

SAISONALE WÄRMESPEICHERUNG - EINE HERAUSFORDERUNG FÜR POLYMERE

F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen
University of Stuttgart, Institute for Thermodynamics and Thermal Engineering (ITW)
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart
Tel. +49 711 685 63278, Fax: +49 711 685 63242
Email: ochs@itw.uni-stuttgart.de

1 Nahwärmesysteme mit saisonaler Wärmespeicherung

Saisonale Speicherung von Solarenergie oder von Wärme von z.B. Biogasanlagen bietet großes Potential in zukünftigen Energiesystemen fossile Brennstoffe zu substituieren. Im Vergleich zu Speichern in kleinen dezentralen Systemen sind sowohl die spezifischen Kosten als auch die spezifischen Wärmeverluste von großen Langzeit-Wärmespeichern in solar unterstützten Nahwärmesystemen (vgl. Bild 1) niedriger.

Für die saisonale Wärmespeicherung existieren verschiedene Konzepte, die in Bild 2 aufgeführt sind. Die Entscheidung für einen bestimmten Speichertyp hängt

wesentlich von den

geologischen und hydrogeologischen

Verhältnissen im Untergrund des jeweiligen Standortes

ab. Behälter-Wärmespeicher und Erdbecken-

Wärmespeicher können

nahezu standortunabhängig

gebaut werden, weisen

jedoch die höchsten

spezifischen Baukosten auf.

Die Dimensionen

ausgeführter erdvergrabener

Behälter- und Erdbecken-Wärmespeicher variieren zwischen 100 m³ bis über 10 000

m³. Die größten ausgeführten Projekte sind der Heißwasser-Wärmespeicher in

Friedrichshafen (D) mit 12 000 m³ und der Erdbecken-Wärmespeicher in Marstal

(DK) mit 10 000 m³ (Benner et al., Bodmann et al. und Ochs et al.).

Erdbecken-Wärmespeicher werden nach ihrem Speichermedium unterteilt in (i) Kies-

Wasser-Wärmespeicher, (ii) Erdreich- bzw. Sand-Wasser-Wärmespeicher oder (iii)

Heißwasser-Wärmespeicher. In Bezug auf Wärmekapazität sowie Be- und

Entladeleistung ist ein Heißwasser-Wärmespeicher gegenüber Kies- bzw. Erdreich-

Wasser- Wärmespeicher vorteilhaft. Letztere haben jedoch Vorteile, wenn statische

Gründe im Vordergrund stehen, wie beim 8000 m³ Kies-Wasser-Wärmespeicher in

Chemnitz, auf dem eine Straße und ein Parkplatz gebaut wurden.

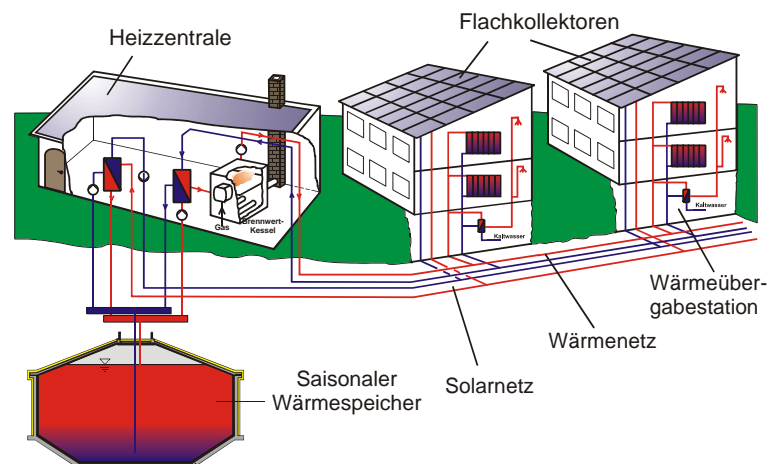


Bild 1: Schematischer Aufbau und Komponenten eines solar unterstützten Nahwärmesystems (Quelle: ITW)

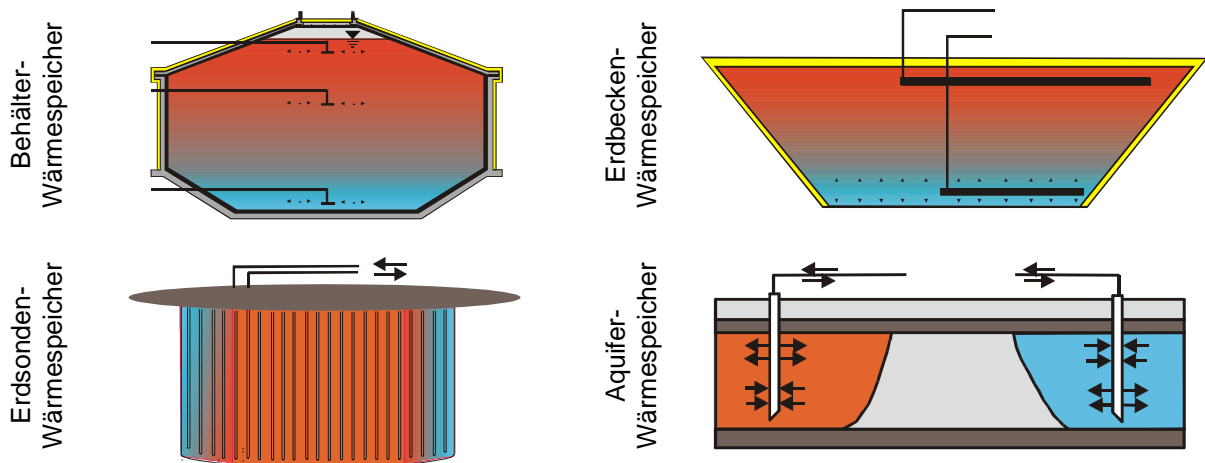


Bild 2: Typen von Langzeit-Wärmespeichern (Quelle: ITW)

Eine statisch vergleichbare Abdeckung von Heißwasser-Wärmespeichern erfordert einen nicht unerheblichen technischen und finanziellen Aufwand. So wurde auch beim aktuellsten Projekt, der solar unterstützten Wärmeversorgung in Eggenstein-Leopoldshafen, aus statischen und finanziellen Gründen ein Kies-Wasser-Wärmespeicher (4500 m³) favorisiert, da der Speicher im Gebiet eines Schulhofs gebaut wurde. In Tabelle 1 sind einige der über 30 internationalen Projekte mit Behälter- bzw. Erdbecken-Wärmespeicher der letzten 30 Jahre aufgelistet.

Tabelle 1: Auswahl von Projekten mit erdvergrabenem Langzeit-Wärmespeicher, Volumen (V), Oberfläche (A) und gemessene Wärmeverluste (Q_{mess}) Vergleich von Auslegungs- bzw. Simulationswerten mit gemessenen Werten

Ort	Land	Datum	V [m ³]	A [m ²]	A/V [m ⁻¹]	ΔT_{av} [°C]	Q _{mess} [MWh/a]	$\frac{\dot{Q}_{mess}}{\dot{Q}_{design}}$ [-]
Behälter-Wärmespeicher								
Studsvik	S	1978	800	550	0.69	n/a	n/a	1.07-1.3
Lombohov	S	1980	10 000	1750	0.18	n/a	250	3
Särö	S	1989	640	n/a	n/a	n/a	n/a	3
Hamburg	D	1996	4 500	1 650	0.37	42	360 – 430	3.8-4.5
Friedrichshafen	D	1996	12 000	2 796	0.23	49	320 – 360	1.5-1.6
Ilmenau ^{†)}	D	1998	300	262	1.14	n/a	n/a	1.2
Hannover	D	2000	2 750	1 135	0.41	33	90 – 100	1.3-1.4
Erdbecken-Wärmespeicher								
Stuttgart (GW) ^{§)}	D	1985	1 050	835	0.84	8	27	<1
Malung (HW)	S	1989	1 000	n/a	n/a	n/a	n/a	1.5
Chemnitz (GW) ^{x)}	D	1997	8 000	3 375	0.42	n/a	n/a	1.4
Steinfurt (GW) ^{§)}	D	1999	1 500	1 305	0.87	26	70 – 90	n/a
Marstal (HW) ^{†)}	DK	2003	10 000	5 600	0.56	22	338	n/a

^{§)} Differenz aus durchschnittlicher Speicher- und Umgebungstemperatur $\Delta T_{av} = T_{m,s} - T_{m,a}$ ^{†)} Extrapolation von 5 Monaten ^{§)} 462 h Simulation, Betrieb mit Wärmepumpe ^{x)} Extrapolation von 8 Wochen, Betrieb bis 2006 ^{†)} 6 Monate Betrieb ^{§)} incl. Anschlussleitungen n/a nicht verfügbar

Einige der Pilot- und Forschungsspeicher wiesen Leckagen bei Inbetriebnahme auf, welche aber zumeist durch Sanierung behoben werden konnten. Bis auf den mit Ton abgedichteten Heißwasser-Erdbecken-Wärmespeicher in Ottrupgaard (DK) sind alle sich in Betrieb befindlichen Speicher frei von größeren Leckagen.

Bei der Mehrzahl der bisher ausgeführten Pilotanlagen sind die Speicher-Wärmeverluste höher als bei der Planung berechnet. Die Gründe dafür sind:

- höhere mittlere Speichertemperatur als prognostiziert aufgrund geänderter Lasten oder Systemkonfigurationen,
- geringere Temperaturschichtung gegenüber dem Planungsstand,
- höherer Rücklauf- und somit Speicherbodentemperaturen verursachen im meist ungedämmten Bodenbereich höhere Wärmeverluste.
- Die Wärmeleitfähigkeit der eingesetzten Wärmedämmung wurden bei der Planung auf Basis der DIN 4108 (Referenztemperatur 10°C) als konstant angenommen. Die Wärmeleitfähigkeit der Wärmedämmung erhöht sich im Betrieb durch hohe Temperaturen. Mit zunehmendem Wassergehalt der Wärmedämmung ist eine signifikante Zunahme der Wärmeleitfähigkeit festzustellen.
- Ungenügende Qualität/Genauigkeit der vorhandenen Simulationstools.

2 Bauweise von Behälter- und Erdbecken-Wärmespeichern

Die Bauweisen von Behälter-Wärmespeichern und von Erdbecken-Wärmespeichern unterscheiden sich nur wenig. Im Unterschied zu Behälter-Wärmespeichern wird der Wandaufbau bei Erdbecken-Wärmespeichern ohne weitere statische Maßnahmen direkt auf die Böschungen aufgebracht. Um Eindringen von Oberflächenwasser in die Wärmedämmung zu verhindern wird die Böschung mit einer Drainagematte abgedeckt. Darauf folgt der eigentliche Wandaufbau bestehend aus Schutzvlies, äußerer Abdichtung, Wärmedämmung, (Dampfsperre) und Abdichtungsbahn (vgl. Bild 3). Auch die Mehrzahl der bisher realisierten Behälter-Wärmespeicher wurde aus Platzgründen sowie aufgrund architektonischer bzw. optischer Argumente ganz oder teilweise vergraben gebaut.

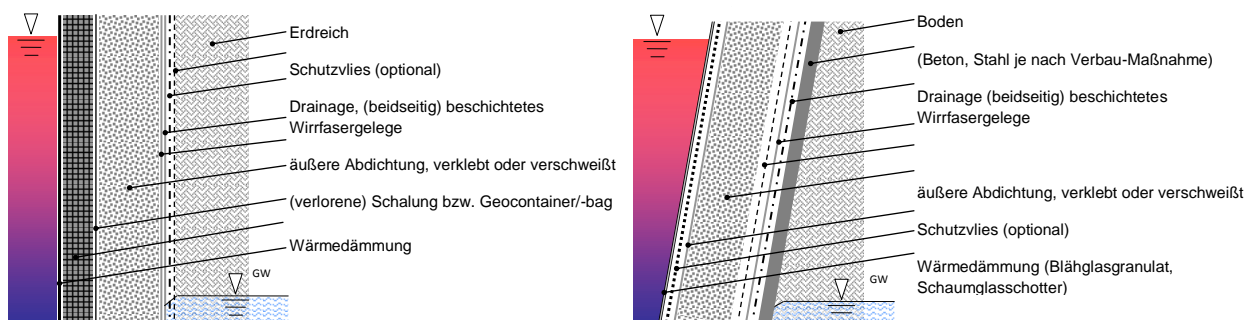


Bild 3: links: Wandaufbau eines Behälter-Wärmespeichers, Wärmedämmung außen; rechts: Wandaufbau eines Erdbecken-Wärmespeichers, Wärmedämmung innen, GW: Grundwasser (Quelle: ITW)

Die Entwicklung eines geeigneten Wandaufbaus ist eine komplexe bauphysikalische und thermodynamische Aufgabenstellung. Es muss gewährleistet sein, dass die Wärmedämmung vor Wasser- und Wasserdampfeintrag von Außen, vom

umgebenden feuchten oder nassen Erdreich, und von Innen, durch Diffusionsvorgänge, geschützt ist. Zudem muss das Austrocknen der Baufeuchte oder feucht eingebauter Wärmedämmung ermöglicht werden. Nur mit einem qualitativ hochwertigen Wandaufbau kann garantiert werden, dass - aufgrund von Durchfeuchtung - die Wärmedämmung über einen geforderten Zeitraum von mindestens 30 Jahren nicht degradiert.

3 Wärmedämmung

Bis auf den Aquifer-Wärmespeicher werden alle in Bild 2 genannten Speichertypen mit Wärmedämmung versehen, um die Wärmeverluste zu reduzieren. Der Erdsonden-Wärmespeicher kann nur im Deckelbereich gedämmt werden. Bei Behälter- und Erdbecken-Wärmespeichern werden der Deckel und die Seitenwände gedämmt. Bodendämmung wurde bei früheren Projekten nicht eingebaut, wird aber heute empfohlen.

Der Markt stellt eine Vielzahl von Dämmstoffen bereit. Diese Marktentwicklung wurde spätestens durch die EnEV im Jahre 2002 hervorgerufen. Die Auswahl der am Markt erhältlichen Dämmstoffe, die für den Einsatz in Erdbecken-Wärmespeichern geeignet sind, ist dennoch gering. Die Anforderungen unterscheiden sich u.a. erheblich von den Anforderungen an Dämmstoffe für das Bauwesen.

Die geforderten Eigenschaften unterscheiden sich je nach System und Einsatzort (Boden, Wand, Abdeckung) im Erdbecken-Wärmespeicher, wobei folgende Eigenschaften vom Material zwingend erfüllt werden müssen:

- Temperaturbeständigkeit kurzfristig bis 100 °C, permanent 80 bis 90 °C
- Langzeit- bzw. Alterungsbeständigkeit
- Druckbeständigkeit (auch bei Feuchtebelastung und hohen Temperaturen)
- Beständig sowie unempfindlich gegen Wasser- und Wasserdampf (Hydrolyse)

Zudem sind gute Trocknungseigenschaften, Unempfindlichkeit gegenüber Mikroorganismen und Nagern sowie gute Verarbeitbarkeit von Vorteil. Natürlich sollte das Material „umweltverträglich“ sein.

Die Kosten der einzelnen Materialien müssen im eingebauten Zustand verglichen werden. Dabei ist auch der gesamte Aufbau der Wärmedämmung, der Statik, der Speicherabdichtung sowie der Installation zu berücksichtigen. Die Wärmedämmung muss nicht nur möglichst kosteneffektiv eingebracht werden, sondern dabei auch trocken und schadensfrei bleiben. Vor allem bei großen Speichern kann das Einbringen der Wärmedämmung mehrere Wochen dauern. Der Schutz vor Witterungseinflüssen beim Einbau spielt somit zusätzlich eine wichtige Rolle bei der Auswahl einer geeigneten Wärmedämmung und der entsprechenden Einbaumaßnahme.

Dämmstoffe werden als Platten oder als Schüttgut gefertigt. Platten werden durch Kleben oder Schrauben befestigt. Es wird im Gegensatz zu schüttfähigen Dämmstoffen kein Behälter bzw. keine Schalung benötigt, um die Wärmedämmung zu montieren. Jedoch gelingt gerade bei unebenem Untergrund, wie er bei

Erdbecken-Wärmespeichern vorzufinden ist, ein zwickel- und wärmebrückenfreier Einbau nur unter erheblichem Aufwand.

Frühere Langzeit-Wärmespeicher wurden fast ausschließlich mit Dämmstoffplatten gebaut. Dahingegen werden bei den neueren Projekten schüttfähige Dämmstoffe bevorzugt eingesetzt, vgl. Tabelle 2. Aufgrund der geforderten Temperaturbeständigkeit von 95°C ist der Einsatz polymerer Dämmstoffe nur begrenzt möglich.

Tabelle 2: Wärmedämmung ausgeführter Pilot- und Forschungs-Wärmespeicher (vgl. Ochs 2007)

XPS	Vaulruz, Lyngby, Chemnitz, Augsburg, Attenkichen
EPS	Marstal (HW), Rottweil, Egenhausen
PUR	Ottrupgaard, Sjökuilla, Herlev Växjö, Lombohov, Studsvik, Illmenau
Mineral-/Steinwolle	Särö, Rottweil, Friedrichshafen, Sjökuilla, Lyngby, Marstal (HW)
Foamglas	Berlin, Lisse
Blähglasgranulat	Steinfurt, Hannover, Crailsheim, München
Schaumglasschotter	Eggenstein

Schüttfähige Dämmstoffe wie Blähglasgranulat oder Schaumglasschotter bieten diesbezüglich überwiegend Vorteile. Das Einbringen schüttfähiger Wärmedämmung durch Einblasen aus dem Silo-LKW ist sehr effektiv und auch über weitere Entfernungen möglich (vgl. Bild 4 und Bild 6). Mit zunehmender Förderentfernung reduziert sich jedoch die Fördermenge und die Staubentwicklung (durch Reibung im Schlauch) nimmt zu. Wenn möglich ist das direkte Abkippen der Wärmedämmung zu favorisieren.



Bild 4: Blähglasgranulat in Membran-Schalung, Außenlaborversuche am ITW (Quelle ITW) und Projekt SNAB, München-Ackermannbogen (Quelle Solites)

Abhängig von Dämmstoff, Betriebsweise des Wärmespeichers und den örtlichen Randbedingungen wird die Wärmedämmung bis zu 1 m stark ausgeführt. Die Schichtdicke der

Dämmung sollte von unten nach oben zunehmen, da im oberen Speicherbereich die höchsten Temperaturen auftreten. Die exakte Dimensionierung erfordert transiente Berechnungen unter Berücksichtigung der Systemparameter (Temperaturverläufe) und der lokalen Gegebenheiten (Umgebungs- und

Erdreichtemperaturen) sowie temperatur- und feuchteabhängiger Stoffwerte (vgl. Ochs et al.). Die Temperaturabhängigkeit der effektiven Wärmeleitfähigkeit verschiedener Dämmstoffschüttungen ist in Bild 5 dargestellt. Bei den dabei untersuchten Schüttungen lässt sich ein linearer Anstieg der Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur beobachten. Die Zunahme beträgt rund 30 % bei einer Temperaturerhöhung von 20 °C auf 80 °C.

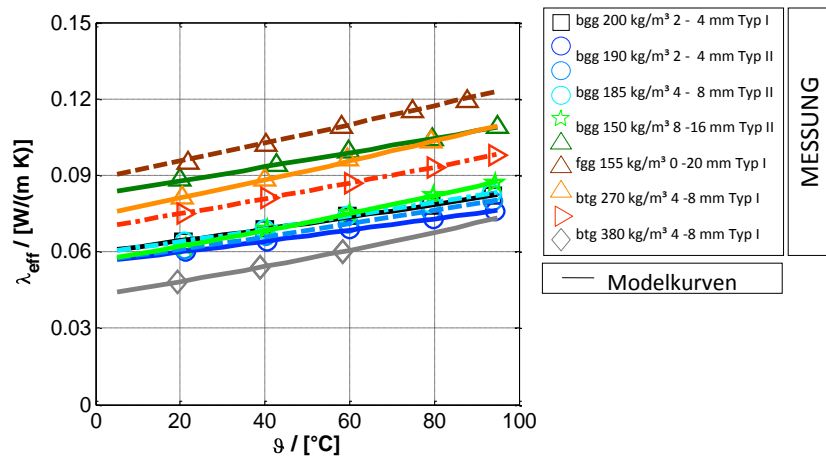


Bild 5: Mess- und Modellwerte der effektiven Wärmeleitfähigkeit (λ_{eff}) trockener schüttfähiger Dämmstoffe als Funktion der Temperatur (ϑ); Blähglasgranulat (bgg), Blähton-Schüttung (btg), Schaumglasschotter (sgs), expandierte Perlite (ep) (Mesdaten ITW)

4 Abdichtung

4.1 Anforderungen

Abdichtungsbahnen, die in Langzeit-Wärmespeichern eingesetzt werden, müssen folgende Kriterien erfüllen:

Tabelle 3: Anforderungen an die Abdichtung

“Must“ Anforderungen	Bemerkung
Wasserdicht	
Temperaturbeständig	max. 95 °C, Dauer 90 °C
Hydrolysebeständig	Wasserkontakt
Langzeitstabil	mind. 20 bis 30 Jahre
Schweißbar	Heißluft oder Heizkeil, Extrusion
Verfügbar	auch in klein(er)en Mengen
“Nice-to-have“ Anforderungen	Bemerkung
Wasserdampfdicht	< 0.001 g/m²d bei 95 °C
Verarbeitbar	bei allen Außenbedingungen
Robust	(Weiter-) Reißfestigkeit, Reißdehnung, Durchstoßfestigkeit
Kostengünstig	Kosten für fertig montierte und Leckage geprüfte Abdichtung
Sanierbar	Schweißbar auch nach Einsatz

4.2 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

Die Mehrzahl der ausgeführten Behälterspeicher wurde mit Edelstahl ausgekleidet. Dagegen wurde die Mehrheit der Erdbecken-Wärmespeicher mit Kunststoffdichtungsbahn (KDB) abgedichtet, wie Tabelle 4 zeigt.

Tabelle 4: Abdichtungen realisierter (saisonaler) Behälter- und Erdbecken-Wärmespeicher, Forschungs- und Pilotprojekte

	Behälter (11)	Erdbecken (20)
Edelstahl (10)	6	4
KDB/Polymer (16)	3	13
Andere (Ton, Bentonit, HL-/WU-Beton) (5)	2	3

Polymere wurden bereits in vielen Forschungs- und Pilotprojekten eingesetzt. Die Erfahrungen aus den Pilotprojekten reichen jedoch nicht aus, um verlässliche Aussagen über die Lebensdauer treffen zu können. Zum Einen ist durch die geringe Anzahl der Projekte die Datenbasis sehr gering und zum Anderen werden unter realen Bedingungen längere Beobachtungsperioden benötigt, um belastbare Aussagen treffen zu können. Einige der älteren Pilot- und Forschungsprojekte sind nicht mehr in Betrieb (Studsvik, Lambohov, Stuttgart, Berlin, Chemnitz). Bei anderen ist das Temperaturniveau niedriger als bei neuen Projekten gefordert (z.B. Steinfurt, Marstal (SW)).

Tabelle 5: Polymere Abdichtung in Pilot- und Forschungsspeichern (vgl. Ochs 2007)

Polymer	Projekt
HDPE	Stuttgart (KW), Berlin, Chemnitz, Egenhausen, Augsburg, Marstal (HW), Stuttgart (Außenlabor)
PP	Marstal (SW), Steinfurt
PVC	Friedrichshafen: Abdichtung gegen Grundwasser, Marstal (HW): Abdichtung gegen Regen
PVC-PE (Gewebe verstärkt)	El Paso ^{#)}
TPE	Sjökulla, Stuttgart (Außenlabor)
EPDM	Herlev, Stuttgart (Außenlabor)
IIR (Gewebe verstärkt)	Studsvik, Lambohov
Bitumen (ECB)	Berlin (repair of liner)

KW: Kies-Wasser, HW Heißwasser, SW: Sand-Wasser ^{#)} Solar pond

Die Lebensdauer von polymeren Abdichtungen ist stark abhängig vom umgebenden Medium (Wasser/Luft) und von der Temperatur, vgl. Anhang. Systematische Untersuchungen zur Ermittlung der Lebensdauer polymerer und elastomerer Abdichtungsbahnen für den Einsatz in Wärmespeichern wurden bislang nicht durchgeführt. Bisherige Untersuchungen (z.B. Geipel 1983, Großkurth 1984, Pedersen 2004, Körner 2005) wurden unter ungeeigneten bzw. nur bedingt geeigneten Auslagerungsbedingungen (Temperatur, Medium, Dauer) durchgeführt. Eine Übertragbarkeit bzw. Vergleichbarkeit ist somit zumindest nur eingeschränkt gegeben. Zudem wurden jeweils nur vereinzelt Materialien untersucht. Die Ergebnisse lassen jedoch erkennen, dass für die untersuchten polymeren Materialien unter den geforderten Bedingungen (Temperatur, Wasser/Luft) eine Lebensdauer von über 20 Jahren nicht in jedem Fall gewährleistet werden kann.

Die geforderte Dauergebrauchstemperatur von 95 °C und Alterungsbeständigkeit von mindestens 30 Jahren weist keines der am Markt verfügbaren Materialien auf. Für eine belastbare Aussage zur Lebensdauer von polymeren Abdichtungsmaterialien sind systematische Alterungs- bzw. Degradationsuntersuchungen notwendig.

4.3 Diffusion durch Kunststoffdichtungsbahnen

Polymere und elastomere Abdichtungsbahnen bieten keine 100%ige Wasserdampfdichtigkeit. Der Diffusionswiderstand von Kunststoffdichtungsbahnen wurde am ITW mit einer neu entwickelten Permeations-Mess-Apparatur in Abhängigkeit der Temperatur für eine Auswahl von am Markt erhältlichen Abdichtungsmaterialien bestimmt. Gemessene Wasserdampftransmissionsraten (WVTR) und Modellkurven, sowie die entsprechenden Arrhenius-Plots sind in Bild 6 dargestellt.

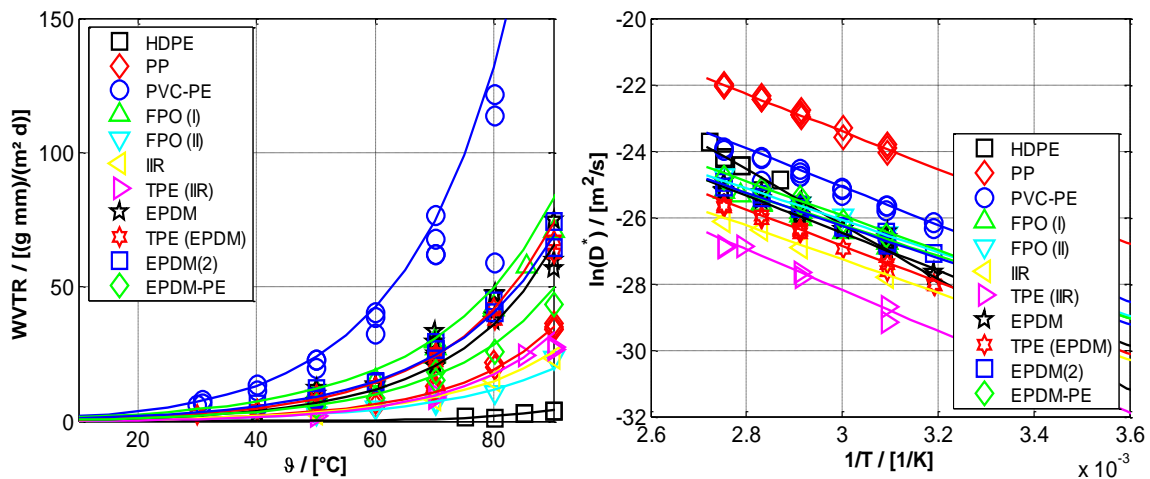


Bild 6: Wasserdampfdurchlässigkeitsrate (WVTR) sowie Arrheniusplot des Diffusionskoeffizienten (D); isothermer Diffusion (100% vs. 0%r.F) für Polyolefine (HDPE, PP), PVC, Elastomere (EPDM, IIR), flexible Polyolefine (FPO) und thermoplastische Elastomere (TPE)

Die Ergebnisse zeigen, dass ohne zusätzliche Dampfsperre bzw. Sperrschicht bei 90 °C durch eine EPDM-Bahn mit 1.5 mm Stärke ca. 40 $\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ diffundieren (Wasser gegen trockene Dämmung). Auch im Falle einer 2 mm starken PP-Bahn wäre die Menge, die am Tag durch einen Quadratmeter diffundieren würde mit ca. 18 g auch zu hoch. Da zumindest bei erdvergrabenen Wärmespeichern eine Hinterlüftung nicht möglich ist, wird empfohlen trotz der höheren Kosten eine Kunststoffdichtungsbahn nur in Kombination mit einer Dampfsperre bzw. als Verbundfolie einzusetzen (vgl. Bild 7, HDPE Sperrschichtbahn in Eggenstein).

In Tabelle 6 sind die Vor- und Nachteile von Edelstahlabdichtungen und polymeren Abdichtungen gegenübergestellt.



Bild 7: Einbringen der Wärmedämmung in HDPE-Sperrschichtbahn-Kammern sowie der Bodendämmung durch Einblasen aus dem Silo-LKW (Kies-Wasser-Wärmespeicher in Eggenstein, Quelle: ITW)

Tabelle 6: Gegenüberstellung von Edelstahl-Abdichtung (VA) und Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit und ohne Sperrschicht

VA	KDB	Sperrschichtbahn
+ Temperaturbeständigkeit + Alterungsbeständigkeit + Diffusionsdichtigkeit + Robustheit	+ Lieferform (5 – 7m Bahn) +Schweißverfahren/ -geschwindigkeit + Leckageprüfung + Kosten	+ Diffusionsdichtigkeit + Schweißverfahren/ -geschwindigkeit + Robustheit
- Korrosion (Passivierung) - Schweißverfahren - Lieferform (Platte) - Untergrundbeschaffenheit - Preis - (Primärenergieeinsatz)	- Temperaturbeständigkeit - Alterungsbeständigkeit - Diffusionsdichtigkeit	- Temperaturbeständigkeit - Alterungsbeständigkeit - Kosten - Lieferform (1.5 m Bahn)

5 Abdeckung von Heißwasser Wärmespeichern

Heißwasser-Wärmespeicher bieten im Vergleich zu Kies-Wasser-Wärmespeichern Vorteile bezüglich ihrer Speicherkapazität und ihres Betriebsverhaltens. Durch das geringere Volumen und da keine Kosten für Kies anfallen sind auch die Kosten für einen Heißwasser-Wärmespeicher geringer, wenn dieser mit einer kostengünstigen schwimmenden Abdeckung gebaut wird. Wird jedoch uneingeschränkte Begeh- und Befahrbarkeit oder Zugänglichkeit, z.B. für Wartungszwecke gefordert, ist die Konstruktion von Heißwasser-Wärmespeichern mit schwimmender Abdeckung nicht mehr möglich.

Begeh- bzw. befahrbare frei- bzw. selbsttragende Abdeckungen wurden als vorgespannte Schalen bereits in einigen Pilotprojekten erfolgreich ausgeführt. Nachteilig sind der hohe Materialaufwand sowie die Notwendigkeit eines teuren aber für den Aufbau erforderlichen Rüstturms. Zudem befindet sich die Wärmedämmung außen, wodurch hohe Temperaturgradienten und somit hohe Spannungen im Beton auftreten können.

Eine freitragende Sandwich-Konstruktion aus Hochleistungsbeton und PU-Kern bietet die Möglichkeit, die Abdeckung von Behälter- und Erdbecken-Wärmespeichern ohne Rüstturm bei signifikant reduziertem Material- und somit Primärenergieeinsatz auszuführen. Die technische Machbarkeit wurde im Außenlaborversuch am ITW bestätigt.

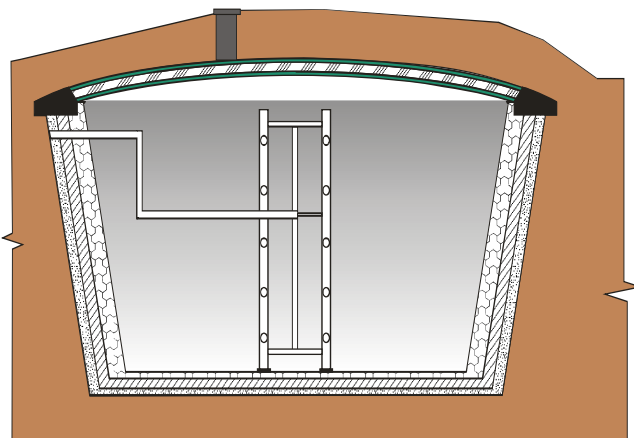


Bild 8: Heißwasser-Erdbecken-Wärmespeicher mit freitragender Abdeckung, Tonnendach aus Hochleistungsbeton-Sandwichelementen, Außenlabor-Forschungsspeicher am ITW

6 Schlussfolgerungen

Bis heute wurden international über 30 Forschungs- und Pilotprojekte mit (Langzeit-) Wärmespeichern realisiert, durch die gezeigt werden konnte, dass derartige Systeme technisch machbar sind.

Dennoch stellt der Wandaufbau eines erdvergrabenen Wärmespeichers hinsichtlich Wärme- und Feuchtetransport eine komplexe bauphysikalische und thermodynamische Aufgabenstellung dar: Nur mit einem qualitativ hochwertigen Wandaufbau kann garantiert werden, dass die Wärmedämmung über einen geforderten Zeitraum von mindestens 30 Jahren nicht aufgrund von Durchfeuchtung durch Diffusion vom Speichermedium und vom umgebenden feuchten Erdreich degradiert.

Polymere wurden sowohl für Wärmedämmung als auch für die Abdichtung in Langzeit-Wärmespeichern eingesetzt, obwohl aufgrund der Temperatur (, Druck) und Alterungsanforderungen der Einsatz nur beschränkt möglich ist. Belastbare Aussagen zur Langzeitbeständigkeit können ohne systematische Untersuchungen nicht getroffen werden.

Heißwasser-Wärmespeicher bieten mehr Vorteile als Kies-Wasser-Wärmespeicher, die Abdeckung von Heißwasser-Wärmespeichern ist jedoch technisch und finanziell aufwändiger. Das vorgestellte Sandwichkonzept erlaubt eine wirtschaftliche Konstruktion einer freitragenden Abdeckung ohne Rüstturm. Im Vergleich zu konventioneller Technik wird dabei eine signifikante Verringerung des Material- und Primärenergieeinsatzes bei der Herstellung der Fertigteile ermöglicht. Die technische Machbarkeit im Außenlaborversuch wurde anhand eines Tonnendachs (~100 m²) am ITW demonstriert. Die Ergebnisse sind auf eine Abdeckung in Form eines Kuppeldachs übertragbar. Die Dauerstandfestigkeit und das thermische Verhalten im Betrieb muss noch gezeigt werden.

Literatur

M. Benner, M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, T. Schmid, H. Seiwald, (2004), Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMBF-Vorhaben, November 1998 bis Januar 2003, ISBN: 3-9805274-2-5, 2004.

M. Bodmann, D. Mangold, J. Nußbicker, S. Raab, A. Schenke, T. Schmidt, (2006), Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWA / BMU-Vorhaben (Februar 2003 bis Mai 2005), Stuttgart.

F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, (2007) Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie, PtJ Statusseminar Thermische Energiespeicher, 2.+ 3. November 2006, Freiburg.

F. Ochs, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen, (2007) Modelling and Measurement of the Effective Thermal Conductivity of the Insulation of Buried Heat Stores as a Function of Temperature and Moisture Content, Heat and Mass Transfer (2007), doi:10.1016/j.ijheatandmasstransfer.2007.05.005.

D. Mangold, T. Schmidt, (2006), Saisonale Wärmespeicher: Neue Pilotanlagen im Programm Solarthermie2000plus und Forschungsperspektiven, Proc. PtJ Statusseminar Thermische Energiespeicherung - mehr Energieeffizienz zum Heizen und Kühlen, Freiburg, 2006.

F. Ochs, (2007), State of the Art of Seasonal Thermal Energy Storage“, Report, ITW Uni Stuttgart, Stuttgart.

W. Geipel, (1983), Planung, Bau und Erprobung eines wärme gedämmten Erdbecken-Versuchswärmespeichers mit 30000m³ Inhalt zur Aufnahme von Warmwasser mit mindestens 90 °C, Forschungsbericht BMFT-T 83-020, Stadtwerke Mannheim AG (SMA), Mannheim .

Großkurth K.P., (1984), Langzeitmaterialuntersuchungen für den Langzeit-Wärmespeicher Prototyp Wolfsburg, BMFT-Forschungsbericht zum Vorhaben 03E-8325-A, Braunschweig,.

Pedersen S., (2004), Fastlæggelse af levetider for 2 HDPE plastlinere til sæsonvarmelagre, UVE-project, “Aktiveter vedrorende udvikling af plastlinere til sæsonvarmelagre”, ENS. J. nr 51181/01-0065, Teknologisk Institut, Lyngby, DK.

2. Leobener Symposium Polymeric Solar Materials, Leoben, 7.-8. Februar 2008

Koerner R. M, Hsuan Y. G, Koerner G. R., (2005), Geomembrane Lifetime Prediction: Unexposed and Exposed Conditions, GRI White Paper #6, Geosynthetic Institute, Folsom, USA.