BVES

@ Gram Fjernvarme, www.gram-fjernvarme.net

SAISONALE WÄRMESPEICHER FÜR DIE ENERGIEWENDE

POSITIONSPAPIER

INHALTSVERZEICHNIS

ENERGIEWENDE BRAUCHT WÄRMEWENDE – WÄRMEWENDE BRAUCHT ENERGIESPEICHER 4
ANWENDUNGSGEBIETE UND MOTIVATION FÜR DEN EINSATZ SAISONALER WÄRMESPEICHER 5
ENERGIESPEICHER-TECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK 6
FUNKTIONSPRINZIP EINES SAISONALEN WÄRMESPEICHERS 7
SAISONALE WÄRMESPEICHERTECHNOLOGIEN STATUS QUO 8
BEST PRACTICE BEISPIELE DEUTSCHLAND UND INTERNATIONAL 11
INVESTITIONSKOSTEN 14
AKTUELLER FÖRDERRAHMEN 15
POTENZIALABSCHÄTZUNG FÜR DEUTSCHLAND 15
POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN 16
QUELLENVERZEICHNIS 17

Impressum

Herausgeber
BVES – Bundesverband Energiespeicher Systeme e.V.
Oranienburger Straße 15, 10178 Berlin
030 – 54 610 630
E-Mail: info@bves.de
Internet: www.bves.de

Stand
August 2023

Gestaltung und Produktion
BVES – Bundesverband Energiespeicher Systeme e.V.

Kontaktpersonen
Turkan Maharramova, Beatrice Schulz

Urheberrecht
Das Werk einschließlich all seiner Inhalte ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers.

Haftungsausschluss
Trotz gründlicher Quellenauswertung und größtmöglicher Sorgfalt wird die Haftung für den Inhalt der vorliegenden Studie ausgeschlossen. Für Schäden materieller oder immaterieller Art, die durch die Nutzung oder Nichtnutzung der dargebotenen Informationen unmittelbar oder mittelbar verursacht werden, haftet der Herausgeber nicht, sofern ihm nicht nachweislich vorsätzliches oder grob fahrlässiges Verschulden zur Last gelegt werden kann.

ENERGIEWENDE BRAUCHT WÄRMEWENDE – WÄRMEWENDE BRAUCHT ENERGIESPEICHER

Im Klimaschutzgesetz der Bundesregierung werden Energiespeichersysteme zur längerfristigen Speicherung von Energie als wesentlicher Baustein für die Umsetzung der Energiewende und die Dekarbonisierung[1] des Energiesektors hervorgehoben. Mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs entfällt auf den Wärmesektor. Energiewende kann somit nicht nur Stromwende bedeuten. Flankierend zum Ausbau der Wärmenetzinfrastruktur braucht es entsprechend auch die notwendigen Speicherkapazitäten für eine erneuerbare Wärmeversorgung rund um die Uhr.

Ob einen Tag, eine Woche oder gar mehrere Monate bis hin zu einer ganzen Saison – Zur Versorgung mit erneuerbarer Wärme und der flexiblen Kopplung der Sektoren Strom und Wärme können saisonale Wärmespeicher Angebot und Nachfrage effektiv ausgleichen.

Abbildung 1: Beispiele für Großwärmespeicher in Deutschland: v.l.n.r. Behälter-Solarwärmespeicher in München, Reichstagsgebäude in Berlin mit Aquiferspeicher, Erdbeckenspeicher in Meldorf im Bau[2]

Mittels saisonaler Wärmespeichersysteme kann Wärme aus erneuerbaren Quellen wie Solarthermie, Biomasse oder Abwärme flexibel und im Bereich von mehreren Hundert Megawattstunden bis in den Gigawattstundenbereich hinein bereitgestellt werden – auch während der kalten Jahreszeiten. Zugleich kann erneuerbarer Strom mittels Power-to-Heat-Lösungen in Wärme umgewandelt, in Form von Wärme zwischengespeichert und zur Verfügung gestellt werden. Dieser Schritt der flexiblen Sektorenkopplung ermöglicht zugleich eine gezielte Entlastung des Stromversorgungssystems bei Netzengpässen und eine erneuerbare Wärmeversorgung.

Dieses Grundsatzpapier gibt einen Überblick zum Stand der Technik, Anwendungen, umgesetzten Projekten national und international sowie den regulatorischen Rahmenbedingungen und Potenzialen von saisonalen Großwärmespeichern in Deutschland.

---

[1] Klimaschutzgesetz der Bundesregierung, 2022.

[2] Bildquellen: v.l.n.r. ZAE Bayern, Bundestag, Ramboll.

ANWENDUNGSGEBIETE UND MOTIVATION FÜR DEN EINSATZ SAISONALER WÄRMESPEICHER

Der Einsatz saisonaler Wärmespeicher ist grundsätzlich in allen Bereichen vom Gebäude, über Industrie & Gewerbe bis hin zur öffentlichen Versorgungsinfrastruktur möglich. Hauptziel des Einsatzes ist es jeweils, das sommerliche Wärmeangebot so einzuspeichern, dass ein Teil auch zur Deckung des Bedarfs in der Heizperiode genutzt werden kann. Insbesondere bei Integration erneuerbarer Energiequellen motivieren das Erreichen eines hohen Deckungsgrades mit erneuerbarer Energie und die damit verbundenen Kosteneinsparungen und geringeren Emissionen gegenüber der Nutzung konventioneller Energieträger den Einsatz saisonaler Wärmespeichersysteme.

Als Quelle zur Einspeicherung können neben solarer Wärme auch weitere Wärmequellen wie z.B. Abwärme, Wärme aus Kraftwärmekopplung mit Biogas oder auch von Energiespeichersystemen oder Wärme aus Power-to-Heat-Anlagen genutzt werden. Auch eine Kombination der Einspeisung verschiedener Wärmequellen ist eine interessante und bereits erprobte Option. Der nachfolgende Kasten gibt einen Überblick möglicher Anwendungen saisonaler Wärmespeichersysteme.

Fern- und Nahwärmeversorgung: In Wärmenetzen können saisonale Wärmespeicher eingesetzt werden, um überschüssige Wärme aus dezentralen erneuerbaren Energiequellen zu speichern und bei Bedarf an die Verbraucher abzugeben. Dies ermöglicht eine effizientere Nutzung erneuerbarer Energien und eine verbesserte Flexibilität im Wärmesystem. In Kombination mit solarthermischer Erzeugung wird der Nutzungsgrad erneuerbarer Wärme oft auf deutlich über 50 Prozent angehoben.

Abwärmenutzung: Saisonale Wärmespeicher ermöglichen die sinnvolle Nutzung von Abwärme insbesondere aus Industrieprozessen. Diese kann als eine der Quellen in den Speicher eingespeist werden z.B. über mobile Speichersysteme oder Leitungen.

Flexible Sektorenkopplung: Durch die Beladung unter anderem über Strom in Verbindung mit Power-to-Heat-Technologien wird der saisonale Wärmespeicher zum regionalen Flexibilitätshub und zugleich zum Bindeglied von Strom- und Wärmesektor.

Gebäudeheizung und -kühlung: Saisonale Wärmespeicher können genutzt werden, um überschüssige Wärme oder Kälte während der warmen Monate zu speichern und sie während der kälteren Monate für die Beheizung von Gebäuden zu nutzen. Dies kann dazu beitragen, den Bedarf an konventionellen Heizsystemen zu reduzieren und den Einsatz erneuerbarer Energien zu erhöhen.

Abbildung 2: Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten saisonaler Wärmespeicher

ENERGIESPEICHER-TECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK

Das Spektrum der verfügbaren Energiespeichertechnologien ist ebenso vielfältig wie die möglichen Anwendungen. Bei der Identifikation passender Technologieoptionen ist die spezifische Anwendung von größter Bedeutung. Diese ist ausschlaggebend dafür, welche der Technologien sowohl aus technischer als auch aus ökonomischer Sicht geeignet sind.

Die geringe Anzahl der Speicherzyklen pro Jahr ist bei Saisonalspeichern oft weniger eine technische, sondern eher eine ökonomische Herausforderung, für die es passende Optionen zu identifizieren gilt – sowohl technologieseitig als auch auf regulatorischer Ebene. Aus technischer Perspektive gibt es eine Vielzahl an Speicherlösungen, die für die längerfristige Speicherung bis hin zur saisonalen Speicherung von thermischer Energie geeignet sind.

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick der aktuell verfügbaren Energiespeichertechnologien:

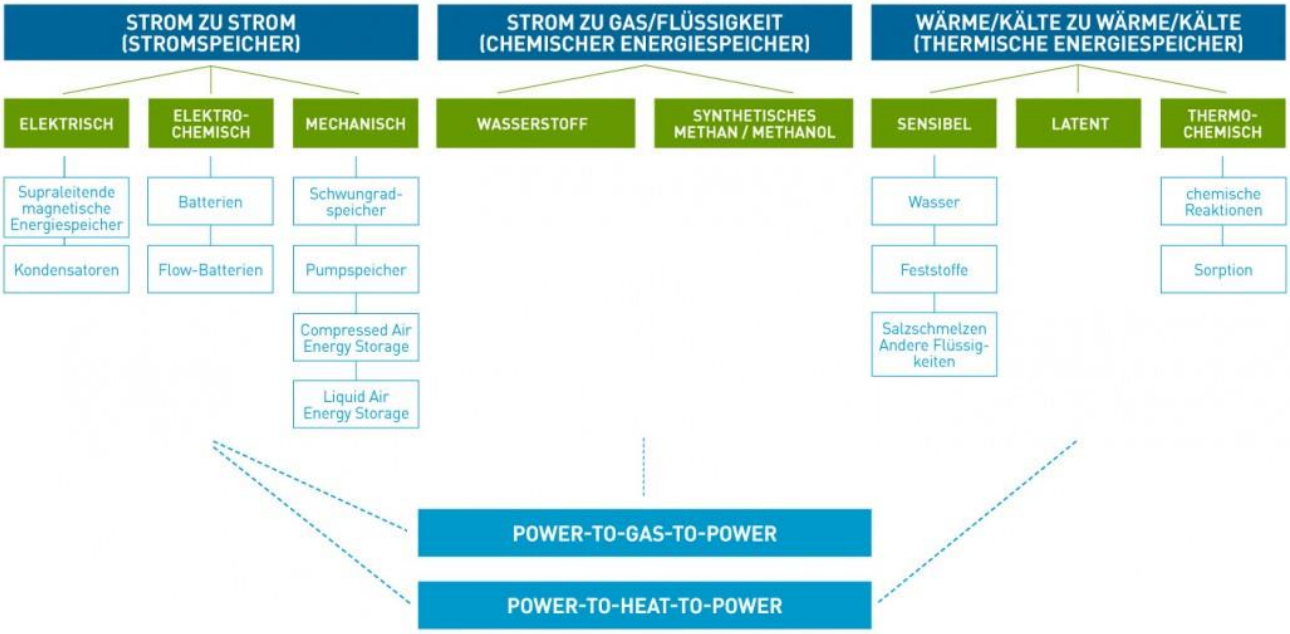

Abbildung 3: Übersicht Energiespeichertechnologien, BVES [3]

Zur längerfristigen Energiespeicherung geeignet sind beispielsweise Pumpspeicherwerke, Druckluft- und Flüssigluftspeicher, Batterien inkl. Flow-Batterien sowie verschiedene Wärme- und Kältespeichertechnologien. Für die saisonale Wärmespeicherung gibt es im Bereich thermischer Speichertechnologien verschiedene Optionen.

[3] BVES, 2022, Übersicht Speichertechnologien

Thermische Energiespeicher können grundsätzlich in drei Arten unterteilt werden:

SENSIBEL: Ein sensibler thermischer Energiespeicher speichert Wärme in einem Speichermedium, welches beim Speichervorgang seine Temperatur ändert. Als Speichermedium eignen sich Flüssigkeiten, Feststoffe und Gase.

LATENT: Ein Latentwärmespeicher speichert Energie in Form von latenter Wärme. Beim Speichervorgang durchläuft das Speichermedium innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs einen Phasenwechsel, meist zwischen fester und flüssiger Phase. Dabei wird die Umwandlungsenergie im Speichermedium gebunden, ohne dass das Speichermedium seine Temperatur verändert.

THERMO-CHEMISCH: Ein thermo-chemischer Energiespeicher speichert Wärme in einem System, welches durch reversible chemische Reaktionen oder physikalische Sorptionsprozesse gekennzeichnet ist. Die thermische Energie wird bei Zusammenführung oder Trennung mehrerer Komponenten im Rahmen eines physikalischen oder chemischen Prozesses freigesetzt oder aufgenommen.

Abbildung 4: Thermische Speichertechnologien nach thermodynamischem Funktionsprinzip unterteilt

Einige der oben genannten Technologien eignen sich eher für kleinere Anwendungen, andere hingegen auch für großskalige Installationen z.B. in Wärmenetzen. Auch ist die Wahl der Technologie abhängig vom Temperaturniveau, auf welchem die Energie gespeichert wird. In Deutschland sind verschiedene Technologieoptionen zum Einsatz als Saisonalwärmespeicher geeignet. Diese in der Regel sensiblen Speichertechnologien haben das Potenzial, Wärme oder Kälte über längere Zeiträume zu speichern und zugleich zum kurzfristigen Ausgleich zu dienen. In diesem Papier liegt der Fokus auf größeren Anwendungen für saisonale Wärmespeicher insbesondere in Wärmenetzen, daher werden weitere Details für den Einsatz im kleineren Maßstab im Folgenden nicht näher ausgeführt. Doch auch in diesem Bereich gibt es Potenzial für bestimmte Anwendungen wie beispielsweise der oben genannten Gebäudeheizung und -kühlung.

FUNKTIONSPRINZIP EINES SAISONALEN WÄRMESPEICHERS

Da Funktionsprinzip der saisonalen Speicherung besteht darin, das überschüssige Wärmeangebot insbesondere in den Sommermonaten zur Beladung des Speichers zu nutzen. In den kälteren Monaten wird die gespeicherte Wärme zur Deckung des Wärmebedarfs genutzt. Der Speicher besteht aus künstlichen oder natürlichen Behältern, die an einen Be- und Entladekreislauf angeschlossen sind. In der Abbildung (rechts) ist der Be- und Entladevorgang gemeinsam mit der zeitlichen Asynchronität von Wärmebedarf und -angebot über das Jahr hinweg dargestellt. Auch der Ausgleich kurzfristiger Schwankungen kann analog zum saisonalen Ausgleich erfolgen.

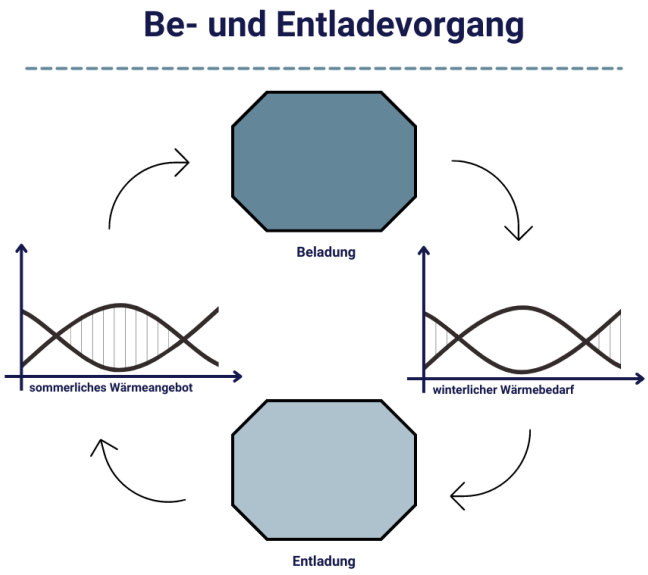

Abbildung 5: Be- und Entladevorgang (vereinfacht), BVES

SAISONALE WÄRMESPEICHERTECHNOLOGIEN STATUS QUO

Nachfolgende Technologien sind insbesondere aus wirtschaftlichen Aspekten geeignet zum Einsatz in größerem Maßstab:

ERDBECKENSPEICHER verwenden oberirdische Becken wie natürliche Seen oder künstlich angelegte Reservoirs zur Speicherung von thermischer Energie. Die überschüssige Wärmeenergie wird in den Sommermonaten in das Becken geleitet und im Wasser gespeichert. Im Winter kann die gespeicherte Wärmeenergie wieder abgerufen werden. (Speichermedium: Wasser, Kies-Wasser)

ERDSONDENSPEICHER nutzen Erdwärmesonden zur Speicherung der Wärme. Hierzu werden Rohre in den Boden eingelassen, durch die eine Flüssigkeit zirkuliert und über die Wärme in Erd- oder Gesteinsschichten gespeichert wird. Der Ausspeichervorgang erfolgt analog.

AQUIFERWÄRMESPEICHER nutzen unterirdische geologische Formationen, wie poröse Gesteinsschichten oder Grundwasserleiter, um Wärme zu speichern. Warmes Wasser wird in den Untergrund gepumpt und bei Bedarf wieder abgepumpt, um Gebäude zu heizen oder Prozesse zu versorgen.

BEHÄLTERWÄRMESPEICHER bestehen zumeist aus Stahlbetonbehältern, die von Innen mit Edelstahl- oder Schwarzstahlblech ausgekleidet sowie zusätzlich gedämmt sind. Die Beladung erfolgt über eine Schichtbeladeeinrichtung. Als Speichermedium dient Wasser.

Generell spielt die Vermeidung von Wärmeverlusten bei saisonalen Wärmespeichern mit nur ein bis zwei Speicherzyklen pro Jahr eine große Rolle und sollte durch entsprechende Maßnahmen minimiert werden.

Nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick der Bandbreite von Betriebstemperatur und Speichergrößen für diese Technologien orientiert an der technischen Umsetzbarkeit und bisher umgesetzten Projekten:

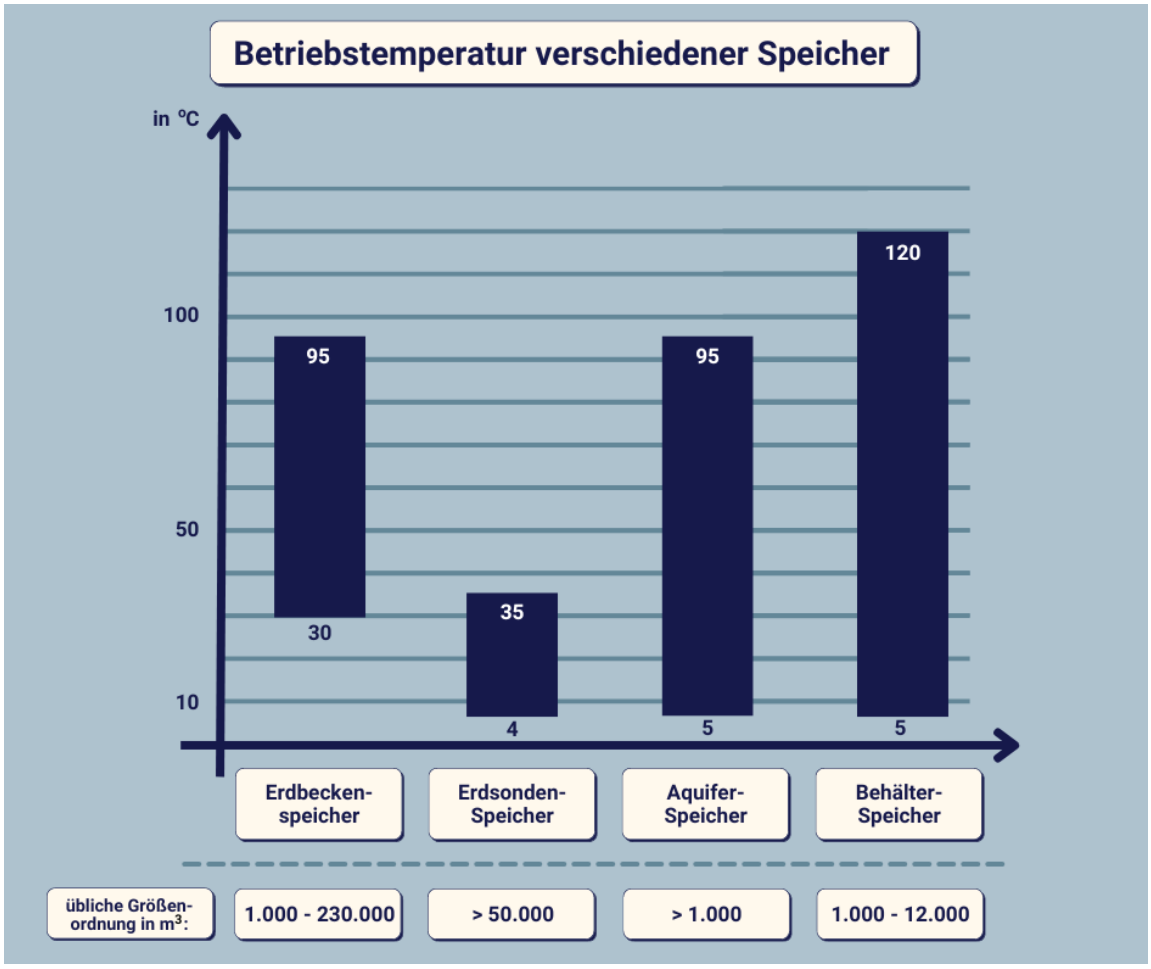

Abbildung 6: Betriebstemperatur und Speichergröße für saisonale Großwärmespeichertechnologien[4], BVES

Die Tabelle auf der folgenden Seite gibt einen Überblick der spezifischen Anforderungen und technischer Parameter saisonaler Großwärmespeichertechnologien.

[4] **Quellen Abbildung 6**
Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, 2023, Saisonalspeicher.de; Sterner et. al., 2017, Energiespeicher – Bedarf, Technologie, Integration, 2. Auflage 2017, Springer-Verlag; Neupert et al., 2009, Energiespeicher. Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potenzial; Lassacher et al., 2018, Technische Aspekte der Forcierung von Primärenergieeffizienz an oberösterreichischen Produktionsstandorten durch Nutzung von Wärmespeichern, Johannes Kepler Universität Linz; Andresen et al., 2017, VDI – Statusreport 2017 – Energiespeicher, Verein Deutscher Ingenieure e.V.

	BEHÄLTERWÄRME-SPEICHER	ERDBECKEN-SPEICHER	ERDSONDEN-SPEICHER	AQUIFER-SPEICHER
SPEICHER-MEDIUM	Wasser	Kies-Wasser-Gemisch, Wasser	Erdreich bzw. Gestein	Grundwasser
GEOLOGISCHE ANFORDERUNGEN	• Stabile Bodenverhältnisse • Vorzugsweise kein Grundwasser	• Stabile Bodenverhältnisse • Vorzugsweise kein Grundwasser • 5 - 15 m tief	• Bohrbarer Boden • Hohe Wärmekapazität & Wärmeleitfähigkeit sowie geringe hydraulische Leitfähigkeit des Speichermediums • Geringe natürliche Grundwasserströmung • 30 - 100 m tief	• Natürliche und abgegrenzte Aquiferschicht mit hoher hydraulischer Leitfähigkeit • Geringe natürliche Grundwasserströmung • Geeignete Grundwasserchemie zur Vermeidung von Minerallaugungs- und Fällungsprozesse • 20 - 50 m Aquiferschicht
SPEZIFISCHE WÄRME-KAPAZITÄT	60 – 80 kWhth/m³	30 – 50 kWhth/m³	15 – 30 kWhth/m³	30 – 40 kWhth/m³
WIRKUNGSGRAD	45 – 75 %	45 – 75 %	45 – 75 %	45 – 75 %
LEBENSDAUER	> 30 Jahre	> 30 Jahre	> 30 Jahre	> 30 Jahre
REAKTIONSZEIT	Minuten	Minuten	Minuten	Minuten
VORTEILE	• Keine besonderen geologischen Bedingungen erforderlich • Hohe Schichtung • Hohe Wärme-kapazität • Einfache Installation • Langjährige Betriebserfahrung	• Keine besonderen geologischen Bedingungen erforderlich • Natürlicher Aquifer bleibt unberührt • Langjährige Betriebserfahrung	• Kann sowohl zur Heizung als auch Kühlung verwendet werden • Bei vertikalen Bohrungen weniger Oberfläche • Bei horizontalen Kanälen weniger Aushub • Weniger empfindlich gegenüber Außenklima • Durchführbar für sehr große und sehr kleine Anwendungen • Langjährige Betriebserfahrung	• Kann sowohl zur Heizung als auch Kühlung verwendet werden • Fähigkeit zur direkten Kühlung • Geringerer Wartungsaufwand erforderlich • Direkte Wärmeübertragung • Langjährige Betriebserfahrung

Tabelle 1: Spezifische Anforderungen und technische Parameter saisonaler Großwärmespeichertechnologien[5]

[5] **Quellen Tabelle 1**
Yang et al., 2021, Seasonal thermal energy storage: A techno-economic literature review (sciencedirectassets.com); Mangold et al., 2001a: Solarthermie-2000 TP 3: Solar unterstützte Nahwärme Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung; Jahnke, 2019: Untersuchung des Honigmann-Prozesses zur thermochemischen Energiespeicherung. Technische Universität Berlin; Hesaraki A, Holmberg S, Haghighat F., 2015: Seasonal thermal energy storage with heat pumps and low temperatures in building projects — A comparative review – ScienceDirect; Delta Energy & Environment Ltd., 2016: Evidence gathering: thermal energy storage (TES) technologies. Department for Business Energy & Industrial Strategy; Schmidt, Mangold, Müller-Steinhagen, 2003, Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, ISES Solar World Congress 2003; Pavlov GK, Olesen BW. , 2012: Thermal energy storage — a review of concepts and systems for heating and cooling applications in buildings: Part 1—seasonal storage in the ground; BVES, 2023, Fact Sheet Sensible Wärmespeicher; Mangold, Deschaintre, 2015: Task 45 Large Systems Seasonal thermal energy storage, IEA Solar Heating & Cooling TCP.

BEST PRACTICE BEISPIELE DEUTSCHLAND UND INTERNATIONAL

Seit knapp 30 Jahren werden in Deutschland saisonale Wärmespeichersysteme entwickelt. Über diesen Zeitraum hinweg wurden diese im Rahmen verschiedener Energieforschungsprogramme stetig weiterentwickelt, die Technologien und die Systemeinbindung in Kombination mit Erzeugungsanlagen und Anbindung an Wärmenetze in Pilotprojekten erprobt.[6] Im internationalen Umfeld sticht insbesondere Dänemark mit bereits umgesetzten und zum Betrieb in Wärmenetze eingebundenen großskaligen saisonalen Wärmespeichersystemen hervor.

Abbildung 7: Meldorf – Wärmenetz und Erdbeckenspeicher (2023) [7]

Meldorf, Schleswig-Holstein, 2023
In Meldorf wird aktuell ein Erdbeckenspeicher mit einer Kapazität von 43.000 m³ fertiggestellt. Das entspricht der Größe von 17 olympischen Schwimmbädern. In den Sommermonaten können darin künftig bis zu 1.500 MWh eingespeichert und mit Beginn der Heizperiode über das parallel errichtete Fernwärmenetz den Gebäuden vor Ort zu Verfügung gestellt werden [7].

Abbildung 8: Eggenstein – Solarthermie und Erdbeckenspeicher (2008) [8]

Eggenstein, Baden-Württemberg, 2008
Vor Ort werden über den 4.500 m³ großen Kies-Wasser-Langzeitspeicher das örtliche Nahwärmenetz, ein Schul- und Sportzentrum sowie die örtliche Feuerwehr versorgt. Als Wärmequelle dienen unter anderem auf den Gebäudedächern installierten Solarthermiekollektoren auf einer Fläche von insgesamt 1.600 m³. Das Bild links zeigt den Speicher im Bau kurz vor der Fertigstellung [8].

Abbildung 9: Gram – Erdbeckenspeicher in Dänemark [9]

Gram, Dänemark, 2015
Der Erdbecken-Wärmespeicher von Gram Fjernvarme fasst 122.000 m³ und ist in Kombination mit einer 44.899 m² großen Solarthermieanlage installiert. Es ist eines der größten thermischen Saisonalspeicherprojekte weltweit und versorgt über das Wärmenetz 1.200 Kunden [9].

[6] Schmidt, Mangold, Müller-Steinhagen, 2003, Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, ISES Solar World Congress 2003.
[7] Ramboll, 2023, Germany's pit thermal energy storage.
[8] Pfeil & Koch Ingenieursgesellschaft, KEA-BW, 2023, Eggenstein heizt mit Sonnenenergie – sogar im Winter.
[9] PlanEnergi, 2016, Long Term Storage and Solar District Heating – A presentation of the Danish pit and borehole thermal energy storages in Braedstruk, Mastal, Dronninglund and Gram.

Abbildung 10: Crailsheim – Kurzzeit- und Langzeitwärmespeicher in Kombination [10]

Crailsheim, Baden-Württemberg, 2007

Der Crailsheimer Stadtteil Hirtenwiesen 2 wird zu 50 Prozent aus der 7.500 m² großen Solarthemieanlage versorgt. Als Kurzzeitspeicher dienen zwei Heißwasserspeicher mit 100 m³ und 480 m³. Zusätzlich wurde ein Erdsonden-Wärmespeicher mit insgesamt 80 in 55 Meter tiefe Bohrlöcher eingelassenen Doppel-U-Rohr-Sonden errichtet, welcher rund 37.500 m³ Gestein zur Wärmespeicherung nutzt [10].

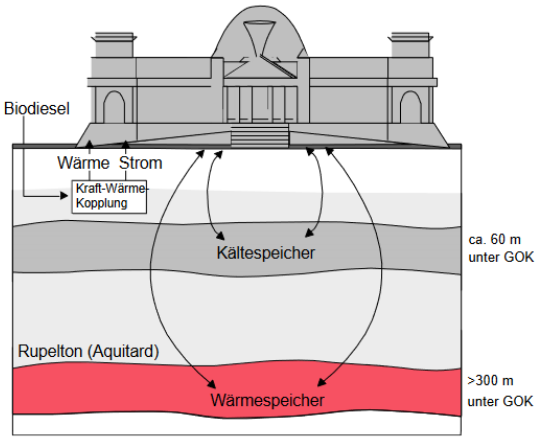

Abbildung 11: Berlin – Aquiferspeicher unter dem Reichstagsgebäude [11]

Reichstagsgebäude, Berlin, 1999

Die Anlage am Reichstagsgebäude umfasst eine kombinierte Kälte- und Wärmespeicheranlage. Der Kältespeicher wird im Sommer durch den Verdampfer der Wärmepumpe und im Winter mit kühler Umgebungsluft beladen. Er besteht aus zwei Sets von je fünf Brunnen, die jeweils 60 Meter tief sind. Der Wärmespeicher befindet sich in einer Tiefe von über 300 Metern und besteht aus zwei Brunnen in 285 und 315 Metern Tiefe. Im Sommer wird der Wärmespeicher mit Abwärme einer KWK-Anlage beladen [11].

Abbildung 12: München – Saisonaler Behälterwärmespeicher [12]

München, Deutschland, 2007

Im Rahmen des Projekts „Solare Nahwärme Ackermannbogen“ wurde dieser 6.000 m³ große Behälterwärmespeicher errichtet, welcher rund 360 Megawattstunden Wärme speichern kann. Er besteht aus Beton, welcher innen mit Edelstahl ausgekleidet ist. Damit kann rund 45 Prozent des Bedarfs an Heizwärme und Warmwasser mit Solarenergie gedeckt werden [12].

[10] Stadtwerke Crailsheim, 2021, Technik, Ökologie und Lebensqualität im Einklang.

[11] Knoblich, Sanner, 2003, Schlussbericht zum FuE Vorhaben, Thermische Untergrundspeicherung auf höherem Temperaturniveau: Begleitforschung mit Messprogramm Aquiferspeicher Reichstag.

[12] Landeshauptstadt München, 2012, Modellprojekt Energieversorgungssystem „Solare Nahwärme Ackermannbogen“; Die Angabe von 360 Megawattstunden ist orientiert an der Größe von 6.000 m³ sowie einer für diese Bauweise üblichen spez. Wärmekapazität von 60 (Tab. 1).

Abbildung 13: Vojens – Aktuell größter Erdbeckenspeicher [13]

Vojens, Dänemark, 2015

Mit einem Fassungsvermögen von 210.000 m³ Wasser ist dies zum Zeitpunkt seiner Fertigstellung der größte Erdbeckenspeicher weltweit. Aus dem kommerziell betriebenen Speicher allein kann rund ein Viertel des Wärmejahresbedarfs von Vojens gedeckt werden. Gemeinsam mit der Solarthermieanlage von 70.000 m² wird darüber mehr als die Hälfte der gesamten Wärmeproduktion für das Wärmenetz bereitgestellt [13].

Okotoks, Kanada, 2007

In der Wohngegend Drake Landing Solar Community werden 52 Einfamilienhäuser mithilfe von 37 Meter tiefen Erdsondenspeichern im Winter mit gespeicherter Sonnenenergie beheizt. Die Häuser sind um 30 Prozent effizienter als konventionelle Häuser. Sonnenkollektoren auf den Dächern liefern das Warmwasser, während 800 Paneele zentral für die Raumheizung sorgen. Die maximale Betriebstemperatur beträgt 93°C [14].

Abbildung 14: Drake Landing Solar Community – Saisonaler Erdsondenspeicher in Kanada [14]

Im Rahmen aktueller Forschungsaktivitäten werden nach und nach weitere Anwendungsgebiete erschlossen sowie Materialien und Bauweisen erforscht wie zum Beispiel innovative Abdeckungskonzepte, welche eine Zweitnutzung der Fläche im urbanen Raum ermöglichen.[15] Auch in Bezug auf die optimale Auslegung und die optimierte Wahl der passenden Technologien sind weitere Entwicklungen absehbar.[16] Weitere Forschung sollte daher im Rahmen der nationalen und internationalen Programme vorangetrieben sowie internationale Netzwerke wie das Energy Storage Technology Collaboration Programme für die Zusammenarbeit genutzt werden.

[13] State of Green, 2014, World largest thermal heat storage pit in Vojens.

[14] Rehau, 2023, Drake Landing Solar Community: Sustainable Canadian community harnesses solar energy using geoexchange technology.

[15] Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, 2021, Wärmespeicher für Ballungsräume.

[16] Austrian Cooperative Research, 2023, Energiespeicher der Zukunft „MoreStore“.

INVESTITIONSKOSTEN

Die Kosten für saisonale Wärmespeicher je Kubikmeter Wasseräquivalent sinken stark mit dem Speichervolumen. Dies lässt sich insbesondere an den Projekten in Dänemark mit besonders großem Speichervolumen erkennen. Ein klarer Zusammenhang besteht zudem zwischen den Investitionskosten und dem gewählten Speichertyp.[17] In der untenstehenden Abbildung lässt sich dies ebenfalls nachvollziehen und zeigt, dass die Kosten stark variieren können – allein bei den in der Abbildung befindlichen Projekten in einem Rahmen von ungefähr 20 € bis hin zu mehr als 300 € pro Kubikmeter Wärmeäquivalent.[18] Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Speichertypen an jedem Standort umgesetzt werden können (Tabelle 1), da sie unterschiedliche Anforderungen an die geologischen und hydrogeologischen Bedingungen des Untergrunds stellen. Zudem sind sie in Bezug auf ihre thermische Leistungsfähigkeit und Effizienz nicht direkt vergleichbar.

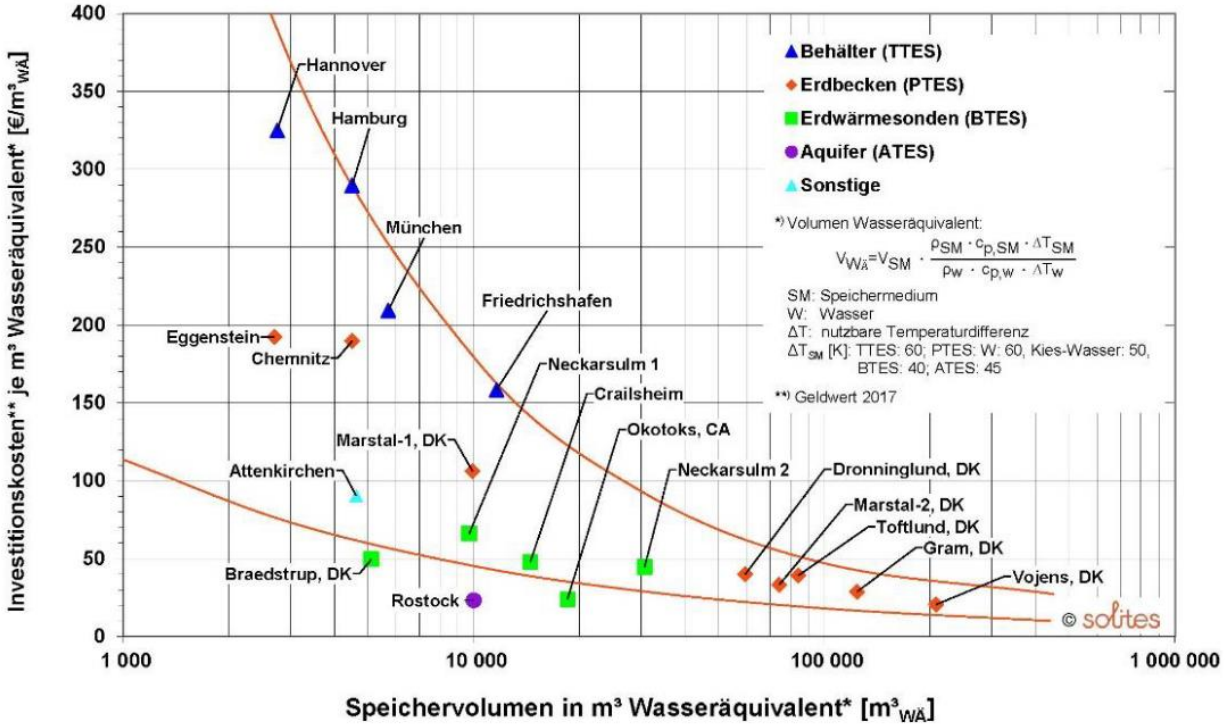

Abbildung 15: Investitionskosten bestehender saisonaler Wärmespeicher ohne Planungskosten und MwSt. [17]

Abhängig von den Gegebenheiten vor Ort ist abzuwägen, welche Technologie geeignet ist. Beispielsweise können wassergefüllte Tank- oder Erdbeckenspeicher hohe Be- und Entladeleistungen sowie hohe Nutzungsgrade erreichen. Erdsondenspeicher hingegen weisen aufgrund begrenzter Dämmbarkeit geringere Nutzungsgrade und Be- und Entladeleistungen auf. In einem Gesamtsystem eingebunden können diese Eigenschaften jedoch durch zusätzliche Komponenten wie Pufferspeicher und Wärmepumpen ausgeglichen werden. Ebenfalls können bei Aquiferspeichern weitere Kosten für die Wasseraufbereitung und Erkundung der geologischen Bedingungen anfallen. Wichtige Parameter hierfür sind insbesondere die maximale und minimale Betriebstemperatur von Speicher und Wärmenetz.[19]

[17] Hauer et. al., 2013, Wärmespeicher – 5. Vollständig überarbeitete Auflage.

[18] Solites, 2021, Spezifische Investitionskosten saisonaler thermischer Speicher ohne Planungskosten und MwSt.

[19] Mangold, Schmidt, 2007, The next Generations of Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, 3rd European Solar Thermal Energy Conference (ESTEC 2007): Proceedings.

AKTUELLER FÖRDERRAHMEN

Maßgeblich stellt die nationale Bundesförderung „Effiziente Wärmenetze"[20] einen Förderrahmen in Deutschland für die Umsetzung neuer Projekte im Bereich der saisonalen Wärmespeicherung im Zusammenhang mit Wärmenetzen durch die Gewährung von Zuschüssen dar. Die Forschungsförderung im Rahmen des Energieforschungsprogramms ist ebenfalls ein zentrales Instrument für die Weiterentwicklung der Technologien parallel zur Entwicklung von Projekten im marktlichen Umfeld.

POTENZIALABSCHÄTZUNG FÜR DEUTSCHLAND

Großwärmespeicher sind ideal für die Langzeitspeicherung von erneuerbaren Energien geeignet. Sie ermöglichen eine kontinuierliche und zuverlässige Energieversorgung, auch wenn die Erzeugung aus erneuerbaren Quellen schwankt. Sie bieten somit eine effiziente Nutzung erneuerbarer Energien und unterstützen die nachhaltige Energieversorgung. Neben der Vermeidung von Abregelung, kann so ein hoher Nutzungsgrad erneuerbarer Energien in Gebäuden und Wärmenetzen erreicht werden. Zugleich können die Stromnetze gezielt entlastet und die Energie kostengünstig in Form von Wärme eingespeichert werden.

Die Potenzialabschätzung für den Einsatz saisonaler Wärmespeicher erfordert sowohl für den Einzelfall als auch auf nationaler Ebene eine ganzheitliche Betrachtung verschiedener Faktoren. Hier sind einige Aspekte, die bei einer solchen Abschätzung berücksichtigt werden sollten:

Technologisches Potenzial: Bei der Abschätzung des Potenzials ist die Vielfalt der vorhandenen Technologien inklusive ihrer Besonderheiten in Bezug auf Effizienz, Kapazität, Lebensdauer und Skalierbarkeit zu bewerten. Auch die im Zuge weiterer Forschungsaktivitäten zu erwartenden Entwicklungen sind zu beachten.

Geografisches Potenzial: Die geografischen Gegebenheiten und klimatischen Bedingungen in Deutschland wirken sich ebenfalls deutlich auf die technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit der einzelnen Projekte aus.

Infrastruktur: Die Anbindbarkeit an das bestehende Wärmeversorgungssystem, Nutzer vor Ort und die Transportmöglichkeiten für überschüssige Energie sind entscheidende Rahmenbedingungen. Auch das Vorhandensein von Abwärmequellen oder Quellen erneuerbarer Energien in größeren Mengen vor Ort sind von Vorteil für die Umsetzung von Projekten.

Ebenfalls bestimmen die Finanzierungsmöglichkeiten und die politischen Rahmenbedingungen über die Amortisationszeit hinweg die Entwicklung weiterer Projekte wesentlich. Die Klimaziele zum Erreichen der Klimaneutralität in Deutschland bis 2040 im Wärme- bzw. 2035 im Stromsektor erfordern

[20] BAFA, 2023, Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW).

den massiven Ausbau der Speicherkapazitäten. Die kommunale Wärmeplanung und der Ausbau von Wärmenetzen wird aktuell ebenfalls stark forciert. Flankierend dazu ist daher der Zubau von weiteren Saisonalwärmespeichern notwendig und sollte gemeinsam mit dem Ausbau weiterer Speicherkapazität und -leistung vom Kurzzeitspeicher bis hin zum Langzeitspeicher über die Sektoren Strom und Wärme hinweg vorangebracht werden.

POLITISCHE RAHMENBEDINGUNGEN

Die passenden regulatorischen Rahmenbedingungen sind entscheidend für die Umsetzung weiterer saisonaler Speicherprojekte in Verbindung mit dem Aufbau erneuerbarer Wärmenetze. Politische Maßnahmen wie Zielvorgaben für erneuerbare Energien, Klimaschutzgesetze und Förderprogramme können Anreize schaffen und die Entwicklung solcher Projekte vorantreiben.

Folgende Rahmenbedingungen schaffen das Umfeld für den Aufbau einer erneuerbaren Wärmeinfrastruktur mit saisonalen Speichersystemen:

- Priorisierung einer systemischen Betrachtung des Energiesystems im Hinblick auf die Sektorenkopplung. Eine passende Regulatorik für die Sektorenkopplung ist hierfür ebenso wie die gemeinsame Betrachtung von Erzeugung, Transport und Speicherung von Strom und Wärme notwendig. Die Berücksichtigung dieser Aspekte im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung ist hierzu ein erster Schritt.
- Schaffung einer bundesweit einheitlichen Genehmigungspraxis, die erneuerbare Wärmesysteme als eine der notwendigen Energiewendeinvestitionen priorisiert und zu einer schnellen Umsetzung der Projekte beiträgt. Hierzu muss eine ausreichende Ausstattung der Genehmigungsbehörden insbesondere mit Personal gewährleistet sein.
- Setzung von Anreizen für klimaneutrale Wärmeinfrastruktur inklusive Speichersystemen und der umfassenden Nutzung von Abwärme beispielsweise über Marktmechanismen oder Förderprogramme sowie durch langfristige Minimierung der Investitionsrisiken.
- Weitere Förderung von Forschung und Pilotprojekten sowie der internationalen Zusammenarbeit mit weiteren Pionieren auf diesem Gebiet wie Dänemark und Österreich zur Optimierung der Anlagen für verschiedene Einsatzwecke sowie deren Auslegung.
- Erleichterung der Zusammenarbeit der einzelnen Akteure untereinander – vom Privathaushalt, über den Industriebetrieb und Abwärmelieferanten, Betreiber der Anlagen für erneuerbare Energien bis hin zum Wärmenetzbetreiber und Energielieferanten.

Saisonale Energiespeicher ermöglichen das erfolgreiche Zusammenspiel der einzelnen Komponenten im Energiesystem. Für eine erfolgreiche Energie- und Wärmewende braucht es eine Vielzahl von Akteuren und Technologien, die dazu ermächtigt werden ihren Beitrag zu leisten. Passende Rahmenbedingungen tragen dazu bei, diese Projekte langfristig im Markt zu etablieren und wirtschaftliche Lösungen entstehen zu lassen.

QUELLENVERZEICHNIS

Andresen et al., 2017,VDI – Statusreport 2017 – Energiespeicher, Verein Deutscher Ingenieure e.V.
In: https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/vdi-statusreport-energiespeicher

Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, 2021, Wärmespeicher für Ballungsräume.
In: https://www.aee.at/zeitschrift-erneuerbare-energie/108-erneuerbare-energie-1-2021/1306-waermespeicher-fuer-ballungsraeume

Austrian Cooperative Research, 2023, Energiespeicher der Zukunft „MoreStore". In: https://www.acr.ac.at/science-story/energiespeicher-der-zukunft/

BAFA, 2023, Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW). In: https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waerm enetze_node.html;jsessionid=03F1990AC0F5C56D3919C4BAD0F01611.intranet232

BVES, 2022, Übersicht Speichertechnologien

BVES, 2023, Fact Sheet Sensibler Wärmespeicher. In: https://www.bves.de/publikation/factsheet-sensibler-waerme-wasserspeicher/

Delta Energy & Environment Ltd. Evidence gathering: thermal energy storage (TES) technologies. Department for Business Energy & Industrial Strategy; 2016. In: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/545249/DELTA_EE_DECC_TES_Final__1_.pdf

Hauer et. al., 2013, Wärmespeicher – 5. Vollständig überarbeitete Auflage,

Hesaraki A, Holmberg S, Haghighat F. Seasonal thermal energy storage with heat pumps and low temperatures in building projects—a comparative review. Renew Sustain Energy Rev 2015;43:1199–213. In: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114010545

Jahnke, 2019: Untersuchung des Honigmann-Prozesses zur thermochemischen Energiespeicherung. Jahnke, A.. Technische Universität Berlin. In: https://depositonce.tu-berlin.de/items/d592a09d-070d-40b6-aa99-d8ae34348daf

Klimaschutzgesetz der Bundesregierung, 2022.
In: https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672

Knoblich, Sanner, 2003, Schlussbericht zum FuE Vorhaben, Thermische Untergrundspeicherung auf höherem Temperaturniveau: Begleitforschung mit Messprogramm Aquiferspeicher Reichstag.
In: http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1795/pdf/0329809B_Schlussbericht_310804.pdf

Landeshauptstadt München, 2012, Modellprojekt Energieversorgungssystem „Solare Nahwärme Ackermannbogen".
In: https://ackermannbogen-ev.de/wp-content/uploads/2023/03/Solare_Nahwaerme.pdf

Lassacher et al., 2018, Technische Aspekte der Forcierung von Primärenergieeffizienz an oberösterreichischen Produktionsstandorten durch Nutzung von Wärmespeichern, Energie Institut, Johannes Kepler Universität Linz.
In: https://energieinstitut-linz.at/wp-content/uploads/2020/03/W%C3%A4rmespeicher-innerbetrieblich_Endbericht_EIJKU_2018.pdf

Mangold et al., 2001: Solarthermie-2000 TP 3: Solar unterstützte Nahwärme Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitforschung. Mangold, D.; Schmidt, M. Benner: Th.; Hahne, E.; Müller Steinhagen, H.
In: https://www.tu-chemnitz.de/mb/SolTherm/ST2000/images/tp3itw_mangold.pdf

Mangold, Schmidt, 2007, The next Generations of Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, 3rd European Solar Thermal Energy Conference (ESTEC 2007): Proceedings.
In: https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=a44a62bc860787cc1e135085cfcfd 79d101df231

Mangold, Deschaintre, 2015: Task 45 Large Systems Seasonal thermal energy storage, IEA Solar Heating & Cooling TCP.
In: http://task45.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA_SHC_Task45_B_Report.pdf

Neupert et al., 2009, Energiespeicher. Technische Grundlagen und energiewirtschaftliches Potenzial, Fraunhofer IRB Verlag. 217 pp. ISBN: 978-3-8167-7936-0.

Pavlov GK, Olesen BW. Thermal energy storage—a review of concepts and systems for heating and cooling applications in buildings: Part 1—seasonal storage in the ground. HVAC R Res 2012;18(3):515–38. In: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Seasonal%20thermal%20energy%20storage%20in%20 Germany&author=T.%20Schmidt&publication_year=2003

Pfeil & Koch Ingenieursgesellschaft, KEA-BW, 2023: Eggenstein heizt mit Sonnenenergie – sogar im Winter.
In: https://www.kea-bw.de/kea-map/lightbox-1-1-3-1-2-2

PlanEnergi, 2016, Long Term Storage and Solar District Heating – A presentation of the Danish pit and borehole thermal energy storages in Braedstruk, Mastal, Dronninglund and Gram.
In: https://www.energiforskning.dk/sites/energiforskning.dk/files/slutrapporter/sol_til_fjernvarme_brochure_ oplag_2_til_web01-_0.pdf

Ramboll, 2023: Germany's pit thermal energy storage. In: https://www.ramboll.com/projects/energy/germany-s-pit-thermal-energy-storage

Rehau, 2023, Drake Landing Solar Community: Sustainable Canadian community harnesses solar energy using geoexchange technology. In: https://www.rehau.com/downloads/498746/drakelandingreferenceproject-827807-rehau.pdf

Schmidt, Mangold, Müller-Steinhagen, 2003: Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, ISES Solar World Congress 2003.
In: https://www.igte.uni-stuttgart.de/veroeffentlichungen/publikationen/publikationen_03-06.pdf

Solites Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme, 2023. In: https://www.saisonalspeicher.de/

Solites, 2021, Spezifische Investitionskosten saisonaler thermischer Speicher ohne Planungskosten und MwSt.
In: https://www.saisonalspeicher.de/

Stadtwerke Crailsheim, 2021: Technik, Ökologie und Lebensqualität im Einklang.
In: https://www.stw-crailsheim.de/wp-content/uploads/2021/02/210204-Solar-Broschuere-DE.pdf

State of Green, 2014, World largest thermal heat storage pit in Vojens.
In: https://stateofgreen.com/en/solutions/world-largest-thermal-pit-storage-in-vojens/

Sterner et. al., 2017, Energiespeicher - Bedarf, Technologie, Integration, 2. Auflage 2017, Springer-Verlag.

Yang et al., 2021, Seasonal thermal energy storage: A techno-economic literature review.
In: https://www.sciencedirect.com/?ref=pdf_download&fr=RR-11&rr=7fa398230b5a2685

BVES