

SORPTIONSSPEICHER - LANGZEITSPEICHERUNG VON WÄRME MIT HOHEN ENERGIEDICHTEN

Dipl.-Ing. Gottfried Purkarthofer

AEE INTEC

Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE

Institut für Nachhaltige Technologien

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19

E-Mail: g.purkarthofer@aee.at, Internet: <http://www.aee.at>

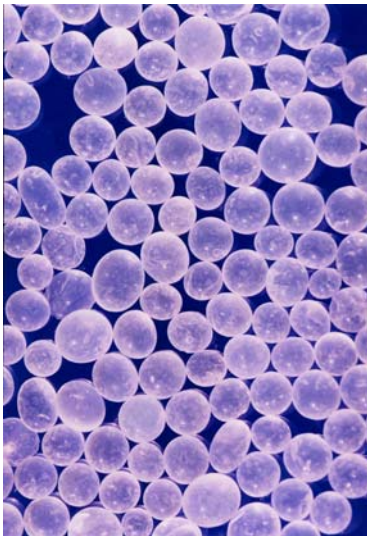
1 Einleitung

Mit der industriellen Revolution begann im 19. Jahrhundert die technische Entwicklung und Anwendung von Wärmespeichern. Aber erst in den letzten beiden Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts wurde die Forschung in diesem Bereich intensiviert. Diese Entwicklung verlief parallel mit der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich. Trotzdem ist die Wärmespeicherung, vor allem über lange Zeiträume hinweg, wie dies bei der Nutzung von thermischer Solarenergie zur Raumheizung erforderlich ist, ein noch nicht vollständig gelöstes technisches Problem. Dass es möglich ist, Wärme in großen Wasserspeichern – für ein Einfamilienhaus sind rund 60 bis 80 m³ Speichervolumen nötig – vom Sommer bis zum Winter zu speichern und die Raumwärme- und Brauchwasserbereitung ausschließlich mit Sonnenenergie durchzuführen, haben einige in den vergangenen Jahren realisierte Anlagen gezeigt. Diese Demonstrationsanlagen sind von Bedeutung um einerseits zu beweisen, dass die saisonale Speicherung realisierbar ist und andererseits um die Umsetzungsprobleme aufzuzeigen und so der Forschung im Speicherbereich weitere Impulse zu geben. Aus ökonomischer Sicht sind diese Systeme aber nicht breit umsetzbar.

Aus diesem Grund hat das Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (Freiburg, BRD) zusammen mit der Firma UFE SOLAR GmbH (Berlin, BRD) bereits 1995 begonnen, erste Voruntersuchungen und Forschungsarbeiten zur saisonalen Wärmespeicherung auf Basis der Feststoffsorption durchzuführen. Eine kontinuierliche Fortsetzung der Forschung erfolgte durch das von der Europäischen Kommission und vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation, und Technologie finanzierte Projekt "HYDES". Dieses Projekt hatte die Fokussierung der ersten Forschungsergebnisse, die Weiterführung des Materialscreenings bezüglich des Speichermaterials, die Entwicklung der Speicher- und der Hydrauliksysteme, das Erstellen von Simulationswerkzeugen sowie die Installation und Vermessung erster Testanlagen in Deutschland, Finnland und Österreich zum Ziel.

2 Grundprinzip des Sorptionsspeichers

Bei der thermochemischen Wärmespeicherung, die dem Sorptionsspeichersystem zu Grunde liegt, erfolgt die Wärmeumsetzung auf Basis einer reversiblen chemischen Reaktion. Das Reaktionspaar ist Silikagel, eine stark poröse, glasartige Substanz, die großtechnisch in einem Sol-Gel-Verfahren aus wässriger Kieselsäure für unterschiedliche Einsatzzwecke (u.a. Luft- und Gastrocknung, als Katalysatorträger) hergestellt wird. Das Grundprinzip des Sorptionsspeichers ist in Abbildung 2 dargestellt. Dabei erfolgt die Beladung des Sorptionsspeichers mit Wärme auf hohem Temperaturniveau. Der dabei entstehende Wasserdampf wird über eine Niedertemperaturwärmesenke kondensiert.



Wenn Energie aus dem Speicher benötigt wird, wird der Prozess umgekehrt gefahren. Mittels Niedertemperaturwärmequelle wird das Kondensat verdampft und durch die Kondensation am Silikagel, in Abhängigkeit vom Beladungszustand, auf ein höheres Temperaturniveau gehoben. Als Wärmesenke wird das Heizsystem verwendet. Dieser Prozess ist identisch mit dem in Ad- oder Absorptionskältemaschinen angewandten Prozess der chemischen Wärmepumpe, wobei die Zyklendauer einem Jahr entspricht. Um den Wasserdampftransport ohne Einsatz mechanischer Energie zu ermöglichen, ist das System evakuiert.

Abb. 1: Makroaufnahme des Silikagel SYLOBEAD® B 127

Das Sorptionsspeicherkonzept hat folgende Vorteile:

- Durch die hohe Verdampfungsenthalpie von Wasser und der großen inneren Oberfläche des Silikagels (300 bis 800 m²/g) ergibt sich eine hohe Energiedichte.
- Aufgrund der geringen Drücke (annähernd reine Dampfatmosfera mit Dampfdrücken zwischen 10 und 100 mbar) kann die Solaranlage im Winter als Niedertemperaturquelle für den Verdampfungsprozess herangezogen werden.

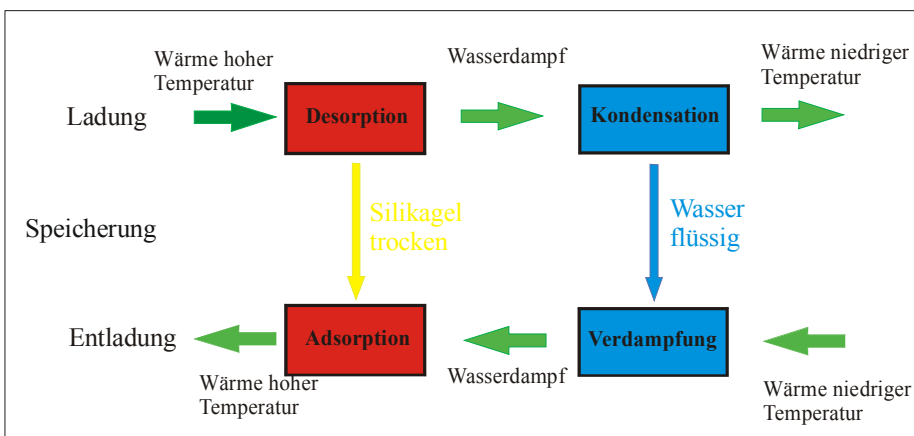


Abb. 2: Grundprinzip des Sorptionsspeichers. Die Wärmespeicherung erfolgt durch die Adsorption von Wasserdampf an Silikagel.

3 Die Testanlage

Die Testanlage wurde im Versuchsraum der AEE INTEC in Gleisdorf installiert. Grundsätzlich besteht die Anlage aus einer thermischen Solaranlage mit 20 m² Kollektorfläche, zwei Sorptionsspeichern mit einem Volumen von je 1.250 Liter sowie einem VD/KO-Behälter mit einem Volumen von 1.250 Liter.

In beiden Sorptionsspeichern sind je drei übereinander angeordnete Spiralwärmetauscher montiert und je 1,1 m³ Silikagel eingefüllt. Im VD/KO-Behälter sind ein Verdampfer und ein Kondensatorwärmetauscher montiert und ist das Wasser für die Verdampfung bevorratet (siehe Abbildung 3).

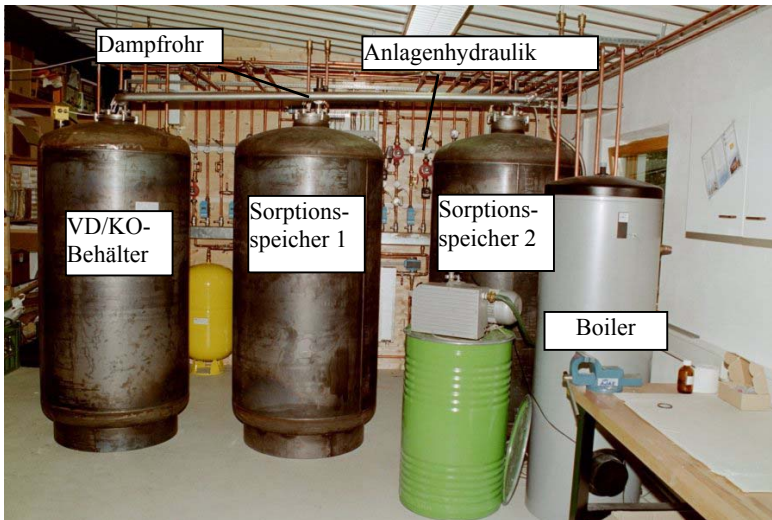


Abb. 3: Sorptions-speicheranlage (ohne Speicher- und Rohr-dämmung)

Die Hydraulikkreise (siehe Abbildung 4) sind über zwei Verteilerschienen an einer Wand aufgebaut. Die hydraulische Anlage besteht aus zwei Wärmequellen (Solaranlage und Durchlauferhitzer) sowie drei Wärmesenken (Wärmeabgabe-system in der Wohnung, Warmwasserboiler und eine Regenwasserzisterne). Vereinfacht kann der Anlagenbetrieb in den folgenden zwei Betriebsmodi unterschieden werden.

Folgende Betriebsmodi werden unterschieden:

- Desorption: - Speicherladung (Trocknung des Silikagels)
- Adsorption: - Speicherentladung (Befeuchtung des Silikagels)

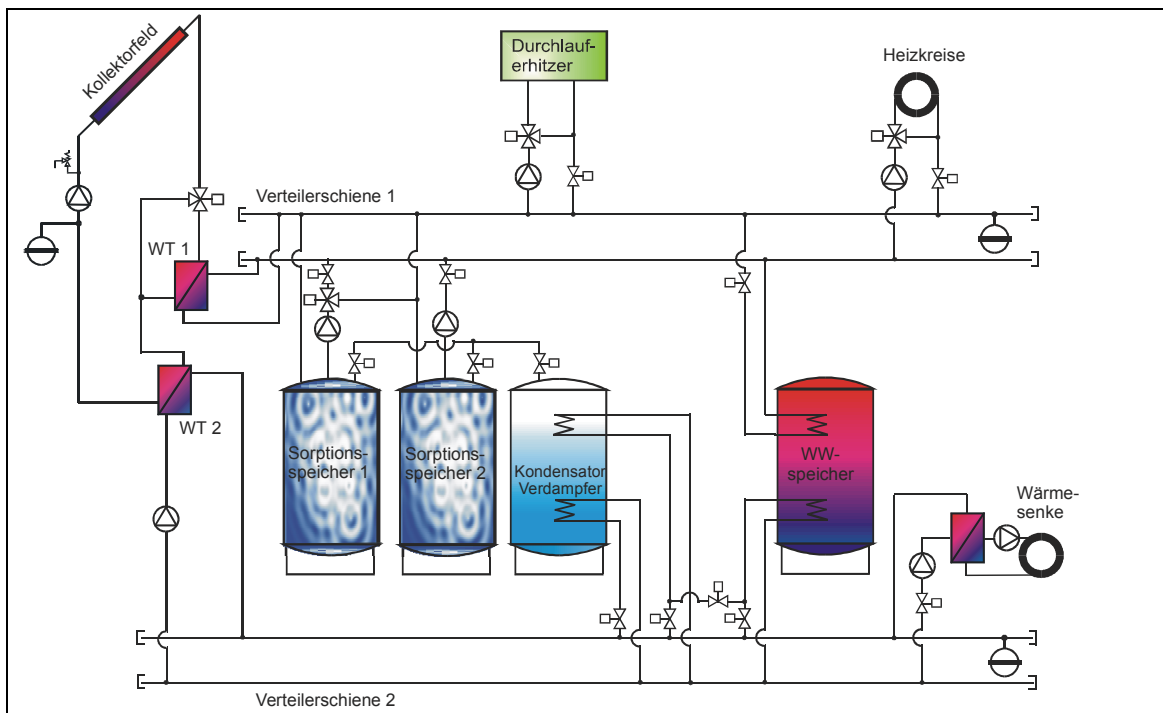


Abb. 4: Schematische Darstellung der Sorptions-speicheranlage der AEE INTEC in Gleisdorf

4 Anlagentests

Im Frühling 2001 wurde die Testanlage aufgebaut und in Betrieb genommen. Nach der Erstinbetriebnahme konnte mit den ersten Anlagentests begonnen werden. Die Arbeiten

der Erstinbetriebnahme waren im wesentlichen die Inbetriebnahme der hydraulischen Schaltung, die Evakuierung der Behälter und die Endgasung der Wasservorlage im VD/KO-Behälter. Aufgaben der ersten Testphase waren die Bewertung der Anlagenhydraulik, die messtechnische Bestimmung der Wärmetauschercharakteristik sowie erste Sorptionsspeicherbelade- und Sorptionsspeicherentladeversuche. Für diese Testreihen war noch keine automatische Regelung vorhanden. Alle Ventile und Pumpen bei der Anlage wurden manuell via PC gesteuert. Bei den Versuchsreihen wurden alle Energieströme und relevanten Temperaturen, Drücke und Füllstandsänderungen (Verdampfer-Kondensatbehälter) erfasst.

Da die Anlagenhydraulik wesentlich komplexer als bei üblichen Heizungssystemen ist, wurde diese bei den ersten Tests genauer beobachtet. Die Anlagenhydraulik funktionierte zusammen mit dem Sorptionsspeichersystem ohne Probleme.

Für alle Wärmetauscher (Sorptionsspeicher-, Verdampfer- und Kondensationswärmetauscher) wurden $k \times A$ -Wertbestimmungen im Rahmen der Möglichkeiten durchgeführt. Die prognostizierten Leistungsdaten konnten mit den Versuchen bestätigt werden.

Im Zuge der Anlagentests wurden beide Speicher je einmal energetisch entladen, d.h. das Silikagel wurde mit Wasserdampf beladen. Bei einer weiteren Versuchsreihe wurde das Silikagel der Sorptionsspeicher 1 und 2 getrocknet.

Bei den Adsorptionsversuchen wurde für den Sorptionsspeicher 1 ein Energieoutput von 115 kWh pro m^3 Silikagel und für den Sorptionsspeicher 2 ein Energieoutput von 122,2 kWh pro m^3 Silikagel bei einer minimalen Vorlauftemperatur aus dem Sorptionsspeicher von 32 °C erreicht. Mit einer optimierten Betriebsweise könnte der theoretische Wert, der bei 140 bis 150 kWh pro m^3 Silikagel liegt, annähernd erreicht werden.

Ein Pufferspeicher - Wasser als Speichermedium - mit 1 m^3 Speichervolumen hat einen Energieoutput von 67 kWh bei einer maximalen Speichertemperatur von 90 °C und einer minimalen Speichertemperatur von 32 °C ($\Delta T = 58$ K). Der Minimalwert entsprach auch der minimalen Vorlauftemperatur aus dem Sorptionsspeicher während der Testreihen. Vergleicht man die beiden Ergebnisse - Energieoutput aus einem Pufferspeicher mit 1 m^3 Wasser und Energieoutput aus dem Sorptionsspeicher mit 1 m^3 Silikagel -, so errechnet sich für den Sorptionsspeicher die 1,8-fache, im optimalen Fall die 2,2-fache Energiedichte. Daraus ergibt sich, dass der Sorptionsspeicher der Testanlage etwa die Hälfte an Speichervolumen benötigt, um den gleichen Energieoutput zu liefern wie der 1 m^3 -Wasserspeicher.

Detailauswertung eines Adsorptionsversuchs mit dem Sorptionsspeicher 2.

Die Startbedingungen für den vorliegenden Versuch resultierten aus den Endbedingungen des letzten Versuchs. Der gemessene Dampfdruck im VD/KO-Behälter betrug 42,4 mbar und war größer als der gemessene Dampfdruck im Sorptionsspeicher 2. Alle Bedingungen für die Adsorption waren erfüllt und alleine aus den Dampfdruckbedingungen war ersichtlich, dass die Adsorption gestartet werden konnte, ohne dass Verdampfungsenergie im VD/KO-Behälter zugeführt werden musste.

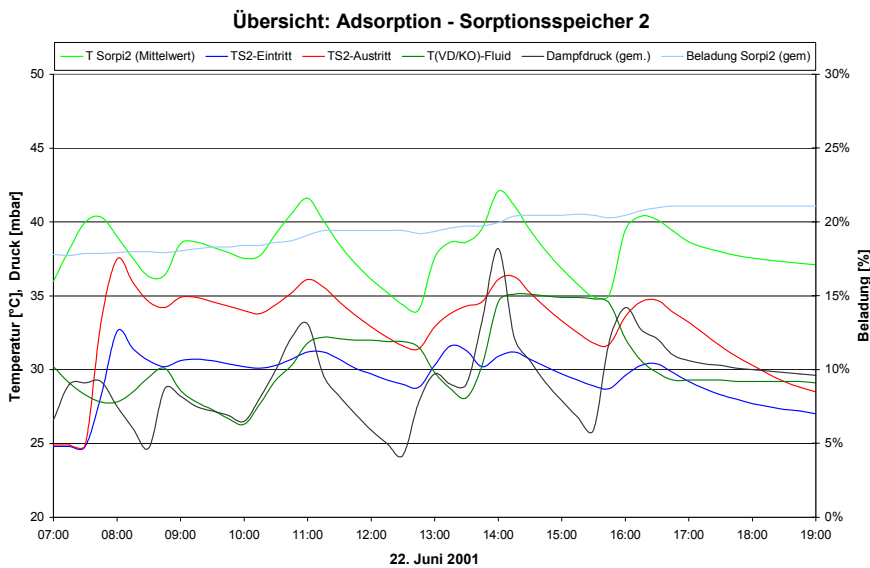


Abb 5: Temperaturverläufe des Adsorptionsversuches mit dem Sorptionsspeicher 2

D.h. für den Startvorgang wurde ausschließlich das Vakuumventil des VD/KO-Behälters geöffnet. Der Dampf strömte über das Dampfrohr zum Sorptionsspeicher 2 und wurde adsorbiert, wodurch die mittlere Temperatur der Silikagelschüttung stieg.

Der Maximalwert der mittleren Temperatur ($T_{\text{Sorpi2(Mittelwert)}}$) in der Silikagelschüttung wurde auf 42°C festgelegt. Stieg die Temperatur über diesen Wert so, wurde das Dampfventil geschlossen. Wurde in der Silikagelschüttung 35°C unterschritten, so wurde das Dampfventil wieder geöffnet. Als weitere Regelgröße wurde der Dampfdruckunterschied zwischen dem Dampfdruck im VD/KO-Behälter und dem Dampfdruck im Sorptionsspeicher 2 herangezogen. War der Unterschied geringer als 5 mbar, musste dem VD/KO-Behälter Verdampfungsenergie zugeführt werden. Die Verdampfungsenergie kam von der Solaranlage. $T_{\text{S2-Austritt}}$ zeigt den Verlauf der Vorlauftemperatur in die Heizung (Minimalwert 32°C) und $T_{\text{S2-Eintritt}}$ die Rücklauftemperatur. Da die Versuche im Sommer erfolgen, wurde die Wärmesenke Heizung mit der Regenwasserzisterne simuliert.

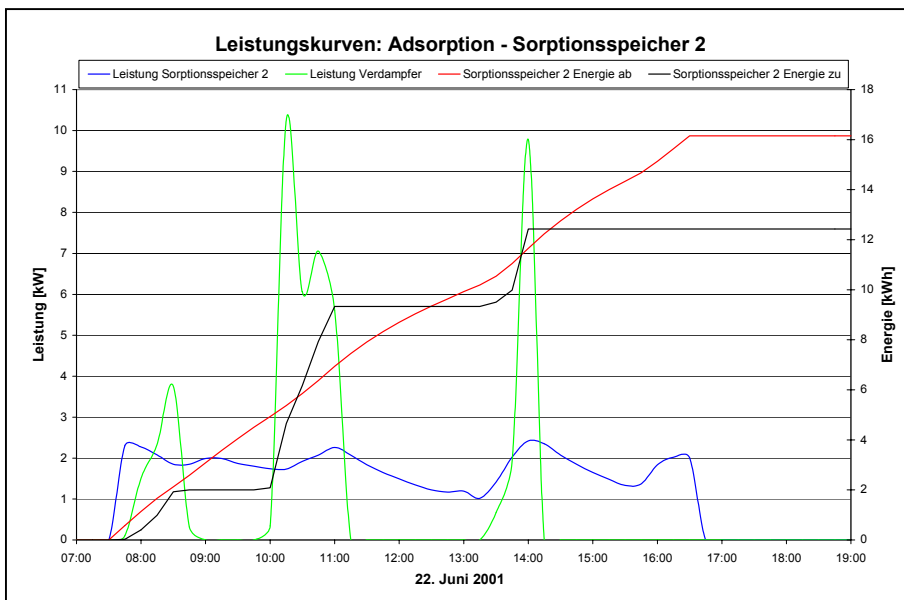


Abb. 6: Energiebilanz des Adsorptionsversuches

Abb. 6 zeigt die Energiebilanzen des Versuchs. So wurden über die Solaranlage dem Verdampfer rund 12,5 kWh zugeführt und aus dem Sorptionsspeicher 2 rund 16 kWh abgeführt. Die Differenz resultiert aus der Tatsache, dass im VD/KO noch Wärmeenergie vom letzten Versuch für die Verdampfung gespeichert war. Die mittlere Leistung des Sorptionsspeichers 2 betrug rund 2 kW. Der Beladungszustand vor Beginn des Versuchstages betrug 17,85 Gew% H_2O pro kg Silikagel Trockensubstanz und am Ende

des Versuchs 21,24 Gew% H₂O pro kg Silikagel Trockensubstanz, was einem Wasserumsatz von ca. 25,5 l entspricht. Die technisch maximal mögliche Beladung liegt bei rund 30 Gew% H₂O pro kg Silikagel Trockensubstanz.

Bei den Desorptionsversuchen hat sich gezeigt, dass bei sinkender Beladung des Silikagels, kleiner 10 Gew% Wasser pro Kilogramm Silikagel Trockensubstanz, eine mittlere Temperatur im Sorptionsspeicher von 80 bis 90 °C notwendig ist. Dazu muss einerseits die Solaranlage über längere Zeit Temperaturen von 95 °C bis 105 °C liefern und andererseits muss die Niedertemperatursenke für die Kondensation eine Rücklauftemperatur von unter 20°C aufweisen.

Mit den ersten Tests konnte gezeigt werden, dass die Testanlage im allgemeinen und die thermochemische Wärmespeicherung auf der Basis der Adsorption von Wasserdampf in den Poren von Silikagel im speziellen ein technisch durchführbarer Lösungsansatz für die saisonale Speicherung ist.

5 Literatur

W. Mittelbach, Sorptionsspeicher – neue Perspektiven für die solare Raumheizung, Tagungsband Gleisdorf Solar 2000

J. Welteroth, W. Mittelbach, Endbericht zum EU-Projekt „High energy density sorption heat storage for solar space heating“, Berlin, 2001

G. Purkarthofer, Bericht zum EU-Projekt „High energy density sorption heat storage for solar space heating“ (Testanlage Gleisdorf) , AEE INTEC, Gleisdorf, 2001