



Dipl.-Ing. Jürgen Bühl
TU Ilmenau Fakultät für
Maschinenbau, Ilmenau
juergen.buehl@
mb.tu-ilmenau.de

Langzeitwärmespeicherung mit einem neuartigen Speicherkonzept für solar- gestützte Nahwärmesysteme

Im Rahmen des Förderprogramms „Solarthermie 2000 – TP 3: Solare Nahwärme-Begleitforschung“ wurde in einem Verbundprojekt zwischen der TU Ilmenau, der Fakultät für Maschinenbau (Fachgebiet Thermo- und Fluidodynamik) und der Firma VKA, Verbundwerkstoff- und Kunststoffanwendungstechnik GmbH, Schönbrunn, ein 300 m³ GFK-Pilotspeicher am Standort Ilmenau entwickelt, errichtet und messtechnisch begleitet.

0. Vorbemerkungen:

Die bisher vorliegenden Erkenntnisse und Ergebnisse zum Einsatz von Solarenergie zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung in Deutschland und weiteren sich intensiv mit der Anwendung der Solarthermie beschäftigenden Ländern Europas zeigen, daß die erfolgreiche Realisierung von Solaranlagen auch zur Heizungsunterstützung (Deckungsanteil bis max. 70%) in Nahwärmesystemen abhängig ist von der Verfügbarkeit technisch und wirtschaftlich akzeptabler Lösungen für den dazu nötigen Langzeitspeicher, um die zeitliche Verschiebung der Verfügbarkeit der thermischen Solarenergie zum Bedarfszeitraum in der Heizperiode zu realisieren.

Aus der Erkenntnis der aktuellen Situation heraus wurden Informationen über die sich zur Zeit im Einsatz, in der Realisierung oder in der Entwicklung befindenden Lösungen für künstliche saisonale Warmwasserwärmespeicher in

Deutschland, Schweden, Schweiz und anderen Ländern zusammengetragen, analysiert und auf der Basis zugänglicher Daten zusammengefasst.

Kennzeichnend für die bisherige Speicherentwicklung sind aufwändige Herstellung, einschließlich der Isolierung, aufwändiger Feuchtigkeitsschutz der Isolierung und/oder des ganzen Speichers, hohe Kosten für Erdaushub, relativ hohe Kosten pro m³-Speichervolumen (Wasseräquivalent) und hohe Speicherverluste.

Im Ergebnis dieser Recherche wurde die Entwicklungsrichtung für einen Langzeitwärmespeicher eingegrenzt auf folgende Zielstellung:

- Modularer Aufbau
- Endmontage vor Ort auf der Baustelle
- Möglichkeit, aus den Modulen Speicher mit verschiedenem Rauminhalt (ca. 100 bis ca. 6000 m³) zu fertigen
- Einsatz von Faserverbundwerkstoffen, Wandaufbau aus einer Außenschicht GFK, Kern aus PUR-Schaum, Innenschicht aus GFK, Sandwichstruktur
- Unempfindlichkeit des eingesetzten Materials gegen Korrosion
- Boden wahlweise isoliert oder unisoliert zur Nutzung des Wärmespeichervermögens des darunter liegenden Erdreiches
- Nach innen führende Anschlussleitungen aus Nichtmetall, zur Vermeidung von Wärmebrücken
- Aufstellung wahlweise komplett oberirdisch, in Gebäude integriert, ganz oder teilweise im Erdreich eingegraben
- Grenznutzungsdauer > 25-30 Jahre
- Die Geometrie wird durch Forderungen der Statik, eines optimalen A/V-Wertes und der Erreichung einer guten Temperaturschichtung bestimmt

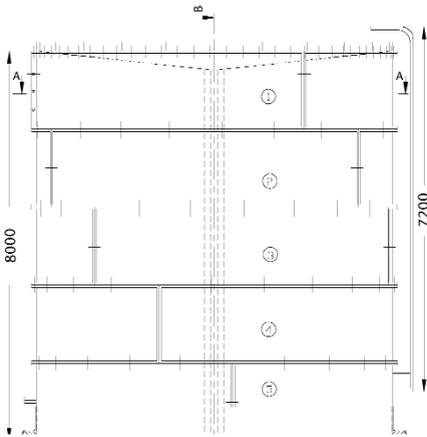


Abb. 1

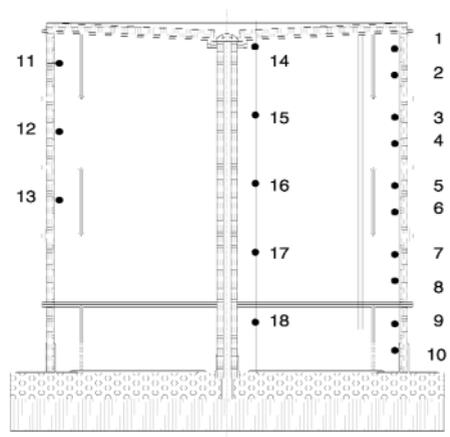


Abb. 2

1. 300 m³ Pilotspeicher Schortetal

Abbildung 1
Frontansicht des
300 m³ GFK-Speichers
1. Generation

Abbildung 2
300 m³ Pilotspeicher
Schnittbild, Anordnung
der Temperaturmessstellen
(TSP1 = 1, TSP18 = 18)

Am Standort Schortetal Ilmenau wurde 1997 ein 300 m³ Pilotspeicher der 1. Generation aus GFK-Verbundmaterial errichtet, der folgende Kennwerte besitzt:

- modularer Aufbau
- Wandaufbau aus einer Außenschicht GFK (ca. 6-10 mm), Kern aus 150 mm PUR-Hartschaum, Innenschicht aus GFK (ca. 6-10 mm)
- Flachdach mit gleichem Querschnitt
- Mittelstütze aus GFK mit innenliegender Dachentwässerung
- Mannloch mit wärmeisoliertem Deckel im Dach
- Inspektionsleitern außen und innen
- Boden nicht isoliert
- Verschiedene Belademöglichkeiten (Schichtenbeladung, 2 Wärmepumpen bis 60°C, eine 35 kW Flüssiggasbrennwerttherme für Beladung über 60°C)

Der Wandaufbau des 300 m³ GFK-Pilotspeichers besteht aus einer Sandwichkonstruktion wie aus Abb. 5 ersichtlich ist. Die GFK Wandung ist je nach Wandhöhe zw. 6 und 10 mm stark. Die PUR-Schaumisolation ist in der Seitenwand und im Dach 150 mm dick.



Abb. 3



Abb. 4

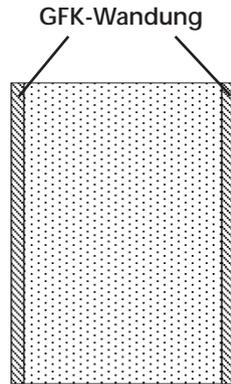


Abb. 5

Abbildung 3
300 m³ Pilotspeicher
am Standort Schortetal,
Montage vor Ort aus
vorgefertigten Segmenten

1.1 Prüfung des verwendeten GFK-Materials

- Wärmeleitfähigkeitsmessungen der Wandbauteile ergaben eine Gesamtwärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,033$ bis $0,055$ W/Km
- An einem 1,5 m² Musterspeicher wurde das Material im Zeitraum 09/1996 bis 06/1997 bei einer Maximaltemperatur von 95°C erfolgreich erprobt.

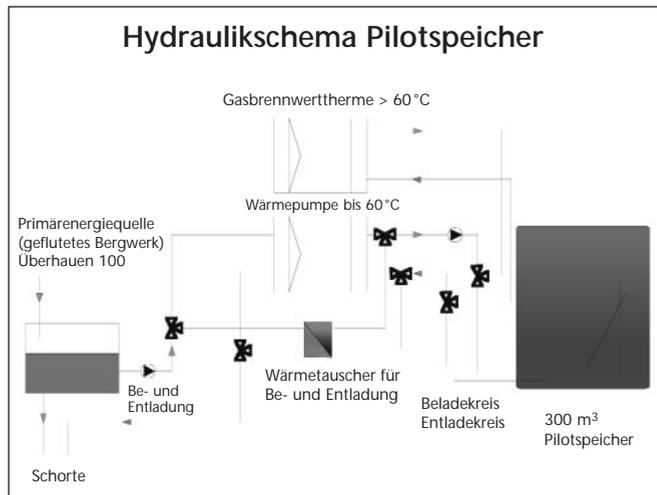
Abbildung 4
300 m³ Pilotspeicher
am Standort Schortetal

Abbildung 5:
Wandaufbau des
Speichers im Schnittbild

1.2 Aufheizung des 300 m³ Pilotspeichers

Ab 11.01.99 wurde die Aufheizung des Speichers mit Hilfe von 2 Wärmepumpen zunächst bis 60°C durchgeführt. Da oberhalb dieser Temperatur eine zu schlechte Arbeitszahl erreicht wird, erfolgte eine Aufrüstung mit einer 35 kW Gasbrennwerttherme (Flüssiggas) – die ab einer Temperatur von > 60°C eingesetzt wurde (siehe Abb. 6). Gleichzeitig wurde ein Entladekreis installiert, der über einen vorhandenen Wärmetauscher die gezielte Lastsimulation erlaubt.

Abbildung 6
Beladekreis und
Entladekreis am
300 m³ Pilotspeicher



Am 30.03.99 wurde die Beladung bei einer maximalen Temperatur von 78,5 °C beendet. Es war keine weitere Aufheizung durch die eingeschränkte Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf möglich. Die internen Regelalgorithmen der eingesetzten Brennwerttherme führten zum Abbruch der weiteren Aufheizung.

1.3 Abkühlphase des Speichers zur Ermittlung der Speicherzeitkonstanten

Im Zeitraum vom 30.03 bis zum 31.08.99 wurde zur Ermittlung der Speicherzeitkonstante der Speicher ohne Last (nur Wärmeverluste des Speichers) abgekühlt.

Abb.7 zeigt die Abkühlkurve:

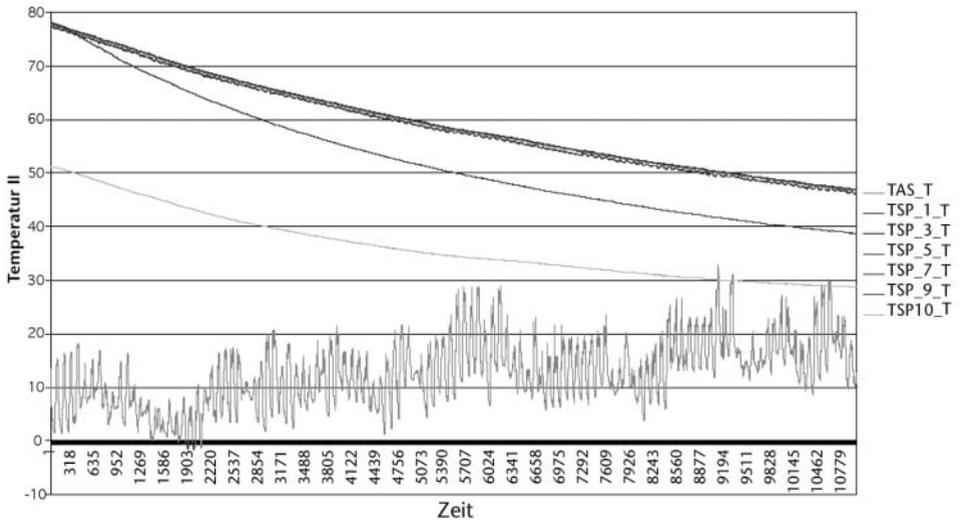


Abbildung 7
 Abkühlkurve 300 m³
 GFK-Pilotspeicher
 Schortetal

k-Wertbestimmung des 300 m³ GFK-Pilotspeichers Schortetal

Abkühlphase: Beginn 30.03.99, Ende 31.08.99

Bestimmung der Speicherzeitkonstante aus der aufgenommenen Trendkurve:

$\tau = 154$ Tage aus Trendkurve entnommen

$T_i = 74,7 \text{ }^\circ\text{C}$ (gemittelt)

$T_a = 12,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Mittelwert)

$V_{\text{Wasser}} = 237 \text{ m}^3$

$A_{\text{Mantel}} = 262 \text{ m}^2$

$\rho C_p = 4,113 \text{ MJ/ m}^3\text{K}$

$$\tau = \frac{V\rho C_p}{kA}$$

$k = 0,282 \text{ W/m}^2\text{K}$

Der entgegen den Erwartungen aus den TRNSYS-Berechnungen um 15 % höhere K-Wert von 0,282 W/m²K ist auf eine defekte Schichtenbeladevorrichtung, damit geringer Temperaturschichtung, auf den Einfluss des nicht isolierten Speicherbodens (mit 42 m² Fläche und den damit verbundenen Ausgleichsvorgängen in den ersten Betriebsjahren) und der Ausführung der Dachkonstruktion mit erhöhten Wärmeverlusten zurückzuführen.

Während der Abkühlphase wurden Thermokameraaufnahmen angefertigt, deren Ergebnis nur die Stege der GFK-Segmente als „Wärmebrücken“ darstellt, die Wandsegmente bilden auf Grund der guten Isolation mit 150 mm PUR-Hartschaum mit einem $\lambda = 0,03 \text{ W/Km}$ eine gute Barriere gegen Wärmeverluste.

Hier sind noch Potentiale in der Weiterentwicklung der GFK-Speichertechnologie vorhanden und werden mit dem GFK Speicher neuer Technologie (siehe Anhang) ausgenutzt.

Anhang

GFK-Langzeitwärmespeicherkonzept; Weiterentwicklung zum GFK-Speicher „Neuer Technologie“ A. Nilius

Im Rahmen des Förderprogramms „Solarthermie 2000 – TP 3: Solare Nahwärme-Begleitforschung“ wurde im Rahmen eines Verbundprojektes zwischen der TU Ilmenau, der Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet Thermo- und Fluid-dynamik, und der Firma VKA Verbundwerkstoff- und Kunststoffanwendungstechnik GmbH, Schönbrunn, das GFK-Langzeitwärmespeicherkonzept weiterentwickelt zum Speicher „Neuer Technologie“.

1. 20 m³ Speicher „Neuer Technologie“

Die Entwicklung des GFK-Speichers „Neuer Technologie“ erfolgte aus den Erkenntnissen, die mit der Errichtung und dem 3-jährigen Testbetrieb des 300 m³ Pilotspeichers gewonnen wurden und besitzt folgende zusätzliche Vorteile gegenüber dem 1. Konzept:

- Die Speichersegmente sind senkrecht stehend angeordnet
- Eine Verschraubung der einzelnen Segmente entfällt
- Die Montage wird erleichtert und verkürzt
- Glasfaserseile mit Spannvorrichtung, angeordnet in definierten Höhen, umfassen die Segmente und dienen zur Aufnahme der Kräfte
- Die Technologie ist vereinfacht, da die Segmente geometrisch einfacher aufgebaut sind
- Es ist für Speichergößen von 100 bis 6.000 m³ nur ein Formwerkzeug notwendig
- Verbesserter K-Wert, durch Isolation des Bodens, Gestaltung der Fugen und des Daches
- Kostenreduzierung

2. Aufbau

Mit den folgenden Abbildungen soll der Aufbau des GFK-Speichers „Neuer Technologie“ dargestellt werden.

Abbildung 1

Einzelsegment bestehend aus GFK-Platten (6 bis 10 mm), dazwischen 150 mm PU-Hartschaum eingeschäumt, oder als Plattenmaterial möglich



Abbildung 2

Die Einzelsegmente des 20 m³ GFK-Speichers sind aufgerichtet und werden mit Hilfe der Montagehilfen für die Dauer der Montage zusammengehalten.

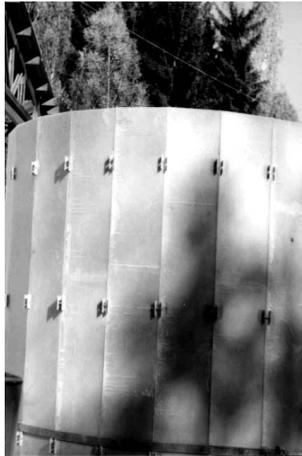


Abb. 2

Abbildung 3

20 m³ GFK-Speicher fertiggestellt, Isolation der Anschlussleitungen fehlt noch



Abb. 3

3. Aufheizung

Der 20 m³ Speicher ist gekoppelt an eine 30 m³ Solaranlage, kann aber auch über die vorhandene Heizungsanlage beladen werden. Ein Datenlogger mit entsprechenden Temperaturfühlern und Durchflussmessgeräten ist zur Aufnahme der Messdaten installiert.

Während des laufenden Versuchsbetriebes wird der K-Wert des Speichers ermittelt. Das Versuchsprogramm dient außerdem zum Test ausgewählter Schichtenladeeinrichtungen und zur Dokumentation des zu erreichenden Schichtungseffektes bei verschiedenen Lastfällen.

Durch die Kopplung mit einer Solaranlage und Einbindung als Heizungsunterstützung wird der Speicher unter realen Bedingungen betrieben. Die Messergebnisse können nach Versuchsfortschritt zur Verfügung gestellt werden.