

# Kies/Wasser-Wärmespeicher: Langzeitwärmespeicherung ökologisch und kostengünstig

Dipl.-Ing. Markus Pfeil  
Dipl.-Ing. Holger Koch



PKi  
Pfeil & Koch ingenieure  
Marienstr. 37  
D-70178 Stuttgart  
Tel.: 49-7 11-67 44 74 - 0  
Fax: 49-7 11-67 44 74 - 10  
e-mail: energie@pk-i.de  
internet: www.pk-i.de

## 1. Einleitung

"Im Sommer scheint die Sonne, im Winter müssen wir heizen" - Welche Auswirkungen dieser banale Satz auf die Nutzung der Sonnenenergie hat, wird dann deutlich, wenn man anstrebt, mindestens 50% des Energiebedarfs für Warmwasser und Raumheizung durch Solarenergie zu decken. Mit ca. 15 m<sup>2</sup> Kollektorfläche werden für ein Einfamilienhaus in Niedrigenergiebauweise maximal 25% solare Deckung erreicht. Eine weitere Vergrößerung der Kollektorfläche ist nicht sinnvoll. Der spezifische Kollektorsertrag (kWh/m<sup>2</sup>\*a) sinkt immer stärker, gleichzeitig sind erhebliche Wärmeüberschüsse im Sommer die Folge. 85% der jährlichen Solarstrahlung entfallen auf den Zeitraum, in dem kein Heizwärmebedarf besteht – so könnte man auch den ersten Satz in Zahlen ausdrücken.

Solares Heizen mit Deckungsanteilen über 50% gelingt nur dann effektiv, wenn die im Sommer solar erzeugte Wärme nutzbringend in die Heizperiode gerettet werden kann. - Eine Aufgabe für saisonale Wärmespeicher. Da die Verluste eines Wärmespeichers neben der Wärmedämmung maßgeblich durch das A/V-Verhältnis (Oberflächen/Volumen-Verhältnis) bestimmt sind und dies mit zunehmender Speichergröße günstiger wird, machen saisonale Wärmespeicher nur für größere Wärmeversorgungssysteme Sinn. Nahwärmenetze mit einer Mindestgröße von ca. 50 Wohneinheiten sind also Voraussetzung für die Langzeitwärmespeicherung.

Neben der Solarenergie als Wärmelieferant kommen auch andere Wärmequellen für die saisonale Wärmespeicherung in Frage. Als Beispiel kann Abwärme aus indus-

triellen Prozessen oder aus der Kraft-Wärme-Kopplung genannt werden. Wird beispielsweise Biogas in einem BHKW verstromt, so entsteht auch im Sommer, gerade dann wenn Grünschnittabfälle die Biogasproduktion noch verbessern, viel Abwärme durch den KWK-Prozess. Kann diese Abwärme, die von einem regenerativen Energieträger stammt, im Sommer nicht direkt genutzt werden, so ist auch hier die saisonale Wärmespeicherung eine technische Lösung.

Saisonale Wärmespeicherung ist also immer dann eine Option, wenn die Phasenverschiebung von Wärmeangebot und Wärmebedarf mehrere Monate beträgt.

## 2. Langzeitwärmespeicher

Langzeitwärmespeicher müssen einfach, kostengünstig und ökologisch sein, um eine Chance am Wärmemarkt zu haben.

Folgendes Beispiel verdeutlicht diese Forderungen:

Ein Wärmespeicher mit einem Wasservolumen von 10.000 m<sup>3</sup> besitzt im geladenen Zustand einen Wärmeinhalt von ca. 700.000 kWh (90-30°C). Bewertet man jede Kilowattstunde mit 5 Cent, so faßt ein Wärmespeicher dieser Größe Wärme im Wert von 35.000 €. Geht man von nur einem nutzbaren Be- und Entladezyklus pro Jahr aus, so ist dies aus betriebswirtschaftlicher Sicht der maximale Jahresumsatz des Wärmespeichers.

Kosten für Langzeitwärmespeicher werden allgemein je Kubikmeter Wasseräquivalent (WÄ) angegeben. Sie liegen für die genannte Größe von 10.000 m<sup>3</sup> je nach Speichertechnologie heute zwischen 75 und 150 €/m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub>. Die Investitionskosten des genannten Wärmespeichers betragen also im schlechtesten Fall 1,5 Mio. €, also das ca. 40-fache des maximalen Jahresumsatzes.

Eine Senkung der Speicherbaukosten auf ein niedriges Niveau, möglichst unter 50 €/m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub>, muß also mittelfristig das Ziel sein. Dies kann nur erreicht werden durch Lösungen, die dem Leitsatz entsprechen: "So einfach wie möglich".

Langzeitwärmespeicher, die diese Philosophie erfüllen, machen sich allesamt die durch die Natur gegebenen Randbedingungen zunutze. Beispiele dafür sind Erdwärmesondenspeicher oder Aquiferwärmespeicher, bei denen der Untergrund selbst als Wärmespeicher dient und dieser nur durch Sondierungen oder Brunnenausbau erschlossen wird, ohne daß das eigentliche Speichermedium (Erdreich, Sand, Wasser) dabei einem Bauprozeß unterzogen wird.

Diese Speicherlösungen sind einfach und kostengünstig. Zwei Faktoren begrenzen jedoch ihre universelle Realisierbarkeit. Dies sind:

1. die lokale Geologie des Speicherstandortes, die für Aquifer- oder Erdsondenspeicher definierte Eigenschaften besitzen muß, und
2. die Notwendigkeit für sehr große Wärmeverbrauchsstrukturen, da beide Speichertypen keine Wärmedämmung besitzen. Die spezifischen Wärmeverluste sind also nur dann gering, wenn durch sehr große Volumina (>100.000 m<sup>3</sup>) ein günstiges A/V-Verhältnis erreicht wird.

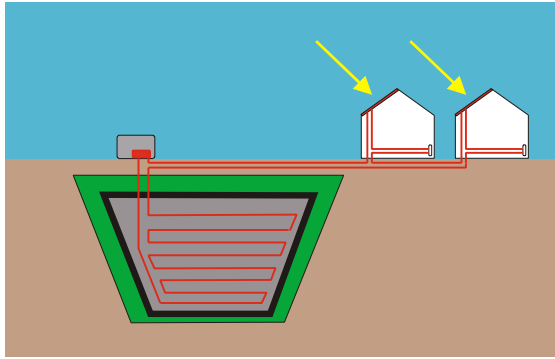


Abb. 1: Erdbecken-Wärmespeicher im solaren Nahwärmesystem

Kies/Wasser-Wärmespeicher oder Erdreich-Wärmespeicher, die auch übergreifend als Erdbecken-Wärmespeicher (Abb. 1) bezeichnet werden können, nutzen einerseits natürliche Vorkommen als Wärmespeichermedium, sie sind aber andererseits vollständig von einer wasserdichten Hülle und einer allseitigen Wärmedämmung umgeben. Diese Speichertechnologie entspricht damit den Forderungen, möglichst einfache und kostengünstige Speicher zu realisieren und gleichzeitig, wie ein Behälterspeicher, standortunabhängig zu sein.

### 3. Kies/Wasser-Wärmespeicher für die Solarsiedlung Steinfurt-Borghorst



Abb. 2 - Ansicht der Siedlung in Steinfurt-Borghorst (S.D. Sonnenhaus GmbH, Wettringen)

Der erste saisonale Wärmespeicher Deutschlands wurde 1985 am ITW der Universität Stuttgart als Kies/Wasser-Speicher mit 1.050 m<sup>3</sup> Volumen gebaut. Dieser Speicher ist bis heute in Betrieb. 1997 folgte der Bau eines 8.000 m<sup>3</sup> großen Kies/Wasser-Speichers der zweiten Generation für das Solaris Technologie-Zentrum in Chemnitz [1]. In der Solarsiedlung Steinfurt-Borghorst wurde ein saisonaler Kies/Wasser-Wärmespeicher

der dritten Generation gebaut. Gegenüber den ersten Generationen wurden hier neue Technologien bei der Speicherabdichtung und der Wärmedämmung realisiert. Steinfurt-Borghorst (siehe Abb. 2) ist die erste von 50 geplanten Siedlungen, die das Land Nordrhein-Westfalen in dem Projekt „Bauen mit der Sonne – 50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen“ fördert. Insgesamt 42 Wohneinheiten im Niedrigenergie- und Passivhausstandard werden aus einer Heizzentrale mit Wärme versorgt. Solarenergie wird über zwei Kollektorfelder mit insgesamt 510 m<sup>2</sup> Fläche gesammelt und in einen 1.500 m<sup>3</sup> großen saisonalen Kies/Wasser-Wärmespeicher eingespeichert. Die Besonderheit des Kies/Wasser-Wärmespeichers gegenüber Wärmespeichern, die als Behälter mit reinem Wasser gefüllt sind, ist die Multifunktionalität des Kieses. Der Kies besitzt einerseits die Qualität, Wärme zu speichern, andererseits erfüllt er höchste statische Anforderungen. Aus diesem Grund kann auf eine tragende Behälterkonstruktion z.B. aus Stahl oder Beton verzichtet werden. Der Bereich über dem Speicher bleibt so in der Siedlungsstruktur für andere Zwecke

nutzbar. Im Falle von Steinfurt ist der Speicherbereich mit einer ca. 1 m mächtigen Erdschicht überdeckt. Auf dem Speicherdeckel befinden sich die Gärten der Hausbewohner und eine Wiese.

Die in der Kiesfüllung vorhandenen Zwischenräume sind mit Wasser geflutet. Dieses Wasser dient zur Erhöhung der Wärmespeicherkapazität und in der Regel auch gleichzeitig zum Wärmetransport beim Be- und Entladen des Speichers über ein in unterschiedlichen Ebenen eingebautes Be- und Entlade-Rohrsystem. Der Kies/Wasser-Speicher in Steinfurt ist als Ausnahme mit einem indirekten Wärmetauschersystem ausgestattet. Hierzu wurden während der Befüllung Rohrschlangen aus hochtemperaturbeständigem Kunststoff mit einer Gesamtlänge von 7.500 m in die Kiesschüttung eingebracht.

#### 4. Be- und Entladesysteme von Kies/Wasser-Wärmespeichern

Die Wärmeübertragung aus den Rohrschlangen in den Kies/Wasser-Bereich geschieht in Steinfurt durch Konvektion und Wärmeleitung. Grundsätzlich können Kies/Wasser-Wärmespeicher auch mit einem direkten Be- und Entladesystem ausgerüstet werden, das für Speichergrößen ab ca. 2.000 m<sup>3</sup> auch deutliche Kostenvorteile besitzt. Bei diesem System wird das Speicherwasser aus der Kiesschüttung durch ein Drainagesystem in einer Schicht abgepumpt, über einen außenliegenden Wärmeübertrager geführt, dabei erwärmt oder abgekühlt und in eine andere Speicherschicht zurückgeleitet. Be- und Entladepumpen dieser Systeme sind unter dem Wasserspiegel positioniert und mit Schmutzfiltern ausgerüstet. Aus thermodynamischer Sicht können durch den direkten Wasseraustausch bessere Temperaturschichtungen über die Speicherhöhe erreicht werden als mit einem Rohrschlängensystem.

#### 5. Blähglasgranulat als Wärmedämmung



Abb. 3: Ergebnis eines Feldtests: 1 m<sup>3</sup> Wärmedämmung wurde in einer Minute installiert

Die Neuheit bei dem in Steinfurt-Borghorst realisierten Kies/Wasser-Speicher der 3. Generation ist der Wandaufbau. Die Wärmedämmung des Speichers besteht aus einem sowohl hochtemperatur- als auch druckbeständigen Blähglasgranulat, das ein Recyclingprodukt aus der Glasindustrie ist. Durch das Einbringen dieser Wärmedämmung als Schüttgut werden bei geringeren Materialkosten und kürzeren Montagezeiten Kostenvorteile gegenüber Plattenmaterialien erreicht. Dies führt besonders bei großen Wärmespeichern zu einem enormen Kostenreduktionspotential. In Steinfurt wurde das Wärmedämmschüttgut in vorgefertigte, nebeneinander auf die Speicherböschung gelegte, Textilschläuche eingeblasen. Nach einem erfolgreichen Feldtest steht nun ein verbessertes Verfahren zur Verfügung, das eine nochmalige Vereinfachung und Kostenreduktion der Wärmedämminstallation er-

möglichst. Bei diesem Verfahren wird das Schüttgut in vorgefertigte Textilmatten eingefüllt (siehe Abb. 3). So kann z.B. eine Wärmedämmung mit einer Stärke von 0,5 m und einer Fläche von 50 m<sup>2</sup> in nur 30 Minuten erstellt werden.

## **6. Speicherabdichtung des Kies/Wasser-Speichers in Steinfurt**

Die Abdichtung des Speicherbereichs bei Erdbecken-Wärmespeichern ist eine besonders anspruchsvolle Aufgabe. Das Speicherwasser muß im Speicherinnern verbleiben. Eine Leckage in der Abdichtung würde zu einer Durchfeuchtung der Wärmedämmung und damit zu hohen Wärmeverlusten führen. Der Verlust des warmen Speicherwassers müßte außerdem durch kaltes Frischwasser ersetzt werden - ebenfalls nicht akzeptable Verluste. Im Wärmespeicher von Steinfurt wurde erstmalig eine doppelagige Folie eingesetzt. Das Folienmaterial ist ein modifiziertes Polypropylen, das sich besonders für Hochtemperaturanwendungen eignet. In Solar-Pond Anlagen mit Temperaturen über 90°C wird dieses Material bereits erfolgreich eingesetzt [2]. Die maximale Speichertemperatur im Kies/Wasser-Bereich kann durch die Materialwahl auf 90°C erhöht werden. Wärmeverluste aufgrund von Wasserdampfdiffusion durch die Abdichtung werden durch die Installation einer Dampfsperre verhindert.

Durch die Doppellagigkeit der Folien wird eine Vakuumüberprüfbarkeit der gesamten Beckenauskleidung ermöglicht. Diese Dichtigkeitsüberwachung findet während der Bauphase und im Speicherbetrieb statt. Mit dieser Überwachungsmöglichkeit und mit der Redundanz der Abdichtung wird eine sehr hohe Betriebssicherheit erreicht.

## **7. Ökologie von Erdbecken Wärmespeichern**

Aufgrund der anfangs erwähnten Philosophie „so einfach, wie möglich“, nach der Kies/Wasser- oder Erdreich-Wärmespeichern gebaut werden, ist auch die Ökologie dieser Speichertechnologie sehr positiv. Zwei Kriterien können zu ihrer Bewertung herangezogen werden:

1. Der kumulierte Energieaufwand (KEA), der die energetischen Aufwendungen zur Herstellung des Speichers inklusive der vorgelagerten Prozessketten berücksichtigt, und
2. die ökologische Unbedenklichkeit der eingesetzten Baustoffe.

Leicht nachvollziehbar ist, daß Kies aus der näheren Umgebung oder vom Standort selbst oder auch wiederverfülltes Erdreich nur sehr wenig graue Energie besitzt. Ebenso die eingesetzten Materialien, wie Polypropylen und Blähglasgranulat, das aus einem Recyclingprozeß stammt. Der kumulierte Energieaufwand eines 10.000 m<sup>3</sup><sub>WÄ</sub> großen Kies/Wasser-Wärmespeichers liegt daher mit 1.500 MWh [3] bei nur 40% des KEA eines Heißwasser-Wärmespeichers aus Stahlbeton mit 10.000 m<sup>3</sup> Inhalt (KEA ca. 3.700 MWh [4]). Weiterhin kann den Materialien Polypropylen und Blähglasgranulat eine ökologische Unbedenklichkeit bescheinigt werden, da beide Materialien auf der „weißen Liste“ der ökologisch unbedenklichen Baustoffe stehen [5]. Daß Kies, Erdreich und Wasser ökologisch unbedenkliche Baustoffe sind, versteht sich von selbst.

## 8. Speicherbau am Beispiel von Steinfurt

Die Speicherbauphasen des Speichers in Steinfurt werden nachfolgend zusammengefaßt beschrieben. Abb. 4 zeigt die Aushubarbeiten. Es konnte ein natürlicher Böschungswinkel von 50° erreicht werden. Abb. 5 zeigt das Erstellen der Wärmedämmung auf den Speicherwänden mit Blähglasgranulat. Das Wärmedämmschüttgut wird aus einem Silo-LKW in ca. 5 m lange, vorkonfektionierte Textilsäcke, die auf der Böschung ausgelegt sind, eingeblasen. Die PP-Abdichtfolie wird mit verschiedenen Verfahren auf der Baustelle verschweißt. Abb. 6 zeigt die Arbeiten mit einem Heizkeilschweißgerät auf der Speicherwand. Nach Fertigstellung der Speicherwände wird das Speicherbecken befüllt. Abwechselnd wird eine Schicht Kies und eine Ebene der Wärmeübertragungsrohre des Be- und Entladesystems eingebracht. Die Verarbeitung des Kieses wird mit verschiedenen Geräten durchgeführt. Vom LKW wird er direkt in den Speicher geschüttet oder über Bagger eingefüllt. Die Verteilung im Speicher erfolgt durch Minibagger. Der vollständig mit Kies gefüllte Wärmespeicher wird verdichtet und anschließend mit Wasser geflutet (Abb. 7). Danach wird der Speicherdeckel abgedichtet und wärmegeklämt (Abb. 8). Abb. 9 zeigt die als Mietergärten nutzbare Speicherdecke des fertiggestellten Speichers.



Abb. 4 - Herstellen der natürlichen Speicherböschung



Abb. 5 - Einblasen der 50 cm starken Wärmedämmung auf den Seitenwänden



Abb. 6 – Verschweißen der PP-Abdichtfolie



Abb. 7 - Vollständig gefüllter Wärmespeicher



Abb. 8 - Einblasen der Deckenwärmedämmung aus dem Silo-LKW



Abb. 9 - Begrünte Speicherdecke

## 9. Grundwasserproblematik unterirdischer Wärmespeicher

Damit Kies/Wasser-Wärmespeicher oder Erdreich-Wärmespeicher auch an Standorten mit hohem Grundwasserpegel gebaut werden können, ist die Entwicklung einer äußeren Abdichtung, die den gesamten Wärmespeicher vor eindringendem Grundwasser schützt, von besonderer Bedeutung. Die nachfolgende Abbildung 10 zeigt eine Lösung, bei der das gesamte Speicherbecken durch kostengünstige Ton-/Bentonitdichtungsbahnen ausgekleidet wird. Bentonit ist ein natürliches Tonmineral, das die Eigenschaft besitzt, bei Wasseraufnahme aufzuquellen und dadurch eine Abdichtungsfunktion zu erreichen. Geringe Wassermengen werden dennoch von einer Tonabdichtung durchgelassen. Dieses Wasser wird gezielt in einer Drainageschicht aufgefangen und in einen Pumpensumpf abgeleitet. Von dort aus werden die geringen Wassermengen abgepumpt. Eine Grundwasserhaltung ist damit nur während der Bauphase notwendig. Nach Fertigstellung des Wärmespeichers kann das Grundwasserniveau wieder ansteigen. Für einen Speicher mit 10.000 m<sup>3</sup> Wasseräquivalent würden die Baukosten bei Einsatz eines solchen Systems um ca. 3% ansteigen.

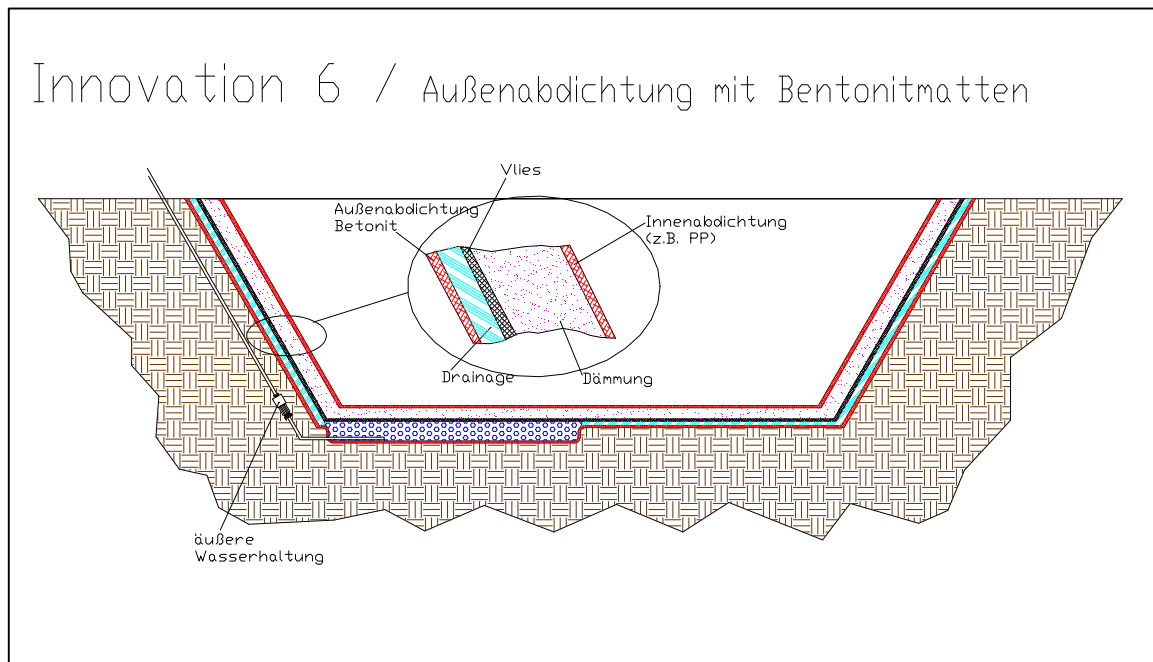


Abb. 10: Außenabdichtung gegen drückendes Wasser mit Bentonit-Dichtungsbahnen

## 10. Ausblick

Langzeitwärmespeicher werden sich mittelfristig nur dann am Wärmemarkt etablieren können, wenn sie kostengünstig sind, gleichzeitig höchste ökologische Ansprüche erfüllen und sich in Siedlungsstrukturen einfügen, ohne Fläche zu verbrauchen. Technologisch sind dafür einfache Konzepte prädestiniert, die sich die Randbedingungen der Natur zunutze machen. Kies/Wasser- oder Erdreich-Wärmespeicher sind Konzepte, die diese Anforderungen erfüllen. Von zentraler Bedeutung ist aber auch für diese Technologie die weitere Reduzierung der Speicherbaukosten. Um

hier weitere Fortschritte zu machen, kann der Weg nur zu noch einfacheren Lösungen gehen, nicht jedoch zu Wegen der höheren Performance. Erdbeckenspeicher mit wiederverfülltem Erdaushaub als Speichermedium unter Verzicht auf ein Rohrschlängensystem zum Wärmeaustausch oder Erdbeckenspeicher mit einer reinen Wasserfüllung sowie einer nutzbaren, schwimmenden Abdeckung sind Konzepte auf dem Weg zur erfolgreichen Einfachheit.

## **Literatur**

- [1] Pfeil M., Koch H., Hahne E., Solaranlagen mit Langzeitwärmespeicher zur Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung, Siebtes Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein 1997**
- [2] Rheinländer J., Pfeil M., Koch H., Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Kies/Wasser-Speicher im Gewerbe- und Technologiepark Solaris in Chemnitz, Abschlußbericht BMBF Förderkennzeichen 0329606F**
- [3] Lichtwardt, Corner, Geosynthetics in salinity-gradient solar ponds, 1997**
- [4] Rebholz H., Kumulierter Energiebedarf und energetische Amortisationszeit von solaren Nahwärmesystemen mit saisonaler Wärmespeicherung, Diplomarbeit am ITW, Universität Stuttgart, 1996**
- [5] Problematik von Baustoffen, Veröffentlichung des Umweltamtes Düsseldorf, 1997**