

# Außenlaborversuche zur Entwicklung kostengünstiger Erdbecken-Wärmespeicher für Solarwärme

F. Ochs<sup>1)</sup>, Koch<sup>2)</sup>, Lichtenfels<sup>3)</sup>, Mangold<sup>4)</sup>, Heidemann<sup>1)</sup>, Müller-Steinhagen<sup>1), 4), 5)</sup>

<sup>1)</sup> Universität Stuttgart, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik  
Pfaffenwaldring 6, D-70550 Stuttgart

Tel.: 0711 / 685-3536; Fax: 0711 / 685-3503

E-mail: [ochs@itw.uni-stuttgart.de](mailto:ochs@itw.uni-stuttgart.de), Internet: [www.itw.uni-stuttgart.de/sun](http://www.itw.uni-stuttgart.de/sun)

<sup>2)</sup> PKi, Pfeil und Koch ingenieure, Stuttgart

<sup>3)</sup> Ingenieurbüro Lichtenfels

<sup>4)</sup> Solar- und Wärmetechnik Stuttgart, ein Forschungsinstitut der Steinbeis-Stiftung

<sup>5)</sup> DLR Stuttgart, Institut für Technische Thermodynamik

## 1. Einleitung

Am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) werden im Rahmen des vom BMU geförderten Projekts „Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie“ in Zusammenarbeit mit den Ingenieurbüros PKi und Lichtenfels im Außenlabor verschiedene Konzepte und Bauweisen für Erdbecken-Wärmespeicher getestet. Im Vordergrund steht die Entwicklung eines effektiven und dabei kostengünstigen Heißwasser-Erdbecken-Wärmespeichers (EBWSp) für die saisonale Wärmespeicherung vor allem in Verbindung mit Solarwärmesystemen.

Anhand einer Marktrecherche wurden geeignete Materialien, wie z.B. Dämmstoffe und Abdichtungsbahnen (KDB) ausgewählt und dann in Innenlaborversuchen auf

Wärmeleitfähigkeit und Dampfdurchlässigkeit untersucht. Die Materialien, die sich als geeignet erwiesen haben, werden in zwei Außenlaboren (siehe Bild 1) auf Eignung für den Einsatz in EBWSp getestet. Dabei stehen Verarbeitbarkeit (z.B. Einbringung der Dämmung bei Regen oder Verschweißbarkeit der KDB bei Temperaturen um den Gefrierpunkt) und Praxistauglichkeit im Vordergrund.

Die Außenlabore können über ein direktes Be- und Entladesystem mit Fernwärme und einen Gaskessel beheizt (beladen), sowie über Fernkälte entladen werden.



## 2. Aufbau der Erdbecken-Wärmespeicher Außenlabore

Wesentlich für den kostengünstigen Bau eines Erdbecken-Wärmespeichers ist ein effektiver Installationsprozess. Die Optimierung der Arbeitsschritte (z.B. Einbringen der Dämmung und Abdichtung, Schweißarbeiten) spielt somit bezüglich der Kostenreduktion eine zentrale Rolle.

Zwei Gruben (umgekehrte Pyramidenstümpfe mit je 200 m<sup>3</sup>) wurden ausgehoben. Die Gruben haben mit Nägeln und Spritzbeton befestigte 80° Böschungen und natürlich geböschte Wände mit 60° Neigung. Der Wandaufbau wird bei Erdbecken-Wärmespeichern ohne weitere statische Maßnahmen direkt auf die Böschungen aufgebracht. Um Eindringen von Oberflächenwasser in die Dämmung zu verhindern wird die Böschung mit einer Drainagematte abgedeckt. Darauf folgt der eigentliche Wandaufbau. Die einzelnen Lagen werden in einem Einbindegraben befestigt. Tabelle 1 stellt exemplarisch zwei verschiedene Wandaufbauten, bestehend aus Schutzvlies, Dämmung, Dampfsperre und Abdichtungsbahn, dar.

Tabelle 1: Gegenüberstellung zweier Wandaufbauten

	<b>Wandaufbau 1</b>	<b>Wandaufbau 2</b>
Schema		
Böschung	80° - Vernagelung mit Spritzbeton	60° - Natürliche Böschung
Dämmung	60 cm Schüttung in Verlorener Schalung, Blähglasgranulat 4-8 mm	36 cm Schüttung in Geocontainern (2-lagig) Blähglasgranulat 2-4 mm
Wärmeleitfähigkeit	0.06 W/mK	0.065 W/mK
Dampfsperre	Vorkonfektionierte Aluminium Verbundfolie (PP-PA-Al-PA)	Gewebeverstärkte PE-Al Folie, überlappend verlegt
Abdichtung	TPE- Bahnen, heißluftverschweißt	EPDM, 2 Planen heißluftverschweißt

Durch die Vernagelung können steilere Böschungen und somit bessere A/V-Verhältnisse realisiert werden. Die Mehrkosten für die Vernagelung müssen mit den Einsparungen durch den geringeren Materialaufwand bei Dämmung und Abdichtung, sowie durch die wesentlich kostengünstigere Abdeckung (bis zu 50% der Gesamtkosten) in Folge der kleineren Oberfläche verglichen werden.

### 3. Wasser vs. Kies-Wasser

Das Speichermedium von Labor 1 ist reines Wasser, Labor 2 ist mit Wasser gesättigtem 16/32 Kies gefüllt. Die Abdeckung von Labor 1 kann somit nicht wie in Labor 2 analog dem Wandaufbau aufgebracht werden. Freitragende Abdeckungen können nur bis zu einer gewissen Größe wirtschaftlich realisiert werden. Eine mögliche Lösung für große Erdbecken-Wärmespeicher (ab ca. 5000 m<sup>3</sup>) ist die aufschwimmende Abdeckung, wie sie in Bild 2 schematisch dargestellt ist. Die Abdeckung wird im leeren Becken aufgebaut. Dabei wird zuerst identisch zur ersten

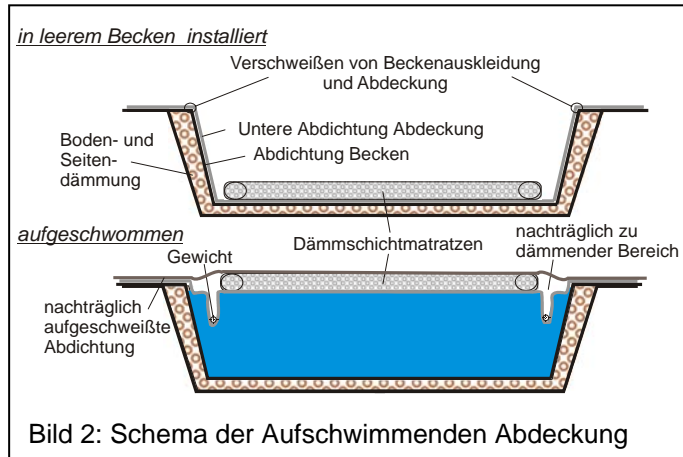


Bild 2: Schema der Aufschwimmenden Abdeckung

Abdichtung eine zweite Lage Abdichtungsbahn im Becken eingebracht und verschweißt. Darauf wird die Dämmung, hier als lose Schüttung, eingebracht und wie in einem Paket mit einer weiteren Lage Abdichtbahn am Boden eingeschweißt. Dies hat gegenüber einer nachträglich aufgebrauchten Schwimmenden Abdeckung den Vorteil, dass die Installation nicht auf dem Wasser stattfindet. Zudem kann die aufschwimmende Abdeckung besser Niveauänderungen (durch Temperaturchwankungen) aufnehmen als eine auf dem Wasser installierte Schwimmende Abdeckung.



Bild 3: Halbfertige Aufschwimmende Abdeckung, Randdämmung fehlt noch

Die Dämmung dient beim Befüllen des Wärmespeichers als Schwimmkörper. Der Randbereich wird nach dem Aufschwimmen der Abdeckung gedämmt und mit einer weiteren Abdichtfolie abgedeckt. Bild 3 zeigt die aufschwimmende Abdeckung von Außenlabor 1 im halbfertigen Zustand (Seitenbereiche sind noch nicht gedämmt). Die aufschwimmende Abdeckung ist begehrbar.

Dem größeren Aufwand einer schwimmenden oder freitragenden Abdeckung steht eine im Vergleich zum Kies-Wasser-Speicher bei gleichem Volumen um etwa 50 % größere Speicherkapazität gegenüber.

## 4. Minimierung der Wärmeverluste

Bei der Einbringung der Dämmung sowie beim späteren Betrieb muss darauf geachtet werden, dass die Dämmung trocken bleibt. Die Wärmeleitfähigkeit (WLF) nimmt mit zunehmender Stofffeuchte signifikant zu. Im Bereich höherer Temperaturen - für den Fall von Langzeit-Wärmespeichern bis 95 °C - kann sich die WLF und somit auch die Wärmeverlustrate verzehnfachen [1].

Das Einbringen von rieselfähiger Wärmedämmung wie z. B. Blähglasgranulat (BGG) durch Einblasen (siehe Bild 4) ist im Vergleich zum Anbringen von Plattenmaterial speziell bei großen Speichervolumen und somit großen Böschungslängen wesentlich effektiver und kostengünstiger. Durch den schnellen



Bild 4: Einblasen der Dämmung, sowie v.l.n.r.: Geocontainer, Membran- und, Holzschalung

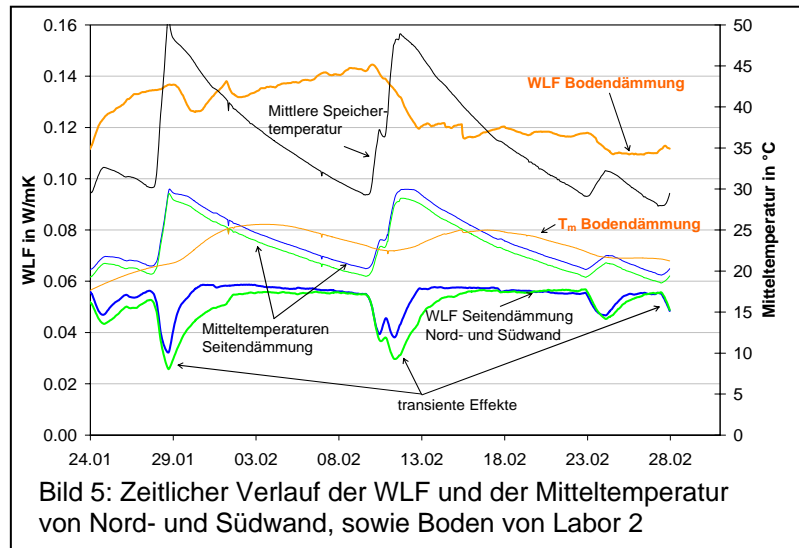
Installationsprozess kann das Risiko einer Durchfeuchtung durch Niederschlag minimiert werden. Die getesteten Verfahren sowie die eingesetzten Materialien sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Dämmmaterialien und Einbauvarianten

Ort	Dämmstoff	Einbauvariante	Einbauzustand	Eignung/Kosten
Labor 1 Boden	BGG 2-4 Typ1	Lose Schüttung, Silo-Lkw	feucht (Regen)	bedingt/gering
Labor 1 S & W Wand	BGG 2-4 Typ1	Geocontainer, Silo-Lkw	0.8 Vol.-% (Regen)	bedingt/gering
Labor 1 N & O Wand	BGG 2-4 Typ1	Holzschalung, Stand-Silo	Trocken	gut/bedingt
Labor 1 Deckel	BGG 2-4 Typ2	Lose Schüttung, Silo-Lkw	Trocken	gut/gering
Labor 2 Boden	Schaumglas-schotter 0-90	verdichtete Schüttung, Geobags	feucht (Regen + Lagerung)	gut/gering
Labor 2 S Wand	BGG 4-8 Typ2	Schalung, Silo-Lkw	Trocken	gut/gering
Labor 2 W & N Wand	BGG 4-8 Typ2	vorgefertigte Holzschalung	Trocken	gut/gering
Labor 2 O Wand	BGG 4-8 Typ2	Geocontainer, Silo- Lkw	Trocken	bedingt/gering
Labor 2 Deckel	noch nicht fertig gestellt			

Die Außenlabore und der Technikraum wurden mit umfangreicher Messtechnik (Temperaturfühler, Wärmestrommessplatten, Durchflussmesser, Füllstandsensoren) versehen. Durch die Erfassung der Speicher-, Dämmstoff- und Erdreichtemperaturen, sowie der Wärmeströme durch die Dämmung, können die Wärmeverluste bestimmt und daraus die Wärmeleitfähigkeit der Dämmung berechnet werden. Der Vergleich der berechneten Werte für die WLF mit den im Innenlabor

experimentell bestimmten Werten lässt Aussagen über die Dämmstofffeuchte und somit über die Funktionalität der Abdichtung zu. In Bild 5 sind die zeitlichen Verläufe der Dämmstoffmitteltemperaturen, sowie der aus den gemessenen Wärmeströmen berechneten Werte der WLF aufgetragen. Die WLF der trocken eingebauten Dämmung der Seitenwände liegt im Bereich der im Innenlabor experimentell bestimmten Werte (~ 0.055 W/mK). Die WLF der Bodendämmung dagegen liegt deutlich über den Innenlaborwerten. Durch Aufheizen gelingt es zwar die Dämmung zu trocknen, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeverluste liegen aber noch 50 % über den Planungs- bzw. Bemessungswerten nach DIN.



## 5. Schlussfolgerung

- 1) Erdbecken-Wärmespeicher sind effektive und kostengünstige Langzeit-Wärmespeicher.
  - 2) Das Vernageln von Böschungen eignet sich prinzipiell (bei bindigen Böden) um Erdbecken-Wärmespeicher mit günstigerem A/V-Verhältnis zu bauen. Dies ist aber teuer, so dass Wirtschaftlichkeit nur bei großen Speichern erzielt werden kann.
  - 3) Die aufschwimmende Abdeckung ist geeignet für große Heißwasser- EBWSp.
  - 4) Die Dämmung muss trocken bleiben. Der Wandaufbau muss gewährleisten, dass Wasserdampf nicht durch die Innere Abdichtung in die Dämmung diffundieren kann (Dampfsperre!), aber in der Dämmung vorhandene Feuchte nach außen transportiert werden kann (wasserdicht gegen Erdreich, aber diffusionsoffen).
- Die Durchführung weiterer Außenlaborversuche, und der Bau eines 500 m<sup>3</sup> Forschungs-Erdbecken-Wärmespeichers für Langzeituntersuchungen sind geplant.

*Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.*

- [1] Bestimmung der feuchte- und temperaturabhängigen Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen, F. Ochs et al., OTTI, 14. Symposium Thermische Solarenergie, Kloster Banz, 2004.