskosten und MwSt. (Solites, 2021a)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Wasseräquivalent: Volumen eines Speichermediums, das genauso viel Wärme speichern kann wie ein Kubikmeter Wasser im flüssigen Zustand bei Normaldruck.

Aufgrund niedriger Materialkosten gelten sensible Wärmespeichersysteme als die ökonomisch günstigste Speichervariante. Mit steigendem Forschungsfortschritt bei der Materialentwicklung könnten die Investitionskosten für latente und thermochemische Speicher jedoch entsprechend sinken. Aufgrund der höheren Energiedichte dieser Systeme gegenüber sensiblen Speichern würden sie somit gegebenenfalls ökonomisch günstiger als bisher bewertet werden (Rundel et al., 2013).

Energierrechtliche Rahmenbedingungen sollten unter anderem im Hinblick auf den wirtschaftlichen Betrieb betrachtet werden. Das betrifft nicht nur die Speicher selbst, sondern gegebenenfalls auch die verbundenen PtH-Anlagen. Das Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (EnWG) kann durch reduzierte Netzentgelte (§ 14a EnWG) bzw. durch die Befreiung von Netzentgelten mittels Direktleitung (§ 3 Nr. 12 EnWG) oder im Rahmen einer Kundenanlage (§ 3 Nr. 24 a und b EnWG) zu einem wirtschaftlichen Betrieb beitragen. Weitere Erlössteigerungen können durch eine Reduktion der Stromsteuer (§ 9 Stromsteuergesetz (StromStG)) oder die Befreiung von der Energiesteuer (§ 53a Energiesteuergesetz (EnergieStG)) sowie Zuschlagszahlungen im Rahmen des Gesetzes für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG) (§§ 5 ff. und §§ 22–25 KWKG) generiert werden (Albert et al., 2018), (Bolay et al., 2017), (Holstenkamp et al., 2016).

Die Wirtschaftlichkeit kann durch Förderprogramme beeinflusst werden. Die Voraussetzungen von Förderprogrammen für thermische Energiespeicher, ihre Förderquoten und ihre Förderhöhe sind unterschiedlich und somit vorhabenspezifisch zu ermitteln. Beispielhaft für Förderprogramme auf Bundesebene sind die Programme der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#), [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#), [Klimaschutzoffensive für Unternehmen](#) und [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#) bzw. [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#), die als Kreditprogramme, zum Teil mit Tilgungszuschuss, ausgestaltet sind. Zuschüsse für thermische Energiespeicher auf Bundesebene können im Rahmen des KWKG oder der Bundesförderung für effiziente Wärmenetze gewährt werden. Sowohl bei der Sanierung von Bestandsgebäuden zu einem Effizienzgebäude sowie beim Bau und beim Kauf von Effizienzgebäuden als auch beim Bau eines nicht öffentlichen Gebäudenetzes bzw. beim Anschluss an ein nicht öffentliches Gebäudenetz oder an ein öffentliches Wärmenetz können Förderungen von Wärmespeichern in Form eines Zuschusses beim BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle) durch die [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#) für Wohngebäude und Nichtwohngebäude oder in Form eines Kredits im Rahmen der [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude \(BEG NWG – KfW 263\)](#) und der [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude \(BEG WG – KfW 261\)](#) gewährt werden. Kommunen können Zuschüsse bzw. Kredite über die KfW-Programme [Bundesförderung für effiziente Gebäude \(BEG – KfW 464\)](#) bzw. [BEG – KfW 264](#) erhalten.

Die Bundesländer haben zum Teil eigene Programme für die Förderung von thermischen Energiespeichern aufgesetzt. So haben unter anderem die Länder Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Bremen, Hamburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein Förderprogramme für verschiedene Arten energetischer Speicher, häufig in Kombination mit Erzeugungsanlagen, veröffentlicht. Eine detaillierte Zuordnung der einzelnen Förderprogramme ist in den einzelnen Beschreibungen in den jeweiligen Speicherkapiteln (siehe Kapitel 3) und ihre Förderschwerpunkte und ihr Förderumfang sind in Anhang I zu finden.

In Merkblättern zu Förderprogrammen werden thermische Energiespeicher meist auch durch übergeordnete Begriffe („Wärme-/Kältespeicher“) definiert, wobei nicht deutlich wird, dass einige Technologien beispielsweise aufgrund technischer Voraussetzungen von der Förderung ausgeschlossen sind. Deshalb ist eine genaue Nachfrage zur Förderfähigkeit der jeweiligen Technologie bei den fördermittelgebenden Stellen sinnvoll.

### 2.3 Marktsituation und Geschäftsmodelle

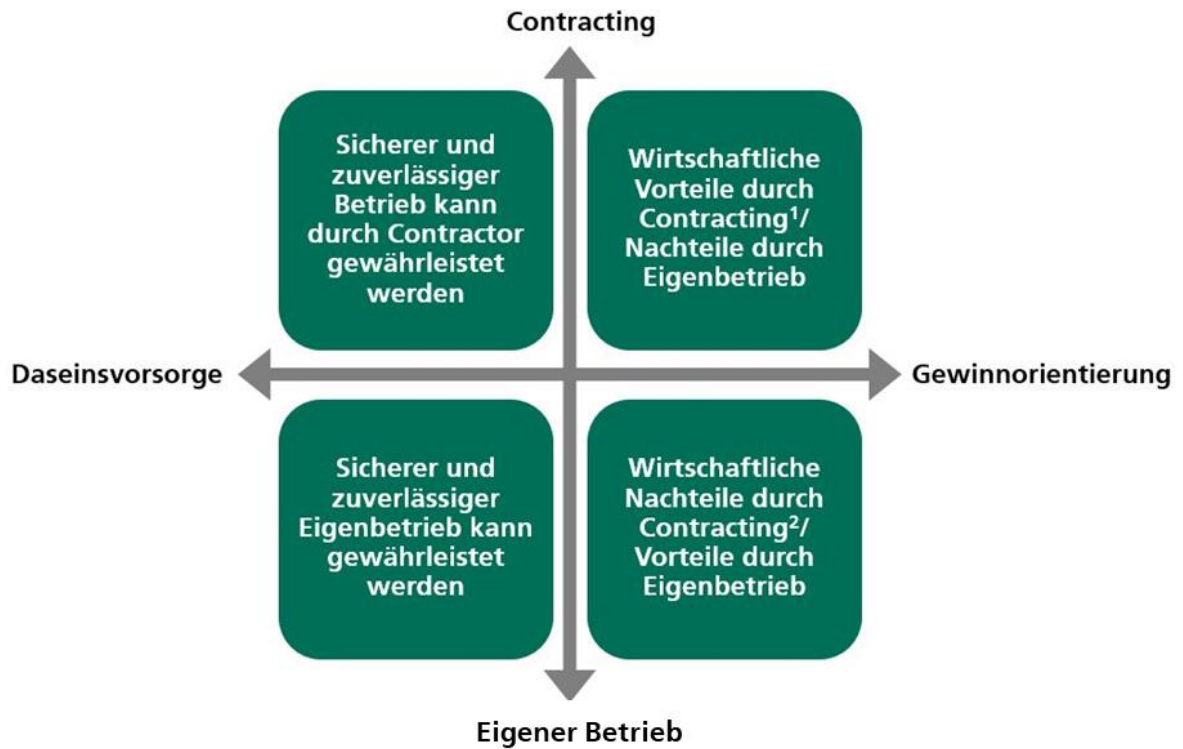
Bei der Wärmespeicherung für Raumheizung und Trinkwassererwärmung entsteht ein wachsender Markt, dessen zu erwartende Nachfrage mit einer deutlichen Ausweitung der Produktionskapazitäten einhergeht (Schabbach, 2010). Die sensiblen Speicher stellen die am weitesten entwickelten Technologien dar (Seitz et al., 2018). Industrielle Standardprodukte dominieren hier in der Regel den Markt, sodass ein erheblicher Kostendruck besteht (Schabbach, 2010). Zur sonstigen Marktsituation, insbesondere im Hinblick auf die Marktpotenziale thermischer Speicher, gibt es keine belastbaren Studien, da eine Abhängigkeit zu verschiedenen Bedingungen besteht (Seitz et al., 2018).

Die Entwicklung und die Umsetzung von Geschäftsmodellen sind von einer Vielzahl von Faktoren wie der Unternehmensform, dem aktuell geltenden Recht und marktbedingten Rahmenbedingungen abhängig. Zum Beispiel kann sich die Unternehmensform auf die Finanzierung auswirken. Dies kann einen weiteren Effekt auf die Umsetzung eines Modells, insbesondere die Einbindung weiterer Partner wie beim Contracting oder bei Dienstleistungen, haben, um gegebenenfalls Risiken zu mindern oder gezielt Investitions- oder Steuernachteile auszugleichen (Beucker und Hinterholz, 2017). Einige Faktoren mit Einfluss auf die Entscheidung für oder gegen ein Geschäftsmodell, wie beispielsweise das Contracting, werden beispielhaft in Tabelle 1 dargestellt. Dabei kann es auch sein, dass sich die Faktoren gegenseitig bedingen und somit bei der Gesamtbetrachtung eine andere Entscheidung getroffen werden würde als bei einer separaten Betrachtung einzelner Faktoren.

Tabelle 1: Einflussfaktoren, wie das Contracting, auf das Geschäftsmodell für thermische Energiespeicher (eigene Darstellung).

<b>Ertrag</b>	Wärmepreis, Abnahme Kundenbindung, Image Vergütung KWKG oder EEG
<b>Aufwand</b>	Personal, Material Akquise, Vertrieb Errichtung, Betrieb, Wartung Steuern, Finanzierung, Gebühren Genehmigung, Ausschreibung, Vertragsgestaltung Versicherung
<b>Fördermöglichkeiten</b>	Planung, Projektierung Errichtung/Installation Betrieb Verbundene Anlagen

Die Faktoren mit Einfluss auf die Entscheidung für oder gegen ein Geschäftsmodell für thermische Energiespeicher, wie zum Beispiel das Contracting, sind ebenso vielfältig wie unter Umständen einzelfallbezogen. Anhand der Identifizierung und Prüfung relevanter Faktoren für Geschäftsmodelle kann eine Entscheidung getroffen werden, wie sie in dem vereinfachten Beispiel in Abbildung 3 für die Entscheidung zwischen Contracting und eigenem Betrieb dargestellt ist.



<sup>1</sup> Verlagerung Aufwand für Betrieb und Wartung (Personal, Material, Messdaten etc.), Akquise, Vertrieb, Versicherung, ggf. Errichtung etc.

<sup>2</sup> Je nach Vertragsgestaltung keine Eigenversorgungskonstellation (Strom zu Wärme) aufgrund der Verschiebung des wirtschaftlichen Risikos

Abbildung 3: Beispiel Entscheidung Geschäftsmodell Contracting vs. Eigenbetrieb (Grafik: Fraunhofer IEE).

## 3 Thermische Energiespeicher für Quartiere

In diesem Abschnitt werden mögliche Speichertechnologien für Quartiere in Form einzelner Steckbriefe beschrieben. In den Steckbriefen sind folgende Informationen zu den einzelnen Speichertechnologien enthalten:

- **Systembeschreibung**
- **Systemauslegung**
- **Anwendungsbereich**
- **Genehmigungsanforderungen**
- **Investitionskosten**
- **Fördermöglichkeiten**
- **Technische Anforderungen**
- **Best-Practice-Beispiel**

Mithilfe der erstellten Steckbriefe werden technische Eigenschaften der betrachteten Speichertechnologien zusammengefasst und zur quantitativen Gegenüberstellung in Kapitel 6 aufbereitet.

### 3.1 Sensible Wärme- und Kältespeicherung (zentral)

#### 3.1.1 Heißwasser-Wärmespeicher

##### ■ Systembeschreibung

Für die Speicherung von Niedertemperaturwärme wird in der Regel Wasser als Speichermedium eingesetzt. Die Möglichkeiten einer Speicherung von Heißwasser reichen dabei von kleinen Speichern mit wenigen Kubikmetern bis hin zu Großwasserspeichern für die saisonale Wärmespeicherung in Wärmenetzen. Diese Art Wärmespeicher können ober- und unterirdisch aufgestellt werden, wobei bei der Langzeitwärmespeicherung die unterirdische Variante favorisiert wird (Moser, 2017). Die Überdeckung unterirdischer Speicher kann beispielsweise als landschaftsgestaltendes Element dienen. Heißwasser-Wärmespeicher können in der Regel große Gebäudekomplexe oder ganze Siedlungen versorgen.

Bei mit Nahwärmenetzen versorgten Quartieren können Heißwasser-Wärmespeicher ins Wärmenetz eingebunden werden. Dabei bietet sich der Einsatz großer Heißwasser-Wärmespeicher in Kombination mit einem Nahwärmenetz aufgrund des relativ hohen Platzbedarfs hauptsächlich als Energieversorgungslösung für ländliche oder urbane Gebiete mit großen Freiflächen an. Die Speichergröße der bisher realisierten vier Pilotanlagen in Kombination mit einem Nahwärmenetz (Hamburg, Friedrichshafen, München und Hannover) liegt zwischen rund 2.700 m<sup>3</sup> und 12.000 m<sup>3</sup>. Hierbei decken die solaren Nahwärmenetze mit thermischen Speichern den Wärmebedarf von 100 bis 300 Wohneinheiten, was einer Wohnfläche von 8.000 m<sup>2</sup> bis 25.000 m<sup>2</sup> entspricht (Bauer et al., 2008), (Sauss, 2018).

Ein Heißwasser-Speicher kann entweder direkt oder indirekt über einen Wärmeübertrager be- und entladen werden. Dabei befindet sich das Wasser in einem isolierten Behälter, der je nach Anwendungsfall unterschiedliche Geometrien aufweisen kann.



Bei Temperaturen zwischen 30 °C und 95 °C (Heidemann et al., 2005) können die Speichersysteme als sogenannte Pufferspeicher zur hydraulischen Trennung zwischen Wärmeerzeuger und Wärmenetz oder als saisonaler Speicher für beispielsweise solar unterstützte Nahwärmenetze dienen. Dieses Temperaturniveau thermischer Wärmespeicher ist für den Betrieb sowohl von Niedertemperatur-Nahwärmenetzen mit Neubauten (Netztemperatur unter 55 °C) als auch von Fernwärmenetzen (Netztemperatur über 80 °C) mit Bestandsgebäuden geeignet.

Zum Betrieb von Niedertemperatur-Nahwärmenetzen ist der Einsatz von Flächenheizungen (z. B. Fußbodenheizungen) in Gebäuden energetisch sinnvoll. Jedoch ist eine Nachheizung für die zentrale Bereitung des Trinkwarmwassers (TWW) bei Niedertemperatur-Nahwärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) aus hygienischen Gründen erforderlich, da bei großen Warmwasserspeichern (für Mehrfamilienhäuser) eine TWW-Temperatur von mindestens 55 °C gewährleistet werden muss (Buderus, 2004).

Bei Heißwasser-Speichern besteht Forschungsbedarf hinsichtlich zu verbessernder Wärmedämm-Materialien, der Speicheranschlüsse zur optimalen Einhaltung der Temperaturschichtung und zu optimierender Be- und Entladestrategien bei der Sektorenkopplung (Stryi-Hipp et al., 2012).

#### ■ Systemauslegung

- Grober Richtwert des Speichervolumens je m<sup>2</sup> Kollektorfläche für einen solaren Deckungsanteil von 50 %: 8 – 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>FK</sub> (Mangold et al., 2007)
- Zur Anlagendimensionierung sollte ein genaues Bedarfsprofil ermittelt werden. Hierfür sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich, die eine bedarfsgerechte Auslegung des Speichers ermöglichen.

#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen) und Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden, bei sehr kleinen Volumen auch dezentrale bzw. gebäudeintegrierte Verwendung
- Zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) möglich, bei Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C (Buderus, 2004) in dezentralen Speichern notwendig
- Bisherige Pilotprojekte: 100 – 300 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von 8.000 – 25.000 m<sup>2</sup>  
Speichergröße: 2.700 – 12.000 m<sup>3</sup> (Bauer et al., 2008) (Sauss, 2018)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- 0,4 – 10 €/kWh<sub>th</sub> bzw. 1 – 15 €/kW (BVES, 2022f)



## ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.
- Bundesebene:
  - Zuschuss:
    - [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
    - [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
    - [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
    - [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)
    - [KWK-Zuschlag \(§§ 22 – 25 KWKG\)](#)
  - Kredit mit Tilgungszuschuss:
    - [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
    - [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
    - [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
    - [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)
  - Kredit:
    - [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
    - [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
    - [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
    - [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)
- Landesebene:
  - Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
  - Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
  - Berlin: [Effiziente GebäudePLUS – Fördermodul 3](#)
  - Bremen: [Ersatz von Ölheizkesseln](#)
  - Hamburg: [Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher](#)
  - Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
  - Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
  - Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
  - Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 2: Technische Anforderungen an Heißwasser-Wärmespeicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	30 – 95 °C (Heidemann et al., 2005), bis 100 °C und unter Druck bis 150 °C (BVES, 2022f)
Spezifische Wärmekapazität	60 – 100 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (BVES, 2022f)
Wirkungsgrad	50 – 90 % (BVES, 2022f)
Speichermedium und -aufbau	Wasser / wärmegeämmter, wassergefüllter, ins Erdreich eingegrabener oder ebenerdiger Behälter mit Tragwerkskonstruktion meist aus Stahlbeton oder glasfaser-verstärktem Kunststoff (Mangold et al., 2001b)
Anforderungen an den Standort	Gut stehender Boden, Bodenklasse II–III <sup>3</sup> , möglichst kein Grundwasser in 5 bis 15 m Tiefe, bei ebenerdiger Anordnung keine Anforderungen an die Grundwassertiefe (Mangold et al., 2001b)
Zykluslebensdauer	>10.000 Zyklen / >20 Jahre (Jahnke, 2019), (Lassacher et al., 2018)
Recyclingfähigkeit	Hauptbaumaterialien wie Beton, Kunststoffrohr und Stahl sind recyclingfähig. Beim Abbau ist eine Grobsortierung der Materialien vor Ort sinnvoll. Im Anschluss erfolgt die endgültige Trennung und Aufbereitung der Materialien durch ein qualifiziertes Entsorgungsunternehmen (Schneider et al., 2011).
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Langzeit- und Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Jahr) (Seitz et al., 2018)

<sup>3</sup> Bodenklasse I: Oberboden (oberste Bodenschicht), Bodenklasse II: Fließende Bodenarten, Bodenklasse III: Leicht lösbar Bodenarten (LBEG, 2020)

Best-Practice-Beispiel – Heißwasser-Wärmespeicher



Abbildung 4: Ackermannbogen in München (ZAE Bayern, Garching, 2021).

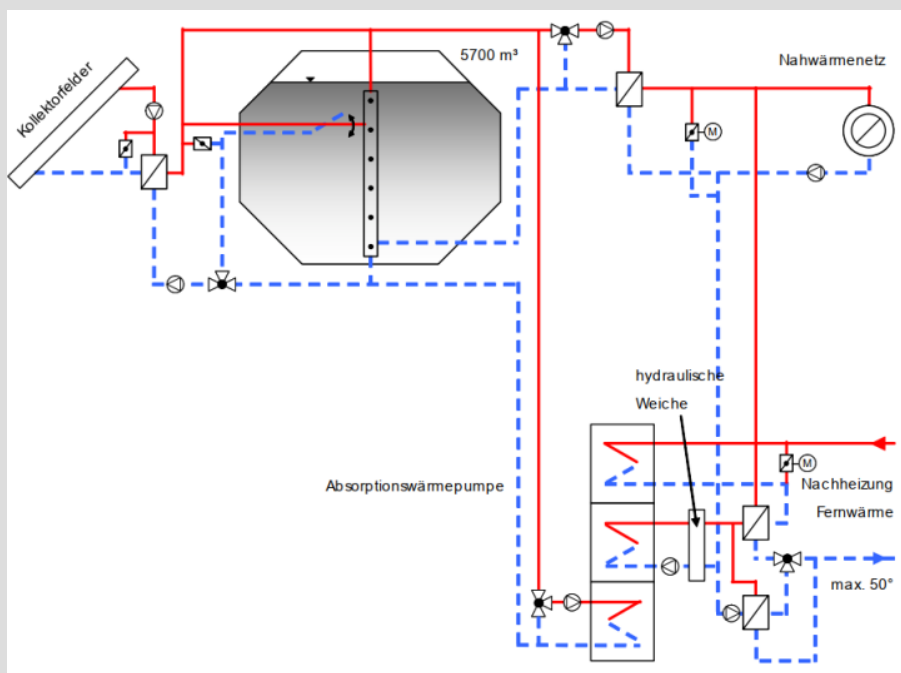


Abbildung 5: Schematische Darstellung des solaren Nahwärmesystems (Mangold et al., 2007 / Abbildung von Solites).

Tabelle 3: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Heißwasser-Wärmespeicher (Mangold et al., 2007).

<b>Standort</b>	<b>Ackermannbogen in München</b>
<b>Wärmebedarf</b>	2.300 MWh <sub>th</sub> /a
<b>Wärmeabnehmer</b>	300 Wohnungen Wohnfläche: 24.800 m <sup>2</sup> Energiestandard: Neubau nach Energieeinsparverordnung (EnEV)
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Nahwärmeversorgung mit einer Absorptionswärmepumpe in Kombination mit Solarkollektoren und einem bestehenden Fernwärmenetz (Kollektorfläche: 2.920 m <sup>2</sup> / ca. 47 % Deckungsgrad)
<b>Speichervolumen</b>	5.700 m <sup>3</sup> (Behälterspeicher)
<b>Installierte Leistung der Absorptionswärmepumpe</b>	1,4 MW <sub>th</sub>
<b>Speicherdauer</b>	Langzeitwärmespeicherung (Monate)

### 3.1.2 (Erd-) Beckenspeicher

#### ■ Systembeschreibung

Bei einem (Erd-) Beckenspeicher dient ein Gemisch aus Kies und Wasser als Speichermedium. (Erd-) Beckenspeicher werden bisher überwiegend als Langzeitwärmespeicher oder Zwischenspeicher für solare Nahwärmenetze bzw. Gebäudekomplexe eingesetzt.

Aufgrund der Grubenbauweise kann die Hülle des Speichers relativ einfach mittels Kunststoffolie oder Beton ausgeführt werden. Somit können oberhalb des Speichers beispielsweise Straßen oder Parkplätze errichtet werden.

Bisher realisierte Anlagen liegen in einer Größenordnung von 1.000 m<sup>3</sup> bis 8.000 m<sup>3</sup> (SAENA, 2012). Beispielsweise deckt das Nahwärmenetz in Steinfurt mit einem (Erd-) Beckenspeicher (1.500 m<sup>3</sup>) den Wärmebedarf von 42 Wohneinheiten, was einer Wohnfläche von 3.800 m<sup>2</sup> entspricht (Bodmann und Fisch, 2002).

Die Be- und Entladung der Speicher erfolgt in der Regel entweder indirekt über in die Kiesfüllung eingelegte Kunststoff-Rohrschlangen oder unmittelbar über einen direkten Wasseraustausch (Mangold et al., 2001a). Dabei ist darauf zu achten, dass die Temperaturschichtung im Speicher unterstützt wird. Ein (Erd-) Beckenspeicher kann über Wärmeübertrager bis zu einer Temperatur von 80 °C bis 90 °C beladen werden (Bauer et al., 2008). Damit können (Erd-) Beckenspeicher in der Regel sowohl für Niedertemperatur-Nahwärmenetze mit Neubauten (Netztemperatur unter 55 °C) als auch für Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) mit Bestandsgebäuden betrieben werden.

Zum Betrieb von Niedertemperatur-Nahwärmenetzen ist der Einsatz von Fußbodenheizungen in Neubauten energetisch sinnvoll. (Erd-) Beckenspeicher haben bei gleichen Ausmaßen eine geringere Speicherkapazität<sup>4</sup> im Vergleich zu einem reinen Wasserspeicher, weil Wasser eine höhere Wärmespeicherkapazität hat als Kies. Folglich ist – bedingt durch den Kiesanteil (ca. 60 bis 70 Vol.-%) – ein ca. 50 % größeres Bauvolumen erforderlich, um die gleiche Wärmemenge bei einer gleichen Temperaturdifferenz zu speichern (Mangold et al., 2001a). Der (Erd-) Beckenspeicher ist eine relativ neue Entwicklung und wurde in verschiedenen Pilotprojekten unter realen Betriebsbedingungen erfolgreich umgesetzt.

Bei (Erd-) Beckenspeichern besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Bautechnik, der Baumaterialien sowie des Aufbaus der Wärmespeicher sowohl für Niedertemperatur-Nahwärmenetze mit Neubauten (Netztemperatur unter 55 °C) als auch für Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) mit Bestandsgebäuden (Stryi-Hipp et al., 2012). Darüber hinaus sollten optimierte Be- und Entladestrategien unter Berücksichtigung der Sektorenkopplung untersucht werden.

#### ■ Systemauslegung

- Grober Richtwert des Speichervolumens je m<sup>2</sup> Kollektorfläche für einen solaren Deckungsanteil von 50 %: 2,5 – 4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>FK</sub> (Mangold et al., 2001a)
- Zur Anlagendimensionierung sollte ein genaues Bedarfsprofil ermittelt werden. Hierfür sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich, die eine bedarfsgerechte Auslegung des Speichers ermöglichen.

#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen) und Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden

---

<sup>4</sup> Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C – Kies: 0,71 kJ/(kg·K); Wasser: 4,18 kJ/(kg·K) Es ist eine ungültige Quelle angegeben.

- Zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) möglich, bei Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C in dezentralen Speichern notwendig (Buderus, 2004)
- Bisherige Pilotprojekte: Speichergröße: 1.000 – 8.000 m<sup>3</sup> / Beispielprojekt in Steinfurt, 42 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von 3.800 m<sup>2</sup>, Speichergröße: 1.500 m<sup>3</sup> (SAENA, 2012), (Bodmann und Fisch, 2002), (Mangold et al., 2001a)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- 250 – 400 €/m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> bei einem Speichervolumen von 700 – 1.000 m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> (Mangold, et al., 2007)
- 110 – 120 €/m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> bei einem Speichervolumen von 5.000 – 6.000 m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> (Mangold et al., 2007)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.
- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)
- [KWK-Zuschlag \(§§ 22 – 25 KWKG\)](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
- Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)

- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 4: Technische Anforderungen an (Erd-) Beckenspeicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	<80 – 90 °C (Neupert et al., 2009)
Spezifische Wärmekapazität	30 – 50 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Mangold et al., 2001a)
Wirkungsgrad	45 – 75 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Kies-Wasser-Gemisch / wärmegeädämmtes, zum Erdreich hin mittels Kunststoffolie abgedichtetes Kies-Wasser-Gemisch (Mangold et al., 2001b)
Anforderungen an den Standort	Gut stehender Boden, Bodenklasse II – III, möglichst kein Grundwasser in 5 bis 15 m Tiefe (Mangold et al., 2001b)
Zykluslebensdauer	5.000 – 10.000 Zyklen / >20 Jahre (Jahnke, 2019), (Lassacher et al., 2018)
Recyclingfähigkeit	Hauptbaumaterialien wie Beton, Kunststoffrohr und Stahl sind recyclingfähig. Beim Abbau ist eine Grobsortierung der Materialien vor Ort sinnvoll. Im Anschluss erfolgt die endgültige Trennung und Aufbereitung der Materialien durch ein qualifiziertes Entsorgungsunternehmen (Schneider et al., 2011). / Recyclingprodukt, zum Beispiel Blähglasgranulat, einsetzbar für Wand- und Deckenbereich (Bodmann und Fisch, 2002)
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Langzeit- und Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Jahr) (Seitz et al., 2018)

Best-Practice-Beispiel – (Erd-) Beckenspeicher



Abbildung 6: Solarsiedlung Steinfurt-Borghorst (EnergieAgentur.NRW, 2008).

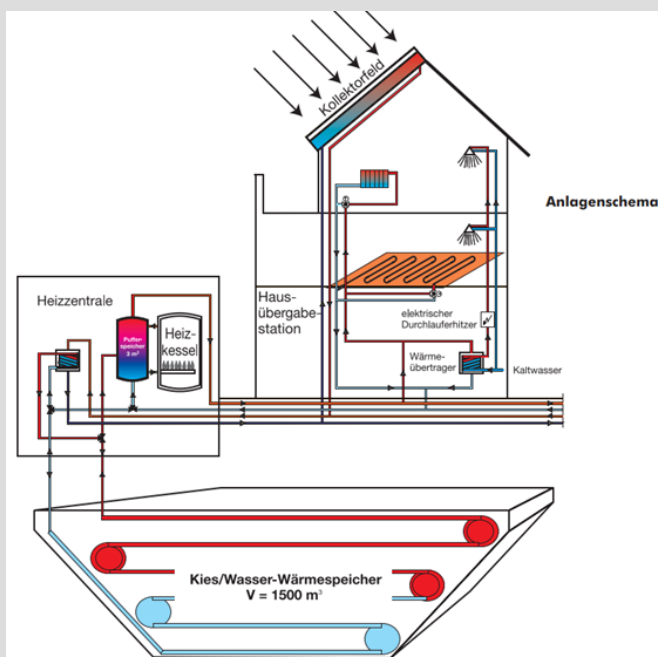


Abbildung 7: Schematische Darstellung des solaren Nahwärmesystems (EnergieAgentur.NRW, 2008) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)).

Tabelle 5: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für (Erd-) Beckenspeicher.

Standort	Steinfurt-Borghorst
Wärmebedarf	110 MWh <sub>th</sub> /a (Mangold et al., 2001a)
Wärmeabnehmer	42 Wohneinheiten (11 Reihenhäuser, 4 Doppelhäuser, 7 kleine Mehrfamilienhäuser) (Mangold et al., 2001a) Wohnfläche: 3.800 m <sup>2</sup> (Bodmann et al., 2001) Gebäude-Energiestandard: Niedrigenergiehaus (Bodmann et al., 2001)
Wärmeversorgungs-konzept	Solarunterstützte Nahwärmeversorgung in Kombination mit einem Gasbrennwertkessel (Kollektorfläche: 510 m <sup>2</sup> , ca. 34 % Deckungsgrad) (Mangold et al., 2001a)
Speichervolumen	1.500 m <sup>3</sup> (Mangold et al., 2001a)
Installierte Leistung des Gasbrennwertkessels	550 kW <sub>th</sub> (Spitzenlast) (EnergieAgentur.NRW, 2008)
Speicherdauer	Langzeitwärmespeicherung (Monate)

### 3.1.3 Aquiferspeicher

#### ■ Systembeschreibung

Bei Aquiferspeichern werden wasserführende Gesteinsformationen (100 – 500 m<sub>Tiefe</sub>) (Rundel et al., 2013) zur Wärmespeicherung genutzt, die möglichst nach oben und unten abgeschlossen sind. Das Wärmeträgermedium des Aquifers lässt sich beispielsweise mithilfe solarthermischer Anlagen erwärmen.

Aquiferspeicher sind bislang nur in wenigen Fällen realisiert worden. Beispielsweise wurden Aquiferspeicher mit einem Speichervolumen von bis zu 25.000 m<sup>3</sup> für eine Siedlung mit 108 Wohneinheiten (ca. 7.000 m<sup>2</sup> Wohnfläche) verwirklicht (Rundel et al., 2013).

Zudem ist der Einsatz von Aquiferspeichern aufgrund der hohen Wärmekapazität für die Langzeitspeicherung von industrieller Abwärme interessant (Rundel et al., 2013). Sie werden durch Bohrungen erschlossen, um mit der Abwärme von Industrieanlagen oder mit solarthermischer Wärme das Wasser im Erdreich aufzuheizen. Die eingespeicherte Wärme kann über einen Wärmeübertrager oder eine Wärmepumpe bei Bedarf wieder abgerufen werden. Die umgebenden Gesteinsschichten wirken dabei als Isolation. Bei der Be- und Entladung des Speichers befindet sich die Betriebstemperatur zwischen 5 °C und 95 °C (Lassacher et al., 2018). Jedoch kann es bei Temperaturen von über 50 °C je nach örtlicher Gegebenheit zu biologischen und geochemischen Veränderungen des Grundwassers (z. B. Störung des ökologischen Gleichgewichts durch eine Temperaturerhöhung  $\geq 5$ -10 Kelvin) kommen (Griebler et al., 2014). Aus diesem Grund spielen die hydrogeologischen und hydrochemischen Bedingungen am Standort eine entscheidende Rolle (Neupert et al., 2009).

Es sind Wärmenutzungsgrade von bis zu 80 % möglich (Rundel et al., 2013). Aquiferspeicher können sehr kostengünstig erschlossen werden, wenn die geologischen Anforderungen erfüllt sind. Jedoch führt die niedrige Speichertemperatur (unter 50 °C) vor allem bei der Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern zur Einschränkung der zentralen TWW-Bereitung, da bei großen Warmwasserspeichern (für Mehrfamilienhäuser) aus hygienischen Gründen eine TWW-Temperatur von mindestens 55 °C gewährleistet werden muss (Buderus, 2004). Diese Einschränkung bei der TWW-Bereitung kann durch eine zentrale oder dezentrale Nachheizung aufgehoben werden.

Zukünftig besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Speicherung industrieller Abwärme und des Stromüberschusses aus EE in Kombination mit einem Niedertemperatur-Nahwärmenetz (Netztemperatur unter 55 °C) oder einem bestehenden Fernwärmenetz (Netztemperatur über 80 °C) mit Bestandsgebäuden.

#### ■ Systemauslegung

- In der Richtlinie VDI 4640 Blatt 3 (VDI 4640 Blatt 3, 2001) werden Fragen der Materialauswahl, der Umweltauswirkungen, der erforderlichen Genehmigungen und der Systemeinbindung näher betrachtet.
- Grober Richtwert des Speichervolumens je m<sup>2</sup> Kollektorfläche für einen solaren Deckungsanteil von 50 %: 4 – 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>FK</sub> (Mangold et al., 2001a)
- Zur Anlagendimensionierung sollte ein genaues Bedarfsprofil ermittelt werden. Hierfür sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich, die eine bedarfsgerechte Auslegung des Speichers ermöglichen.



#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen) und Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden, jedoch stark abhängig von hydrogeologischen und hydrochemischen Bedingungen am Standort
- Zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) möglich, bei Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C (Buderus, 2004) in dezentralen Speichern notwendig
- Bisherige Pilotprojekte: Beispielprojekt in Rostock-Brinckmanshöhe, 108 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von 7.000 m<sup>2</sup>, Speichergroße: 25.000 m<sup>3</sup> (Rundel et al., 2013)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Anzeigepflicht nach § 49 I WHG und § 8 GeolDG  
Vorhaben Tiefe >100 m zusätzlich Anzeige nach § 127 BBergG
- Wasserrechtliche Genehmigung erforderlich
- Gegebenenfalls bergrechtliche Genehmigung erforderlich
- Beachtung der GrwV
- Gegebenenfalls Beachtung von StandAG, AwSV, UVPG, BImSchG, BImSchV, LImSchG und TA Luft

#### ■ Investitionskosten

- ca. 30 €/m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> bei einem Speichervolumen von ca. 5.000 m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> (Mangold et al., 2007)
- Studie: 50 – 130 €/m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> bei einem Speichervolumen von 22.000 – 35.000 m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> (Mangold et al., 2007)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)
- [KWK-Zuschlag \(§§ 22 – 25 KWKG\)](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)

- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)
- Landesebene:
  - Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
  - Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
  - Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
  - Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
  - Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
  - Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 6: Technische Anforderungen an Aquiferspeicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	5 – 95 °C (Lassacher et al., 2018)
Spezifische Wärmekapazität	30 – 40 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Mangold et al., 2001b)
Wirkungsgrad	45 – 75 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Grundwasser / möglichst nach oben und unten abgeschlossene Grundwasserschichten (Mangold et al., 2001b)
Anforderungen an den Standort	Abgeschlossen nach oben und unten durch dichte Schicht, hohe Porosität, Grundwasser und hohe Durchlässigkeit notwendig (Mangold et al., 2001b)
Zykluslebensdauer	5.000 – 10.000 Zyklen / >20 Jahre (Jahnke, 2019), (Lassacher et al., 2018)
Recyclingfähigkeit	Hauptmaterial Sonde: Polypropylen, Polyethylen (Rosenkranz, 2020) → werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung möglich (UBA, 2020b) Wasser-Glykol-Gemisch: Recycling möglich (Glysofor, 2020)
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Langzeit- und Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Jahr) (Seitz et al., 2018)

**Best-Practice-Beispiel – Aquiferspeicher**



Abbildung 8: Aquiferspeicher in Rostock-Brinckmanshöhe (Schmidt und Müller-Steinhagen, 2004) (Abbildung von Solites).

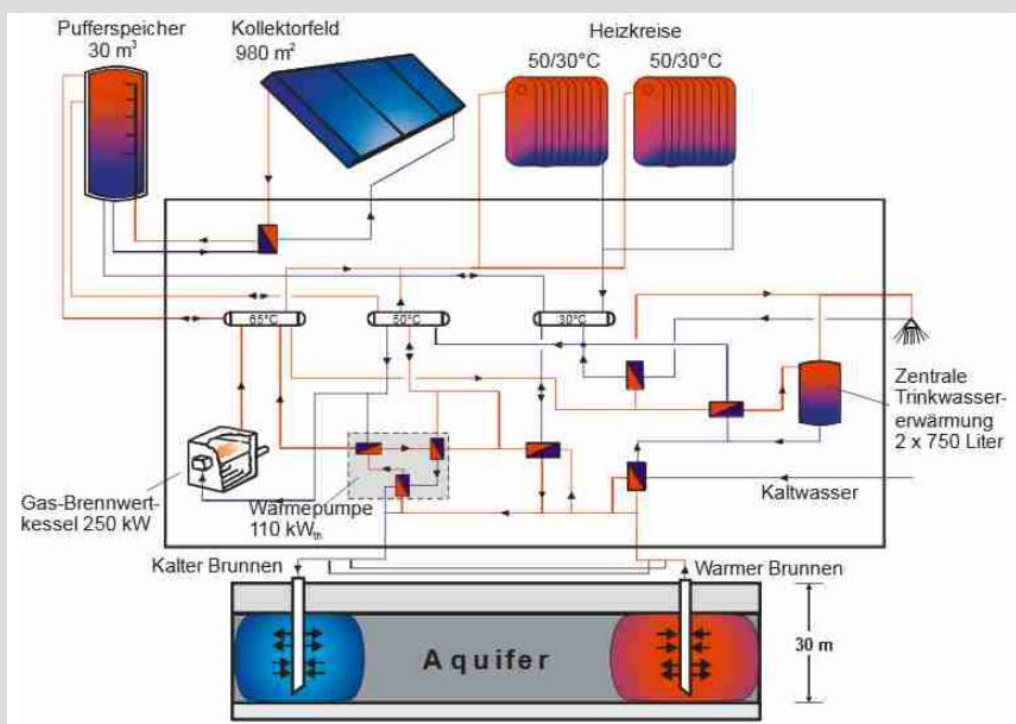


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Aquiferspeichersystems (Werschky et al., 2019) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)).

Tabelle 7: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Aquiferspeicher.

<b>Standort</b>	<b>Rostock-Brinckmanshöhe</b>
<b>Wärmebedarf</b>	622 MWh <sub>th</sub> /a (Müller et al., 2014)
<b>Wärmeabnehmer</b>	108 Wohneinheiten in Mehrfamilienhaus (Müller et al., 2014) Wohnfläche: 7.000 m <sup>2</sup> (Müller et al., 2014) Gebäude-Energiestandard: Neubau
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Nahwärmenetz mit Solarwärme gekoppelt an einen Erdgaskessel sowie eine Kompressionswärmepumpe (Aquiferspeicher als Wärmequelle) (Kollektorfläche: 980 m <sup>2</sup> , ca. 47 % Deckungsgrad) (Müller et al., 2014)
<b>Speichervolumen</b>	25.000 m <sup>3</sup> (Müller et al., 2014)
<b>Installierte Leistung der Kompressionswärmepumpe</b>	110 kW <sub>th</sub> (Müller et al., 2014)
<b>Speicherdauer</b>	Langzeitwärmespeicherung (Monate)

### 3.1.4 Erdwärmesondenspeicher

#### ■ Systembeschreibung

Bei Erdwärmesondenspeichern oder Erdwärmekollektoren dient Erdreich bzw. Gestein als Speichermedium und die Erdwärmesonden (in der Regel Doppel-U-Rohre) dienen als Wärmeübertrager zum Be- und Entladen des Speichermediums. Sie finden häufig als Quartierspeicher bei großen solaren Wärmeversorgungen zur Gebäudeheizung und -kühlung Anwendung.

Die Speichergroße der bisher realisierten drei Pilotanlagen in Kombination mit einem Nahwärmenetz (Neckarsulm, Attenkirchen und Crailsheim) liegt zwischen rund 6.800 m<sup>3</sup> und 115.000 m<sup>3</sup>. Hierbei decken die solaren Nahwärmenetze mit thermischen Speichern den Wärmebedarf von 21 bis 300 Wohneinheiten, was einer Wohnfläche von 6.200 m<sup>2</sup> bis 40.000 m<sup>2</sup> entspricht (Müller et al., 2014), (Bauer et al., 2008), (Neupert et al., 2009).

Die Speichertemperatur liegt beim Be- und Entladen des Speichers zwischen 4 °C und 35 °C (Andresen et al., 2017). Aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus, des geringen Bauaufwands und der einfachen Erweiterbarkeit ist die Speichertechnologie zum Betrieb von Wärmepumpen in Kombination mit einem Niedertemperatur-Nahwärmenetz geeignet. Hierfür sind insbesondere Neubauten mit guter Wärmedämmung und Fußbodenheizung praktikabel. Falls das Wärmenetz den Wärmebedarf für die TWW-Bereitung neben dem für die Raumheizung decken soll, ist eine Nachheizung zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C (Buderus, 2004) für Mehrfamilienhäuser notwendig. Der Wärmetransport eines Erdwärmesondenspeichers erfolgt durch Wärmeleitungen innerhalb des festen Gesteins. Beispielsweise wird in den Sommermonaten das durch Solarkollektoren erhitzte Wasser mittels Erdwärmesonden im Gestein im Untergrund gespeichert und bei Bedarf in den Wintermonaten wieder entzogen.

Typische Werte für den Bohrloch-Durchmesser liegen bei 100 mm bis 200 mm, die Abstände zwischen zwei Bohrlöchern bei 1,50 m bis 3 m und die Bohrlochtiefe bei 20 m bis 100 m (Heidemann et al., 2005).

Die potenzielle Wärmeleistung des Erdwärmesondenspeichers ist in Abhängigkeit von den geologischen Randbedingungen sowie den verfügbaren Flächen begrenzt und Spitzenlasten müssen über einen Pufferspeicher, einen zusätzlichen Wärmeerzeuger oder thermische Regeneration des Erdreichs (z. B. mittels Solarabsorber) (Grimm et al., 2018) im Gesamtsystem ausgeglichen werden. Neben einer aktiven Wärmeeinspeicherung kann natürliche, geothermische Erdwärme als Wärmequelle für elektrische Wärmepumpen zur passiven sommerlichen Kühlung (Wärmeabgabe an den Erdspeicher erfolgt nur über einen Wärmeübertrager) und zur Heizung verwendet werden.

Forschungsbedarf besteht in der Entwicklung zur Nutzung des Erdreichs unter dem Gebäude mit dem Ziel der Reduzierung der Erschließungskosten und in der Entwicklung von verlässlichen Erkundungs- und Beobachtungsmethoden zur nachhaltigen Untergrundnutzung (FVEE, 2020). Dabei ist die Einbindung thermischer Speicher für Niedertemperatur-Nahwärmenetze mit gut gedämmten Gebäuden aus energetischer Sicht sinnvoll.

#### ■ Systemauslegung

- In der Richtlinie VDI 4640 Blatt 3 (VDI 4640 Blatt 3, 2001) werden Fragen der Materialauswahl, der Umweltauswirkungen, der erforderlichen Genehmigungen und der Systemeinbindung näher betrachtet.
- Zur fachgerechten und nachhaltigen Dimensionierung eines Erdwärmekollektors ist die Durchführung eines Thermal Response Test (Berechnung der effektiven Wärmeleitfähigkeit) zur Bestimmung der thermischen Eigenschaften des Untergrunds erforderlich (Sanner et al., 2000).

- Grober Richtwert des Speichervolumens je m<sup>2</sup> Kollektorfläche für einen solaren Deckungsanteil von 50 %: 8 – 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>FK</sub> (Mangold et al., 2001a)
- Zur Anlagendimensionierung sollte ein genaues Bedarfsprofil ermittelt werden. Hierfür sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich, die eine bedarfsgerechte Auslegung des Speichers ermöglichen.

#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen), im Einzelfall mit dezentraler Wärmepumpe auch für Einzelgebäudeversorgung
- Bei TWW-Bereitung in Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C (Buderus, 2004) in dezentralen Speichern notwendig.
- Bisherige Pilotprojekte: 21 – 300 Wohneinheiten mit einer Wohnfläche von 6.200 – 40.000 m<sup>2</sup> / Speichergröße: 6.800 – 115.000 m<sup>3</sup> (Müller et al., 2014), (Bauer et al., 2008), (Neupert et al., 2009), (Mangold et al., 2001a)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Anzeigepflicht nach § 49 I WHG und § 8 GeolDG  
Vorhaben Tiefe >100 m zusätzlich Anzeige nach § 127 BBergG
- Wasserrechtliche Genehmigung erforderlich
- Gegebenenfalls bergrechtliche Genehmigung erforderlich
- Beachtung der GrwV
- Gegebenenfalls Beachtung von StandAG, AwSV, UVPg, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- 50 – 100 €/m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> bei einem Speichervolumen von 4.500 – 16.000 m<sup>3</sup><sub>Wasseräquivalent</sub> (Mangold et al., 2007)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.
- Bundesebene.

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)

- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)
- Landesebene
  - Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
  - Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
  - Hamburg: [Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher](#)
  - Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
  - Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
  - Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
  - Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 8. Technische Anforderungen an Erdwärmesondenspeicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	4 – 35 °C (Andresen et al., 2017)
Spezifische Wärmekapazität	15 – 30 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Mangold et al., 2001b)
Wirkungsgrad	45 – 75 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Erdreich bzw. Gestein / vertikale Doppel-U-Rohr-Sonden in wassergesättigtem Erdreich
Anforderungen an den Standort	Bodenklasse I–III, Grundwasser günstig, Bohrung von 30 bis 100 m <sub>Tiefe</sub> (Mangold et al., 2001b)
Zykluslebensdauer	5.000 – 10.000 Zyklen / >20 Jahre (Jahnke, 2019), (Lassacher et al., 2018)
Recyclingfähigkeit	Hauptmaterial Sonde: Polypropylen, Polyethylen (Rosenkranz, 2020) → werkstoffliche, rohstoffliche und energetische Verwertung möglich (Rosenkranz, 2020) Wasser-Glykol-Gemisch: Recycling möglich (Glysofor, 2020)
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Langzeit- und Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Jahr) (Seitz et al., 2018)

**Best-Practice-Beispiel – Erdwärmesondenspeicher 1**



Abbildung 10: Solarsiedlung in Neckarsulm (Solites, 2021b).

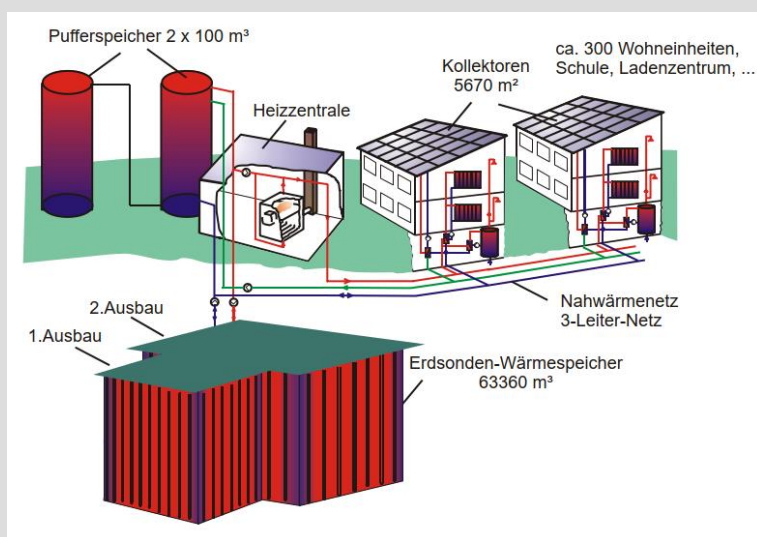


Abbildung 11: Schematische Darstellung des solaren Nahwärmenetzes in Kombination mit einem Erdwärmesondenspeicher in Neckarsulm (Nußbicker et al., 2004) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)).

Tabelle 9: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdwärmesondenspeicher.

<b>Standort</b>	<b>Neckarsulm</b>
<b>Wärmebedarf</b>	2.647 MWh <sub>th</sub> /a (2006) (Bauer et al., 2008)
<b>Wärmeabnehmer</b>	300 Wohneinheiten und eine Schule mit einer Turnhalle (Bauer et al., 2008) Wohnfläche: 20.000 m <sup>2</sup> (Mangold et al., 2001a) Gebäude-Energiestandard: Neubau nach WSchVO (1998)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Nahwärmeversorgung mit einer Wärmepumpe und einem Gaskessel in Kombination mit Solarkollektoren (Kollektorfläche: 5.670 m <sup>2</sup> / ca. 50 % Deckungsgrad) (Bauer et al., 2008)
<b>Speichervolumen</b>	115.000 m <sup>3</sup> (Erdwärmekollektor, Endausbau), 200 m <sup>3</sup> (Pufferspeicher – Spitzenlastkessel) (Neupert et al., 2009)
<b>Installierte Leistung der Wärmepumpe</b>	512 kW <sub>th</sub> (Bauer et al., 2008)
<b>Speicherdauer</b>	Langzeitwärmespeicherung (Monate)



**Best-Practice-Beispiel – Erdwärmesondenspeicher 2**



Abbildung 12: Siedlung des Baugebietes (Modell: Stadt Crailsheim) (Bauer et al., 2008).

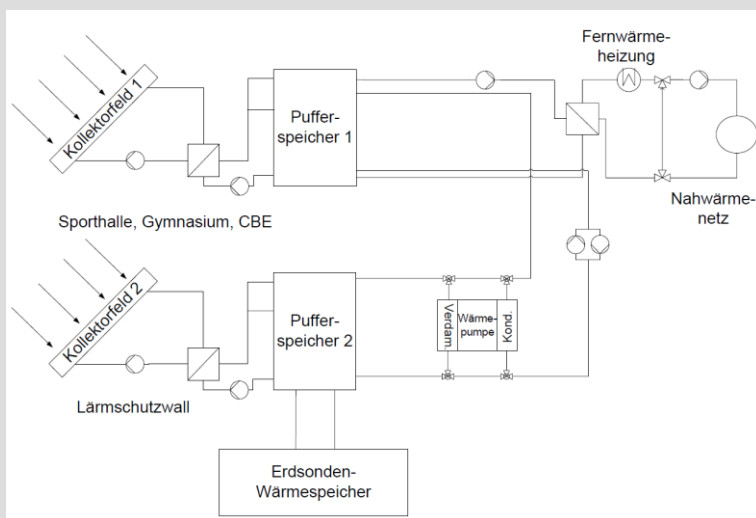


Abbildung 13: Solar unterstütztes Nahwärmesystem angeben an den Erdwärmesondenspeicher (Bauer et al., 2007).

Tabelle 10: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdwärmesondenspeicher mit Pufferspeichern (Bauer et al., 2008).

<b>Standort</b>	<b>Crailsheim Hirtenwiesen</b>
<b>Wärmeerzeuger</b>	Solarthermieanlagen auf Gebäuden (2.500 m <sup>2</sup> / 1.250 kW <sub>th</sub> ) Solarthermieanlage auf Lärmschutzwall (5.000 m <sup>2</sup> / 2.500 kW <sub>th</sub> ) Wärmepumpe 480 kW <sub>th</sub>
<b>Wärmeabnehmer</b>	Wohngebäude und gewerbliche Nutzung
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Saisonale Speicherung solar erzeugter Wärme mittels Erdsonden-Wärmespeichers zur Erhöhung des solaren Deckungsgrades auf mindestens 50 % → Diskrepanz zwischen Wärmegewinnung im Sommer und Wärmebedarf im Winter
<b>Speichervolumen</b>	Saisonaler Speicher: 39.000 m <sup>3</sup> 2 Pufferspeicher: 100 m <sup>3</sup> , 480 m <sup>3</sup>
<b>Speichernutzungsgrad</b>	73 %
<b>Feldgröße</b>	80 Sonden mit 55 m Erschließungstiefe (10 m Sondenabstand)
<b>Speicherdauer</b>	Saisonaler Speicher
<b>Betriebstemperatur</b>	53 °C Speichertemperatur im September 22 °C Speichertemperatur im März



### 3.1.5 Wasserspeicher für Power-to-Heat-Anlagen (Elektrodenheizkessel)

#### ■ Systembeschreibung

PtH-Anlagen (Power-to-Heat) basieren auf dem Prinzip der unmittelbaren Umwandlung elektrischer Wirkleistung in Wärme. Die Grundlagen bilden zwei unterschiedliche Varianten:

- Widerstands-Heißwasserkessel (Tauchsieder-Prinzip): Der Heizleiter wird als leitfähiges Material genutzt, um das Wasser mittels des elektrischen Widerstands des Stroms zu erhitzen und Wärme an den Kessel abzugeben.
- Elektroden-Heißwasserkessel: Wärme wird mittels Elektroden ins Wasser eingebracht und ohne Widerstands-Heizelemente an den Kessel abgegeben.

Elektrodenheizkessel werden bereits als etablierte Technologie in Fernwärmenetzen und zur Prozessdampferzeugung verwendet, wobei die Bereitstellung negativer Regelleistung im Vordergrund steht (Agora Energiewende, 2014).

In der Regel kommen PtH-Anlagen als großflächige Anwendungen zum Einsatz und können mit KWK-Anlagen und Fernwärmenetzen mit verschiedenen Übergabetechnologien (Neubau und Bestandsgebäude) (Netztemperatur 130 °C) gekoppelt werden (Bücken et al., 2017). Ihre Leistungsklassen reichen von 550 kW<sub>th</sub> (SW Forst) bis 100 MW<sub>th</sub> (EnBW) (Kühne, 2015).

Ein Wasserspeicher in Kombination mit einer PtH-Anlage kann die Wirtschaftlichkeit erhöhen und zum Beispiel bei einem unvorhersehbaren Regelleistungsbedarf eine hohe Flexibilität der Stromversorgung ermöglichen (Agora Energiewende, 2014). Darüber hinaus kann die Spitzenleistung von fossilen Kraftwerken beispielsweise durch den Einsatz von PtH-Anlagen in Fernwärmenetzen ersetzt werden. Dies bietet Potenzial zur Integration von EE sowie zur damit einhergehenden Dekarbonisierung, vor allem in bestehenden Fernwärmenetzen mit Bestandsgebäuden.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich einer kombinierten Betrachtung von PtH-Anlagen mit Fernwärmenetzen und deren Rückwirkung auf die Regelung der Spannung von Übertragungsnetzen.

#### ■ Systemauslegung

- Elektrodenheizkessel sind für einen Spannungsanschluss zwischen 5 kV und 20 kV ausgelegt (Bechem et al., 2015).
- Ab 5 MW<sub>th</sub> Leistung im Bereich Sekundär- und Minutenreserve möglich (Biedermann und Kolb, 2014)
- Die detaillierte Auslegung eines Elektrodenheizkessels erfolgt in Anlehnung an Herstellerangaben.

#### ■ Anwendungsbereich

- Fernwärmenetze mit verschiedenen Übergabetechnologien (Neubau und Bestandsgebäude)
- Zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) mit unterschiedlichen Übergabetechnologien möglich
- Bisherige Pilotprojekte: Leistungsklasse zwischen 550 kW<sub>th</sub> und 100 MW<sub>th</sub> (Kühne, 2015) / Beispielsweise versorgt die an ein Fernwärmenetz gekoppelte PtH-Anlage in Hamburg mit einer Leistung von 45 MW<sub>th</sub> (20 m<sup>3</sup>) ca. 13.500 Wohnungen (Schmid, 2020a).

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm

- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- 100 €/kW<sub>el</sub> für einen Kessel mit 10 MW<sub>th</sub> (Bechem et al., 2015)
- 50 €/kW<sub>el</sub> für einen Kessel mit 40 MW<sub>th</sub> (Bechem et al., 2015)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [KWK-Zuschlag \(§§ 22 – 25 KWKG\)](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
- Hamburg: [Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher](#)
- Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 11: Technische Anforderungen an Pth-Anlagen.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	<130 °C (Drücke zwischen 30 und 50 bar) (Kühne, 2015)
Spezifische Wärmekapazität	60 – 80 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Mangold et al., 2001a)
Wirkungsgrad	45 – 75 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Mit Wasser gefüllter Behälter, in dem mindestens eine mit einem öffentlichen Stromnetz verbundene Elektrode angeordnet ist
Anforderungen an den Standort	Gut stehender Boden, Stromanschluss auf Mittelspannung erforderlich (Bereitstellung negativer Regelleistung)
Zykluslebensdauer	30 Jahre (Estermann et al., 2017)
Recyclingfähigkeit	Hauptbaumaterial Stahl: Recycling möglich / Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Recycling möglich; Polyurethan, Polystyrol u. a.: Recycling theoretisch möglich (Schneider et al., 2011)
Reaktionszeit	<30 Sekunden (Vattenfall, 2020a)
Speicherdauer	Minuten – Wochen (BVES, 2018)

Best-Practice-Beispiel – Power-to-Heat-Anlagen

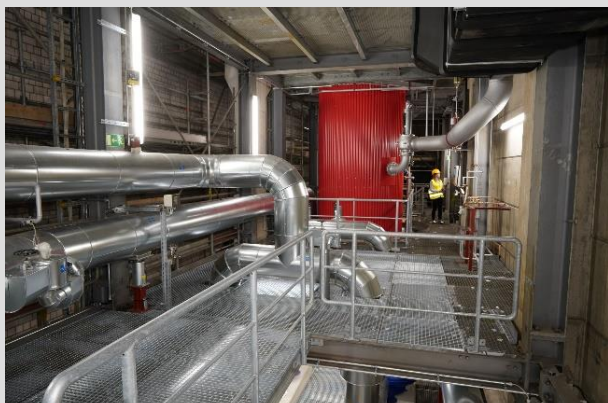
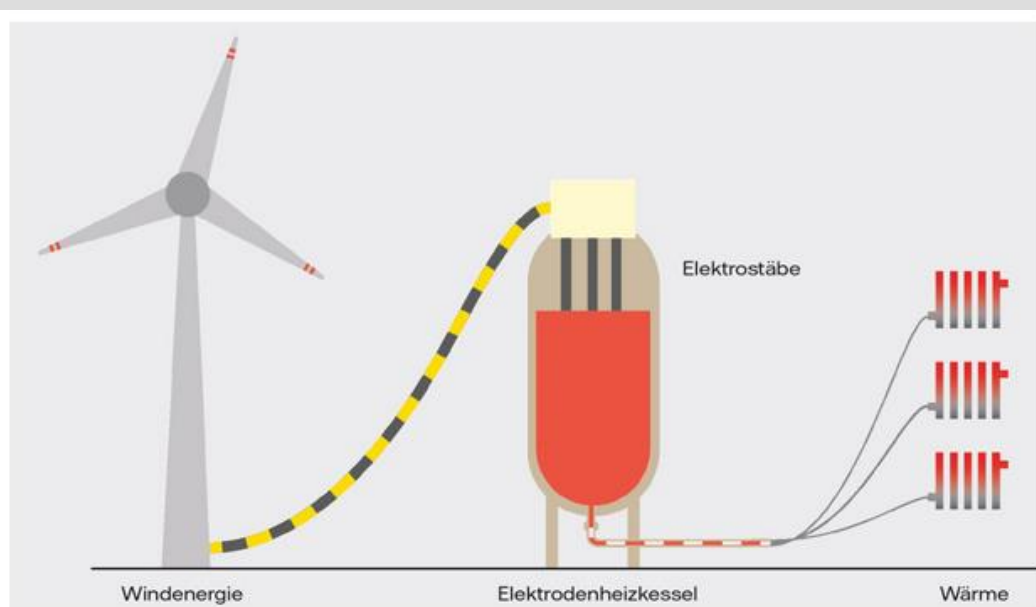


Abbildung 14: Elektrodenheizkessel Karoline in Hamburg (Wärme Hamburg GmbH, 2021).



(Bild von SaltX Technology)

Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des Betriebs eines Elektrodenheizkessels für die PtH-Anwendung (Vattenfall, 2020b) (Abbildung von SaltX Technology).

Tabelle 12: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Power-to-Heat-Anlagen.

<b>Standort</b>	<b>Hamburg</b>
<b>Wärmebedarf</b>	100 MWh <sub>th</sub> (2015) (Jersch, 2016)
<b>Wärmeabnehmer</b>	Ca. 13.500 Wohnungen (Schmid, 2020a)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Nutzung der Windenergie aus Schleswig-Holstein / Deckung der Spitzenlast eines bestehenden Fernwärmenetzes in Hamburg
<b>Speichervolumen</b>	20 m <sup>3</sup> (Schmid, 2020a)
<b>Installierte Leistung</b>	45 MW <sub>th</sub> (Schmid, 2020a)
<b>Reaktionszeit</b>	<30 Sekunden (Vattenfall, 2020b)
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Tage)

## 3.2 Sensible Wärme- und Kältespeicherung (dezentral und gebäudeintegriert)

### 3.2.1 Gebäudeintegrierte Wasserspeicher für kalte Nahwärmenetze

#### ■ Systembeschreibung

Ein kaltes Nahwärmenetz verfügt über mehrere dezentrale Wärmepumpen mit gebäudeintegrierten Speichern. Wärme wird in diesem Fall aus einer oder mehreren Wärmequellen (z. B. Abwärme, Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren) gewonnen und dann durch ein Wärmenetz an die umliegenden Gebäude verteilt. Dabei liegt die Netztemperatur unter 30 °C (Pehnt et al., 2017).

Geeignet ist diese Technik für gut gedämmte Gebäude mit niedrigem Heizwärmebedarf bzw. Neubaugebiete. Zum Betrieb von kalten Wärmenetzen ist der Einsatz von Fußbodenheizungen in Gebäuden energetisch sinnvoll.

Der Vorteil einer technischen Quellenanbindung über ein gesondertes kaltes Wärmenetz liegt vor allem in der Möglichkeit, verschiedene Umweltquellen zentral in das Netz einbinden zu können. Somit profitiert der Betrieb der dezentralen Wärmepumpen durch die nicht ortsgebundene Einbindung von Umweltenergie.

Beim Einsatz von dezentralen Wärmepumpen können thermische Energiespeicher für die Raumheizung und TWW-Bereitung zur Optimierung des lokalen PV-Eigenstromverbrauchs beitragen. Anhand des stromgeführten Wärmepumpenbetriebs kann Überschussstrom aus PV-Anlagen mithilfe dezentraler Wärmepumpen in Form von Wärme gespeichert und zeitversetzt abgerufen werden. Dies erhöht gleichzeitig den EE-Anteil bei der Wärmebereitstellung.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Entwicklung neuer Betriebsstrategien von Wärmepumpen, die einen stromgeführten Wärmepumpenbetrieb ermöglichen. Darüber hinaus sollten der Einsatz von verbesserten Wärmedämmmaterialien und die Integration von Phasenwechselmaterialien (englisch: Phase Change Materials, PCM) weiter untersucht werden. Dieses Wärmeversorgungskonzept kann vor allem für Niedertemperatur-Nahwärmenetze mit Neubauten eingesetzt werden.

#### ■ Systemauslegung

- Grober Richtwert des Speichervolumens von Wärmepumpen (Raumheizung): 60 – 80 l/kW<sub>th</sub> (VIESSMANN, 2012c)
- Die Auslegung des TWW-Speichers erfolgt in Anlehnung an DIN 4708 (DIN 4708, 1994).

#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen)
- Bei kalten Wärmenetzen (Netztemperatur unter 30 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C (Buderus, 2004) in dezentralen Speichern notwendig.
- Bisherige Pilotprojekte: ein kaltes Nahwärmenetz in Wüstenrot mit 25 Wohngebäuden (KfW-55-Standard) (Pietruschka, 2016a) / Speichergroße: 0,2 – 0,4 m<sup>3</sup> dezentrale Warmwasserspeicher für Einfamilienhäuser (eigene Abschätzung)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Keine spezielle Genehmigung erforderlich

#### ■ Investitionskosten

- 130 – 510 €/kWh<sub>th</sub> bei einem Speichervolumen von 50 – 300 l (KEA-BW, 2022)
- 2,37 – 2,73 €/l (ca. 830 – 1.200 €) bei einem Speichervolumen von 301 – 500 l (KEA-BW, 2022)
- 1,88 – 2,37 €/l (ca. 1.200 – 1.900 €) bei einem Speichervolumen von 501 – 1.000 l (KEA-BW, 2022)
- 0,75 – 1,88 €/l (ca. 1.900 – 3.750 €) bei einem Speichervolumen von 1.001 – 5.000 l (KEA-BW, 2022)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
- Hamburg: [Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 13: Technische Anforderungen an gebäudeintegrierte Wasserspeicher in kalten Nahwärmenetzen.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	Max. Speichertemperatur 80 – 90 °C (KEA-BW, 2022)
Spezifische Wärmekapazität	2 – 19 kWh <sub>th</sub> (KEA-BW, 2022)
Wirkungsgrad	45 – 75 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Wasser / wassergefüllter Behälter mit einer Wärmedämmung und einem innen liegenden oder externen Wärmeübertrager
Anforderungen an den Standort	Gut stehender Boden, Mindestabstand zur Wand >200 mm (Wolf GmbH, 2017)
Zykluslebensdauer	15 – 20 Jahre (KEA-BW, 2022)
Recyclingfähigkeit	Hauptbaumaterial Stahl: Recycling möglich / Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen: Recycling möglich; Polyurethan, Polystyrol u. a.: Recycling theoretisch möglich (Schneider et al., 2011)
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Stunden – Tage

**Best-Practice-Beispiel – Gebäudeintegrierte Wasserspeicher für kalte Nahwärmenetze**



Abbildung 16: Foto Gemeinde Wüstenrot II (Pietruschka, 2016a).



Abbildung 17: Energiekonzept der Gebäude in der Plusenergiesiedlung (Pietruschka 2016b) (Abbildung von Brennenstuhl).

Tabelle 14: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für gebäudeintegrierte Wasserspeicher in kalten Nahwärmenetzen.

<b>Standort</b>	<b>Wüstenrot</b>
<b>Wärmebedarf</b>	250 MWh <sub>th</sub> /a (Pietruschka, 2016a)
<b>Wärmeabnehmer</b>	25 Wohngebäude (Pietruschka, 2016a) Gebäude-Energiestandard: KfW-55-Standard (Pietruschka, 2016a)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Wärmeversorgung durch ein kaltes Nahwärmenetz in Kombination mit dezentralen Wärmepumpen und Wärmespeichern (Stromversorgung mit PV-Anlagen / 6 Gebäude mit Stromspeicher für Lastmanagement) (Pietruschka, 2016a)
<b>Speichervolumen</b>	0,2 – 0,4 m <sup>3</sup> Einfamilienhaus (EFH) (eigene Abschätzung)
<b>Installierte Leistung der Wärmepumpe</b>	6 – 8 kW <sub>th</sub> (Pietruschka, 2016b)
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Tage)



### 3.3 Latentwärme- und Kältespeicher

#### 3.3.1 Eisspeicher

##### ■ Systembeschreibung

Eisspeicher dienen sowohl als Wärmequelle wie auch als saisonale Wärmespeicher. Sowohl für Ein- und Zweifamilienhäuser als auch für größere Gebäude oder als Einbindung ins kalte Nahwärmenetz sind technische Lösungen verfügbar (Werschky et al., 2019).

Geeignet ist die Technik für gut gedämmte Gebäude mit Fußbodenheizungen in Neubaugebieten. Dabei erfolgt die TWW-Bereitung dezentral mit einer Nachheizung. Eisspeicher können als Wärme- und Kältespeicher eingesetzt werden. Große Eisspeicher können nur unterirdisch realisiert werden, wobei ihr Platzbedarf aufgrund der hohen Wärmespeicherkapazität geringer ist als der von sensiblen Wärmespeichern.

Häufig werden Eisspeicher in Verbindung mit einer elektrisch angetriebenen Sole-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit thermischen Solaranlagen eingesetzt. Dabei entzieht die Wärmepumpe dem Eisspeicher die benötigte Wärme zur Raumheizung und TWW-Bereitung in den Wintermonaten, wodurch das Wasser zu Eis gefriert. Zusätzliche Energie wird durch den Phasenwechsel in Form von Kristallisationsenergie für den Betrieb der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt. Dabei bietet der Phasenwechsel des Speichermediums zusätzliche Speicherkapazität.

Bei der Be- und Entladung des Speichers variiert die Speichertemperatur zwischen  $-7\text{ °C}$  und  $25\text{ °C}$  (VIESSMANN, 2012b). Zur Regeneration des Eisspeichers wird thermische Energie über thermische Solaranlagen und über das umgebende Erdreich zugeführt. Dabei erhöht die Nutzung der Solarwärme in einem Eisspeicher für die spätere Nutzung im Quartier den EE-Anteil in der Wärmeversorgung.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der wirtschaftlichen Bewertung von Lastverschiebungspotenzialen beim Einsatz von Eisspeichern für Neubausiedlungen im Kontext der Sektorenkopplung.

##### ■ Systemauslegung

- Eisspeicher sind vollständig in das Erdreich eingelassen und mit Wasser befüllt. Das erforderliche Wasservolumen wird aus der Heizlast und der Kühlleistung berechnet. Beispielsweise ist für eine Heizleistung von  $10\text{ kW}_{\text{th}}$  ein Wasservolumen von ca.  $10\text{ m}^3$  erforderlich (VIESSMANN, 2012a).
- Aufgrund der hohen Systemkomplexität (Wärmepumpe, Solarkollektor und Eisspeicher) kann Simulationssoftware, zum Beispiel TRNSYS (Solar Energy Laboratory – University of Wisconsin, 2005) oder Polysun (Vela Solaris AG, 2018), den Planungsprozess von großen Gebäuden oder Wärmenetzen unterstützen.

##### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz oder kaltes Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen), auch Nutzung für gebäudeintegrierte Systemlösungen möglich
- Bei TWW-Bereitung in Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter  $55\text{ °C}$ ) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens  $55\text{ °C}$  (Buderus, 2004) in dezentralen Speichern erforderlich.

- Bisherige Pilotprojekte: eine Neubausiedlung in Köln-Porz mit einer Wohnfläche von ca. 7.600 m<sup>2</sup> (vier Mehrfamilienhäuser), Speichergröße: ca. 1.200 m<sup>3</sup> (Mnich, 2013).

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatschG

#### ■ Investitionskosten

- Grober Richtwert für die Speichergröße von 100 m<sup>3</sup>:
  - Sole-Wasser-Wärmepumpe: 300 – 2.000 €/kW<sub>th</sub>
  - Eisspeicher: 555 €/m<sup>3</sup>
  - Solarabsorber: 250 €/m<sup>2</sup> (Bockelmann et al., 2018)
- Ca. 45 – 50 €/kWh<sub>th</sub> (inklusive Peripherie: Platten-Wärmeübertrager, Regelung etc.) (Tech und Josfeld, 2008)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.
- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
- Hamburg: [Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher](#)
- Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)

- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 15: Technische Anforderungen an Eisspeicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	-7 – 25 °C (VIESSMANN, 2012b)
Spezifische Wärmekapazität	50 – 150 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Werschy et al., 2019)
Wirkungsgrad	80 % (Tech und Josfeld, 2008)
Speichermedium und -aufbau	Wasser / zylinder- wie auch quaderförmiger Betonbehälter mit einem integrierten Wärmeübertrager
Anforderungen an den Standort	Wärmeentzug, zum Beispiel infolge angrenzender Gebäude, durch ausreichenden Abstand vermeiden (ca. 2 m), Überlauf eines Eisspeichers muss mindestens 1 m tief liegen oder sich unterhalb der Frostschutzgrenze befinden (VIESSMANN, 2016)
Zykluslebensdauer	50 Jahre (Schroeteler et al., 2020)
Recyclingfähigkeit	Hauptbaumaterialien wie Beton, Kunststoffrohr und Stahl sind recyclingfähig. Beim Abbau ist eine Grobsortierung der Materialien vor Ort sinnvoll. / Recyclingprodukt, zum Beispiel Blähglasgranulat, einsetzbar für Wand- und Deckenbereich (Bodmann und Fisch, 2002)
Reaktionszeit	Minuten (Lassacher et al., 2018)
Speicherdauer	Stunden – Monate

Best-Practice-Beispiel – Eisspeicher



Abbildung 18: Klimaschutzsiedlung Urbacher Weg, Köln-Porz (Mnich, 2013).

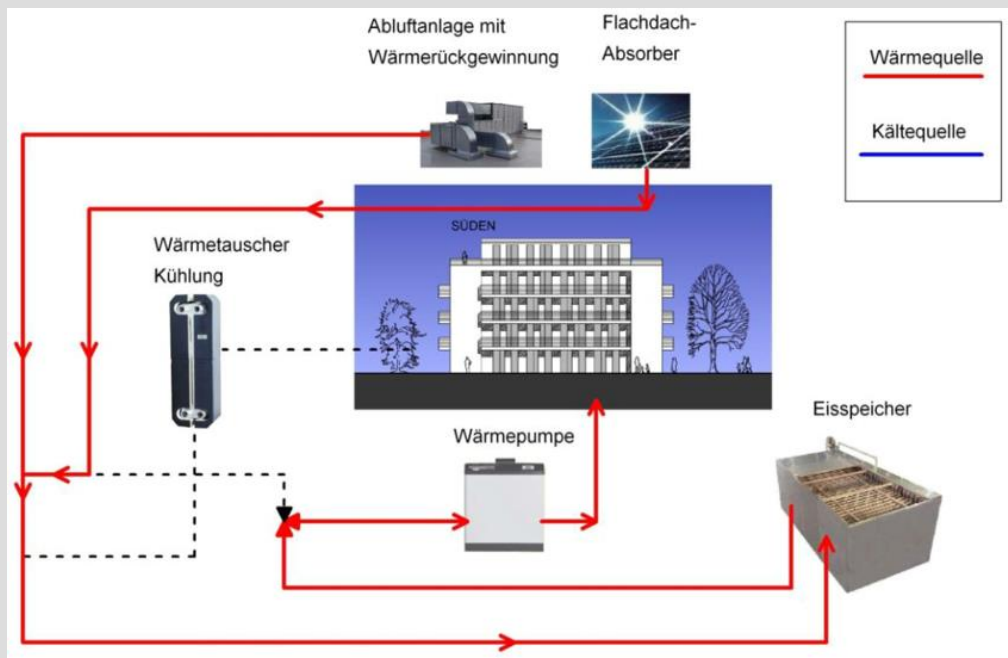


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Wärmeversorgungskonzepts mit einem Eisspeicher (Mnich, 2013).

Tabelle 16: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Eisspeicher.

Standort	Köln-Porz
Wärmebedarf	Ca. 200 MWh <sub>th</sub> /a (Mnich, 2013)
Wärmeabnehmer	4 MFH (112 Wohnungen) (Mnich, 2013) Wohnfläche: 7.560 m <sup>2</sup> (Mnich, 2013) Gebäude-Energiestandard: 26 kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> (Mnich, 2013)
Wärmeversorgungskonzept	Heizung und Kühlung mit Wärmepumpen in Kombination mit einem zentralen Eisspeicher und Solarabsorbern
Speichervolumen	1.197 m <sup>3</sup> (Mnich, 2013)
Installierte Leistung	4 Wärmepumpen / je 66 kW <sub>th</sub> (Mnich, 2013)
Speicherdauer	Langzeitwärmespeicherung (Monate)

### 3.3.2 Phasenwechselmaterialien-Speicher (PCM-Speicher)

#### ■ Systembeschreibung

Phasenwechselmaterialien (englisch: Phase Change Materials, PCM) speichern Wärme im Phasenwechsel des Speichermediums. Im kleinen Maßstab werden PCM-Speicher bereits in vielen Anwendungen eingesetzt und sind kommerziell verfügbar. Für die großtechnische Anwendung ist diese Technologie noch Gegenstand der Forschung und Entwicklung. Eine praxisnahe Erprobung wurde für die Kühlung eines Bürogebäudeareals (vier Bürogebäude mit einer Gesamtnetto-geschossfläche von ca. 43.900 m<sup>2</sup>) durchgeführt (Klein et al., 2017).

Ein wesentlicher Vorteil von PCM-Speichern gegenüber Wasserspeichern besteht in der hohen spezifischen Wärmespeicherkapazität im Temperaturbereich des Phasenwechsels.

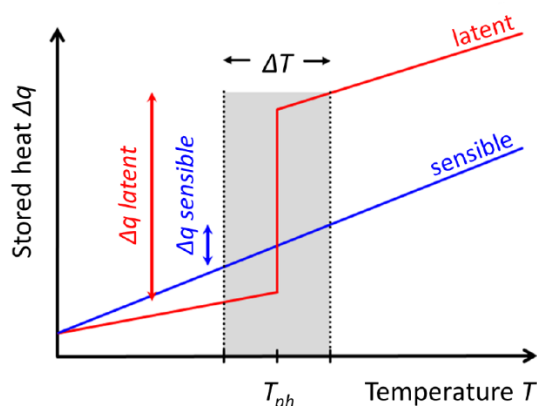


Abbildung 20: Gespeicherte Wärme in Abhängigkeit von der Temperatur (sensible und latente Wärmespeicherung) (BVES, 2022e).

Einige PCM-Salzhydrat-Speicher haben eine höhere sensible Wärmekapazität als Wasserspeicher. Die Materialien decken eine weite Temperaturspanne von ca.  $-50\text{ °C}$  bis über  $600\text{ °C}$  ab, wobei das Hauptanwendungsgebiet heute bei Temperaturen zwischen  $0\text{ °C}$  und  $100\text{ °C}$  liegt (Andresen et al., 2017). Hier werden primär Salzhydrate, Solen und organische PCM eingesetzt.

Die Hauptanwendungen sind passive Gebäudekühlung, Kältespeicher, Pufferspeicher in Heizsystemen und Warmwasserbereitung. Auf Quartiersebene ist die Erhöhung der Speicherdichten eines saisonalen Wärmespeichers mit solarthermischen Anlagen durch die Nutzung von PCM möglich und langfristig denkbar. In den vergangenen Jahren gab es mehrere Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Dabei konnten marktfähige Produkte wie makroverkapselte PCM bereitgestellt werden (Stryi-Hipp et al., 2012). Ob diese für saisonale Speicher wirtschaftlich sind, müsste im Einzelfall berechnet werden.

Hinsichtlich der Einsetzbarkeit von Wasser- und PCM-Speichern erweisen sich Kälteanwendungen aufgrund der relativ geringen Spreizung zwischen Vor- und Rücklaufemperatur als vorteilhaft (Klein et al., 2017).

Forschungsbedarf besteht dahingehend, optimierte Anwendungen von bestehenden Stoffpaaren zu finden. Viele Stoffpaarungen sind bereits kommerziell verfügbar und zählen zum Standard der Technik. Zudem sollte die Be- und Entladung möglichst über eine hohe Zyklenzahl und eine lange Lebensdauer hinweg zuverlässig gestaltet werden (Stryi-Hipp et al., 2012).

#### ■ Systemauslegung

- Den Schwerpunkt der Richtlinie VDI 2164 (VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik, 2016) bilden Planungsgrundlagen und die Leistungsbestimmung von PCM-Speichersystemen (passive Flächenheiz- und -kühlsysteme, aktive Flächenheiz- und -kühlsysteme, dezentrale Lüftungssysteme für den Kühlbetrieb, zentrale Lüftungssysteme für den Heiz- und Kühlbetrieb und Energiespeicher (Medium Wasser)).

#### ■ Anwendungsbereich

- Passive Gebäudekühlung, Kältespeicher, Pufferspeicher in Heizsystemen und Warmwasserbereitung in Gebäuden, Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen) und Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden in Abhängigkeit vom Speichermedium (Phasenwechseltemperatur)
- In Abhängigkeit vom Speichermedium (Phasenwechseltemperatur) ist eine zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) möglich, bei Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C in dezentralen Speichern erforderlich (Buderus, 2004).
- Bisherige Pilotprojekte: Kälteversorgung für ein Bürogebäudeareal in Stuttgart (vier Bürogebäude mit einer Geschossfläche von 43.882 m<sup>2</sup>), Speichergröße: 16 m<sup>3</sup> (PCM-Speicher) (Klein et al., 2017)

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- 200 – 400 €/kW<sub>th</sub> (Niedertemperatur-Latentwärmespeicher) (BVES, 2022e)
- 20 – 100 €/kW<sub>th</sub> (Niedertemperatur-Latentwärmespeicher) (BVES, 2022e), (Lassacher et al., 2018)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

## Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)
- Landesebene:
  - Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
  - Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
  - Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
  - Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
  - Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
  - Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
  - Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 17: Technische Anforderungen an PCM-Speicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	0 – 100 °C (Salzhydrate und Paraffine) (Andresen et al., 2017)
Spezifische Wärmekapazität	80 – 110 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (BVES, 2022e)
Wirkungsgrad	80 – 98 %, je nach Betriebsbedingungen (BVES, 2022e) / 96 % (Kühlung, 21 °C Umgebung) (Hauer et al., 2013) / 75 – 90 %
Speichermedium und -aufbau	Paraffine, Fettsäuren, Polymere, Salze, Salzhydrate u. a. / Integration von PCM in Bauteile von Gebäuden und in Wasserspeicher möglich
Anforderungen an den Standort	Einhaltung der vorgegebenen Systemtemperatur bei der Planung und möglichst geringe Temperaturspreizung im System erforderlich
Zykluslebensdauer	3.500 – 10.000 (BVES, 2022e)
Recyclingfähigkeit	In Abhängigkeit vom Speichermedium unterschiedlich, zum Beispiel verfügen Paraffine über eine gute Umweltverträglichkeit (Cervenka, 2008)
Reaktionszeit	Minuten (BVES, 2022e)
Speicherdauer	Stunden – Wochen (BVES, 2022e)

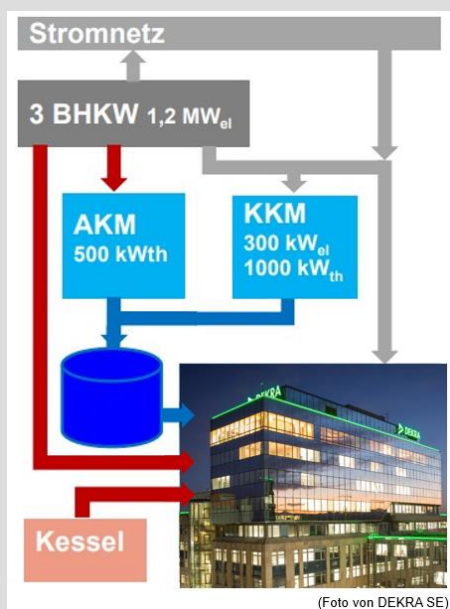
Best-Practice-Beispiel – PCM-Speicher (Kühlung)



(Foto von DEKRA SE)



Abbildung 21: Vorderansicht Gebäude (links) und Übersichtsplan DEKRA-Campus (rechts) (Klein et al., 2017).



(Foto von DEKRA SE)

Abbildung 22: Schematische Darstellung der Kälteversorgung mit einem PCM-Speicher (Gschwander, 2014).

Tabelle 18: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für PCM-Speicher zur Kühlung.

<b>Standort</b>	<b>Stuttgart</b>
<b>Kälteverbrauch</b>	218 MWh <sub>th</sub> (Dezember 2013) (Klein et al., 2017)
<b>Wärmeabnehmer</b>	4 Bürogebäude Gesamtnettogeschossfläche: 43.882 m <sup>2</sup> (ohne Tiefgarage) (Klein et al., 2017)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Wärme-/Kälteerzeugung mit BHKW in Kombination mit Absorptions- und Kompressionskältemaschine
<b>Speichervolumen</b>	Ca. 16 m <sup>3</sup> (PCM) (Klein et al., 2017)
<b>Installierte Leistung</b>	Gas-BHKW: 420 kW <sub>el</sub> , Gaskessel: 1.000 kW <sub>th</sub> , Kompressionskältemaschine: 1.050 kW <sub>th</sub> , Absorptionskältemaschine: 500 kW <sub>th</sub> (Klein et al., 2017)
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Tage)



Best-Practice-Beispiel – Mobiler PCM-Speicher



Abbildung 23: Hallenbäder als potenzielle Abnehmer von Abwärme (Vogelsang, 2020) (Bild: Badi Rothrist).

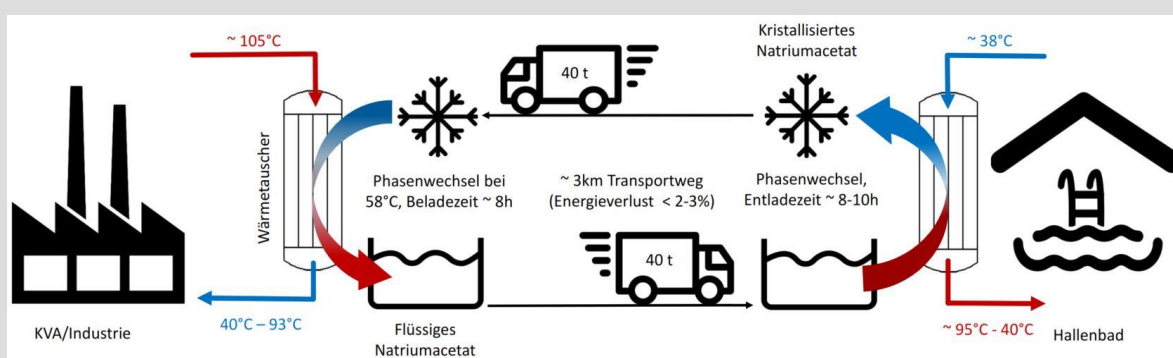


Abbildung 24: Wirkungsprinzip eines Latentwärmespeichers am Beispiel der erzo/Badi Rothrist (Vogelsang, 2020) (Grafik: InfraWatt).

Tabelle 19: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Mobile PCM-Speicher (Vogelsang, 2020).

<b>Standort</b>	<b>Badi Rothrist (Schweiz)</b>
<b>Wärmebedarf</b>	2,1 MWh <sub>th</sub> (pro Lkw-Ladung, 2 – 3 Container/Tag)
<b>Wärmeabnehmer</b>	Hallenbad
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Nutzung eines Teils der Abwärme der Kehrrechtverwertungsanlage erzo in Oftringen in Form eines Latentwärmespeichers, führt diese „mobile Wärme“ in Containern zum Hallenbad Rothrist
<b>Betriebstemperatur</b>	0 – 100 °C (Salzhydrate & Paraffine)
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden – Tage)

Best-Practice-Beispiel – stationärer PCM-Speicher



Abbildung 25: Wärmeversorgungskonzept: PCM-Speicher Futurium Berlin (Bild: Richter Musikowski) (Bauforumstahl, 2017).

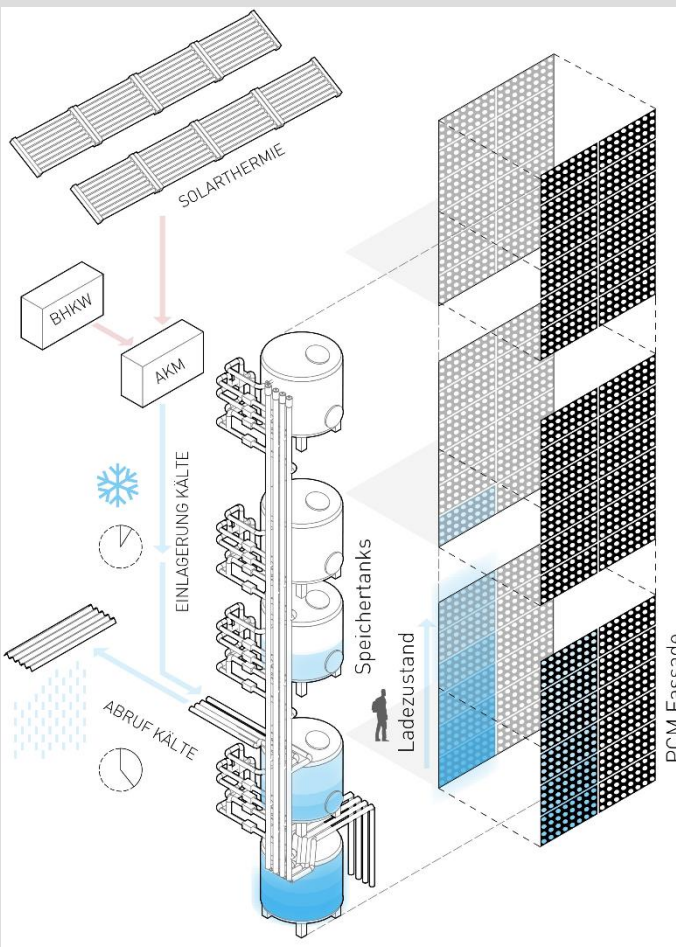


Abbildung 26: Funktionsweise Speicher (Grafik: Richter Musikowski) (Bauforumstahl, 2017).

Tabelle 20: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für stationäre PCM-Speicher (BAU, 2018).

<b>Standort</b>	Berlin
<b>Kältebedarf</b>	2,1 MWh <sub>th</sub> (pro Lkw-Ladung, 2 – 3 Container/Tag)
<b>Wärmeabnehmer</b>	Futurium Berlin
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Beim Futurium wurde erstmals ein PCM-Großspeicher verbaut, der (abgestimmt auf die Absorptionskältemaschine) bei 12 °C seine konstante Be- und Entladetemperatur hat. Dadurch wird es ermöglicht, mit kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Kälteerzeugung und Verbrauch hocheffizient zu arbeiten.
<b>Speichervolumen</b>	5 Paraffin-Tanks mit jeweils ca. 10.000 l, gefüllt mit 55.000 wasserumströmten Paraffin-Elementen
<b>Betriebstemperatur</b>	12 °C (Phasenwechsel)

### 3.4 Thermochemische Wärme- und Kältespeicher

#### ■ Systembeschreibung

Die thermochemische Wärmespeicherung erfolgt durch chemisch reversible Reaktionen oder den Sorptionsprozess (Ab- und Adsorptionsprozess) und zeichnet sich besonders durch eine hohe Energiedichte aus. Aus diesem Grund können thermochemische Speicher für den Ausgleich der Wärmelast in Fernwärmenetzen verwendet werden. Beispielsweise speist eine SaltX-Pilotanlage, durch die sich der Überschussstrom durch einen chemischen Prozess als Wärme speichert, die zwischengespeicherte Energie in ein Fernwärmenetz in Berlin ein und deckt den Wärmebedarf von bis zu 30.000 Haushalten (Vattenfall, 2020c).

Grundsätzlich lassen sich thermochemische Speicher in zwei Gruppen einteilen:

- Sorptionsspeicher und
- Speicher mit reversiblen chemischen Bindungen.

Bei der Beladung des Speichers wird Wärme zugeführt, um chemische und/oder physikalische Reaktionen zu bewirken. Bei der Entladung wird die zuvor zugeführte Wärme wieder freigegeben. Der abgedeckte Temperaturbereich liegt meist bei 50 °C bis 200 °C. Bei bestimmten Materialien können auch Temperaturen von bis zu 1.450 °C erreicht werden (Lassacher et al., 2018). Dies ermöglicht eine Kopplung mit Niedertemperatur-Nahwärmenetzen mit Neubauten und bestehenden Fernwärmenetzen mit Bestandsgebäuden einschließlich zentraler TWW-Bereitung.

Die entscheidenden Vorteile thermochemischer Speicher liegen in der nahezu verlustfreien Wärmespeicherung auch über große Zeiträume sowie in den hohen erreichbaren Energiedichten. Im Vergleich zu Heißwasserspeichern verfügen thermochemische Speicher über bis zu vier- bis fünfmal höhere volumenbezogene Energiedichten (Hauer et al., 2001). Aufgrund der hohen Energiedichte können sie für den Ausgleich in Fernwärmenetzen verwendet werden. Jedoch befinden sich thermochemische Speicher bis auf einzelne Ausnahmen noch in einem frühen, vorkommerziellen Entwicklungsstadium. Daher sind grundlegende Untersuchungen zur Identifizierung geeigneter Reaktionen und zur Steigerung der Entladeleistung erforderlich. Darüber hinaus sollen Speicherkonzepte aus der Kombination verschiedener Speichertechnologien (Hybrid-Speicher: Kopplung zwischen sensiblen, latenten und thermochemischen Speichern) sowohl für Niedertemperatur-Nahwärmenetze als auch für bestehende Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden entwickelt werden (Stryi-Hipp et al., 2012).

#### ■ Systemauslegung

- Die erreichbare Leistung und Energiedichte von thermischen Speichern ist grundsätzlich stark von den gewählten Prozessbedingungen und der Umgebung des Speichers abhängig (Mangold et al., 2001a).

Beispielsweise liegt die theoretische Energiedichte von Adsorptionsspeichern bei rund 200 bis 500 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup>. Im Vergleich dazu liegt die erzielbare Energiedichte in der Praxis bei ca. 130 kWh<sub>th</sub>/m<sup>3</sup> (Rundel et al., 2013).

#### ■ Anwendungsbereich

- Niedertemperatur-Nahwärmenetz mit Neubauten (mit Flächenheizungen wie Fußbodenheizungen) und Fernwärmenetze mit Bestandsgebäuden in Abhängigkeit vom Speichermedium bzw. chemischen Prozess, auch Nutzung für gebäudeintegrierte Systemlösungen möglich

- In Abhängigkeit vom Speichermedium ist eine zentrale TWW-Bereitung und Raumheizung über Fernwärmenetze (Netztemperatur über 80 °C) möglich, bei Niedertemperatur-Wärmenetzen (Netztemperatur unter 55 °C) ist eine Nachheizung (zentrale oder dezentrale Temperaturerhöhung) zur Gewährleistung einer aus hygienischen Gründen erforderlichen Warmwassertemperatur von mindestens 55 °C in dezentralen Speichern erforderlich (Buderus, 2004).
- Bisherige Pilotprojekte: Klimatisierung eines Schulgebäudes (ca. 1.600 m<sup>2</sup>) mit einer Lüftungsanlage in Kombination mit einem thermochemischen Speicher, Speichergröße: 7.000 kg<sub>zeolit</sub>h (Hauer, 2000) / SaltX-Anlage in Kombination mit einem Fernwärmenetz (bis zu 30.000 Haushalte) in Berlin, Speichergröße: 1.000 – 3.000 l<sub>salz</sub> (5.000 m<sup>3</sup>) (Vattenfall, 2020c), (Feldreich, 2017), (Hauer, 2000).

#### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

#### ■ Investitionskosten

- Thermochemische Speicher (allgemein): 8 – 100 €/kWh<sub>th</sub> (Lassacher et al., 2018)
- Sorptionswärmespeicher: 50 – 100 €/kWh<sub>th</sub> (Lassacher et al., 2018)

#### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)

- Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](#)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 21: Technische Anforderungen an thermochemische Speicher.

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	Metallhydride: ca. 280 – 500 °C Silikagele: 40 – 100 °C Zeolithe: ca. 100 – 300 °C (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005)
Spezifische Wärmekapazität	Ca. 200 – 500 kWh <sub>th</sub> /m <sup>3</sup> (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005) / 120 – 960 Wh <sub>th</sub> /kg (Jahnke, 2019)
Wirkungsgrad	80 – 100 % (Jahnke, 2019)
Speichermedium und -aufbau	Zeolithe, Silikagele u. a. / je nach Anwendung von thermochemischen Speichern unterschiedlich
Anforderungen Standort	Abhängig vom Reaktionssystem
Zykluslebensdauer	3.500 (Jahnke, 2019)
Recyclingfähigkeit	Zeolithe, Silikagele, Wasser: nicht brennbar, umweltverträglich und gesundheitlich unbedenklich (Handke et al., 2008)
Reaktionszeit	Minuten (BVES, 2016)
Speicherdauer	Stunden – Wochen, ggf. Monate (BVES, 2016)

**Best-Practice-Beispiel – Sorptionsspeicher**

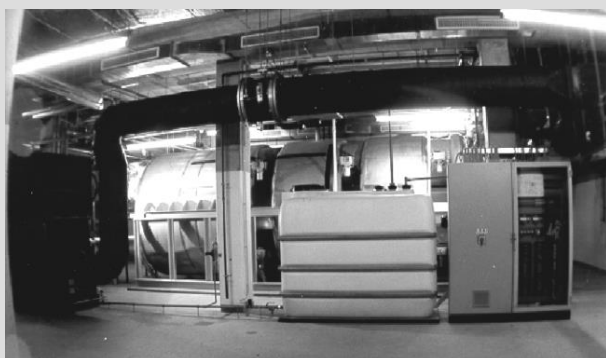


Abbildung 27: Thermochemisches Speichersystem (Hauer, 2000).

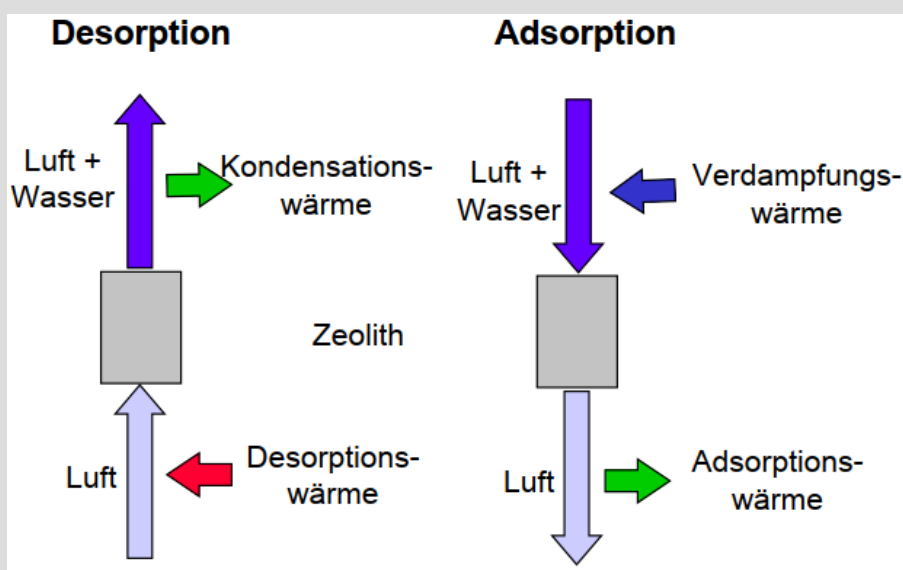


Abbildung 28: Offenes De- und Adsorptionssystem (Hauer, 2000).

Tabelle 22: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für thermochemische Speicher.

<b>Standort</b>	<b>München</b>
<b>Wärmebedarf</b>	ca. 106 MWh <sub>th</sub> /a (Hauer, 2000)
<b>Wärmeabnehmer</b>	Schulgebäude Fläche: 1.625 m <sup>2</sup> (Hauer, 2000) Gebäude-Energiestandard: 65 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> ·a) (Hauer, 2000)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Klimatisierung mit einer Lüftungsanlage in Kombination mit einem thermochemischen Speicher / Beladung des thermochemischen Speichersystems mit Fernwärme (Dampfnetz auf 130 °C in München) in Schwachlastzeiten (Hauer, 2000)
<b>Speichervolumen</b>	7.000 kg <sub>Zeolith</sub> (ca. 10 m <sup>3</sup> ) (Hauer, 2000)
<b>Installierte Leistung der Adsorptionswärmepumpe</b>	1.300 – 1.400 kWh <sub>th</sub> (Hauer, 2000)
<b>Speicherdauer</b>	Kurzzeitwärmespeicherung (Stunden)

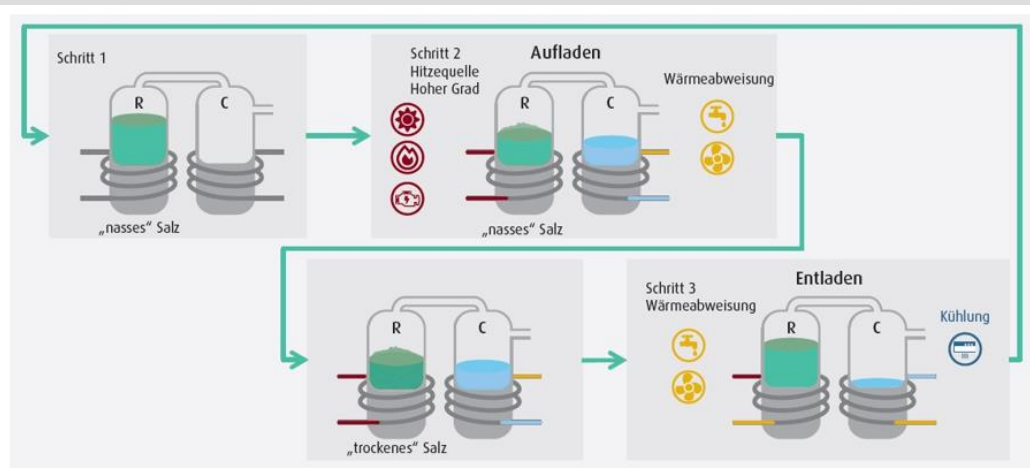


Best-Practice-Beispiel – SaltX-Anlage



(Foto von SaltX Technology)

Abbildung 29: SaltX-Anlage (Röling, 2019).



(Bild von SaltX Technology)

Abbildung 30: Schematische Darstellung der chemischen Reaktion der SaltX-Anlage (Röling, 2019).

Tabelle 23: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für thermochemische Speicher (Röling, 2019).

<b>Standort</b>	Berlin
<b>Speicherkapazität</b>	10 MWh <sub>th</sub> (Schmid, 2020b)
<b>Wärmeabnehmer</b>	Bis zu 30.000 Haushalte (Berliner Fernwärmenetz) (Vattenfall, 2020c)
<b>Wärmeversorgungskonzept</b>	Speicherung von EE im Form von thermischer Energie durch das Trocknen des feuchten Salzes und deren Nutzung für das Berliner Fernwärmenetz
<b>Speichervolumen</b>	1.000 – 3.000 l <sub>salz</sub> (5.000 m <sup>3</sup> ) (Feldreich, 2017)
<b>Installierte Leistung</b>	5 MW <sub>th</sub> (Röling, 2019)
<b>Speicherdauer</b>	Wochen – Monate

### 3.5 Hochtemperatur-Speicher

#### ■ Systembeschreibung

Hochtemperatur-Speicher dienen der Wärmespeicherung auf Hochtemperatur-Niveau und sind auf Speichertemperaturen zwischen 300 °C und 1.300 °C ausgelegt (BVES, 2022). Die realisierbaren Betriebstemperaturen unterscheiden sich je nach Anwendungsfall. Als Wärmequelle dient zum einen Abwärme aus industriellen Produktionsprozessen, wie zum Beispiel Stahl, Keramik, Glas, Metallverarbeitung usw., und zum anderen Strom, der mittels Power-to-Heat (PtH) in Wärme umgewandelt wird. Als Wärmeträgermedium kommen in den meisten Fällen Gas, wie beispielsweise Abgas, Luft oder ein Schutzgas, aber auch Thermoöle zum Einsatz (BVES, 2022).

Die Vielzahl der potenziellen Einsatzmöglichkeiten macht die Aufteilung der in Deutschland verwendeten Prozesswärme nach Temperaturniveau deutlich. Von den ca. 504 TWh Prozesswärme, die jährlich durch die deutsche Industrie eingesetzt werden, entfällt ca. die Hälfte auf den Temperaturbereich von bis zu (mehr als) 1.000 °C (z. B. Metall-, Zement-, Glas- und Keramikgewerbe), während rund 25 % im Temperaturbereich bis 500 °C (z. B. Chemie- und Maschinenbausektor) und ca. 10 % im Temperaturbereich bis 100 °C (z. B. Lebensmittelbranche) benötigt werden (NRW.Energy4Climate, 2022).

Die Art der Wärmespeicherung lässt sich unterscheiden in sensibel (flüssiges oder Feststoffmedium), latent (Phasenwechsel meist fest/flüssig) und thermochemisch. Flüssige Medien zur sensiblen Wärmespeicherung werden unter anderem in Solarkraftwerken in Form von Nitratsalzen eingesetzt. Als feste Medien werden unter anderem Spezial-Beton, natürliches Vulkangestein, Metalle oder diverse Schüttgüter wie Sand, Kies oder Keramik verwendet. Zur latenten Wärmespeicherung eignen sich neben diversen Polymeren noch weitere Materialien, unter anderem Nitrate, Karbonate und Chloride. Hier stellt die Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Behälter und Apparaturen und das damit verbundene Umweltrisiko eine Herausforderung dar (Seitz et al., 2018). Die thermochemische Ausführung beruht vorrangig auf Salzhdraten, Karbonaten und Hydroxiden.

Während einige wenige Varianten, wie beispielsweise die Verwendung von Flüssigsalzen in Solarkraftwerken, weit verbreitet sind, besteht bei anderen Materialien und Varianten noch großer Forschungsbedarf. Besonders geeignet sind Hochtemperatur-Speicher zur Versorgung von energetisch wenig optimierten Bestandsgebäuden, die hohe Vorlauftemperaturen zur Heizung benötigen. Der Bestand an diesen un- bzw. teilsanierten Gebäuden ist sehr hoch und bietet damit ein großes Einsatzpotenzial (BVES, 2022). Das Einsatzgebiet reicht dabei von geläufigen Bereichen wie der Versorgung von Fernwärmenetzen und Prozesswärme bis hin zu der Flexibilisierung von KWK-Anlagen oder Gas-und-Dampf-Kombikraftwerken, Power-to-Heat und gegebenenfalls der Rückverstromung über einen Dampfprozess.

#### ■ Systemauslegung

- Die Auslegung eines Hochtemperatur-Wärmespeichers ist von der Wärmequelle und den Anforderungen des individuellen Anwendungsfalls sowie dem gewählten Konzept abhängig (BVES, 2022).
  - Bei 500 °C: ca. 400 – 500 kWh/m<sup>3</sup>
  - Bei 1.000 °C: ca. 1.000 – 1.100 kWh/m<sup>3</sup>
  - Bei 1.300 °C: ca. 1.250 – 1.300 kWh/m<sup>3</sup>



### ■ Anwendungsbereich

- Analog zu den anderen Speichersystemen (insbesondere den sensiblen).

### ■ Genehmigungsanforderungen

- Im Genehmigungsverfahren Zuordnung des Speichers zu den Erzeugungsanlagen
- Bauantrag stellen, Einhaltung der Regelungen gemäß BauGB, BauNVO und BauO Land, insbesondere Bodengutachten und Prüfstatik
- Prüfung der Einhaltung der TA Lärm
- Gegebenenfalls Beachtung von AwSV, UVPG, WHG, LWG, GrwV, BImSchG, BImSchV, LImSchG, TA Luft und BNatSchG

### ■ Investitionskosten

- Hochtemperaturwärmespeicher liegen in der Regel bei einem spezifischen Invest zwischen 17 €/kWh und 80 €/kWh (BVES, 2022).
  - Latent: 40 – 80 €/kWh<sub>th</sub> (BVES, 2022a)
  - Feststoff: 15 – 40 €/kWh<sub>th</sub> (BVES, 2022b)
  - Flüssigsalz: 20 – 70 €/kWh<sub>th</sub> (BVES, 2022c)

### ■ Fördermöglichkeiten

- Eine Zusammenstellung der Fördergegenstände der einzelnen Programme sowie der genauen Förderhöhen zum Zeitpunkt der Aktualisierung des Dossiers ist in Anhang I zu finden.

- Bundesebene:

Zuschuss:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen \(BEG EM\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen – Zuschuss \(BEG – KfW 464\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Wärmenetze \(BEW\)](#)
- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2](#)

Kredit mit Tilgungszuschuss:

- [Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft \(KfW 295\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Premium \(KfW 271, 281\)](#)
- [IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 201\)](#)
- [IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung \(KfW 202\)](#)

Kredit:

- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kredit \(BEG WG – KfW 261\)](#)
- [Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit \(BEG NWG – KfW 263\)](#)
- [Erneuerbare Energien – Standard \(KfW 270\)](#)
- [Klimaschutzoffensive für Unternehmen \(KfW 293\)](#)

- Landesebene:

- Baden-Württemberg: [Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen](#)
- Bayern: [Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ](#)
- Hessen: [Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Mecklenburg-Vorpommern: [Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen](#)
- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik](#)

- Nordrhein-Westfalen: [Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze](https://www.fonderrichtlinie.progres.nrw)
- Rheinland-Pfalz: [Zukunftsfähige Energieinfrastruktur \(ZEIS-Wärme\)](#)
- Saarland: [Zukunftsenergieprogramm kommunal \(ZEP-kommunal\)](#)
- Sachsen-Anhalt: [Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE](#)

Tabelle 24: Technische Anforderungen an thermochemische Speicher, alle Angaben basieren auf (BVES, 2022).

Technische Anforderungen	Beschreibung
Betriebstemperatur	300 – 1.300 °C
Spezifische Wärmekapazität	<1.200 kWh/m <sup>3</sup> in Abhängigkeit von der Temperatur
Wirkungsgrad	80 – 95 % in Abhängigkeit vom System
Speichermedium und Aufbau	Recyclinggranulat, Vulkangestein, Stahl
Anforderungen an den Standort	Wie bei anderen Speichern üblich, gut stehender Boden, unkritisch bei Grundwasser
Zykluslebensdauer	>10.000
Recyclingfähigkeit	Recyclingfähige Hauptmaterialien wie Baubeton, Stahl, Gestein und Rezyklate Bei Stahl zum Beispiel hoher Restwert am Ende der Laufzeit; sensible HT-Speicher weisen eine Recyclingquote bis 97 % auf
Reaktionszeit	Wenige Sekunden bis wenige Minuten
Speicherdauer	Stunden bis wenige Tage

Best-Practice-Beispiel – Flüssigsalzspeicher



Abbildung 31: Flüssigsalzspeicher im solarthermischen Kraftwerk Andasol 3 (Bild: TSK Flagsol)

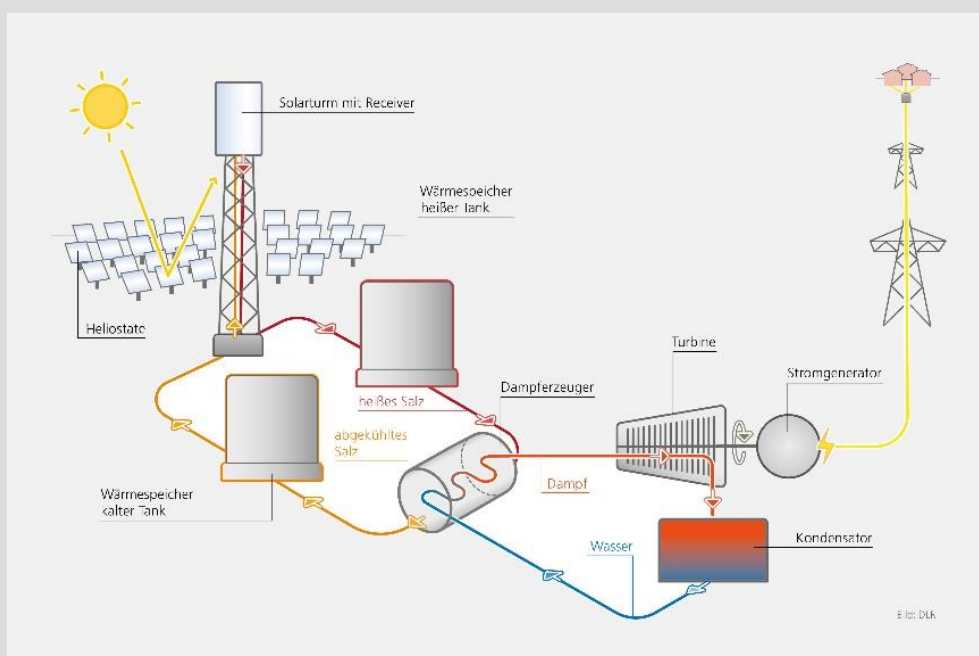


Abbildung 32: Funktionsprinzip eines solarthermischen Kraftwerks (Dersch et. al, 2021) (Grafik: DLR).

Tabelle 25: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Flüssigsalz-Wärmespeicher (BVES, 2022d).

<b>Standort</b>	<b>Granada, Spanien</b>
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Zwei Speichertanks (14 m hoch und Durchmesser 36 m), gefüllt mit 60 % NaNO <sub>3</sub> und 40 % KNO <sub>3</sub> Die Wärmespeicher ermöglichen eine bedarfsgerechte und bedarfsunabhängige Stromerzeugung durch Sonneneinstrahlung, die im Tagesverlauf schwankt, die überschüssige Wärme kann in ein Wärmenetz eingespeist werden.
<b>Speichervolumen</b>	28.500 t Flüssigsalz
<b>Betriebstemperatur</b>	292 – 386 °C
<b>Jährliche Speichereffizienz</b>	Ca. 95 %
<b>Speicherkapazität</b>	1.010 MWh <sub>th</sub>

**Best-Practice-Beispiel – Hochtemperatur-Stahlspeicher**



Abbildung 33: LUMENION Quartierspeicher Berlin- Tegel (BVES, 2022).

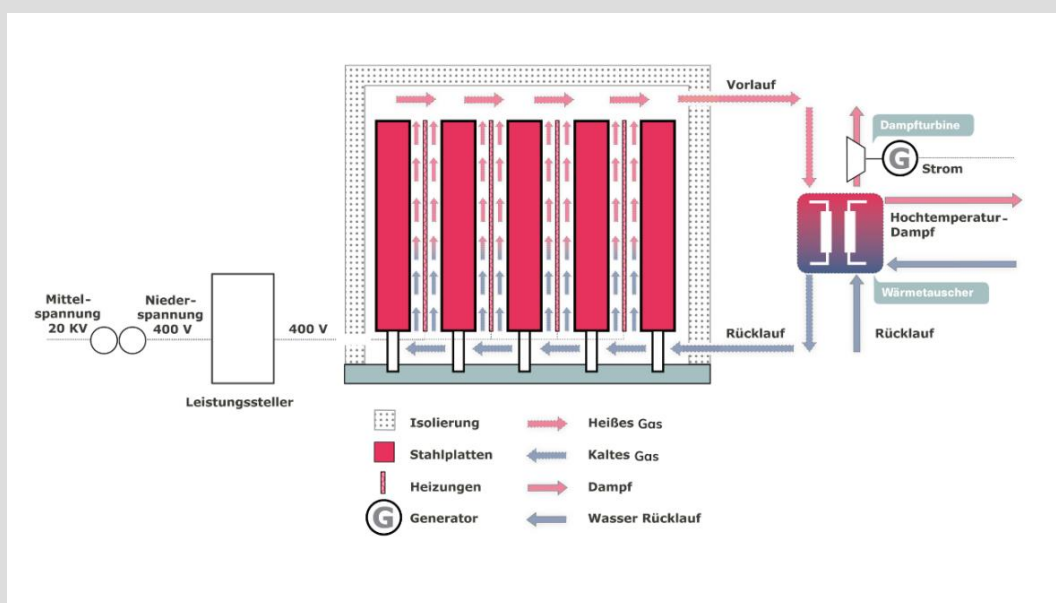


Abbildung 34: Funktionsprinzip LUMENION Hochtemperatur-Speicher (Vattenfall, 2018a) (Grafik: Lumenion GmbH).

Tabelle 26: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Hochtemperatur-Stahlspeicher (Vattenfall, 2018b) (WindNODE, 2020).

Standort	Berlin-Tegel
Wärmeversorgungs-konzept	Der Hochtemperatur-Stahlspeicher wurde mit der bestehenden Wärmeversorgungsanlage der Vattenfall Energy Solutions integriert. Diese versorgt die umliegenden Geschosswohnungen aus den 1970er Jahren der Gewobag mit Quartiersstrom und Nahwärme (Vattenfall, 2018b).
Gesamtwirkungsgrad	95 % (WindNODE, 2020)
Betriebstemperatur	650 °C (auch Rückverstromung möglich) (Vattenfall, 2018b) Restwärme 80 – 120 °C (wird eingespeist in das Nahwärmenetz) (WindNODE, 2020)
Lebensdauer	40 Jahre (Vattenfall, 2018a)
Speicherkapazität	2,4 MWh <sub>th</sub> (Vattenfall, 2018b)
Ladeleistung	300 kW <sub>el</sub> (8 h/d) (BVES, 2022)
Entladeleistung	100 kW <sub>th</sub> (24 h/d) (BVES, 2022)
Speichermedium	Stahl (BVES, 2022)

Forschungsbeispiel – Flüssigsalz-Wärmespeicher

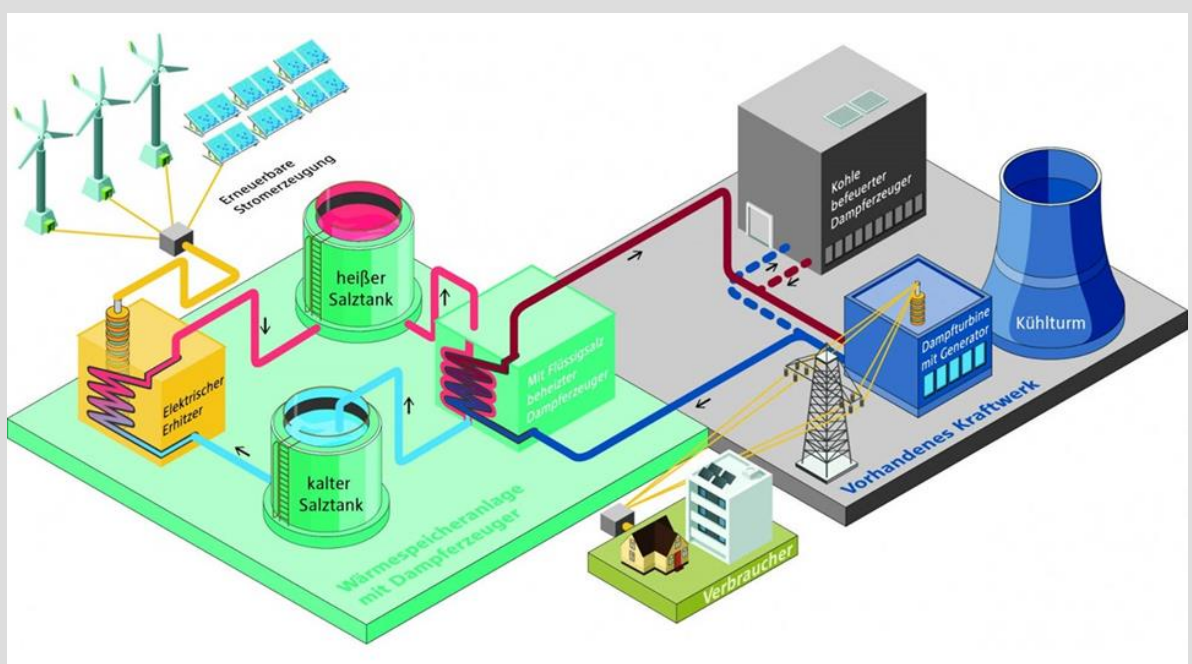


Abbildung 35: BMWK-geförderte Projekte zur Erforschung von Flüssigsalz-Wärmespeichern zur Flexibilisierung und/oder Substitution konventioneller Kraftwerke (Winter, 2019) (Grafik: RWE).

Tabelle 27: Beschreibung des Forschungsbeispiels für Flüssigsalz-Wärmespeicher (DLR, 2018).

<b>Standort</b>	<b>Nordrhein-Westfalen</b>
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Grundprinzip: überschüssiger Strom (ggf. aus erneuerbaren Energien) wird als Wärme in Flüssigsalz-Wärmespeicher eingebracht und bei Strombedarf zur Dampferzeugung verwendet.
<b>Speichervolumen</b>	85 t Flüssigsalz
<b>Betriebstemperatur</b>	170 und 560 °C
<b>Kooperationspartner</b>	RWE Power, DLR und FH Aachen
<b>Fördermittelgeber</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Forschungsbeispiel – Feststoffspeicher

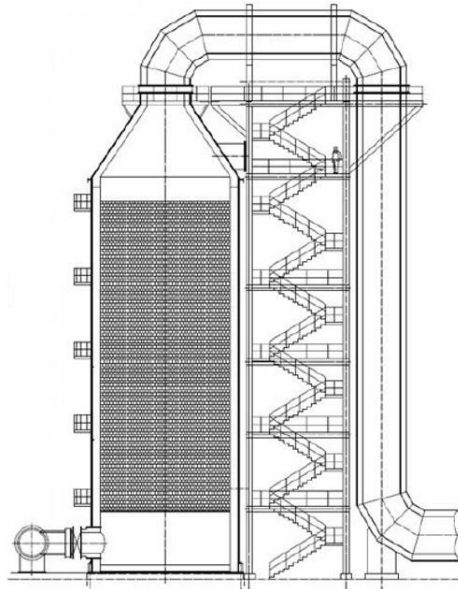


Abbildung 36: (links) 5 m hoher Feststoff-Wärmespeicher der Testanlage HOTREG am DLR, Stuttgart (Bild: DLR (CC BY-NC-ND 3.0)), (rechts) Geplanter Hochtemperatur-Wärmespeicher für die Demonstrationsanlage (Skizze: Paus Wurth R&E) (Stahl et al., 2012).

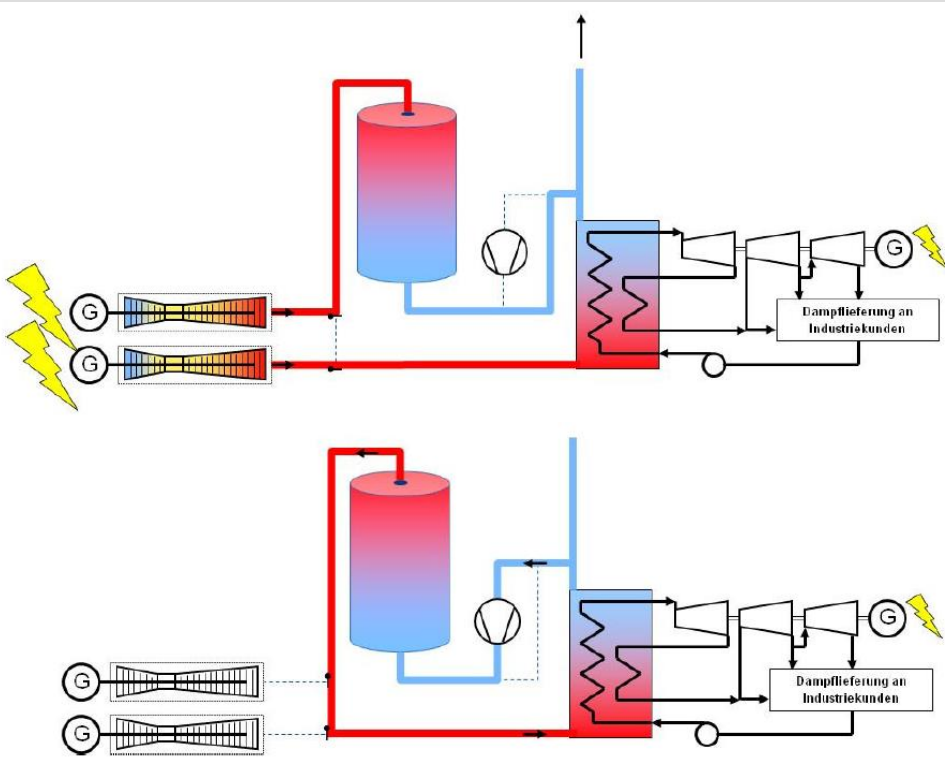


Abbildung 37: (oben) Hoher Strombedarf: Gasturbinen im Betrieb, überschüssige Wärme wird gespeichert, (unten) Niedriger Strombedarf: Gasturbinen außer Betrieb, Wärmebereitstellung aus dem Speicher (Stahl et al., 2012).



Tabelle 28: Beschreibung des Forschungsbeispiels für Feststoffspeicher (Stahl et al., 2012).

<b>Standort</b>	<b>Stuttgart</b>
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	„FleGs“ – Flexibilisierung von Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerken durch den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmespeichern (F&E) Fokus: Stromerzeugung in Zeiten hohen Bedarfs, Abwärme der Gasturbine kann über mehrere Stunden in Feststoffspeicher gespeichert werden
<b>Versuchsstand</b>	Teststand HOTREG Natursteinschüttungen als Speichermaterial (u. a. Basalt) Ladezyklen: 0,5 bis 3 Stunden Speichertemperaturen: 600 – 830 °C (beladen), 100 – 400 °C (entladen) Volumen: 4,3 m <sup>3</sup>
<b>Demonstrationsanlage</b>	Konzept Demonstrationsanlage Speicherkapazität: 75 MWh <sub>th</sub> Heißgas-Temperatur: 560 °C Dampfparameter: 432 °C bei 61 bar Masse: 1.000 t
<b>Kooperationspartner</b>	RWE Power AG, Hitachi Power Europe Service GmbH, Paul Wurth Refractory & Engineering GmbH, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR)
<b>Fördermittelgeber</b>	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

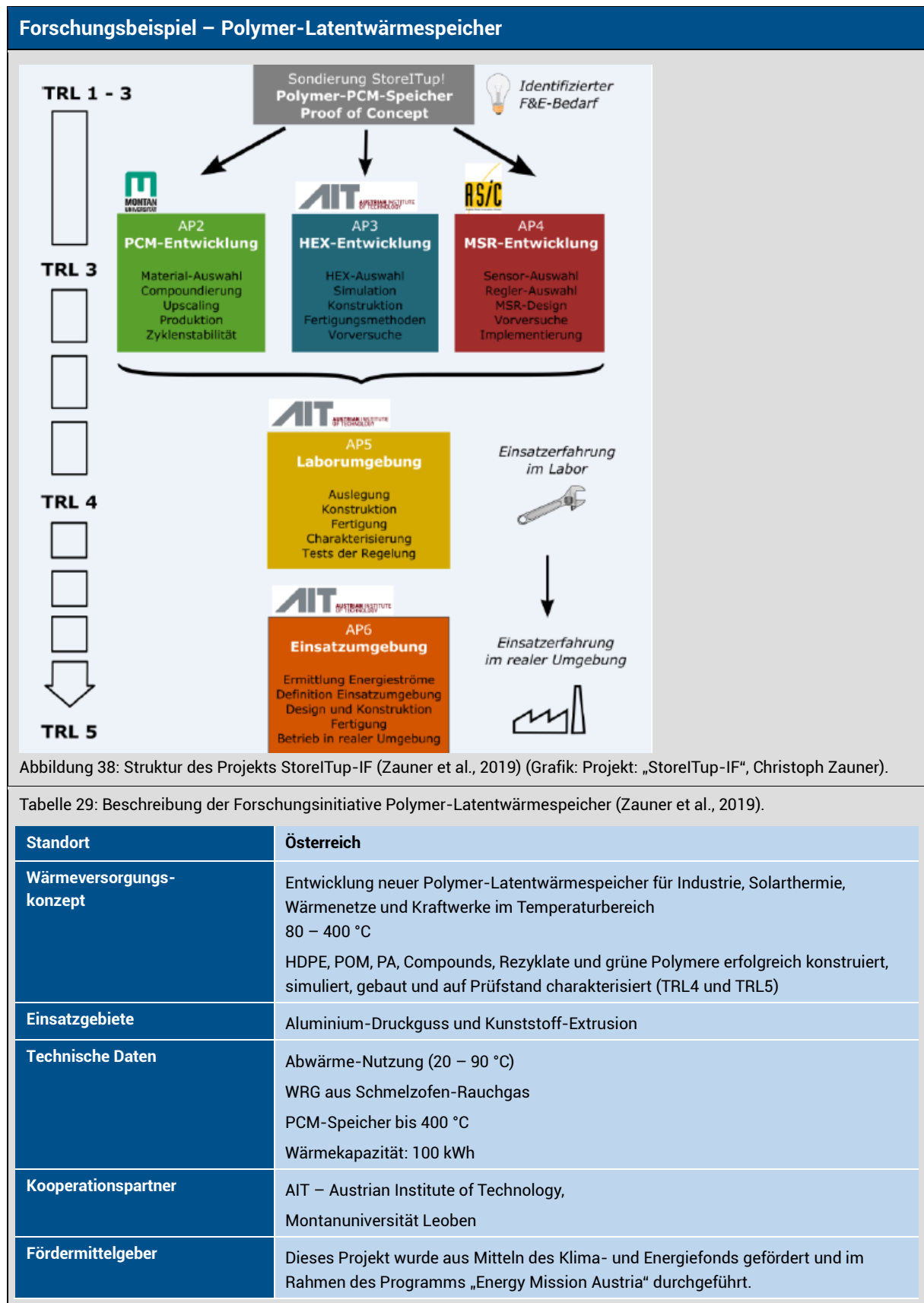


Abbildung 38: Struktur des Projekts StoreITup-IF (Zauner et al., 2019) (Grafik: Projekt: „StoreITup-IF“, Christoph Zauner).

Tabelle 29: Beschreibung der Forschungsinitiative Polymer-Latentwärmespeicher (Zauner et al., 2019).

<b>Standort</b>	<b>Österreich</b>
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Entwicklung neuer Polymer-Latentwärmespeicher für Industrie, Solarthermie, Wärmenetze und Kraftwerke im Temperaturbereich 80 – 400 °C HDPE, POM, PA, Compounds, Rezyklate und grüne Polymere erfolgreich konstruiert, simuliert, gebaut und auf Prüfstand charakterisiert (TRL4 und TRL5)
<b>Einsatzgebiete</b>	Aluminium-Druckguss und Kunststoff-Extrusion
<b>Technische Daten</b>	Abwärme-Nutzung (20 – 90 °C) WRG aus Schmelzofen-Rauchgas PCM-Speicher bis 400 °C Wärmekapazität: 100 kWh
<b>Kooperationspartner</b>	AIT – Austrian Institute of Technology, Montanuniversität Leoben
<b>Fördermittelgeber</b>	Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Energy Mission Austria“ durchgeführt.



### 3.6 Entscheidungsprozess für den Einsatz von Speichern

Für die Entscheidung, welche Art von Speicher für welches Anwendungsgebiet die richtige ist, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Abbildung 39 zeigt ausführlich die einzelnen Schritte von der Definition des Anwendungsgebiets und das zur Verfügung stehende Platzangebot im Quartier/Gebäude hin zu den verwendeten Energieträgern und dem damit verbundenen Zweck sowie der Art und Dauer der Speicherung bis hin zum zu speichernden Temperaturniveau. Am Ende stehen ein Speicher bzw. die Kombination aus verschiedenen Speichern, die für die jeweilige vorliegende Versorgungslösung zum Einsatz kommen können. Die Entscheidung fällen in der Regel Versorger in Abstimmung mit Ingenieurbüros oder gegebenenfalls auch Forschungseinrichtungen.

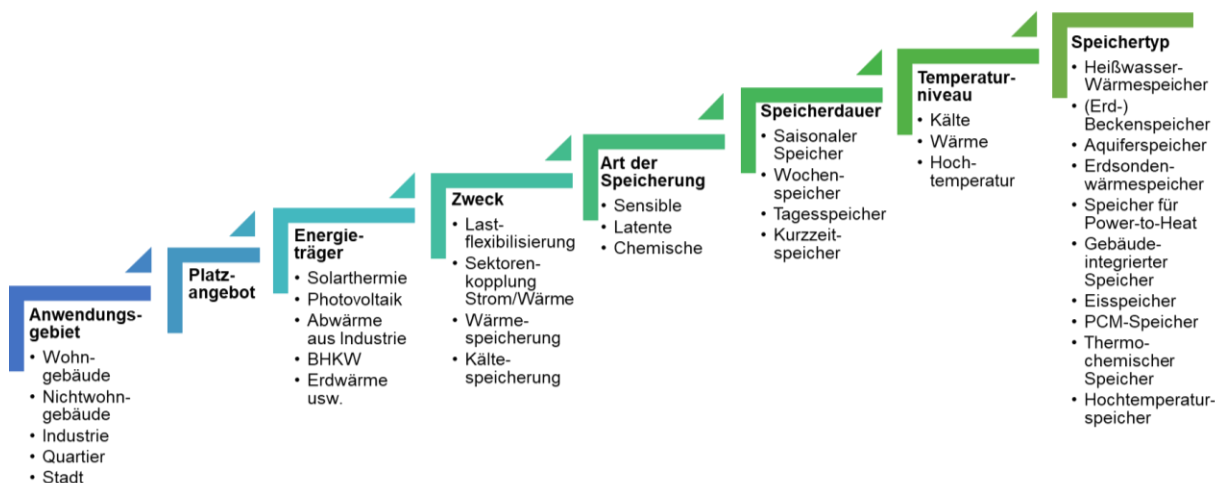


Abbildung 39: Entscheidungsprozess für den Einsatz von Speichern (Fraunhofer IEE).

Erst im Anschluss kann die Planung, Dimensionierung und Umsetzung erfolgen.

### 3.7 Zertifizierung Primärenergiefaktor nach AGFW Blatt 309

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, eignen sich thermische Energiespeicher ideal zum Einsatz in Nah- (Niedertemperatur) und Fernwärmenetzen (Hochtemperatur). Für die Zertifizierung des Primärenergiefaktors für solche Netze kommt das AGFW Blatt 309 zum Einsatz.

Am 13. August 2020 wurden die Energieeinsparverordnung und das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz durch das neue Gebäudeenergiegesetz (GEG) ersetzt und es wurde im [Bundesgesetzblatt](#) veröffentlicht. Das neue GEG trat am 1. November 2020 in Kraft. Für die Zertifizierung von Fernwärmesystemen und die Bestimmung des zugehörigen Primärenergiefaktors wird der § 22 und die Anlage 4 des [GEG](#) angewendet. Da nicht alle Festlegungen im Gesetz, die die Wärmenetze betreffen, für Wärmenetzbetreiber eindeutig und vollständig sind, hat das AGFW-Gremium als Anwendungs- und Auslegungshilfe die Regelwerksbausteine der Reihe FW 309 überarbeitet. Sie beinhalten die folgenden einzelnen Arbeitsblätter (AGFW, 2020):

- Teil 1: Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren nach Stromgutschriftmethode
- Teil 4: Heizwasser-Fernwärmestationen
- Teil 5: Erfüllungsgrad und Energiequellenkennzahlen
- Teil 6: Emissionsfaktoren nach Arbeitswert- und Carnotmethode
- Teil 7: Bescheinigungen

- Teil 8: Planungsdaten (in Erarbeitung)
- Teil 9: Produktbezogene Kennzahlen

## 4 Praxisbeispiele auf Quartiersebene

In den vergangenen Jahren ging der Trend in Richtung Wärmespeicherung: Einzelne Erzeuger bzw. Prosumer speichern die erzeugte Wärme (z. B. aus thermischen Solaranlagen, aus Abwärme etc.), um sie zeitversetzt für die Warmwasserbereitung und als Heizwärme nutzen zu können. Moderne thermische Energiespeicher sind für diesen Anwendungszweck vielfältig und flexibel nutzbar.

In diesem Kapitel werden verschiedene Praxisbeispiele auf Quartiersebene vorgestellt. Dazu zählen abgrenzbare innerstädtische oder innerstadtnahe Bereiche, die meist mehrere Häuserblöcke umfassen. Sie sind geprägt durch eine Nutzungsmischung und ein individuelles Erscheinungsbild. Sie besitzen darüber hinaus eine funktionierende Nahversorgungsinfrastruktur sowie eine gute Verknüpfung mit der Stadt als Ganzes (Feldmann, 2012).

Die Besonderheit beim Einsatz von Energiespeichern in Quartieren ist die Kombination verschiedener Speichertypen zur Lastflexibilisierung und Sektorenkopplung zwischen Strom und Wärme. Dazu zählen innerstädtische Lösungen mit geringem Platzangebot, wie zum Beispiel der Lagarde-Campus in Bamberg, und ländliche Lösungen für die Realisierung großflächiger Lösungen, wie beispielsweise Dronninglund in Dänemark. All diese Beispiele zeigen das breite Spektrum und das große Einsatzgebiet der in der Studie vorgestellten zentralen und dezentralen Speichertechnologien.

### Best-Practice-Beispiel – Pufferspeicher zur Lastflexibilisierung



Abbildung 40: „Wärmenetze 4.0“ Moosburg (Grafik: Bader Energie).

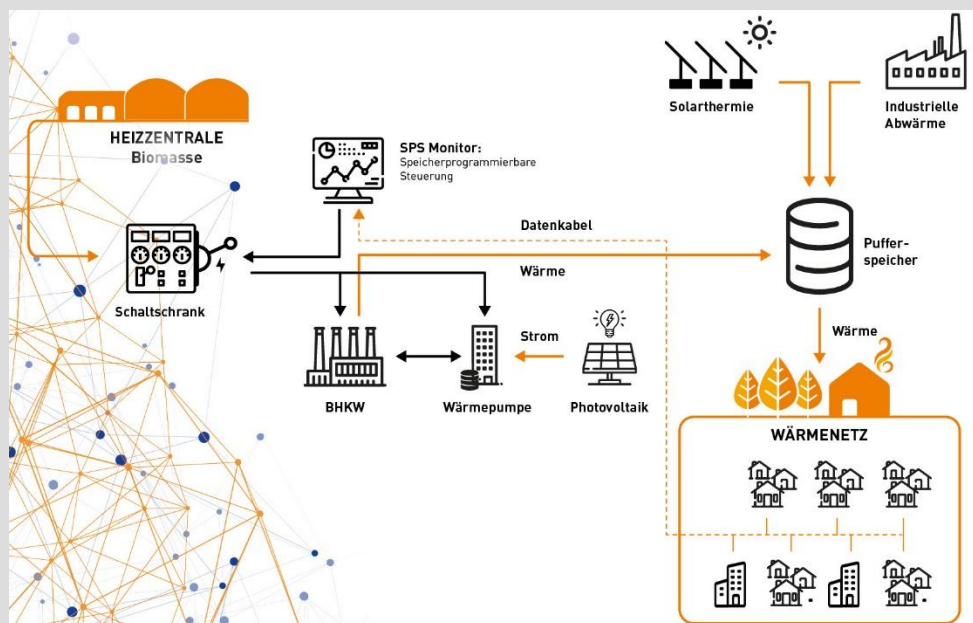


Abbildung 41: Schematische Darstellung des Wärmenetzes in Moosburg (Grafik: Bader Energie).

Tabelle 30: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Pufferspeicher zur Lastflexibilisierung (Machbarkeitsstudie Moosburg, 2021).

Standort	Moosburg
Wärmeerzeuger	Biomassekessel: 2.000 kW <sub>th</sub> Solarthermieanlagen: 1.384 kW <sub>th</sub> Abwärmennutzung: 540 kW <sub>th</sub> Klärgas-KWK-Anlage: 100 kW <sub>th</sub>
Wärmeabnehmer	EFH, MFH
Wärmeversorgungs-konzept	Einbindung eines Pufferspeichers zur zeitlichen Entkopplung von Erzeugung und Nachfrage von erneuerbaren Energien und Abwärme, zur Flexibilisierung weiterer Wärmequellen sowie zur Deckung von Spitzenlasten im Winter
Speichervolumen	1.000 m <sup>3</sup> Pufferspeicher
Speicherkapazität	35.000 kWh <sub>th</sub>
Speicherdauer	Kurzzeitspeicher – Tagesspeicher
Betriebstemperatur	50 – 80 °C

**Best-Practice-Beispiel – Lagarde-Campus, Bamberg**



Abbildung 42: „Wärmenetze 4.0“ Lagarde-Campus, Bamberg (Grafik: Stadtwerke Bamberg).

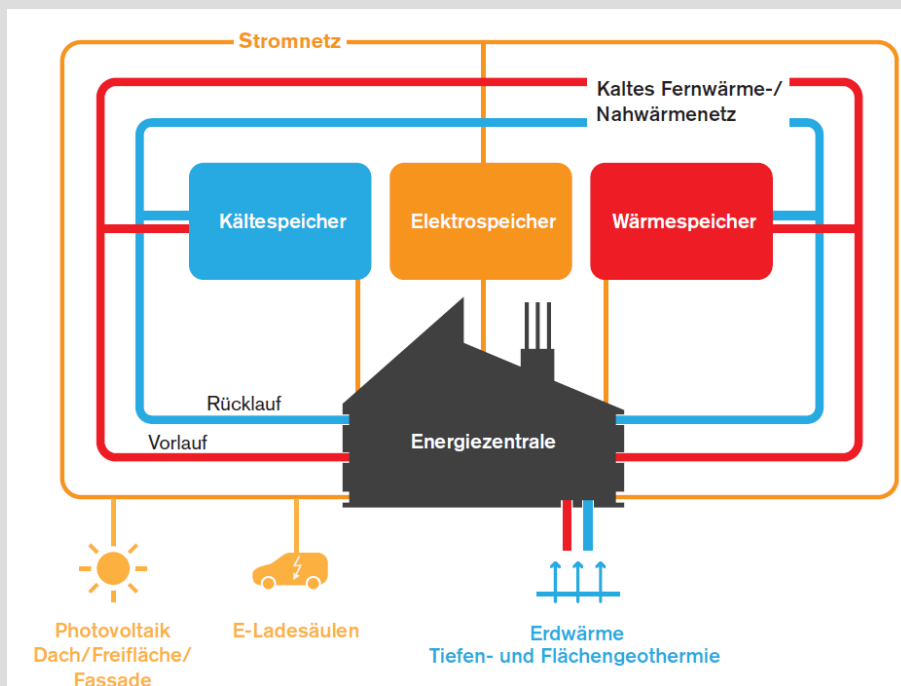


Abbildung 43: Schematische Darstellung des Wärmenetzes in Bamberg (Grafik: Stadtwerke Bamberg, Ersteller: Jan Kaiser, Fraunhofer IBP).

- Tagesspeicher (dezentrale Wärmespeicher) in einzelnen Gebäuden
- Stufe 1:**
- Tag-/ Nacht-Verschiebung von Wärme, Abpuffern von Leistungsspitzen
- 
- Wochenspeicher (zentraler Großpufferspeicher mit 1.400 m<sup>3</sup> im Nahwärmenetz)
- Stufe 2:**
- Wochenweise Verschiebung von Wärme. Ermöglicht stromgeführte Betriebsweise von BHKW
- 
- Thermischer Saisonspeicher (Erdsondenfeld mit ca. 7500 m<sup>2</sup>)
- Stufe 3:**
- Saisonale Speicherung von Wärme/Kälte im Erdreich mittels Erdsondenfeld
- 
- Elektro- Thermischer Saisonspeicher (Power-to-Gas-Anlage & BHKW)
- Stufe 4:**
- Überschussstrom wird mittels PtG-Anlage in Methan umgewandelt und dem Erdgasnetz zugeführt
  - In Heizperiode wird Methan aus dem Erdgasnetz entnommen und im BHKW verstromt

Abbildung 44: Schematische Darstellung Speicherkonzept in Bamberg (Grafik: Fraunhofer IEE).

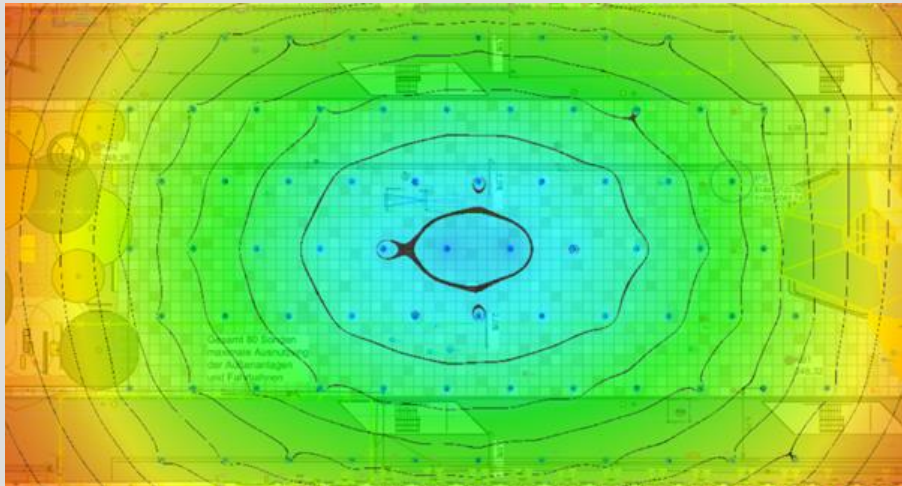


Abbildung 45: Wärmetönungsbild aus der konkreten Sondenfeldplanung (Machbarkeitsstudie Bamberg, 2019).

Tabelle 31: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels Bamberg (Machbarkeitsstudie Bamberg, 2019).

<b>Standort</b>	<b>Bamberg</b>
<b>Wärmeerzeuger</b>	Kalte Nahwärme (10 °C) für Neubauten und Bestand (>90 °C) Erdwärmekollektoren, Wärmenetzleitungen und Kaltwasser Dezentrale Wärmepumpen und PV für Raumwärme und Trinkwarmwasser Elektrisches Betriebsnetz koppelt Wärmeerzeugungsanlagen
<b>Wärmeabnehmer</b>	Heterogene Bebauung: 70 % Neubau, 30 % Bestand, teilweise Denkmalschutz Heterogene Nutzung: 59 % Wohnen, 34 % Gewerbe, Büro, 4 % Handel, 3 % Kultur Verschiedene Baustandards (KfW 40 – EnEV 16)
<b>Wärmebedarf</b>	10 GWh <sub>th</sub>
<b>Speichervolumen</b>	<u>Saisonaler Speicher:</u> Erdwärmesondenfeld (ca. 7.500 m <sup>2</sup> ) unter gemeinschaftlich genutzten Flächen innerhalb der Quartiersstruktur Feldgröße: 96 Sonden mit 140 m Erschließungstiefe (10 m Sondenabstand) Sole: 20%iges Wasser-/Frostschutzmittelgemisch (Monoethylenglycol) Sonde: herkömmliches PE 100 RC 32 x 2,9, Doppel-U-Sonden Durch die Größe und Anordnung des Erdwärmesondenfeldes beschränkt sich die natürliche Regeneration auf die Randbereiche. Der innere Bereich ist thermisch „abgeschirmt“ und steht somit als Speicherpotenzial zur Verfügung. <u>Wochenspeicher:</u> Zentraler Großpufferspeicher mit 1.400 m <sup>3</sup> im Nahwärmenetz
<b>Speicherdauer</b>	Kombination aus Tages-, Wochen-, thermischem und elektrothermischem saisonalen Speicher

**Best-Practice-Beispiel – Erdbecken-Wärmespeicher 1**



Abbildung 46: Erdbecken-Wärmespeicher in Dronninglund mit Solarkollektoren im Hintergrund (Mauthner et al., 2018) (Grafik: NIRAS).

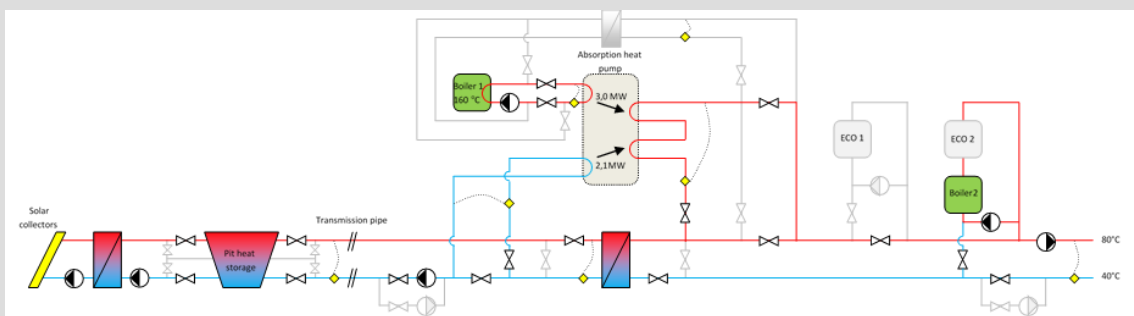


Abbildung 47: Verschaltung der Komponenten des Nahwärmesystems in Dronninglund (Mauthner et al., 2018) (Grafik: PlanErgi).

Tabelle 32: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für saisonalen Erdbecken-Wärmespeicher (Mauthner et al., 2018).

<b>Standort</b>	<b>Dronninglund (Dänemark)</b>
<b>Wärmeerzeuger</b>	Solarthermieanlage: 40.466 m <sup>2</sup> brutto Absorptionswärmepumpe: 2,6 MW <sub>th</sub> Bio-Öl-Kessel: 10 MW <sub>th</sub> BHKW: 5,9 MW <sub>th</sub> / 3,7 MW <sub>el</sub> Reservekessel: 8 MW <sub>th</sub>
<b>Wärmeabnehmer</b>	1.350 Gebäude
<b>Wärmebedarf</b>	40 GWh
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Erweiterung des Fernwärmenetzes durch eine Solarthermieanlage in Kombination mit einem saisonalen Wärmespeicher Ziele: Unabhängigkeit von Erdgaspreisentwicklung Solarer Deckungsgrad von 50 % bei unverändertem Wärmepreis für Verbraucher
<b>Speichervolumen</b>	Erdbecken-Wärmespeicher: 62.000 m <sup>3</sup> Warmwasserspeicher: 865 m <sup>3</sup>
<b>Solarer Deckungsgrad</b>	48 % Ohne saisonalen Speicher (nur Pufferspeicher) 5 – 20 %
<b>Feldgröße</b>	80 Sonden mit 55 m Erschließungstiefe (10 m Sondenabstand)
<b>Speicherdauer</b>	Saisonalen Speicher, Tagesspeicher zum Lastausgleich
<b>Betriebstemperatur</b>	90 °C
<b>Projektkosten</b>	14,64 Mio. € (ohne MwSt.)



Best-Practice-Beispiel – Erdbecken-Wärmespeicher 2



Abbildung 48: Erdbecken-Wärmespeicher mit Solarthermieanlage in Gram (Grafik: Gram Fjernvarmen).

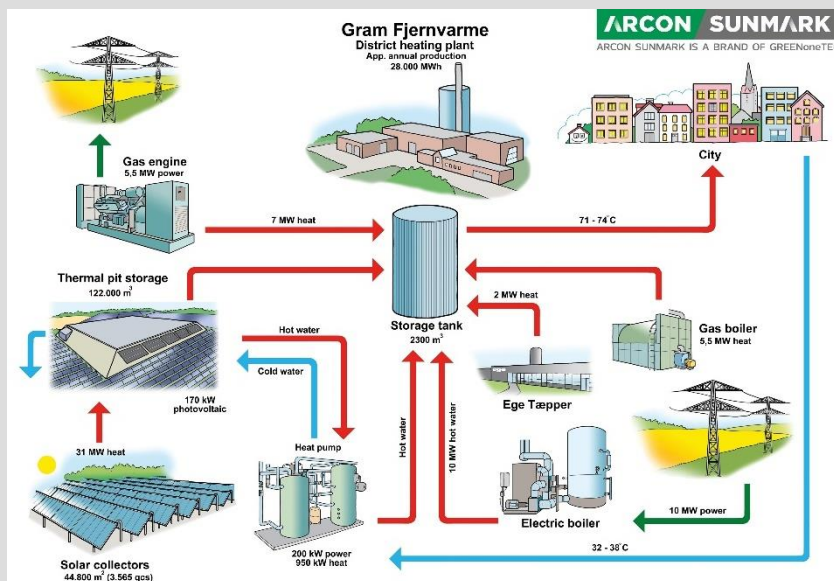


Abbildung 49: Komponenten des Fernwärmesystems in Gram (Gram Fjernvarmen, 2016) (Grafik: Arcon-Sunmark / GREENoneTEC, 2016).

Tabelle 33: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdbecken-Wärmespeicher in Gram (Gram Fjernvarme, 2016).

Standort	Gram (Dänemark)	
Wärmeerzeuger	Solarthermieanlage: 44.800 m <sup>2</sup> / 31 MW <sub>th</sub> Erdgaskessel: 5,5 MW <sub>th</sub> Elektrodenheizkessel: 10 MW <sub>th</sub>	BHKW: 7 MW <sub>th</sub> / 5,5 MW <sub>el</sub> Industrielle Abwärme: 2 MW <sub>th</sub> Wärmepumpe: 0,9 MW <sub>th</sub>
Wärmeabnehmer	Innenstadt Gram	
Wärmeerzeugung	28.000 MWh <sub>th</sub>	
Wärmeversorgungs-konzept	Der Erdbecken-Wärmespeicher ist zusammen mit einer Solarthermieanlage über einen Wärmetauscher vom Hauptsystem des Wärmenetzes getrennt. Es ist technisch möglich, über die angeschlossenen Wärmeerzeuger im Hauptsystem den Wärmespeicher zu beladen.	
Speichervolumen	122.000 m <sup>3</sup> (Erdbecken-Wärmespeicher) 2.300 m <sup>3</sup> (Warmwasserspeicher)	
Solarer Deckungsgrad	60 %	
Speicherdauer	Tagesspeicher zum Lastausgleich und saisonaler Speicher	
Netztemperatur	71 – 74 °C	
Spezifische Investitionskosten	34 €/m <sup>3</sup>	



## Best-Practice-Beispiel – Bunker-Speicher



Abbildung 50: Flakbunker vor Sanierung (links) und nach der Sanierung (rechts) (IBA, 2014) (Grafik: IBA Hamburg GmbH/ Martin Kunze).



Abbildung 51: Großpufferspeicher im Energiebunker (Grafik: IBA Hamburg GmbH / Martin Kunze).

Tabelle 34: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Energiebunker, Hamburg-Wilhelmsburg (IBA, 2014).

<b>Standort</b>	<b>Hamburg-Wilhelmsburg</b>
<b>Wärmeerzeuger</b>	Solarthermieanlage: 1.350 m <sup>2</sup> / 750 kW / 600 MWh/a PV-Anlage: ca. 670 qm (Südseite); 100 kWp; 90 MWh/a Biogas-BHKW: 0,6 MW <sub>th</sub> / 0,51 MW <sub>el</sub> Industrielle Abwärme: 0,29 MW <sub>th</sub> Reservekessel: 4,3 MW <sub>th</sub>
<b>Wärmeabnehmer</b>	3.000 Haushalte (Wärme) 1.000 Haushalte (Strom)
<b>Wärmeerzeugung</b>	22,4 TWh <sub>th</sub> /Jahr (Wärme) 2,85 TWh <sub>el</sub> (Strom)
<b>Wärmeversorgungs-konzept</b>	Um- und Wiedernutzung eines denkmalgeschützten Flakbunkers zu einem „Energiebunker“, der erneuerbare Energieerzeugung, bedarfsgerechte Energiespeicherung und effiziente lokale Energieversorgung vereint.
<b>Speichervolumen</b>	2.000 m <sup>3</sup> (Großpufferspeicher)
<b>Primärenergiefaktor</b>	0,3
<b>Speicherdauer</b>	Tagesspeicher zum Lastausgleich
<b>Betriebstemperatur</b>	90 °C
<b>Investitionskosten</b>	11,8 Mio. € (Energieanlagen ohne Solar)

## 5 Bedeutung der thermischen Energiespeicher für die kommunale Wärmewende

Die Gebäudewärme stellt aufgrund der Größe und der Langlebigkeit der bestehenden Infrastrukturen eine zentrale Herausforderung und einen entscheidenden Hebel für Klimaschutzmaßnahmen dar.

Die Steigerung der **Effizienz** um bis zu 40 % ist eine der tragenden Säulen der Dekarbonisierung. Um dieses Ziel zu erreichen, kommen verschiedene **Schlüsseltechnologien** zum Einsatz. Zum einen spielen **Wärmepumpen** eine wichtige Rolle. Bisherige Schätzungen gingen immer von 6 Millionen zusätzlichen Wärmepumpen bis 2030 aus. Dieser Trend verstärkt sich durch die aktuelle politische Lage deutlich, daher ist er nach oben zu korrigieren. Zum anderen liegt der Fokus auf infrastrukturellen Technologien wie dem Einsatz von **thermischen Netzen**. Hier wird von einem massiven Ausbau von heute 11 % auf 37 % bis 2030 ausgegangen (Agora Energiewende, 2017). Dabei ist **Niedertemperatur-Fernwärme** eine Schlüsseltechnologie zur effizienten Integration von erneuerbaren Energien und Abwärme in unsere Energiesysteme (IEA DHC Annex, 2017).

Neben den Technologien ist auch ihre Umsetzung entscheidend. Daher gilt es, Hemmnisse abzubauen, die Akzeptanz des Einsatzes von innovativen und neuen Technologien zu erhöhen und das Handwerk zu stärken.

Um dies zu erreichen und voranzutreiben, will der Bund die Länder künftig gesetzlich verpflichten, für einen bestimmten Teil der Bevölkerung und Raumwärmebedarf (z. B. 75 %) Wärmepläne erstellen zu lassen. Dafür soll ein eigenes Bundesgesetz geschaffen werden, das unterschiedliche Vorgaben je nach Dichte des besiedelten Raums vorsieht. Hier werden beispielsweise Schwellenwerte von 10.000 bis 20.000 Einwohnern diskutiert, ab denen eine **kommunale Wärmeplanung** verpflichtend umgesetzt werden soll.

Vor allem den thermischen Speichern kommt eine besondere Rolle und große Bedeutung bei der Erstellung und Umsetzung der kommunalen Wärmeplanung und der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung zu. Die Speicher bieten verschiedenste Einsatzgebiete aufgrund ihrer Eigenschaften:

- Sektorenkopplung (Strom/Wärme)
- Flexibilisierung von Angebot und Nachfrage in Abhängigkeit von der volatilen Einspeisung von EE
- Ausgleich und Reduzierung von unerwünschten Tageslastspitzen
- Weitere technische Besonderheiten: Modularität, Zusammenschaltbarkeit, Erweiterbarkeit usw.

Die vom Bund verpflichteten Bundesländer werden diese Aufgabe den Kommunen und Landkreisen übertragen. Methodische und inhaltliche Festlegungen sowie Anforderungen sollen parallel vom Bund gemeinsam mit den Ländern, Kommunen und Stakeholdern erarbeitet werden.

### Ziel (BMWK, 2022a)

- Schaffung einer Grundlage für Kommunen für eine treibhausgasneutrale kommunale Wärmeversorgung

- Ermittlung des zu erwartenden Wärmebedarfs einer Kommune und Abstimmung auf eine auf erneuerbaren Quellen beruhende Wärmeversorgungsinfrastruktur
- Schaffung von Planungs- und Investitionssicherheit für alle Akteure

**Anforderungen (BMWK, 2022b)** (Abschnitt: 1.11 Kommunale Wärmeplanung (Nummer 4.1.11 KRL)

- Bestandsanalyse sowie Energie- und Treibhausgasbilanz inklusive räumlicher Darstellung
- Potenzialanalyse zur Ermittlung von Energieeinsparpotenzialen und lokalen Potenzialen erneuerbarer Energien (inklusive Zielszenarien und Klimawirkung)
- Entwicklung einer Strategie und eines Maßnahmenkatalogs zur Umsetzung und zur Erreichung der Energie- und THG-Einsparung inklusive Identifikation von zwei bis drei Fokusgebieten
- Beteiligung sämtlicher betroffenen Verwaltungseinheiten und aller weiteren relevanten Akteure, insbesondere relevanter Energieversorger (Wärme, Gas, Strom)
- Verstetigungsstrategie inklusive Organisationsstrukturen und Verantwortlichkeiten/Zuständigkeiten
- Controlling-Konzept für Top-down- und Bottom-up-Verfolgung der Zielerreichung inklusive Indikatoren und Rahmenbedingungen für Datenerfassung und -auswertung
- Kommunikationsstrategie für die konsens- und unterstützungsorientierte Zusammenarbeit mit allen Zielgruppen

**Förderung (BMWK, 2022c)** durch Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld („Kommunalrichtlinie“ (KRL)) vom 22. November 2021 mit Änderung vom 18. Oktober 2022

- 4.1.11 Kommunale Wärmeplanung bis 31. Dezember 2023
  - Förderquote 90 %
  - Förderquote 100 % für finanzschwache Kommunen
- 4.1.11 Kommunale Wärmeplanung ab 1. Januar 2024
  - Förderquote 60 %
  - Förderquote 80 % für finanzschwache Kommunen
- Bewilligungszeitraum: 12 Monate
- Kommunale Wärmeplanung (Nr. 4.1.11) Zuschuss
  - Endredaktion und Druck des Plans: maximal 5.000 €
  - Organisation und Durchführung von Akteursbeteiligung: maximal 10.000 €
  - Begleitende Öffentlichkeitsarbeit: in der Regel bis zu 5.000 €

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Basierend auf den Ergebnissen aus Kapitel 3 werden in diesem Abschnitt technische und wirtschaftliche Eigenschaften verschiedener Speichertechnologien anhand grafischer Darstellungen gegenübergestellt.

Charakterisieren lässt sich ein Wärmespeicher vor allem über die Speichertemperatur, die spezifische Wärmespeicherkapazität und den Wirkungsgrad. Zudem sind die spezifischen Investitionskosten ein wichtiger Parameter zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von thermischen Wärmespeichern. Sie sind jedoch stark von verschiedenen Rahmenbedingungen (Speichervolumen, Speichermedium u. a.) sowie Standortgegebenheiten abhängig.

Zunächst werden in Abbildung 52 die Betriebstemperaturen der in Kapitel 3 betrachteten Speichertechnologien vergleichend gegenübergestellt.

Die großen sensiblen Wasserspeicher (Heißwasser-, (Erd-) Becken-, Aquifer- und Erdwärmesondenspeicher) können in der Regel mit einer Wassertemperatur von 30 °C bis 95 °C (Heidemann et al., 2005) betrieben werden. Sie werden häufig zum Ausgleich des saisonalen Solarangebots in Nahwärmenetzen eingesetzt. Im Vergleich dazu erfolgt die Beladung des Wasserspeichers von PtH-Anlagen bei ca. 130 °C (Betriebstemperatur von Fernwärmenetzen), da PtH-Anlagen in der Regel an ein Fernwärmesystem angeschlossen sind (Bücken et al., 2017).

Die Betriebstemperatur latenter und thermochemischer Speicher variiert in Abhängigkeit von der Be- und Entladung des Speichers (Eisspeicher: ca. 0 °C bei der Entladung und ca. 30 °C bei der Beladung) und des Speichermaterials (PCM-Speicher). Bei der thermochemischen Wärmespeicherung liefert die physikalische oder reversible chemische Reaktion eine hohe Temperatur von ca. 50 °C bis 200 °C (Lassacher et al., 2018). Hochtemperatur-Speicher erreichen hingegen Speichertemperaturen von 300 °C bis 1.300 °C (BVES, 2022).

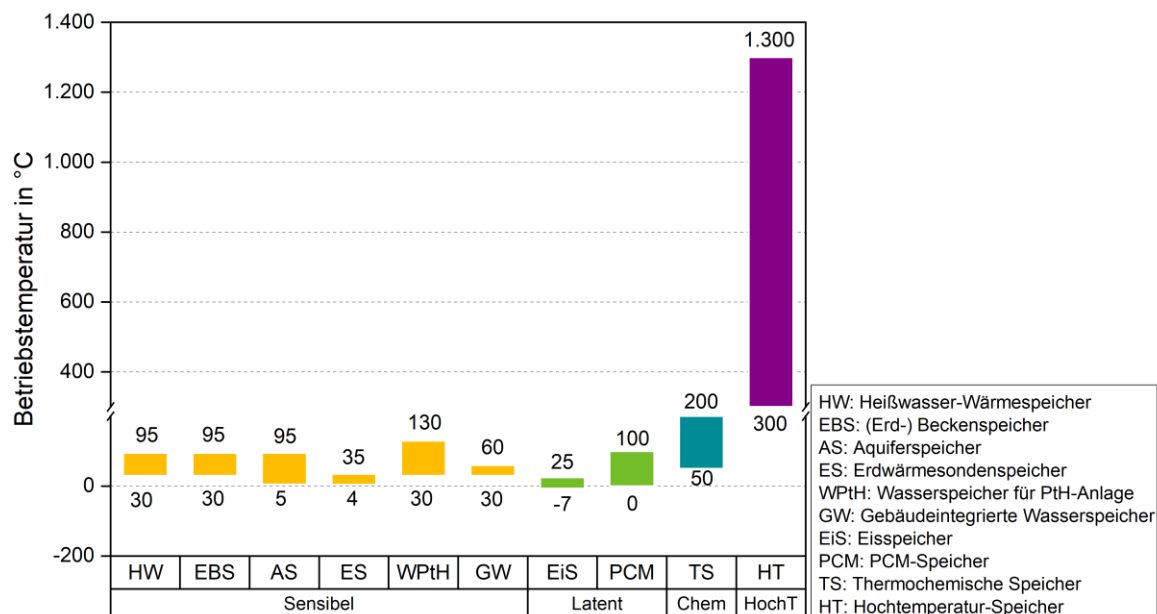


Abbildung 52: Gegenüberstellung der Betriebstemperatur (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Heidemann et al., 2005), (Neupert et al., 2009), (Lassacher et al., 2018), (Andresen et al., 2017), (Kühne, 2015), (VIESSMANN, 2016), (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005) und (BVES, 2022)).

Die Energiedichte der thermischen Speicher hängt vor allem von der spezifischen Wärmekapazität des Speichermediums ab. Die speicherbare Wärmemenge ist von der Wärmekapazität, der Masse und der nutzbaren Temperatur des Speichers abhängig. Abbildung 53 zeigt die spezifischen Speicherkapazitäten der betrachteten Speichertechnologien.

Daraus lässt sich erkennen, dass thermochemische Speicher eine deutlich höhere Speicherkapazität im Vergleich zur latenten und sensiblen Wärmespeicherung aufweisen. Jedoch ist die spezifische Speicherkapazität dieser thermochemischen Speicher stark von den Randbedingungen der konkreten Anwendung abhängig. Nicht nur die erforderliche Lade- und Entladetemperatur, sondern auch die Umgebungsbedingungen während der Lade- und Entladephase beeinflussen die Energiespeicherdichte (ZAE Bayern, 2015).

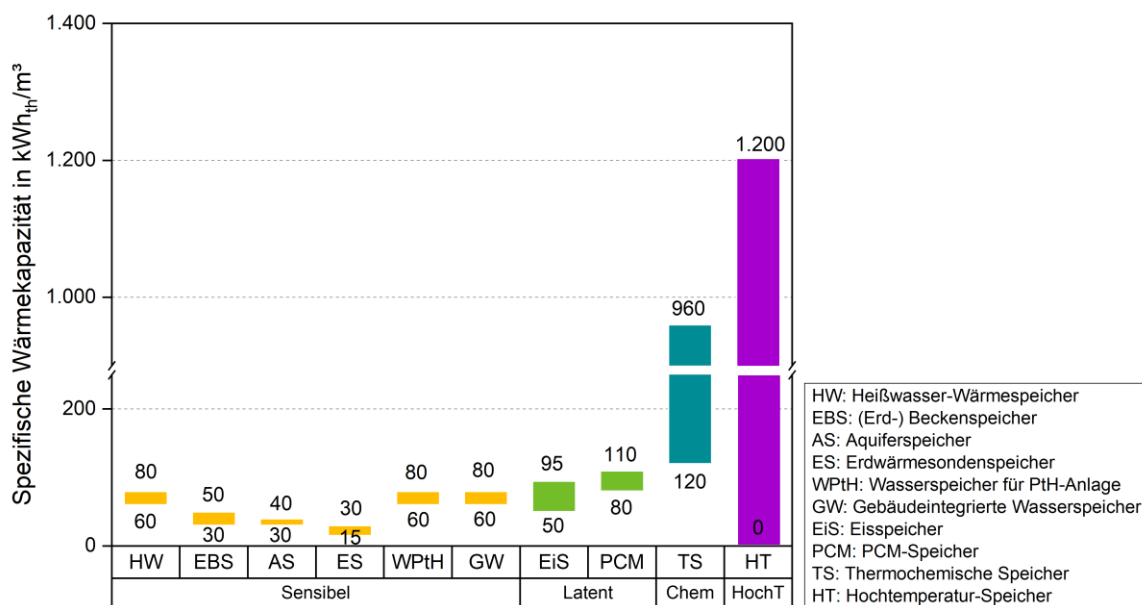


Abbildung 53: Gegenüberstellung der spezifischen Wärmekapazitäten (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Mangold et al., 2001b), (Werschy et al., 2019), (BVES, 2016), (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005), (Jahnke, 2019) und (BVES, 2022)).

Neben der spezifischen Wärmespeicherkapazität weisen latente und thermochemische Speicher einen höheren Wirkungsgrad im Vergleich zu sensiblen Wärmespeichern auf. Der Wirkungsgrad liegt bei sensiblen Wärmespeichern zwischen 47 % und 75 % (Jahnke, 2019). Bei latenten Speichern wird eine Effizienz von 75 % bis 90 % (Jahnke, 2019) erreicht. Bei thermochemischen Speichern erfolgt die Wärmespeicherung nahezu verlustfrei. Bei den Hochtemperatur-Speichern können Wirkungsgrade von maximal 95 % erzielt werden.

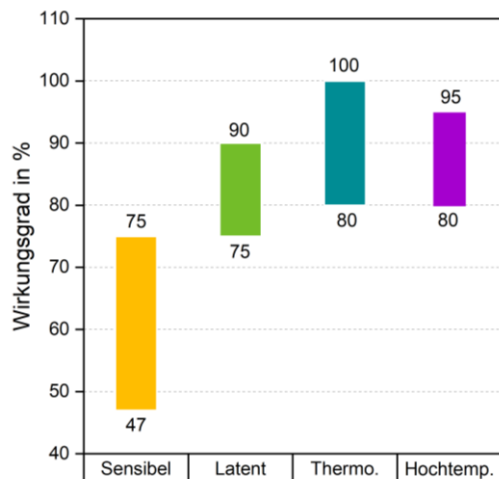


Abbildung 54: Gegenüberstellung des Wirkungsgrads (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Jahnke, 2019) und (BVES, 2022)).

Bei der Auswahl und Umsetzung der Speichertechnologien ist die Wirtschaftlichkeit ein entscheidender Faktor. In der Studie erfolgt die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit auf Basis der spezifischen Investitionskosten. Trotz des hohen Wirkungsgrads und der hohen Energiedichte sind thermochemische Speicher durch deutlich höhere Investitionskosten im Vergleich zu sensiblen und latenten Speichern geprägt. Dabei variieren die Investitionskosten in Abhängigkeit von den Speichermaterialien. Die Anwendung thermochemischer Speicher ist aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums der Technologie mit einem hohen wirtschaftlichen Risiko und offenen wissenschaftlichen Fragenstellungen verbunden. Bei latenten Speichern geht eine relativ höhere Wärmespeicherkapazität gegenüber sensiblen Wärmespeichern ebenfalls mit einer Zunahme der Investitionskosten einher. Vor allem steigen die Investitionskosten bei latenten Speichern deutlich, wenn hohe Leistungen erreicht werden sollen.

Gegenüber latenten und thermochemischen Wärmespeichern befindet sich der Einsatz von sensiblen Speichern im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium und weist deutlich geringere Investitionskosten auf, wodurch sehr hohe Speicherkapazitäten für Quartiere kostengünstig erschlossen werden können. Jedoch haben errichtete sensible Wärmespeicher auf Quartiersebene derzeit Pilotprojektkarakter und ihre Investitionskosten sind stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig.

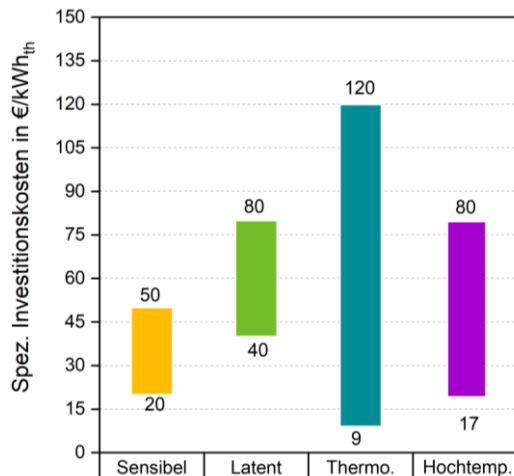


Abbildung 55: Gegenüberstellung der spezifischen (kapazitätsbezogenen) Investitionskosten (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Lassacher et al., 2018), (Stolze et al., 2019) und (BVES, 2022)).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Anwendung bzw. Umsetzung thermischer Speicher auf Quartiersebene in Bezug auf die übergeordnete Zielsetzung einer nachhaltigen und wirtschaftlichen Energieversorgung betrachtet werden sollte.

Latente Wärmespeicher kommen derzeit eher vereinzelt für einzelne Gebäude zum Einsatz, während sich thermochemische Speicher noch in der Entwicklungsphase befinden. Jedoch verfügen beide Speichertechnologien aufgrund hoher Wirkungsgrade, hoher Betriebstemperatur und hoher Speicherdichten über ein großes Entwicklungspotenzial vor allem zur Unterstützung von Fernwärmenetzen in Bestandsquartieren (Netztemperatur über 80 °C) (Bechem et al., 2015). Demgegenüber gelten sensible Wärmespeicher als etablierte und kostengünstige Technologie und werden häufig für solare Nahwärmenetze bzw. Niedertemperatur-Wärmenetze in Neubauquartieren (Netztemperatur unter 55 °C) eingesetzt. Bei quellenseitig nicht vorhandenem oder unrentablem Neubau eines Wärme- oder Kältenetzes können unter Berücksichtigung der Randbedingungen mobile Wärmespeicher (latent oder sensibel) neben der zeitlichen auch eine räumliche Entkopplung ermöglichen.

Die Genehmigungsanforderungen an thermische Energiespeicher sind von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu sind, neben baurechtlichen Anforderungen an die Speicher selbst, auch die verbundenen Anlagen und die verwendeten Stoffe zu prüfen, da diese gegebenenfalls unterschiedliche Umweltmedien in unterschiedlichem Ausmaß nutzen bzw. beeinflussen können. Weitere Anforderungen, insbesondere solche, die sich aus dem für die Anlagen vorgesehenen Standort ergeben können, sollten mit den zuständigen Behörden besprochen werden. Darüber hinaus sollten die Platzverfügbarkeit, die vorhandene Energieinfrastruktur, die Wirtschaftlichkeit und der Wärmebedarf des Gesamtsystems bei der Planung bzw. Auswahl thermischer Speicher berücksichtigt werden.

Des Weiteren spielt die Sektorenkopplung bei der Planung und Umsetzung thermischer Speicher eine große Rolle. Insbesondere den Wärmespeichern kommt durch eine Kopplung des Strom- und Wärmesektors eine Schlüsselrolle zu. Um diese Rolle auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einnehmen zu können, sollten bei der Planung von PtH-Anlagen in Verbindung mit thermischen Speichern auch die Stromnebenkosten (Netznutzungsentgelte, Umlagen, Steuern etc.) betrachtet werden. In bestimmten Konstellationen kann eine Minderung bzw. Vermeidung dieser Nebenkosten erreicht und somit gegebenenfalls eine höhere Wirtschaftlichkeit erzielt werden. Eine Privilegierung

von thermischen Speichern im Kontext der Stromnebenkosten gibt es derzeit nicht, da die verbundenen PtH-Anlagen als Letztverbraucher behandelt werden und entsprechende Regelungen Anwendung finden.

Auf der einen Seite ist der Energiebedarf des Wärmesektors weitaus höher als der des Stromsektors. Auf der anderen Seite weisen thermische Energiespeicher niedrigere Investitionskosten im Vergleich zu bisherigen Batterie- und Wasserstoffspeichern auf (Hauer et al., 2013). Jedoch können Batterie- und Wasserstoffspeicher aufgrund der hohen Energiedichte und der zunehmenden Stromerzeugung aus EE in Kombination mit thermischen Speichern (als Hybrid-Energiespeicher) beispielsweise für den optimierten Betrieb eines Fern- und Nahwärmenetzes mit Wärmepumpen oder BHKWs eingesetzt werden.

Mittels Wärmespeichern kann die Energiebereitstellung in Form von Strom, Wärme und Kälte flexibilisiert und mit volatilen EE-Erzeugern gekoppelt werden. Dadurch kann die Effizienz in Fernwärmesystemen und Quartieren erhöht und die Leistung von fossil befeuerten Kraftwerken durch PtH-Anlagen ersetzt werden (siehe Kapitel 0). Zukünftig kann dies zur Dekarbonisierung des Wärmesektors beitragen. Hierfür sind Pilotforschungsprojekte für noch nicht in der Praxis etablierte Speichertechnologien (z. B. PCM-Speicher, thermochemische Speicher u. a.) zur Demonstration von Anwendungskonzepten und zur Förderung des Markteintritts, unter Berücksichtigung technischer, planerischer, wirtschaftlicher und regulatorischer Aspekte, sinnvoll.



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über verfügbare Speichertechnologien, wobei o für „Einsatz möglich“ und $\Delta$ für „Einsatz nur mit zusätzlicher Investition möglich“ steht (Grafik: Fraunhofer IEE). .....	8
Abbildung 2: Spezifische Investitionskosten saisonaler thermischer Speicher ohne Planungskosten und MwSt. (Solites, 2021a). .....	11
Abbildung 3: Beispiel Entscheidung Geschäftsmodell Contracting vs. Eigenbetrieb (Grafik: Fraunhofer IEE). .....	14
Abbildung 4: Ackermannbogen in München (ZAE Bayern, Garching, 2021). .....	19
Abbildung 5: Schematische Darstellung des solaren Nahwärmesystems (Mangold et al., 2007 / Abbildung von Solites). .....	19
Abbildung 6: Solarsiedlung Steinfurt-Borghorst (EnergieAgentur.NRW, 2008). .....	23
Abbildung 7: Schematische Darstellung des solaren Nahwärme-systems (EnergieAgentur.NRW, 2008) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)). .....	23
Abbildung 8: Aquiferspeicher in Rostock-Brinckmanshöhe (Schmidt und Müller-Steinhagen, 2004) (Abbildung von Solites). .....	27
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Aquiferspeichersystems (Werschy et al., 2019) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)). .....	27
Abbildung 10: Solarsiedlung in Neckarsulm (Solites, 2021b). .....	31
Abbildung 11: Schematische Darstellung des solaren Nahwärmenetzes in Kombination mit einem Erdwärmesondenspeicher in Neckarsulm (Nußbicker et al., 2004) (Abbildung von Universität Stuttgart, IGTE (ehemals ITW)). .....	31
Abbildung 12: Siedlung des Baugebietes (Modell: Stadt Crailsheim) (Bauer et al., 2008). .....	32
Abbildung 13: Solar unterstütztes Nahwärmesystem angebunden an den Erdwärmesondenspeicher (Bauer et al., 2007). .....	32
Abbildung 14: Elektrodenheizkessel Karoline in Hamburg (Wärme Hamburg GmbH, 2021). .....	36
Abbildung 15: Vereinfachte Darstellung des Betriebs eines Elektrodenheizkessels für die PtH-Anwendung (Vattenfall, 2020b) (Abbildung von SaltX Technology). .....	36
Abbildung 16: Foto Gemeinde Wüstenrot II (Pietruschka, 2016a). .....	40
Abbildung 17: Energiekonzept der Gebäude in der Plusenergiesiedlung (Pietruschka 2016b) (Abbildung von Brennenstuhl). .....	40

Abbildung 18: Klimaschutzsiedlung Urbacher Weg, Köln-Porz (Mnich, 2013).....	44
Abbildung 19: Schematische Darstellung des Wärmeversorgungskonzepts mit einem Eisspeicher (Mnich, 2013).....	44
Abbildung 20: Gespeicherte Wärme in Abhängigkeit von der Temperatur (sensible und latente Wärmespeicherung) (BVES, 2022e).....	45
Abbildung 21: Vorderansicht Gebäude (links) und Übersichtsplan DEKRA-Campus (rechts) (Klein et al., 2017).....	48
Abbildung 22: Schematische Darstellung der Kälteversorgung mit einem PCM-Speicher (Gschwander, 2014).....	48
Abbildung 23: Hallenbäder als potenzielle Abnehmer von Abwärme (Vogelsang, 2020) (Bild: Badi Rothrist).....	49
Abbildung 24: Wirkungsprinzip eines Latentwärmespeichers am Beispiel der erzo/Badi Rothrist (Vogelsang, 2020) (Grafik: InfraWatt).....	49
Abbildung 25: Wärmeversorgungskonzept: PCM-Speicher Futurium Berlin (Bild: Richter Musikowski) (Bauforumstahl, 2017).....	50
Abbildung 26: Funktionsweise Speicher (Grafik: Richter Musikowski) (Bauforumstahl, 2017).....	50
Abbildung 27: Thermochemisches Speichersystem (Hauer, 2000).....	54
Abbildung 28: Offenes De- und Adsorptionssystem (Hauer, 2000).....	54
Abbildung 29: SaltX-Anlage (Röling, 2019).....	55
Abbildung 30: Schematische Darstellung der chemischen Reaktion der SaltX-Anlage (Röling, 2019).....	55
Abbildung 31: Flüssigsalzspeicher im solarthermischen Kraftwerk Andasol 3 (Bild: TSK Flagsol).....	59
Abbildung 32: Funktionsprinzip eines solarthermischen Kraftwerks (Dersch et. al, 2021) (Grafik: DLR).....	59
Abbildung 33: LUMENION Quartierspeicher Berlin- Tegel (BVES, 2022).....	60
Abbildung 34: Funktionsprinzip LUMENION Hochtemperatur-Speicher (Vattenfall, 2018a) (Grafik: Lumenion GmbH).....	60
Abbildung 35: BMWK-geförderte Projekte zur Erforschung von Flüssigsalz- Wärmespeichern zur Flexibilisierung und/oder Substitution konventioneller Kraftwerke (Winter, 2019) (Grafik: RWE).....	61
Abbildung 36: (links) 5 m hoher Feststoff-Wärmespeicher der Testanlage HOTREG am DLR, Stuttgart (Bild: DLR (CC BY-NC-ND 3.0)), (rechts) Geplanter Hochtemperatur-Wärmespeicher für die Demonstrationsanlage (Skizze: Paus Wurth R&E) (Stahl et al., 2012).....	62

Abbildung 37: (oben) Hoher Strombedarf: Gasturbinen im Betrieb, überschüssige Wärme wird gespeichert, (unten) Niedriger Strombedarf: Gasturbinen außer Betrieb, Wärmebereitstellung aus dem Speicher (Stahl et al., 2012). .....	62
Abbildung 38: Struktur des Projekts StoreITup-IF (Zauner et al., 2019) (Grafik: Projekt: „StoreITup-IF“, Christoph Zauner). .....	64
Abbildung 39: Entscheidungsprozess für den Einsatz von Speichern (Fraunhofer IEE). 65	
Abbildung 40: „Wärmenetze 4.0“ Moosburg (Grafik: Bader Energie). .....	68
Abbildung 41: Schematische Darstellung des Wärmenetzes in Moosburg (Grafik: Bader Energie). .....	68
Abbildung 42: „Wärmenetze 4.0“ Lagarde-Campus, Bamberg (Grafik: Stadtwerke Bamberg). .....	69
Abbildung 43: Schematische Darstellung des Wärmenetzes in Bamberg (Grafik: Stadtwerke Bamberg, Ersteller: Jan Kaiser, Fraunhofer IBP). .....	69
Abbildung 44: Schematische Darstellung Speicherkonzept in Bamberg (Grafik: Fraunhofer IEE). .....	69
Abbildung 45: Wärmetönungsbild aus der konkreten Sondenfeldplanung (Machbarkeitsstudie Bamberg, 2019). .....	70
Abbildung 46: Erdbecken-Wärmespeicher in Dronninglund mit Solarkollektoren im Hintergrund (Mauthner et al., 2018) (Grafik: NIRAS). .....	71
Abbildung 47: Verschaltung der Komponenten des Nahwärmesystems in Dronninglund (Mauthner et al., 2018) (Grafik: PlanEnergi). .....	71
Abbildung 48: Erdbecken-Wärmespeicher mit Solarthermieanlage in Gram (Grafik: Gram Fjernvarmen). .....	72
Abbildung 49: Komponenten des Fernwärmesystems in Gram (Gram Fjernvarmen, 2016) (Grafik: Arcon-Sunmark / GREENoneTEC, 2016). .....	72
Abbildung 50: Flakbunker vor Sanierung (links) und nach der Sanierung (rechts) (IBA, 2014) (Grafik: IBA Hamburg GmbH/ Martin Kunze). .....	73
Abbildung 51: Großpufferspeicher im Energiebunker (Grafik: IBA Hamburg GmbH / Martin Kunze). .....	73
Abbildung 52: Gegenüberstellung der Betriebstemperatur (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Heidemann et al., 2005), (Neupert et al., 2009), (Lassacher et al., 2018), (Andresen et al., 2017), (Kühne, 2015), (VIESSMANN, 2016), (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005) und (BVES, 2022)). .....	76
Abbildung 53: Gegenüberstellung der spezifischen Wärmekapazitäten (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Mangold et al., 2001b),	

(Werschky et al., 2019), (BVES, 2016), (Schmidt-Pleschka und Milles, 2005), (Jahnke, 2019) und (BVES, 2022)).....	77
Abbildung 54: Gegenüberstellung des Wirkungsgrads (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Jahnke, 2019) und (BVES, 2022)).....	78
Abbildung 55: Gegenüberstellung der spezifischen (kapazitätsbezogenen) Investitionskosten (eigene Darstellung Fraunhofer IEE in Anlehnung an (Lassacher et al., 2018), (Stolze et al., 2019) und (BVES, 2022)).....	79

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einflussfaktoren, wie das Contracting, auf das Geschäftsmodell für thermische Energiespeicher (eigene Darstellung).....	13
Tabelle 2: Technische Anforderungen an Heißwasser-Wärmespeicher.....	18
Tabelle 3: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Heißwasser-Wärmespeicher (Mangold et al., 2007). .....	19
Tabelle 4: Technische Anforderungen an (Erd-) Beckenspeicher. ....	22
Tabelle 5: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für (Erd-) Beckenspeicher.....	23
Tabelle 6: Technische Anforderungen an Aquiferspeicher. ....	26
Tabelle 7: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Aquiferspeicher.....	27
Tabelle 8. Technische Anforderungen an Erdwärmesondenspeicher.....	30
Tabelle 9: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdwärmesondenspeicher. ..	31
Tabelle 10: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdwärmesondenspeicher mit Pufferspeichern (Bauer et al., 2008).....	32
Tabelle 11: Technische Anforderungen an PtH-Anlagen.....	35
Tabelle 12: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Power-to-Heat-Anlagen....	36
Tabelle 13: Technische Anforderungen an gebäudeintegrierte Wasserspeicher in kalten Nahwärmenetzen. ....	39
Tabelle 14: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für gebäudeintegrierte Wasserspeicher in kalten Nahwärmenetzen.....	40
Tabelle 15: Technische Anforderungen an Eisspeicher. ....	43
Tabelle 16: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Eisspeicher.....	44
Tabelle 17: Technische Anforderungen an PCM-Speicher. ....	47
Tabelle 18: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für PCM-Speicher zur Kühlung.....	48
Tabelle 19: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Mobile PCM-Speicher (Vogelsang, 2020). ....	49
Tabelle 20: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für stationäre PCM-Speicher (BAU, 2018). ....	50
Tabelle 21: Technische Anforderungen an thermochemische Speicher. ....	53
Tabelle 22: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für thermochemische Speicher. ....	54

Tabelle 23: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für thermochemische Speicher (Röling, 2019). .....	55
Tabelle 24: Technische Anforderungen an thermochemische Speicher, alle Angaben basieren auf (BVES, 2022). .....	58
Tabelle 25: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Flüssigsalz-Wärmespeicher (BVES, 2022d). .....	59
Tabelle 26: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Hochtemperatur-Stahlspeicher (Vattenfall, 2018b) (WindNODE, 2020). .....	60
Tabelle 27: Beschreibung des Forschungsbeispiels für Flüssigsalz-Wärmespeicher (DLR, 2018). .....	61
Tabelle 28: Beschreibung des Forschungsbeispiels für Feststoffspeicher (Stahl et al., 2012). .....	63
Tabelle 29: Beschreibung der Forschungsinitiative Polymer-Latentwärmespeicher (Zauner et al., 2019). .....	64
Tabelle 30: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Pufferspeicher zur Lastflexibilisierung (Machbarkeitsstudie Moosburg, 2021). .....	68
Tabelle 31: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels Bamberg (Machbarkeitsstudie Bamberg, 2019). .....	70
Tabelle 32: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für saisonalen Erdbecken-Wärmespeicher (Mauthner et al., 2018). .....	71
Tabelle 33: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Erdbecken-Wärmespeicher in Gram (Gram Fjernvarme, 2016). .....	72
Tabelle 34: Beschreibung des Best-Practice-Beispiels für Energiebunker, Hamburg-Wilhelmsburg (IBA, 2014). .....	73

# Literaturverzeichnis

- AEE (2021): *Endenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020 nach Strom, Wärme und Verkehr*. Eine Darstellung des AEE auf Basis von AGEb, AGEE-Stat; Stand 3/2021. Von: <https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/endenergieverbrauch-strom-waerme-verkehr> abgerufen.
- AGFW (2020): *GEG und Fernwärme*. Von: <https://www.agfw.de/technik-sicherheit/erzeugung-sektorkopplung-speicher/energetische-bewertung/geg-und-fernwaerme> abgerufen.
- Agora Energiewende (2014): *Power-to-Heat zur Integration von ansonsten abgeregeltem Strom aus Erneuerbaren Energien*. Online verfügbar unter: [https://static.agoraenergiewende.de/fileadmin2/Projekte/2013/power-to-heat/Agora\\_PtH\\_Langfassung\\_WEB.pdf](https://static.agoraenergiewende.de/fileadmin2/Projekte/2013/power-to-heat/Agora_PtH_Langfassung_WEB.pdf) (aufgerufen am 20.11.2020).
- Agora Energiewende (2017): *Wärmewende 2030: Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor*. Studie, 107/01-S-2017/DE. Veröffentlichung: Februar 2017.
- Al-Addous (2006): *Berechnen der Größe von Wasserspeichern zum saisonalen Speichern von Wärme bei der ausschließlichen Wärmeversorgung von Häusern mit Solarkollektoren*. Al-Addous, M. Fakultät für Maschinenbau, Verfahrens- und Energietechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg. Von: <http://library.fes.de/pdf-files/stufo/cd-0403/doktorarbeit.pdf> abgerufen.
- Albert et al. (2018): *Ein Rechtsrahmen für den Wärmesektor – Studie zur rechtlichen Weiterentwicklung des Wärmesektors unter besonderer Berücksichtigung von Power to Heat*. Albert, D.; Doderer, H.; Matthes, E.; Schäfer-Stradowsky, S.; Steffensen, S. IKEM – Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität e.V. Berlin, Greifswald, Stuttgart. Kopernikus Projekte. Bundesministerium für Bildung und Forschung. Von: [https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/03/IKEM\\_Rechtsrahmen\\_W%C3%A4rme\\_20180319\\_final.pdf](https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2018/03/IKEM_Rechtsrahmen_W%C3%A4rme_20180319_final.pdf) abgerufen.
- Andresen et al. (2017): *VDI – Statusreport 2017 – Energiespeicher*. Andresen, L.; Badeda, J.; Bauer, F.; Dötsch, C.; Friedrich, A. K.; Gamrad, D.; Götz, S.; Gschwander, S.; Pellingner, C.; Reuß, M.; Schmitz, G.; Schulz, D.; Span, R.; Sprecher, M.; Weiss, T.; Zunft, S.; Sterner, M.; Wagner, N. Verein Deutscher Ingenieure e.V. Von: <https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-energiespeicher> abgerufen.
- BAU (2018): *Smart Building – das Futurium in Berlin*. Interview mit Jan Musikowski, Dirk Büttner und Christoph Richter. Veröffentlicht am 12. Oktober 2018. Das Interview führte: Thomas Geuder, World-Architects. Von: <https://bau-muenchen.com/de/bau-mag/magazin/interviews/jan-musikowski-dirk-buettner-christoph-richter/> abgerufen.
- Bauer et al. (2007): *Der Erdsonden-Wärmespeicher in Crailsheim*. OTTI, 17. Symposium Thermische Solarernergie, Kloster Banz, Bad Staffelstein, 09.–11.05.07. Von: [https://www.researchgate.net/publication/224987427\\_Der\\_Erdsonden-Warmespeicher\\_in\\_Crailsheim](https://www.researchgate.net/publication/224987427_Der_Erdsonden-Warmespeicher_in_Crailsheim) abgerufen.

- Bauer et al. (2008): *Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Speicher*. Bauer, D.; Heidemann, W.; Marx, R.; Nußbicker-Lux, J.; Ochs, F.; Panthaloökaran, V.; Raab, S. Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben. Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW). Universität Stuttgart. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). Von: [https://www.igte.uni-stuttgart.de/veroeffentlichungen/publikationen/publikationen\\_09-01.pdf](https://www.igte.uni-stuttgart.de/veroeffentlichungen/publikationen/publikationen_09-01.pdf) abgerufen.
- Bauforumstahl (2017): *Futurium Berlin*. Bericht von RICHTER MUSIKOWSKI Architekten. Von: <https://bauforumstahl.de/bauprojekte/futurium-berlin-1/> abgerufen.
- Bechem et al. (2015): *Wärmeversorgung in flexiblen Energieversorgungssystemen mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien*. Bechem, H.; Blesl, M.; Brunner, M.; Conrad, J.; Falke, T.; Felsmann, C.; Geipel, M.; Gerhardt, N.; Glaunsinger, W.; Hilpert, J.; Kessler, A.; Kleinmaier, M.; Köhler, S.; Lüking, R.-M.; Mayrhofer, P.; Meinzenbach, A.; Metten, E.; Neugebauer, H.; Oesterwind, D.; Pels-Leusden, C.; Plate, J.; Pöhlmann, A.; Riegebauer, P.; Rummeni, J.; Schegner, P.; Schnettler, A.; Tenbohlen, S.; Roon, S.; Werner, J.; Wille-Hausmann, B. Von: [http://www.energiedialog2050.de/BASE/DOWNLOADS/VDE\\_ST\\_ETG\\_Warmemarkt\\_RZ-web.pdf](http://www.energiedialog2050.de/BASE/DOWNLOADS/VDE_ST_ETG_Warmemarkt_RZ-web.pdf) abgerufen.
- Beucker und Hinterholz (2017): *Finanzierungs- und Geschäftsmodelle für das Dezentrale Energiemanagement in Quartieren*. Beucker, S.; Hinterholz, S. (Bericht D 4.1). Borderstep Institut. ProSHAPE-Konsortium. Berlin. Von: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2017/09/ProShape-D-4.1.pdf> abgerufen.
- Biedermann und Kolb (2014): *FAKTENBLATT – POWER TO HEAT*. Biedermann, F. und Kolb, M. Arbeitsgemeinschaft der hessischen Industrie- und Handelskammern. Endbericht der Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH (FfE). Von: [https://www.ffegmbh.de/download/informationen/528\\_ihk\\_hessen\\_waerme/fb\\_power-to-heat.pdf](https://www.ffegmbh.de/download/informationen/528_ihk_hessen_waerme/fb_power-to-heat.pdf) abgerufen.
- BMWK (2022a): *Neue Impulsförderung für kommunale Wärmeplanung*. 1. November 2022: Von: <https://www.klimaschutz.de/de/service/meldungen/neue-impulsfoerderung-fuer-kommunale-waermeplanung> abgerufen.
- BMWK (2022b): *Technischer Annex der Kommunalrichtlinie: inhaltliche und technische Mindestanforderungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)* vom 22. November 2021 mit Änderung vom 18. Oktober 2022. Hrsg. BMWK. Von: <https://www.klimaschutz-niedersachsen.de/foerderprogramme/kommunen/index.php> abgerufen.
- BMWK (2022c): *Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ (KRL) im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI)* vom 22. November 2021 mit Änderung vom 18. Oktober 2022. Von: <https://www.klimaschutz.de/de/foerderung/foerderprogramme/kommunalrichtlinie/erstellung-einer-kommunalen-waermeplanung> abgerufen.
- Bockelmann et al. (2018): *Abschlussworkshop: Forschungsprojekt future:heatpump – Energetische und wirtschaftliche Bewertung von Wärmequellen für Wärmepumpen*. Bockelmann, F.; Peter,



- M.; Schlosser, M. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS). TU Braunschweig. Von: [https://isfh.de/wp-content/uploads/2018/03/4-future\\_heatpump.pdf](https://isfh.de/wp-content/uploads/2018/03/4-future_heatpump.pdf) abgerufen.
- Bodmann et al. (2001). Solare Nahwärmeversorgung mit Kies/Wasser-Wärmespeicher in Steinfurt-Borghorst. Bodmann, M.; Koch, H.; Pfeil, M. Institut für Gebäude- und Solartechnik, TU Braunschweig. Pfeil & Koch ingenieure, innovative Energieplanung. Von: <https://www.tu-braunschweig.de/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=30209&token=ebaebef0a2f25a0f30ea24a15a563150c82f5507> abgerufen.
- Bodmann und Fisch (2002): *Solar unterstützte Nahwärmeversorgungen Steinfurt-Borghorst und Hannover-Kronsberg*. Bodmann, M.; Fisch, M. N. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), TU Braunschweig. Von: <http://docplayer.org/74534658-Solar-unterstuetzte-nahwaermeversorgungen-steinfurt-borghorst-und-hannover-kronsberg.html> abgerufen.
- Bolay et al. (2017): *Faktenpapier Energiespeicher*. Bolay, S.; Bullmann, T.; Hegner, M. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES) Berlin. DIHK – Deutscher Industrie- und Handelskammertag Berlin | Brüssel. Von: <https://www.dihk.de/resource/blob/2470/a1776b75a7422241ece9cacc5083b395/faktenpapier-energiespeicher-data.pdf> abgerufen.
- Bonin (2020): *Regelungen zum Grundwasserschutz*. Umwelt & Technik. Wärmepumpen. Bonin, J. Von: <https://www.umweltundtechnik.de/index.php?id=262> abgerufen.
- Brumme (2009): *Genehmigungsverfahren für tiefengeothermische Anlagen – Bergrecht, Wasserrecht, Baurecht, Immissionsschutzrecht, Naturschutzrecht, Flächen und Wege für Leitungen, Strahlenschutzrecht*. Brumme, R. Fachanwalt Bau- und Architektenrecht, Schlichter + Schiedsrichter SOBau – Chemnitz. Von: <https://www.ra-brumme.de/1-Genehmigungsverfahren.pdf> abgerufen.
- Bücken et al. (2017): *Potenziale der Sektorkopplung und Nutzung von Strom aus Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in Sachsen-Anhalt*. Bücken, M.; Freischlad, H.; Kalunka, J.; Kraft, A.; Leisten, M.; Milatz, S.; Weltz, O.; Wolter, T.; Güntzel, T.; Hache, J.; Halbauer, R. Von: [https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht\\_PtH\\_web.pdf](https://enerko.de/wp-content/uploads/2017/12/Endbericht_PtH_web.pdf) abgerufen.
- Buderus (2004): *Technische Maßnahmen zur Minderung des Legionellenwachstums in Neuanlagen – DVGW-Arbeitsblatt W551*. Buderus Heiztechnik. Von: [http://www.bosy-online.de/Trinkwasser/DVGW-Arbeitsblatt\\_W551.pdf](http://www.bosy-online.de/Trinkwasser/DVGW-Arbeitsblatt_W551.pdf) abgerufen.
- Bundesverband Geothermie e.V. (2020): *Standortauswahlgesetz*. Von: <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/s/standortauswahlgesetz.html> abgerufen.
- BVES (2016): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Niedertemperatur-Latentwärmespeicher*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Von: [https://www.bves.de/wp-content/uploads/2016/03/FactSheet\\_thermisch\\_latent\\_festfluessig\\_NT.pdf](https://www.bves.de/wp-content/uploads/2016/03/FactSheet_thermisch_latent_festfluessig_NT.pdf) abgerufen.
- BVES (2018): *Effizienzsteigerungen durch Flexibilisierung konventioneller Kraftwerke*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Von: [https://www.bves.de/wp-content/uploads/2018/12/PTHTP\\_Factsheets.pdf](https://www.bves.de/wp-content/uploads/2018/12/PTHTP_Factsheets.pdf) abgerufen.

- BVES (2022): *Anmerkungen des BVES zur 1. Überarbeitung der dena-Studie: Thermische Energiespeicher für Quartiere*. Austausch BVES mit dem Fraunhofer IEE und der dena am 17. November 2022.
- BVES (2022a): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – High-Temperature Latent Heat Storage*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- BVES (2022b): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Solid Medium Heat Storage*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- BVES (2022c): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Liquid Salt Storage*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- BVES (2022d): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Liquid Salt Storage for Demand-Oriented Electricity Supply from Solar Thermal Power Plants*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- BVES (2022e): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Low-Temperature Latent Heat Storage*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- BVES (2022f): *FACT SHEET SPEICHERTECHNOLOGIEN – Sensible Heat Water Storage*. Bundesverband Energiespeicher e.V. (BVES). Vorabversion erhalten am 18. November 2022.
- Cervenka (2008): *Einfluss von PCM auf das Verhalten von Bauteilen*. Cervenka, C. Von: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/11872> abgerufen.
- Dersch et al. (2021): *Solarthermische Kraftwerke Wärme, Strom und Brennstoffe aus konzentrierter Sonnenenergie*. Dersch, J., Paucar, J.; Schuhbauer, Ch.; Schweitzer, A.; Stryk, A. Final report of the research project "CSP-Reference Power Plant" No. 0324253Hrsg. DLR, Februar 2021. Von: <https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2020/studie-solarthermische-kraftwerke> abgerufen.
- DIN 4708 (1994): *Zentrale Wassererwärmungsanlagen*.
- DLR (2018): *Solarthermische Kraftwerke – Flüssiges Salz speichert Wärme*. Projektsteckbrief, Förderkennzeichen: 0325497A, B. Von: <https://www.strom-forschung.de/projekte/solarthermische-kraftwerke/ms-store-fluessiges-salz-speichert-waerme> abgerufen.
- Eisele et al. (2018): *Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und -kollektoren*. Eisele, M.; Hellstern, U.; Holl, C.; Hörmann, U.; Jensen, H.; Landgraf, C. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser. Von: [https://www.lawa.de/documents/lawa-empfehlungen-anforderungen-erdwaermeanlagen\\_umlauf-\\_umk\\_2\\_1559634462.pdf](https://www.lawa.de/documents/lawa-empfehlungen-anforderungen-erdwaermeanlagen_umlauf-_umk_2_1559634462.pdf) abgerufen.
- EnergieAgentur.NRW (2008): *Solarsiedlung Steinfurt-Borghorst*. Von: [https://broschuerenservice.nrw.de/default/shop/Solarsiedlung\\_Steinfurt-Borghorst](https://broschuerenservice.nrw.de/default/shop/Solarsiedlung_Steinfurt-Borghorst) abgerufen.
- Estermann et al. (2017): *Kurzstudie Power-to-X – Ermittlung des Potenzials von PtX-Anwendungen für die Netzplanung der deutschen ÜNB*. Estermann, T.; Pichlmaier, S.; Guminski, A.; Pellingner, C. Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE). Von:

- [https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/FfE\\_Kurzstudie\\_Power-to-X\\_%282017%29.pdf](https://www.netzentwicklungsplan.de/sites/default/files/paragraphs-files/FfE_Kurzstudie_Power-to-X_%282017%29.pdf) abgerufen.
- Feldmann, Ph. (2012): *Die strategische Entwicklung neuer Stadtquartiere: unter besonderer Berücksichtigung innenstadtnaher oder innerstädtischer, brachgefallener Industrieareale*. URN nbn:de:bvb:355-epub-245169, Veröffentlichungsdatum dieses Volltextes: 25. Mai 2012.
- Feldreich (2017): *Pilot project uses salt for energy storage*. Feldreich, S. Von: <https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2017/pilot-project-uses-salt-for-energy-storage> abgerufen.
- Fox (2020): *Energieversorgungssysteme für Neubau- und Bestandsquartiere: Technische und ökonomische Analyse anhand fiktiver Beispielquartiere*. Fox, S.
- FVEE (2020): *Geothermie (Strom, Wärme und Kälte)*. ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE). Von: <https://www.fvee.de/forschung/forschungsthemen/geothermie-strom-waerme-und-kaelte/> abgerufen.
- Glysofor (2020): *Rücknahme/Recycling – Glykole für die Kälte-, Klima- und Heizungstechnik*. WITTIG Umweltchemie GmbH. Von: <https://www.glysofor.de/ruecknahme-recycling/> abgerufen.
- Gram Fjernvarmen (2016): Von: <https://www.gram-fjernvarme.dk/firmaprofil/saadan-laves-varmen/> abgerufen.
- Griebler et al. (2014): *Auswirkungen thermischer Veränderungen infolge der Nutzung oberflächennaher Geothermie auf die Beschaffenheit des Grundwassers und seiner Lebensgemeinschaften*. Griebler, C.; Kellermann, C.; Kuntz, D.; Walker-Hertkorn, S.; Stumpp, C.; Hegler, F. Von: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz\\_3710\\_23\\_204\\_thermische\\_veraenderungen\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3710_23_204_thermische_veraenderungen_bf.pdf) abgerufen.
- Grimm et al. (2018): *EnEff:Wärme | Kassel Zum Feldlager – Geosolare Nahwärmeversorgung für die Siedlung „Zum Feldlager“*. Grimm, S.; Huther, H.; Vajen, K.; Orozaliev, J.; I. Best; Reul, O.; Räuschel, H.; Bennewitz, J.; Rosner, F.; Berkefeld, T.; Ozellis, C.; Stroh, K.; Yu, Y. J.; Schmidt, D. Heft 47. Von: <https://www.agfw-shop.de/kassel-zum-feldlager.html> abgerufen.
- Gschwander (2014): *Aktuelle Anwendungsbeispiele zur Nutzung von Wärmespeichern zur Klimatisierung von Gebäuden*. Gschwander, S. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, ISE. Von: [https://nanopdf.com/download/aktuelle-anwendungsbeispiele-zur-nutzung-von-warmespeichern\\_pdf](https://nanopdf.com/download/aktuelle-anwendungsbeispiele-zur-nutzung-von-warmespeichern_pdf) abgerufen.
- Handke et al. (2008): *Energiespeicher – Stand und Perspektiven – Themenfeld 3: Forschung und Entwicklung – Internationale Einordnung*. Knoll, M.; Handke, V.; Jörß, W.; Kamburow, C.; Wehnert, T. In: Dagmar Oertel: *Energiespeicher – Stand und Perspektiven*. Sachstandsbericht zum Monitoring „Nachhaltige Energieversorgung“. Von: <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab123.pdf> abgerufen.
- Hauer (2000): *OFFENE ADSORPTIONSSPEICHER MIT ZEOLITH*. Hauer, A. Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung. Von: <https://docplayer.org/49281697-Offene-adsorptionsspeicher-mit-zeolith.html> abgerufen.

- Hauer et al. (2001): *Thermochemische Speicher*. Hauer, A.; Brösicke, W.; Henning, H. M.; Mittelbach, W.; Mühlbauer, W. Von: [https://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/Externe\\_Projektbeschreibungen/Thermochemische\\_Speicher.pdf](https://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/pdfs/Externe_Projektbeschreibungen/Thermochemische_Speicher.pdf) abgerufen.
- Hauer et al. (2013): *Wärmespeicher – 5., vollständig überarbeitete Auflage*. Hauer, A.; Hiebler, S.; Reuß, M.
- Heidemann et al. (2005): *Solare Nahwärme und saisonale Speicherung*. Heidemann, W.; Dötsch, C.; Müller-Steinhagen, H. Von: [https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005\\_02\\_02.pdf](https://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Themenhefte/th2005/th2005_02_02.pdf) abgerufen.
- Holstenkamp et al. (2016): *Querschnittstudie Erfolgsfaktoren für mitteltiefe Aquiferwärmespeicher in Norddeutschland*. Holstenkamp, L.; Lauer, J.J.; Neidig, P.; Opel, O.; Steffahn, J.; Strodel, N.; Vogel, M.; Degenhart, H.; Michalzik, D.; Schomerus, T.; Schönebeck, J.; Növig, T. Von: <https://www.geodienste.com/presse/dgk2016.pdf> abgerufen.
- IBA (2014): *Internationale Bauausstellung Hamburg – Energiebunker*; Hrsg. IBA Hamburg GmbH, April 2014. Von: [https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/140610\\_WHI\\_EB\\_final.pdf](https://www.internationale-bauausstellung-hamburg.de/fileadmin/Mediathek/Whitepaper/140610_WHI_EB_final.pdf) abgerufen.
- IEA DHC Annex (2017): *Future Low temperature District Heating design Guidebook*. Final Report of IEA DHC Annex TS1 Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. Published by: AGFW-Project Company Frankfurt am Main, Germany, ISBN 3-89999-070-6.
- Jaeger (2018): *Die AwSV erklärt – Was wirklich neu ist und wie man sie anwendet*. Jaeger, E. Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord. Rheinland-Pfalz. Von: [https://sgdsued.rlp.de/fileadmin/sgdsued/Dokumente/Downloads/WAB/Referat\\_Die\\_AwSV\\_erklaert.pdf](https://sgdsued.rlp.de/fileadmin/sgdsued/Dokumente/Downloads/WAB/Referat_Die_AwSV_erklaert.pdf) abgerufen.
- Jahnke (2019): *Untersuchung des Honigmann-Prozesses zur thermochemischen Energiespeicherung*. Jahnke, A. Technische Universität Berlin. Von: [https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/9100/5/jahnke\\_anna.pdf](https://depositonce.tu-berlin.de/bitstream/11303/9100/5/jahnke_anna.pdf) abgerufen.
- Jersch (2016): *Rückkauf der Hamburger Energienetze – Was ist drei Jahre nach dem Volksentscheid erreicht?*. Jersch, S. Bürgerschaft der freien und Hansestadt Hamburg. Von: [https://www.stephan-jersch.de/fileadmin/\\_migration/news\\_import/21\\_5758\\_ru\\_ckkauf-der-hamburger-energienetze---was-ist-drei-jahre-nach-dem-volksentscheid-erreicht-\\_01.pdf](https://www.stephan-jersch.de/fileadmin/_migration/news_import/21_5758_ru_ckkauf-der-hamburger-energienetze---was-ist-drei-jahre-nach-dem-volksentscheid-erreicht-_01.pdf) abgerufen.
- KEA-BW (2022): *Technikkatalog zur kommunalen Wärmeplanung – 5.1 Speichertechnologien\_Puffer\_Tagesspeicher v1.xlsx*. Von: <https://www.kea-bw.de/waermewende/wissensportal/kommunale-waermeplanung/technikkatalog> abgerufen.
- Klein et al. (2017): *Lastmanagement in netzreaktiven Gebäuden – LaNeGe*. Klein, K.; Gschwander, S.; Wahl, A.; Steinle, C. P.; Ege, K.; Krieger, V.
- Kraftblock (2022): *Hochtemperatur-Energiespeicher*. Von: <https://kraftblock.com/de/insights/hochtemperatur-energiespeicher.html> abgerufen.

- Kranz et al. (2008): *Wärme- und Kältespeicherung in Aquiferen*. Kranz, S.; Bartels, J.; Gehrke, D.; Hoffmann, F.; Wolfgramm, M. GFZ Potsdam. bbr – Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau. Von: [https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item\\_237345\\_1/component/file\\_237344/content](https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_237345_1/component/file_237344/content) abgerufen.
- Kühne (2015): *power-to-(district)heat: Erste Betriebs- und Einsatzerfahrungen*. Kühne, J. 1. Praxis- und Wissensforum Fernwärme/Fernkälte. AGFW. Von: <https://docplayer.org/14580409-Power-to-district-heat-erste-betriebs-und-einsatzerfahrungen.html> abgerufen.
- Lassacher et al. (2018): *Technische Aspekte der Forcierung von Primärenergieeffizienz an oberösterreichischen Produktionsstandorten durch Nutzung von Wärmespeichern*. Lassacher, S.; Puschnigg, S.; Lindorfer, J. Energie Institut. Johannes Kepler Universität Linz. Von: [https://energieinstitut-linz.at/wp-content/uploads/2020/03/W%C3%A4rmespeicher-innerbetrieblich\\_Endbericht\\_EJKU\\_2018.pdf](https://energieinstitut-linz.at/wp-content/uploads/2020/03/W%C3%A4rmespeicher-innerbetrieblich_Endbericht_EJKU_2018.pdf) abgerufen.
- LBEG (2020): *Bodenklassen für Erdarbeiten nach DIN 18300 (IBOKLA 50)*. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). Von: [https://www.lbeg.niedersachsen.de/karten\\_daten\\_publicationen/karten\\_daten/baugrund/bodenklassen\\_erdarbeiten\\_nach\\_din\\_18300/bodenklassen-fuer-erdarbeiten-nach-din-18300-ibokla-50-621.html](https://www.lbeg.niedersachsen.de/karten_daten_publicationen/karten_daten/baugrund/bodenklassen_erdarbeiten_nach_din_18300/bodenklassen-fuer-erdarbeiten-nach-din-18300-ibokla-50-621.html) abgerufen.
- Machbarkeitsstudie Bamberg (2019): *Machbarkeitsstudie bzgl. der energetischen Versorgung des Konversionsgebietes Lagarde nach den Vorgaben der Förderbekanntmachung „Wärmenetze 4.0“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie*.
- Machbarkeitsstudie Moosburg (2021): *Machbarkeitsstudie über die Transformation und Erweiterung des Wärmenetzes in Moosburg an der Isar im Rahmen des Fördermoduls 1 der Förderbekanntmachung „Wärmenetze 4.0“ des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle*. 25.02.2021.
- Mangold et al. (2001a): *Solarthermie-2000 TP 3: Solar unterstützte Nahwärme – Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung*. Mangold, D.; Schmidt, M.; Benner, Th.; Hahne, E.; Müller-Steinhagen, H. Von: [https://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/images/tp3itw\\_mangold.pdf](https://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/images/tp3itw_mangold.pdf) abgerufen.
- Mangold et al. (2001b): *Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme*. Mangold, D.; Benner, M.; Schmidt, T. Von: <https://www.baufachinformation.de/mobil/kostenlos.jsp?sid=5622BF3A79D1DFFB20AA3125EFD1117B&id=&link=https%3A%2F%2Fapi.deutsche-digitale-bibliothek.de%2Fbinary%2F24699bcd-a983-40fd-86d9-1cb5dda7a8d2.pdf> abgerufen.
- Mangold et al. (2007): *SOLARE NAHWÄRME UND LANGZEIT-WÄRMESPEICHER*. Mangold, D.; Riegger, M.; Schmidt, T. Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben. Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme. Projektträger Jülich. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Von: <http://docplayer.org/20754361-Solare-nahwaerme-und-langzeit-waermespeicher.html> abgerufen.

- Mauthner et al. (2018): *IEA SHC Task 52 – Deliverable C2: Analysis of built best practice examples and conceptual feasibility studies of solar thermal systems in urban environments*. Mauthner, F.; Joly, M. Technical Report. Juni 2018.
- Mnich (2013): *Großer Eisspeicher im Wohnungsbau*. Mnich, R. PSB & Partner. 6. Europäischer Kongress. Von: <https://docplayer.org/25545953-Grosser-eisspeicher-im-wohnungsbau.html> abgerufen.
- Moser (2017): „FutureDHSystem Linz“ – *Sondierung neuer Konzepte für zukünftige Energietransformationen im Linzer Wärmesystem*. Moser, S. Blue Globe Report. Energieinstitut Johannes Kepler Universität Linz. Klima + Energie Fonds. Von: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/BGR0112017SC.pdf> abgerufen.
- Müller et al. (2014): *Solarenergie und Wärmenetze: Optionen und Barrieren in einer langfristigen, integrativen Sichtweise*. Müller, A.; Büchele, R.; Kranzl, L.; Totschnig, G.; Mauthner, F.; Heimrath, R.; Halmdienst, C. doi: 10.13140/RG.2.1.2658.1843. Vienna University of Technology, Energy Economics Group. Von: [https://www.researchgate.net/profile/Andreas\\_Mueller21/publication/286392298\\_Solarenergie\\_und\\_Warmenetze\\_Optionsen\\_und\\_Barrieren\\_in\\_einer\\_langfristigen\\_integrativen\\_Sichtweise/links/5668632008ae7dc22ad3188](https://www.researchgate.net/profile/Andreas_Mueller21/publication/286392298_Solarenergie_und_Warmenetze_Optionsen_und_Barrieren_in_einer_langfristigen_integrativen_Sichtweise/links/5668632008ae7dc22ad3188) abgerufen.
- Neupert et al. (2009): *Energiespeicher. Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potenzial*. Neupert, U.; Euting, T.; Kretschmer, T.; Notthoff, C.; Ruhlig, K.; Weimert, B. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag. 217 pp. ISBN: 978-3-8167-7936-0. Von: [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-897426.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-897426.pdf) abgerufen.
- NRW.Energy4Climate (2022): *Prozesswärme-Bedarf in der Industrie*. Von: <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/energiebedarf-der-industrie/waerme-in-der-industrie> abgerufen.
- Nußbicker et al. (2004): *Bau und Betrieb des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm-Amorbach*. Nußbicker, J.; Mangold, D.; Heidemann, W.; Müller-Steinhagen, H. Universität Stuttgart. DLR. Von: [https://www.researchgate.net/profile/W\\_Heidemann/publication/224797620\\_Bau\\_und\\_Betrieb\\_des\\_Erdsonden-Warmespeichers\\_in\\_Neckarsulm-Amorbach/links/54dd9dbf0cf28a3d93f9cf1c/Bau-und-Betrieb-des-Erdsonden-Wae](https://www.researchgate.net/profile/W_Heidemann/publication/224797620_Bau_und_Betrieb_des_Erdsonden-Warmespeichers_in_Neckarsulm-Amorbach/links/54dd9dbf0cf28a3d93f9cf1c/Bau-und-Betrieb-des-Erdsonden-Wae) abgerufen.
- Pehnt et al. (2017): *Wärmenetzsysteme 4.0 Endbericht – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“*. Pehnt, M.; Nast, M.; Götz, C.; Blömer, S.; Barkhausen, A.; Schröder, D.; Miljes, R.; Pottbäcker, C.; Breier, H.; Nabe, C.; Lindner, S.; Dannemann, B. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. adelphi consult GmbH. PricewaterhouseCoopers GmbH. Ecofys Germany GmbH. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. Deutsche Energie-Agentur GmbH. BMWi. Von: <https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/W%C3%A4rmenetze-4.0-Endbericht-final.pdf> abgerufen.
- Pietruschka (2016a): *Kalte Nahwärme – ein zukunftsweisendes Konzept zur Vernetzung von LowEx Systemen*. Pietruschka, D. envisage Wüstenrot. PtJ. BMWi. Von:



- <https://docplayer.org/30163595-Kalte-nahwaerme-ein-zukunftsweisendes-konzept-zur-vernetzung-von-lowex-systemen-dr-dirk-pietruschka.html> abgerufen.
- Pietruschka et al. (2016b): *Vision 2020 – Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot*. Pietruschka, D.; Pietzsch, U.; Monien, D. Begleitforschung EnEff:Stadt c/o pro:21 GmbH. Hochschule für Technik Stuttgart. Zentrum für Nachhaltige Energietechnik. Von: <https://www.baufachinformation.de/kostenlos.jsp?sid=977D7FD2C1AECABFFE0412B5BFCAC2DD&id=2016099004074&link=http%3A%2F%2Fwww.irbnet.de%2Fdaten%2Frswb%2F16099004074.pdf> abgerufen.
- Röling (2019): *Vattenfall speichert Energie in Salz*. Röling, H. emw Energie. Markt. Wettbewerb. Von: <https://www.emw-online.com/artikel/190639/vattenfall-speichert-energie-in-salz> abgerufen.
- Rosenkranz (2020): *Erdwärmetauscher für Lüftung und Wärmepumpe*. Rosenkranz, A. Von: <https://heizung.de/heizung/wissen/erdwaermetauscher-fuer-lueftung-und-waermepumpe/> abgerufen.
- Rundel et al. (2013): *Speicher für die Energiewende*. Rundel, P.; Meyer, B.; Meiller, M.; Meyer, I.; Daschner, R.; Jakuttis, M.; Franke, M.; Binder, S.; Hornung, A. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT. Institutsteil Sulzbach-Rosenberg. Von: <https://speicherinitiative.at/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/18-Speicher-fuer-die-Energiewende-Fraunhofer-UMSICHT.pdf> abgerufen.
- SAENA (2012): *Technologien der Abwärmenutzung*. Sächsische Energieagentur GmbH – SAENA. Von: [https://www.saena.de/download/broschueren/BU\\_Technologien\\_der\\_Abwaermenutzung.pdf](https://www.saena.de/download/broschueren/BU_Technologien_der_Abwaermenutzung.pdf) abgerufen.
- Sanner et al. (2000): *Erfahrungen mit dem Thermal Response Test in Deutschland*. Sanner, B.; Reuß, M.; Mands, E.; Müller, J. Institut für Angewandte Geowissenschaften der Justus-Liebig-Universität. Landtechnik Weihenstephan. TU München. UBeG GbR. Von: <https://buildingphysics.com/download/2000%20Sanner%20etal%20dggk%202000%20-%20TRT.pdf> abgerufen.
- Sauss (2018): *Überblick zur saisonalen Wärmespeicherung in Deutschland*. Sauss, D. Von: [https://www.ib-sh.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/energieagentur/eki/eki\\_vortrag\\_ff11\\_07\\_ueberblick\\_waermespeicherung\\_siz.pdf](https://www.ib-sh.de/fileadmin/user_upload/downloads/energieagentur/eki/eki_vortrag_ff11_07_ueberblick_waermespeicherung_siz.pdf) abgerufen.
- Schabbach et al. (2010): *Thermische Energiespeicher – Thermische Speichertechnologien zur effizienten Nutzung Erneuerbarer Energien/Überschusswärme und ihre Umsetzung in Thüringen*. Schabbach, T.; Wesselak, V.; Steiner, P. LEG Thüringen mbH, Erfurt. Von: [https://www.cluster-thueringen.de/fileadmin/thcm/pdf/veranstaltungen/vortraege/thermische\\_energiespeicher/studie.pdf](https://www.cluster-thueringen.de/fileadmin/thcm/pdf/veranstaltungen/vortraege/thermische_energiespeicher/studie.pdf) abgerufen.
- Schmid (2020a): *Power-to-Heat: Heizen mit Windstrom*. Schmid, A. Von: <https://edison.media/erleben/power-to-heat-heizen-mit-windstrom/23843552.html> abgerufen.



- Schmid (2020b): *Vattenfall und das DLR forschen an thermischen Speichern aus Salz. Ende 2019 soll sich zeigen, ob die Technologie umsetzbar und wirtschaftlich ist.* Schmid, A. Von: <https://edison.media/erklaren/vattenfall-und-dlr-testen-salz-waermespeicher/23984186.html> abgerufen.
- Schmid und Müller-Steinhagen (2004): *The Central Solar Heating Plant with Aquifer Thermal Energy Store in Rostock – Results after four years of operation.* Schmid, T.; Müller-Steinhagen, H. Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT). Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering (ITW). University of Stuttgart. Institute of Technical Thermodynamics (ITT). German Aerospace Center (DLR). Von: <https://silo.tips/download/the-central-solar-heating-plant-with-aquifer-thermal-energy-store-in-rostock-res> abgerufen.
- Schmidt-Pleschka und Milles (2005): *Wärme und Strom speichern.* Schmidt-Pleschka, R.; Milles, U. BINE Informationsdienst basisEnergie, Nr. 19.
- Schneider et al. (2011): *recyclingfähig konstruieren – Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“.* Schneider, U.; Böck, M.; Mötzl, H. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Von: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz\\_pdf/endbericht\\_1121\\_recyclingfaehig\\_konstruieren.pdf?m=1469660550&](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_1121_recyclingfaehig_konstruieren.pdf?m=1469660550&) abgerufen.
- Schroeteler et al. (2020): *TECHNO-ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON SAISONALEN WÄRMESPEICHERN – EIN SIMULATIONSBASIRTER ANSATZ.* Schroeteler, B.; Sperle, H.; Felder, T.; Meier, M.; Berger, M.; Worlitschek, J. Hochschule Luzern, CC Thermische Energiespeicher. 16. Symposium Energieinnovation. Von: [https://www.tugraz.at/fileadmin/user\\_upload/tugrazExternal/4778f047-2e50-4e9e-b72d-e5af373f95a4/files/lf/Session\\_H3/833\\_LF\\_Schroeteler.pdf](https://www.tugraz.at/fileadmin/user_upload/tugrazExternal/4778f047-2e50-4e9e-b72d-e5af373f95a4/files/lf/Session_H3/833_LF_Schroeteler.pdf) abgerufen.
- Seitz et al. (2018): *Technologiebericht – 3.3b Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch und mechanisch).* Seitz, A.; Zunft, S.; Hoyer-Klick, C. Von: [https://www.energieforschung.de/lw\\_resource/datapool/systemfiles/elements/files/70016A6DEDAD0237E0539A695E8684D6/current/document/3.3b\\_Energiespeicher\\_thermisch\\_thermo-chemisch\\_und\\_mechanisch.pdf](https://www.energieforschung.de/lw_resource/datapool/systemfiles/elements/files/70016A6DEDAD0237E0539A695E8684D6/current/document/3.3b_Energiespeicher_thermisch_thermo-chemisch_und_mechanisch.pdf) DLR. BMWi. abgerufen.
- Solar Energy Laboratory – University of Wisconsin (2005): *TRNSYS: A Transient System Simulation Program.*
- Solites (2021a): *Spezifische Investitionskosten saisonaler thermischer Speicher ohne Planungskosten und MwSt.*
- Solites (2021b): *Solarsiedlung in Neckarsulm.*
- Stahl et al. (2012): *Flexibilisierung von Gas- und Dampfturbinenkraftwerken durch den Einsatz von Hochtemperatur-Wärmespeichern (FleGs).* F&E-Vorhaben zur Vorbereitung von Hochtemperatur-Wärmespeichern und deren Integration in den Gas- und Dampfturbinenprozess. Stahl, K.; Moser, P.; Marquardt, R.; Siebert, M.; Kessler, S.; Maier, F.; Krüger, M.; Zunft, S.; Dreißigacker, V.; Hahn, J. Abschlussbericht, BMWi, FK: 0327882.
- Stolze et al. (2019): *Forschungs- und Entwicklungspotenziale der Thüringer Energiespeicherbranche. Energiespeicherstudie für das Bundesland Thüringen.* Stolze, C.; Gollmer, L.; Hager, M. D.;

- Stelter, M.; Schubert, U. S.; Liebe, J.; Ehrich, M.; Jelinek, B.; Ammon, M.; Fahmy, L. Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC Jena). Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk (ThEEN) e.V. EuPD Research Sustainable Management GmbH. Von: [https://www.ceec.uni-jena.de/ceec\\_femedia/downloads/energiespeicherstudie.pdf](https://www.ceec.uni-jena.de/ceec_femedia/downloads/energiespeicherstudie.pdf) abgerufen.
- Stryi-Hipp et al. (2012): *Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030*. Stryi-Hipp, G.; Drück, H.; Wittwer, V.; Zörner, W.; Bollin, E.; Hafner, B.; Henning, H.-M.; Jordan, U.; Köbbemann-Rengers, R.; Köhl, M.; Lambrecht, K.; Mangold, D.; Stadler, C.; Vajen, K. DSTTP. GERTEC GmbH Ingenieurgesellschaft. Netzwerk Kälteeffizienz Hamburg. Von: [https://www.solaroffice.de/fileadmin/solaroffice/dokumente/publikationen/DSTTP\\_strategie\\_einzelseiten.pdf](https://www.solaroffice.de/fileadmin/solaroffice/dokumente/publikationen/DSTTP_strategie_einzelseiten.pdf) abgerufen.
- Tech und Josfeld (2008): *Energieeffizienz in der Prozess- und Großkälte*. Tech, T.; Josfeld, F. J. Von: <https://docplayer.org/5841908-Energieeffizienz-in-der-prozess-und-grosskaelte-6-11-2008.html> abgerufen.
- UBA (2020b): *Kunststoffe*. Umweltbundesamt. UBA. Von: <https://www.umweltbundesamt.de/kunststoffe#hinweise-zum-recycling> abgerufen.
- Vattenfall (2018a): *Wie funktioniert Stahl als Energiespeicher?*. News: 14. November 2018. Von: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/blog/2018/november/wie-funktioniert-stahl-als-energiespeicher> abgerufen.
- Vattenfall (2018b): *Sektorenkoppelnder Stahlspeicher bringt Energiewende auf Hochtemperatur*. Pressemitteilung: 22. Oktober 2018. Von: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/pressemitteilungen/2018/sectorenkoppelnder-stahlspeicher> abgerufen.
- Vattenfall (2020a): *Elektrokessel „Karoline“ – ein Beitrag zur Norddeutschen Energiewende*. Naoumis, H. Vattenfall. Von: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/blog/2018/april/elektrokessel-karoline--ein-beitrag-zur-norddeutschen-energiewende> abgerufen.
- Vattenfall (2020b): *Erste Power-to-Heat-Anlage in Hamburg ermöglicht Sektorenkopplung*. Gross, B. Vattenfall. Von: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/blog/2018/november/erste-power-to-heat-anlage-in-hamburg-ermoglicht-sektorenkopplung> abgerufen.
- Vattenfall (2020c): *Heike Tauber zur neuen Power-to-Heat-Anlage in Berlin*. Vattenfall. Von: <https://group.vattenfall.com/de/newsroom/news/2019/september/3-Fragen-an-Heike-Tauber-Power-to-Heat> abgerufen.
- VDI 4640 Blatt 3 (2001): *Thermische Nutzung des Untergrundes – Unterirdische Thermische Energiespeicher*. VDI.
- VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik (2016): *PCM energy storage systems in building services*. VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik.
- Vela Solaris AG (2018): *Polysun Simulation Software – Benutzerhandbuch*. Vela Solaris AG. Von: [https://velasolaris.com/wp-content/uploads/2020/07/Tutorial\\_DE.pdf](https://velasolaris.com/wp-content/uploads/2020/07/Tutorial_DE.pdf) abgerufen.
- VISSMANN (2012a): *Grundlage für Wärmepumpen*. Viessmann. Von: <http://www.linear.de/onlinebrowser/VISSMANN/Pdf/DEU/519.pdf> abgerufen.

- VISSMANN (2012b): *Heizen mit Eis – Effiziente und preisattraktive Wärmequelle für Wärmepumpen*. Von: [http://viessmann.com.ua/images/uploads/pdfs/heizen\\_mit\\_eis.pdf](http://viessmann.com.ua/images/uploads/pdfs/heizen_mit_eis.pdf) abgerufen.
- VISSMANN (2012c): *Planungsanleitung – VITOCAL Sole/Wasser- und Wasser/Wasser-Wärmepumpe – ein- und zweistufig, 5,8 bis 117,8 kW*.
- VISSMANN (2016): *Planungsanleitung – Eisspeichersystem*. Viessmann. Von: <https://docplayer.org/50016194-Viesmann-vitofriocal-eisspeichersystem-fuer-vitocal-sole-wasser-waermepumpen-planungsanleitung-vitofriocal-eisspeichersystem.html> abgerufen.
- Vogelsang, M. (2020): *Mobile Wärmeversorgung mittels Latentwärme*. Fachartikel Aqua & Gas – Plattform für Wasser, Gas und Wärme. 13. September 2020. Von: [https://www.aquaetgas.ch/energie/fernwaerme/20200913\\_ag9\\_mobile-waermeversorgung-mittels-latentwaerme/](https://www.aquaetgas.ch/energie/fernwaerme/20200913_ag9_mobile-waermeversorgung-mittels-latentwaerme/) abgerufen.
- Wärme Hamburg GmbH (2021): *Elektrodenheizkessel Karoline in Hamburg* (Foto).
- Werschky et al. (2019): *Abschlussbericht: Roadmap Gas ++ „Versorgungsstrategien von Niedrigenergiehäusern in Hinblick auf den Ausbau bestehender und zukünftiger Energienetze“*. Werschky, M.; Erler, F.; Feldpausch-Jägers, S.; Tali, E. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Von: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/forschung/berichte/g201705-roadmap-gas-plus.pdf> abgerufen.
- WindNODE (2020): *Stahlspeicher einsatzbereit*. News: 28.08.2020. Von: <https://www.windnode.de/newsdetail/news/stahlspeicher-einsatzbereit/> abgerufen.
- Winter (2019): *Wegweisendes Pilotprojekt: Im Rheinischen Revier entsteht ein Wärmespeicherkraftwerk*. Winter, O. Projektvorstellung. 15. März 2019. Von: <https://www.rwe.com/presse/rwe-power/2019-03-15-gemeinschaftsprojekt-fluessigsalzspeicher> abgerufen.
- Wolf GmbH (2017): *Montageanleitung – Warmwasserspeicher für Wärmepumpen*. Wolf GmbH. Von: [https://www.wolf.eu/fileadmin/Wolf\\_Daten/Dokumente/Produktdownloads/Speicher/Montage/3062842\\_201703\\_WP\\_Puffermodul-CPM-1-70\\_SPU-1-120\\_SEM-1W-360\\_CEW-1-200\\_CEW-2-200\\_SEW-1-300\\_400\\_SEW-2-200.pdf](https://www.wolf.eu/fileadmin/Wolf_Daten/Dokumente/Produktdownloads/Speicher/Montage/3062842_201703_WP_Puffermodul-CPM-1-70_SPU-1-120_SEM-1W-360_CEW-1-200_CEW-2-200_SEW-1-300_400_SEW-2-200.pdf) abgerufen.
- ZAE Bayern (2015): *Chancen und Grenzen thermochemischer Speicher*. BINE Informationsdienst.
- ZAE Bayern, Garching (2021): *Ackermannbogen in München*.
- Zauner et al. (2019): *StoreITup-IF: Neue Polymer-Latentwärmespeicher für Industrie, Solarthermie, Wärmenetze und Kraftwerke im Temperaturbereich 80-400°C*. Zauner, Ch.; Resch-Fauster, K.; Steinmaurer, G. Endbericht. 06.08.2019. Von: <https://energieforschung.at/projekt/neue-polymer-latentwaermespeicher-fuer-industrie-solarthermie-waermenetze-und-kraftwerke-im-temperaturbereich-80-400c/> abgerufen.

## Abkürzungen

<b>AS</b>	Aquiferspeicher
<b>ATES</b>	Aquifer Thermal Energy Storage
<b>AwSV</b>	Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen
<b>BAFA</b>	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
<b>BauGB</b>	Baugesetzbuch
<b>BauNVO</b>	Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke
<b>BauO Land</b>	Landesbauordnung
<b>BBergG</b>	Bundesberggesetz
<b>BEG EM</b>	Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen
<b>BEG WG</b>	Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude
<b>BEW</b>	Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze vom 16.07.2021
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>BImSchG</b>	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge
<b>BImSchV</b>	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes
<b>BNatSchG</b>	Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege
<b>BTES</b>	Borhole Thermal Energy Storage
<b>BVES</b>	Bundesverband Energiespeicher Systeme e.V.
<b>CEEC Jena</b>	Center for Energy and Environmental Chemistry Jena
<b>DH</b>	Doppelhaus
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
<b>DSTTP</b>	Deutsche Solarthermie-Technologieplattform
<b>EBS</b>	(Erd-) Beckenspeicher
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>EEG</b>	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien
<b>EFH</b>	Einfamilienhaus
<b>EiS</b>	Eisspeicher
<b>EnEV</b>	Energieeinsparverordnung
<b>EnergieStG</b>	Energiesteuergesetz

<b>EnWG</b>	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung
<b>ES</b>	Erdwärmesondenspeicher
<b>EWK</b>	Erdwärmekollektor
<b>FfE</b>	Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.
<b>FK</b>	Flachkollektor
<b>FVEE</b>	ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
<b>GeolDG</b>	Geologiedatengesetz
<b>GrwV</b>	Verordnung zum Schutz des Grundwassers
<b>GW</b>	Gebäudeintegrierter Wasserspeicher
<b>HT</b>	Hochtemperatur-Speicher
<b>HW</b>	Heißwasser-Wärmespeicher
<b>IGS</b>	Institut für Gebäude- und Solartechnik
<b>ITT</b>	Institute of Technical Thermodynamics
<b>ITW</b>	Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik
<b>KfW</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau
<b>KfW IKK</b>	Investitionskredit Kommunen der KfW
<b>KfW IKU</b>	Investitionskredit Kommunale und Soziale Unternehmen der KfW
<b>kMFH</b>	Kleines Mehrfamilienhaus
<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung
<b>KWKG</b>	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung
<b>LBEG</b>	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie
<b>LImSchG</b>	Landesimmissionsschutzgesetz
<b>LWG</b>	Landeswassergesetz
<b>MFH</b>	Mehrfamilienhaus
<b>NWG</b>	Nichtwohngebäude
<b>PCM</b>	Phasenwechselmaterialien (englisch: Phase Change Materials)
<b>PTES</b>	Pit Thermal Energy Storage
<b>PtH</b>	Power-to-Heat
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>RH</b>	Reihenhaus
<b>ROG</b>	Raumordnungsgesetz

<b>SLK</b>	Spitzenlastkessel
<b>StandAG</b>	Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für hochradioaktive Abfälle
<b>StromStG</b>	Stromsteuergesetz
<b>SWT</b>	Solar- und Wärmetechnik Stuttgart
<b>TA Lärm</b>	Technische Anleitung Lärm
<b>TA Luft</b>	Technische Anleitung Luft
<b>ThEEN e.V.</b>	Thüringer Erneuerbare Energien Netzwerk e. V.
<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>TS</b>	Thermochemischer Speicher
<b>TTES</b>	Tank Thermal Energy Storage
<b>TWW</b>	Trinkwarmwasser
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>UTES</b>	Underground Thermal Energy Storage
<b>UVPG</b>	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
<b>UVP-V Bergbau</b>	Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>WE</b>	Wohneinheit
<b>WGK</b>	Wassergefährdungsklasse
<b>WHG</b>	Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
<b>WPtH</b>	Wasserspeicher für PtH-Anlage
<b>WRG</b>	Wärmerückgewinnung
<b>WSchVO</b>	Wärmeschutzverordnung

## Einheiten- und Indexverzeichnis

<b>a</b>	Jahr
<b>°C</b>	Grad Celsius
<b>el</b>	elektrisch
<b>GWh</b>	Gigawattstunde
<b>K</b>	Kelvin
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>kJ</b>	Kilojoule
<b>KMU</b>	Kleine und mittlere Unternehmen
<b>kV</b>	Kilovolt
<b>kW</b>	Kilowatt
<b>kWh</b>	Kilowattstunde
<b>l</b>	Liter
<b>m</b>	Meter
<b>m<sup>2</sup></b>	Quadratmeter
<b>m<sup>3</sup></b>	Kubikmeter
<b>MW</b>	Megawatt
<b>MWh</b>	Megawattstunde
<b>th</b>	thermisch
<b>Vol.-%</b>	Volumenprozent
<b>TWh</b>	Terawattstunde
<b>WÄ</b>	Wasseräquivalent
<b>Wh</b>	Wattstunde



# Anhang I

			Heißwasser-Wärmespeicher	(Erd-) Beckenwärmespeicher	Aquiferspeicher	Erdwärmesondenspeicher	Wasserspeicher für Power-to-Heat-Anlagen	Gebäudeintegrierte Wasserspeicher	Eisspeicher	PCM-Speicher	Thermochemische Wärme- & Kältespeicher	Saisonale Speicher	Hochtemperatur-Speicher
Bundesebene	Zuschuss	Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)											
		Bundesförderung für effiziente Gebäude – Kommunen (KfW 464)											
		Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)											
		Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft – Modul 2											
		KWK-Zuschlag (§§ 22 – 25 KWKG)											
	Kredit mit Tilgungszuschuss	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (KfW 295)											
		Erneuerbare Energien – Premium (KfW 271, 281)											
		IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW 201)											
	Kredit	IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW 202)											
		Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG – KfW 261)											
Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG – KfW 263)													
Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)													
Landesebene	Klimaschutzoffensive für Unternehmen (KfW 293)												
	Baden-Württemberg	Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen											
	Bayern	Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ											
	Berlin	Effiziente GebäudePLUS – Fördermodul 3											
	Bremen	Ersatz von Ölheizkesseln											
	Sachsen-Anhalt	Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE											
	Hamburg	Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher											
	Hessen	Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien											
	Mecklenburg-Vorpommern	Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen											
	Mecklenburg-Vorpommern	Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen											
	Nordrhein-Westfalen	Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik											
	Nordrhein-Westfalen	Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze											
	Rheinland-Pfalz	Zukunftsfähige Energieinfrastruktur (ZEIS-Wärme)											
	Saarland	Zukunftsenergieprogramm kommunal (ZEP-kommunal)											
Sachsen-Anhalt	Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE												

**Bundesebene:**

**Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen (BEG EM)**

Fördergegenstand

4. Kosten für Anlagen zur Wärmeerzeugung (Heizungstechnik)

4.7 Wärmespeicher

- Alle Arten von Warmwasserspeichern (Heizwasser-, Trinkwarmwasser- und Kombispeicher etc.)
- Dämmung bestehender Wärmespeicher
- Eisspeicher, sonstige Latentwärmespeicher, die den Phasenübergang eines Mediums nutzen
- Wärmespeicherung in Beton, Zeolith oder sonstigen Medien
- Erdwärmespeicher
- Tiefen-Aquifer-oder Hohlraum-Wärmespeicher

### Förderung

- Zuschuss: min. 10 % bis max. 30 % der förderfähigen Ausgaben (abhängig von Wärme-erzeugung), förderfähige Ausgaben max. 60.000 € pro Wohneinheit bzw. max. 600.000 € pro Gebäude

### **Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude – Kommunen – Zuschuss (BEG WG – KfW 464, KfW 261)**

#### Fördergegenstand

- Bau oder Kauf eines neuen Wohngebäudes, wenn die Immobilie die Anforderungen an ein Effizienzhaus 40 erfüllt
- Komplettsanierung zum Effizienzhaus: Förderung alle energetischen Maßnahmen, die zu einer Effizienzhaus-Stufe 85 führen

#### Förderung

- KfW 464 – Zuschuss WG:
  - Bei Bau oder Kauf eines neuen Effizienzhauses Stufe 40 mit Nachhaltigkeitsklasse: 12,5 % der förderfähigen Ausgaben, max. 15.000 €
  - Zuschuss bei Sanierung von bestehender Immobilie zum Effizienzhaus: Höhe des Zuschusses und der max. förderfähigen Ausgaben variieren je Effizienzhaus-Stufe
- KfW 464 – Zuschuss NWG:
  - Bei Bau oder Kauf eines neuen Effizienzgebäudes: 12,5 % der förderfähigen Ausgaben, förderfähige Ausgaben 2.000 €/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche bzw. max. 10 Mio. € (max. Zuschuss 1,25 Mio. €)
  - Zuschuss bei Sanierung von bestehender Immobilie zum Effizienzgebäude: Höhe des Zuschusses variiert je Effizienzhaus-Stufe, förderfähige Ausgaben 2.000 €/m<sup>2</sup> Nettogrundfläche bzw. max. 10 Mio. €
- KfW 261 – Kredit:
  - Förderkredit ab 0,20 % effektiver Jahreszins für Sanierung, Neubau und Kauf
  - Bis zu 150.000 € Kredit je Wohneinheit für ein Effizienzhaus
- KfW 261 – Tilgungszuschuss:
  - Weniger zurückzahlen: zwischen 5 % und 25 %

### **Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude – Kredit (BEG NWG – KfW 263)**

#### Fördergegenstand

- Bau oder Kauf eines neu errichteten Effizienzgebäudes
- Sanierung von bestehenden Immobilien zum Effizienzgebäude

#### Förderung

- Kredit: ab 0,01 %, bis zu 10 Mio. € Kredit für ein Effizienzgebäude
- Tilgungszuschuss: zwischen 5 % und 25 % Tilgungszuschuss

## **Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW)**

### Fördergegenstand

- Alle Vorrichtungen zur temporären ortsgebundenen Speicherung von Wärme, die dazu dienen, Schwankungen von Wärmebereitstellung und Wärmebedarf auszugleichen. Nicht förderfähig sind Anlagen zur bilanziellen Speicherung beispielsweise über das Gasnetz.

### Förderung

- Zuschuss: 40 % der förderfähigen Ausgaben, max. 100 Mio. €

## **Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (KfW 295) – Modul 2**

### Fördergegenstand

- Zu den förderfähigen Investitionskosten zählen neben den Wärmeerzeugern insbesondere Wärmespeicher für beantragte Wärmeerzeuger.

### Förderung

- Zuschuss: 45 % der förderfähigen Ausgaben bzw. 55 % für KMU, max. 15 Mio. €
- Kredit: max. 25 Mio. €, bis zu 100 % der förderfähigen Kosten
- Tilgungszuschuss: bis zu 55 % der förderfähigen Kosten

## **KWK-Zuschlag (§§ 22 – 25 KWKG)**

### Fördergegenstand

- 2.1 Speicher mit einem Volumen bis einschließlich 100 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent und Speicher mit einem Volumen von mehr als 100 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent

### Förderung

- Zuschuss: bis zu 250 € je m<sup>3</sup> Speichervolumen, max. 10 Mio. €; bei >50 m<sup>3</sup> max. 30 % der Nettoinvestitionskosten

## **Erneuerbare Energien – Premium (KfW 271, 281)**

### Fördergegenstand

- 5. Große Wärmespeicher
  - Errichtung und/oder die Erweiterung von Wärmespeichern mit mehr als 10 m<sup>3</sup> wird gefördert, sofern sie überwiegend aus erneuerbaren Energien gespeist werden und die im Antrag auf Tilgungszuschuss aufgeführten Qualitätskriterien einhalten
  - Der jeweilige Speicher dient der Speicherung von Wärme aus einem Wärme- oder Kältenetz.
- Nicht gefördert werden:
  - Wärmespeicher, wenn sie nach dem Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung gefördert werden können
  - Wärmespeicher für Ein- und Zweifamilienhäuser

### Förderung

- Kredit: max. 25 Mio. €, bis zu 100 % der förderfähigen Kosten

- Tilgungszuschuss: Bis zu 250 € je m<sup>3</sup> Speichervolumen, max. 30 % der Nettoinvestitionskosten und je Wärmespeicher max. 1 Mio. €

### **IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW 201 und KfW 202) – Modul A**

#### Fördergegenstand

- Wärme- und Kältespeicherung: gebäudeübergreifende Wärme- und Kältespeicher im Quartier

#### Förderung

- Kredit: kein Höchstbetrag, bis zu 100 % der förderfähigen Kosten
- Tilgungszuschuss: max. 40 %

**Hinweis:** Die Förderung kann erst ab 2023 wieder in Anspruch genommen werden.

### **Erneuerbare Energien – Standard (KfW 270)**

#### Fördergegenstand

- Wärme-/Kältenetze und Wärme-/Kältespeicher, die aus erneuerbaren Energien gespeist werden

#### Förderung

- Kredit: ab 3,49 % effektivem Jahreszins

### **Klimaschutzoffensive für Unternehmen (KfW 293)**

#### Fördergegenstand

- Wärmespeicher inklusive Erdwärmespeichern (UTES) und Aquifer-Wärmespeichern (ATES)

#### Förderung

- Bis zu 25 Mio. € pro Vorhaben
- Bis zu 100 % der förderfähigen Investitionskosten
- Mindestlaufzeit beträgt 2 Jahre
- Zinssatz orientiert sich an der Entwicklung des Kapitalmarktes

### **Landesebene**

#### **Baden-Württemberg: Förderung von energieeffizienten Wärmenetzen – Förderbaustein 3**

##### Fördergegenstand

- Gefördert werden Investitionen in energieeffiziente Wärmenetze unter Nutzung von erneuerbaren Energien, industrieller Abwärme und hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung. Bei Erfüllung spezieller Anforderungen können neben der Basisförderung zusätzliche Boni gewährt werden (Ziffer 5 VwV energieeffiziente Wärmenetze).

##### Förderung

- Kumulierbarer Zuschuss von bis zu 20 % der förderfähigen Kosten, max. bis zu 200.000 €
- Über zusätzliche Boni kann der Höchstbetrag von 200.000 € auf bis zu 400.000 € der förderfähigen Kosten pro Investitionsvorhaben erhöht werden.

### **Bayern: Bayerisches Energiekreditprogramm / Energiekredit Regenerativ**

#### Fördergegenstand

- Strom- oder Wärme-/Kälteerzeugung auf Basis regenerativer Energien
- Speichersysteme für Strom aus regenerativen Energien und Wärme-/Kältespeicher, die aus regenerativen Energien gespeist werden

#### Förderung

- ENERGIEKREDIT REGENERATIV und ENERGIEKREDIT REGENERATIV PLUS
  - Für die Finanzierung von Neu- und Modernisierungsinvestitionen von KMU und Freiberuflern mit einer Energieeinsparung von min. 10 % (Energiekredit) bzw. min. 30 % (Energiekredit Plus)

### **Berlin: Effiziente GebäudePLUS – Fördermodul 3**

#### Fördergegenstand

- Austausch und Optimierung der Heizungsanlage
- Gebäudenetz und Anschluss an ein Gebäude- oder Wärmenetz

#### Förderung

- Je nach Art der Maßnahme bis zu 500.000 € je Vorhaben und Kalenderjahr
- Mindestgrenze liegt bei 500 €

### **Bremen: Ersatz von Ölheizkesseln**

#### Fördergegenstand

- Holzpelletkessel mit einem Pufferspeicher von min. 30 l / kW und Partikelabscheidung
- Holzhackschnitzelkessel mit einem Pufferspeicher von min. 30 l / kW und Partikelabscheidung

#### Förderung

- Zuschuss: Bei einem Holzpelletkessel mit einem Pufferspeicher und einer Nennleistung von 5 – 43,7 kW bis zu 5.250 €, von 43,8 kW bis max. 100 kW min. 5.250 €, ansonsten 80 €/kW

### **Hamburg: Erneuerbare Wärme – Fördermodul Wärmespeicher**

#### Fördergegenstand

- Wärmespeicher ab einem Speichervolumen von 4 m<sup>3</sup>; nur in Verbindung mit einer aus diesem Programm geförderten Anlage oder einem förderfähigen Wärmeverteilnetz

#### Förderung

- Zuschuss: Für Warmwasserspeicher und Eisspeicher mit einem Speichervolumen kleiner als 10 m<sup>3</sup> 400 €/m<sup>3</sup>, mit 10 – 100 m<sup>3</sup> 250 €/m<sup>3</sup>, mit 100 – 700 m<sup>3</sup> 100 €/m<sup>3</sup>, mit mehr als 700 m<sup>3</sup> Einzelfallentscheidung
- Zuschuss: Für Wärmespeicher mit dem Speichermedium Erdreich und einem Speichervolumen kleiner als 45 m<sup>3</sup> 90 €/m<sup>3</sup>, mit 45 – 450 m<sup>3</sup> 55 €/m<sup>3</sup>, mit mehr als 450 m<sup>3</sup> Einzelfallentscheidung

## **Hessen: Förderung Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien**

### Fördergegenstand

- II Förderung der energetischen Modernisierung:  
Gruppe 2: Anlagen zur effizienten Wärmebereitstellung:  
Einbau von Wärmespeichern zur Bereitstellung von Heizwärme

### Förderung

- Zuschuss: In der Regel 30 – 60 % der der zuwendungsfähigen Ausgaben

## **Mecklenburg-Vorpommern: Klimaschutz-Projekte in nicht wirtschaftlich tätigen Organisationen**

### Fördergegenstand

- Investive Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Verbesserung der Energieeffizienz, die über den gesetzlichen Standard hinausgehen
- Investive Maßnahmen zum Einsatz regenerativer Energien zur Wärmenutzung
- Infrastrukturmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien

### Förderung

- Zuschuss: 50 % der Bruttoinvestitionskosten (inkl. MwSt.), maßnahmenspezifischer Bonus in Höhe von 10 % unter Auflagen möglich

## **Mecklenburg-Vorpommern: Klimaschutz-Projekte in wirtschaftlich tätigen Organisationen**

### Fördergegenstand

- Investive Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Verbesserung der Energieeffizienz, die über den gesetzlichen Standard hinausgehen
- Investive Maßnahmen zum Einsatz regenerativer Energien zur Wärmenutzung
- Infrastrukturmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien

### Förderung

- Zuschuss: 40 % der Nettoinvestitionskosten, Bonus in Höhe von 10 % für mittlere Unternehmen, 20 % für kleine Unternehmen und 10 % maßnahmenspezifischer Bonus

## **Nordrhein-Westfalen: Förderrichtlinie progres.nrw – Klimaschutztechnik**

### Fördergegenstand

- Wärme- und Kältespeicher, wie beispielsweise Latentwärmespeicher oder Eisspeicher

### Förderung

- Max. 25 % der zuwendungsfähigen Ausgaben. Die Fördersumme ist auf 100.000 € je Anlage begrenzt.

## **Nordrhein-Westfalen: Förderrichtlinie progres.nrw – Wärme- und Kältenetze**

### Fördergegenstand

- Thermische Energiespeicher in Verbindung mit Wärme- und Kältenetzen

### Förderung

- Zuschuss: 20 % der zuwendungsfähigen Ausgaben, max. 200.000 €

#### **Rheinland-Pfalz: Zukunftsfähige Energieinfrastruktur (ZEIS-Wärme)**

##### Fördergegenstand

- Übergabestationen und Wärmespeicher im Wärmenetz

##### Förderung

- Zuschuss: 20 % der zuwendungsfähigen Ausgaben, min. 100.000 € zuwendungsfähige Ausgaben

#### **Saarland: Zukunftsenergieprogramm kommunal (ZEP-kommunal)**

##### Fördergegenstand

- Förderung von Wärme- bzw. Kältenetzen und deren Erzeugungsanlagen: Wärme- bzw. Kältespeicher

##### Förderung

- Zuschuss: bis zu 50 % der zuwendungsfähigen Ausgaben, im Einzelfall mehr als 50 % möglich

#### **Sachsen-Anhalt: Förderprogramm Sachsen-Anhalt ENERGIE**

**Hinweis:** Aktuell können leider keine Anträge mehr gestellt werden. Eine Neuauflage des Programms mit modifizierten Inhalten und Förderkonditionen ist vom Land Sachsen-Anhalt beabsichtigt und befindet sich derzeit in Vorbereitung.

