



# NAOH-SPEICHER FÜR SAISONALE WÄRMESPEICHERUNG

## Jahresbericht 2006

Autor und Koautoren	Robert Weber
beauftragte Institution	Empa, Abt. Gebäudetechnologien
Adresse	Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Telefon, E-mail, Internetadresse	044 823 43 38, <a href="mailto:robert.weber@empa.ch">robert.weber@empa.ch</a> , <a href="http://www.empa.ch">www.empa.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	152220
BFE-Projektleiter	Jean-Christophe Hadorn
Dauer des Projekts (von – bis)	1. August 2006 – 31. Dezember 2006 (-31. Dezember 2009)
Datum	13. Dezember 2006

### ZUSAMMENFASSUNG

Im Projekt „NaOH Speicher für saisonale Speicherung“ soll ein Wärmespeicher entwickelt werden, welcher eine hohe Speicherdichte aufweist und dessen Speicherverluste nur beim Laden bzw. Entladen des Speichers auftreten. Dieses Ziel soll erreicht werden, indem anstelle eines Systems mit sensibler Wärmespeicherung ein Sorptionsprozess verwendet wird. Die Funktionsweise ist ähnlich der einer Sorptionswärmepumpe mit Natronlauge und Wasser als Arbeitsmedium, allerdings werden die entstehenden Zwischenprodukte gespeichert. Diese Speicher ermöglichen in Wohngebäuden, die nach dem Minergie bzw. Minergie-P Standard gebaut werden, eine 100% solare Wärme- und Brauchwarmwasserversorgung.

Vor Projektbeginn wurden theoretische Arbeiten durchgeführt, bei denen die Betriebsbedingungen ermittelt und mit welchen die spezifische Wärmedichte des Speichers abgeschätzt wurde. Bei einer Entnahmetemperatur von 70°C kann mit einer 3-fach höheren Speicherdichte als bei einem Wasserspeicher gerechnet werden und bei einer Entnahmetemperatur von 40°C mit einer 6-fach höheren Speicherdichte. Bei diesen Abschätzungen wurde auch eine Sicherheit mit einkalkuliert, um unbekannte Effekte zu berücksichtigen.

Ein Laborprototyp wurde aufgebaut. Seit dem Herbst dieses Jahres wurden erste Versuche mit dem Prototypen durchgeführt. Diese zeigen einerseits, dass gewisse Randbedingungen während der Auslegephase zu pessimistisch angenommen wurden. Die Auf trennung von Lauge und Wasser beim Ladezyklus ergab eindeutig bessere Resultate, als die Berechnung mit den einkalkulierten Sicherheiten erwarten liess.

Auf der anderen Seite wurde die korrosive Wirkung der Natronlauge auf Elastomere unterschätzt. Beim Prototypen eingesetzte Schläuche wurden zersetzt. Diese Schläuche wurden eingesetzt, damit allfällige Anpassungen im Aufbau einfach und schnell durchgeführt werden können.

Zurzeit wird der Prototyp umgebaut. Damit können die Probleme mit den Schläuchen weitgehend beseitigt werden. Um Wärmeverluste während dem Laden und Entladen zu verringern, werden zusätzliche Isolationen eingebaut.

## Projektziele

Ziel dieses F+E Projektes ist die Entwicklung einer Speicherkonstruktion, welche in Passiv- und Minergiebauten zur saisonalen Speicherung von solarer Wärme eingesetzt werden kann. Obwohl der Heizbedarf in solchen Bauten vergleichsweise gering ist, benötigen konventionelle Wasserspeicher für den monovalenten Betrieb noch erhebliche Speichervolumina (bis zu 15m<sup>3</sup> je nach geographischer Lage und Gebäudegrösse für ein Passivhaus nach PHPP 2003 [1]). Mit dem vorgeschlagenen Natronlaugenspeicher kann theoretisch für die Brauchwarmwassererwärmung eine bis zu 3fach und für die Heizwassererwärmung eine bis zu 6fach höhere Speicherdichte erreicht werden (bei einer berechneten Austreibertemperatur von ca. 150° C). Dies entspricht einem Volumen von ca. 5m<sup>3</sup> (inklusive der benötigten Wärmetauscher). Damit ist es möglich, den gesamten Heizwärme- und Brauchwarmwas-serbedarf in Passiv- und Minergiewohngebäuden solar bereitzustellen.

### Teilziele des gesamten Projektes:

- Einfache Potenzialabschätzung der erreichbaren Speicherdichte basierend auf einem 2- stufigen Sorptionsprozess.
- Ein experimenteller Prototyp mit der 1. Stufe ist konstruiert.
- Inbetriebnahme und Demonstration der Funktionsfähigkeit der 1. Stufe des Speichersystems.
- Dampfdruckkurven für hohe NaOH- Konzentrationen sind ermittelt.
- Der experimentelle Prototyp ist um die 2. Stufe ergänzt.
- Demonstration der Funktionsfähigkeit des gesamten Speichersystems.
- Mathematische Modellierung des Speicherprozesses für Simulationsberechnungen
- Theoretische Optimierung der Speichergrösse für den Einsatz in konkreten Minergie- und Passivhausbauten.
- Auslegung von zusätzlich benötigten Komponenten wie Vakuumröhrenkollektoren, Erdsonde, etc.
- Definition der Anforderungen an einen industriellen Prototypen.
- BFE- Schlussbericht
- Publikationen in ISI Journals.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

### Aufbau eines experimentellen Prototyps mit einer Wärmetauscher- Stufe

Nachdem mit einer Potentialabschätzung [2] gezeigt werden konnte, dass mit einem NaOH Speicher, der zwei Austreiber- Stufen besitzt, eine 3- 6 fach höhere Speicherdichte als mit einem Wasserspeicher erzeugt werden kann, wurde eine Auslegung für einen Laborprototyp durchgeführt. Dieser Prototyp wird mit einer Wärmetauscherleistung von ca. 1 kW und einer Tankfüllung von ca. 200 Litern NaOH ausgelegt. Bei dieser Speichergrösse sollten die Resultate nur geringfügig durch versuchsaufbaubedingte Nebeneffekte beeinflusst werden. Die 1 kW Wärmetauscherleistung kann nur erreicht werden, wenn in der gesamten Anlage die inerten Gase entfernt sind.

Der Aufbau der Anlage wurde so konzipiert, dass Speicherung und Wärmetauscher räumliche voneinander getrennt sind. Damit können später komplette Speichersysteme modular aufgebaut werden. Die Tankgrösse kann unabhängig von der Wärmetauscherleistung ausgelegt werden. Beim Laden des Speichers (Fig. 1) wird verdünnte Lauge aufgetrennt in Wasser und konzentrierte Lauge. Die verdünnte Lauge kann (in gewissen Grenzen) so dosiert werden, dass, abhängig von der eingebrachten solaren Leistung und Temperatur, eine möglichst konzentrierte Lauge gewonnen werden kann. Beim Entladen des Speichers (Fig. 2) ist die Höhe der Entnahmetemperatur abhängig von der Laugenkonzentration. Die konzentrierte Lauge wird dosiert dem Wärmetauscher zugeführt. Dies ermöglicht während der ganzen Betriebszeit eine hohe Entnahmetemperatur.

Die erste Stufe des Speichers wurde aufgebaut und abgedichtet. Die gemessene Leckrate ist  $<10^{-7}$  (mbar l s<sup>-1</sup>) was unter den gegebenen Bedingungen als genügend gut bezeichnet werden kann. Mit dieser Leckrate ist eine Versuchsdauer bis zu einem Monat sinnvoll.

Die Lauge wurde in den Prototyp eingefüllt und ausgegast.

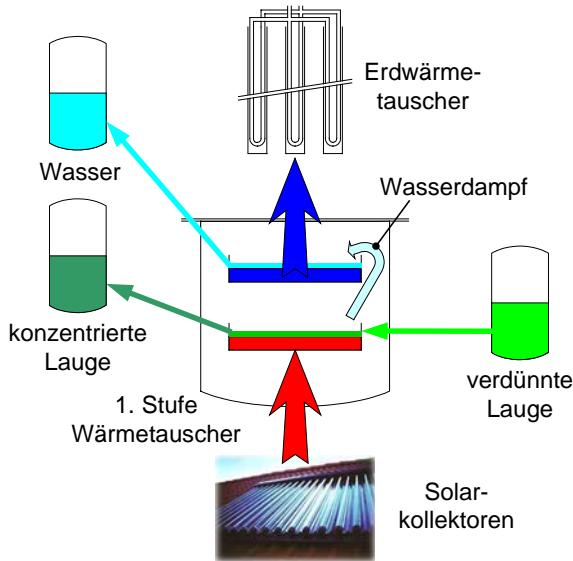


Fig. 1: Laden des Speichers

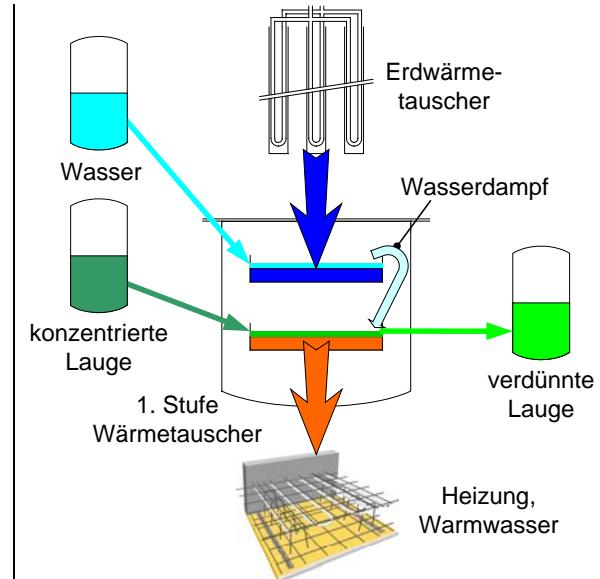


Fig. 2: Entladen des Speichers

### Mathematisches Speichermodell

Mit einer Diplomarbeit [3] wurde ein einfaches mathematisches Modell für Matlab erstellt. Im Gegensatz zur vorgängig durchgeföhrten Potentialabschätzung welche auf Bilanzengleichungen beruhte, beschreibt diese Arbeit die wesentlichen physikalischen Abläufe im aufgebauten Laborprototyp. Das Modell hat erste Anhaltspunkte zur Betriebsoptimierung geliefert und dient als Grundlage für einen zukünftigen TRNSYS Type. Da zum Zeitpunkt der Erstellung des Modells noch keine Messresultate vorlagen, mussten Annahmen getroffen werden bezüglich der Reaktionskinetik, Wärmeverluste gegen die Umgebung, Wärmeeverluste während der Reaktion, Mischverluste etc.

Die mit diesem Modell simulierte Speicherdichte entspricht der Dichte, die bei der bereits erwähnten Potentialabschätzung ermittelt wurde. Als ein weiteres Resultat der Simulation konnte gezeigt werden, dass bei allzu hohen Konzentrationen die Natronlauge auf den Wärmetauschern kristallieren kann. Diesem Umstand muss in den Versuchen mit Prototyp Rechnung getragen werden.

### Inbetriebnahme des Prototyps und erste bauliche Anpassungen

Seit dem Herbst dieses Jahres wurden mit dem Prototyp (siehe Fig. 3) Tests durchgefördert und erste Erfahrungen gesammelt. Dabei konnte festgestellt werden, dass der Ladezyklus besser als erwartet funktioniert. Die Lauge erreichte nach der Auf trennung eine rund 7% höhere absolute Konzentration als in den Berechnungen angenommen wurde. Eine Folge davon dürfte sein, dass die benötigte Wärme zur Austreibung des Wasserdampfes aus der verdünnten Lauge ein Temperaturniveau von nur 120°C erreichen muss anstelle der berechneten 150°C. Dadurch können ev. billigere Kollektoren zum Einsatz kommen.

Als weitere Folge dieser Tests wurden gewisse konstruktive Mängel erkannt. So konnte festgestellt werden, dass beim Lade- bzw. Entladevorgang über die Wärmetauscher erhebliche innere Wärmeverluste auftraten. Die strahlungsbedingte Verluste konnten mit einer Isolation erheblich eingedämmt werden. Die konvektionsbedingten inneren Wärmeverluste sind zurzeit noch zu hoch. Um diese Verluste zu minimieren, muss eine grundsätzliche Anpassung des Wärmetauscherblocks ins Auge gefasst werden. Zuerst soll aber die grundsätzliche Lauffähigkeit des Prozesses demonstriert werden. Daher wird diese Anpassung auf später vertagt.

Das Vakuum und die hohe Viskosität der aufkonzentrierten Lauge führten dazu, dass diese nicht, bzw. nicht schnell genug zu den Pumpen strömte. Eine Anpassung der Hydraulik hat dieses Problem gelöst.

Um beim Prototyp Anpassungen flexibel durchführen zu können, wurden im Wärmetauscherblock Schlauchleitungen verwendet. Nach Auskunft der Herstellerfirma, hätten diese Schläuche der heißen Natronlauge widerstehen müssen. Leider sind sie aber sehr schnell korrodiert (Fig. 4.). Die Konstruktions-

on wurde so abgeändert, dass die noch vorhandenen Schlauchverbindungen geschützt sind. Zudem wird ein Ersatzprodukt (wird Anfang 2007 geliefert) eingesetzt, welches stabiler seine sollte.



Fig. 3: Der Prototyp vor der Inbetriebnahme

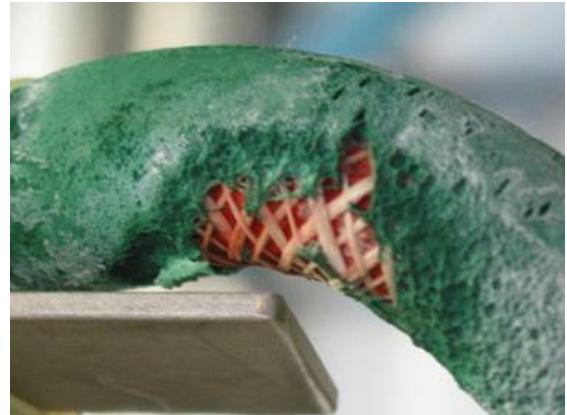


Fig. 4: Zerstörter Schlauch im Wärmetauscher

## Nationale Zusammenarbeit

Ende November erfolgte eine Zusammenkunft mit A. Luzzi und P. Gantenbein vom SPF Rapperswil. Dabei wurden erste Fragen betrefts einer möglichen Zusammenarbeit erörtert.

## Internationale Zusammenarbeit

Es findet eine Zusammenarbeit im Rahmen des IEA SHC Tasks 32, „Advanced Storage Concepts for Solar Buildings“ statt [4].

Bis zum Herbst dieses Jahres (Beginn der finanziellen Unterstützung durch das BFE), beschränkte sich die Zusammenarbeit auf Erfahrungsaustausch mit anderen Task 32 Partnern. Dieser Erfahrungsaustausch wurde als sehr wichtig wahrgenommen, er half während dem Aufbau des Prototyps verschiedene Fehler zu vermeiden. Mit der Finanzierung des Projekts durch das BFE können jetzt auch weitere Arbeiten durchgeführt werden, die für den Task von grosser Wichtigkeit sind. Dies betrifft insbesondere Simulationen zur Leistungsfähigkeit des Speichers. Diese Simulationen dienen innerhalb des Tasks dem Vergleich verschiedener Speichersysteme.

## Bewertung 2006 und Ausblick 2007

Der Aufbau des Prototyps ist erfolgt. Die Vakuumdichtigkeit ist gut. Im kommenden Jahr sind als Folge neuer Erkenntnisse bei der Inbetriebnahme noch kleinere Änderungen im Aufbau zu erwarten.

Ein einfaches mathematisches Modell für Matlab- Simulationen wurde erstellt. Die damit durchgeführten Simulationen lieferten einerseits Hinweise für die Inbetriebnahme und zeigten andererseits, dass die zu erwartende Speicherdichte im Bereich früherer Berechnungen liegt. Im kommenden Jahr wird das Modell erweitert und für den Einsatz in TRNSYS umgeschrieben. Damit sollen die anstehenden Simulationen für den IEA Task 32 durchgeführt werden.

Bei der Inbetriebnahme konnten Teile des Ladezyklus erfolgreich durchgeführt werden. Die erreichte Konzentration der Lauge ist besser als erwartet. Gewonnene Erkenntnisse, welche den Aufbau betreffen, werden zurzeit umgesetzt. Dies sind insbesondere: ein Strahlungsschutz im Wärmetauscherblock, eine angepasste Hydraulik und der Ersatz der korrodierten Schläuche. Im neuen Jahr wird die Inbetriebnahme weitergeführt, mit dem Ziel, eine beliebige Anzahl Lade- und Entladezyklen durchlaufen zu können.

## Referenzen

- [1] Feist W. et al: **Passivhausprojektierungspaket 2003**, Passivhausinstitut Darmstadt, Juni 2003
- [2] Rüegg Th.: **Enthalpieberechnungen für den Natronlaugen- Speicher**, Interner Bericht, September 2003.
- [3] Sigrist D.: **NaOH heat storage: performance and application potential**, Diplomarbeit ETH Zürich, Februar 2006
- [4] **Advanced Storage Concepts for Solar Buildings**, [www.baseconsultants.com/IEA32](http://www.baseconsultants.com/IEA32)