

Solarthermische Anlagen mit  
fortschrittlicher Speichertechnologie  
für Niedrigenergiegebäude

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**29/2008**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>  
oder unter:

Projektfabrik Waldhör  
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien  
Email: versand@projektfabrik.at

# Solarthermische Anlagen mit fortschrittlicher Speichertechnologie für Niedrigenergiegebäude

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher,  
DI(FH) Dr. techn. Andreas Heinz  
Institut für Wärmetechnik ,TU Graz

DI Dagmar JAEHNIG,  
DI Dr. techn. Alexander THUER  
AEE INTEC, Gleisdorf

Graz, Juni 2008

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Kurzfassung

Der Task 32 „Speicherkonzepte für Niedrigenergiegebäude mit Sonnenenergienutzung“ des Implementing Agreements on Solar Heating and Cooling der Internationalen Energieagentur (IEA) wurde im Juni 2003 offiziell gestartet und mit Ende 2007 beendet. Er befasste sich mit den Möglichkeiten der fortschrittlichen Wärmespeicherung für solarunterstützte Heizungssysteme von Niedrigenergiehäusern mit hohem solaren Deckungsgrad. Neben der theoretischen Untersuchung verschiedener Speichervarianten wurden auch ausgeführte Speicher verbessert bzw. neue Speicher geplant. Die folgenden vier Subtasks wurden bearbeitet:

- Subtask A:** Erhebung, Analyse und Verbreitung des Standes der Technik im Bereich fortschrittlicher Wärmespeicher, Erstellung von Randbedingungen für den Vergleich der unterschiedlichen Speicher  
Ergebnis:
- Task 32 Handbook, Thermal energy storage for solar and low energy buildings
  - Randbedingungen für den Vergleich verschiedener Speichertechnologien
- Leitung: Schweiz, Ende: 31. Dezember 2007
- Subtask B:** Chemische Speicher und Sorptionsspeicher:  
Ergebnis:
- Theoretische Analyse von geeigneten Sorptions Materialien
  - Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten
  - Simulationsmodule für Speicherkonzepte, Jahressimulationen innerhalb der Randbedingungen aus Subtask A
- Leitung Schweden, Ende 31. Dezember 2007
- Subtask C:** Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM –Speicher)  
Ergebnis:
- Analyse von bekannten PCM Materialien
  - Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten
  - Simulationsmodule für Speicherkonzepte, Jahressimulationen innerhalb der Randbedingungen aus Subtask A
- Leitung: Österreich (Auftragnehmer), Ende: 31. Dezember 2007
- Subtask D:** Fortschrittliche Warmwasserspeicher und Ihre Komponenten  
Ergebnis: Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten.  
Leitung: Deutschland, Ende: 31. Dezember 2007

### Motivation

Wärmespeicherung ist eines der Hauptprobleme bei der Nutzung von thermischer Sonnenenergie, wenn ein höherer Anteil an Solarenergie am gesamten Energiebedarf von Gebäuden angestrebt wird. Weitere Einsatzgebiete von Wärmespeichern sind u.a. die Einbringung in Putze oder Gipskartonplatten zur Erhöhung der thermischen Speichermassen von Gebäuden und die Verwendung für nicht leistungsgeregelte Wärmeerzeuger, um die Taktrate und damit die Emissionen niedrig zu halten.

### Inhalt und beabsichtigte Ziele

Im hier beschriebenen Projekt werden primär Organisations-, Reise- und Berichtskosten sowie einige Arbeiten für den Task wie z.B. die Erstellung von gemeinsamen Randbedingungen finanziert. Die eigentliche Forschungsarbeit wurde zum Teil durch zwei EU-Projekte der Projektbeteiligten (Phasenwechselmaterialien und Sorption) und begleitende nationale Projekte sichergestellt und kann als Eigenleistung angesehen werden. Beide EU-Projekte endeten lange vor der Beendigung des IEA-Tasks. Die nationalen Projekte wurde mit Ende 2006 beendet.

## **Methode der Bearbeitung**

Die verschiedenen Speicherkonzepte wurden unter gleichen Randbedingungen miteinander verglichen. Dies wurde auf Basis von Simulationen durchgeführt. Der Detaillierungsgrad der Speichermodellierung war hierbei vom Entwicklungsstand abhängig. Wasserspeicher und PCM-Speicher konnten sehr detailliert und über Laborversuche abgesichert modelliert werden, Sorptionsspeicher und chemische Speicher konnten nur als einfache Modelle und aufgrund theoretischer Erkenntnisse modelliert werden.

## **Ergebnisse**

- Veröffentlichung eines Handbuches über thermische Energiespeicherung „Thermal energy storage for solar and low energy buildings“
- Definition der Randbedingungen für den Vergleich der verschiedenen Speicherkonzepte
- Umfassendes Inventar an Speichermaterialien auf Basis Phasenwechsel und verschiedenen Speichergeometrien/Anordnungen von Wärmeübertragern
- Messergebnisse von Speichern auf Basis Wasser, Phasenwechsel und Sorption
- Berechnungsmodule für die Simulation von Speichern auf Basis Phasenwechselmaterialien und Sorptionsspeicher. Validierung der Modelle durch Messungen
- Jahressimulationen von Anwendungen (Solares Kombisysteme auf Wasser und Luftbasis, Speichertakten bei herkömmlichen Heizungssystemen). Hierbei wurden die Speicher als Kurzzeitspeicher oder auch Saisonspeicher eingesetzt.
- Vergleich des Einsatzes von Speichern auf Basis Phasenwechselmaterialien und Sorption mit herkömmlichen Wasserspeichern.
- Leider ergab sich für die meisten der untersuchten Anwendungen keine signifikante Verbesserung von PCM- und Sorptionsspeichern gegenüber Wasserspeichern mit den bisher eingesetzten Materialien. Dies ist im speziellen darin begründet, dass die erhöhte Energiespeicherung auf der einen Seite durch die höheren Temperaturverluste beim Be- und Entladen mit höherer Leistung wettgemacht werden. Bei den Sorptionsspeichern kommt es stark auf die verwendete Materialpaarung an. Mit den im Task untersuchten Materialien konnte keine Verbesserung zu Wasser nachgewiesen werden. Daher wird in weiterer Folge verstärkt im Materialbereich geforscht werden müssen.
- Zwei der untersuchten Anwendungen erscheinen weiter verfolgenswert:
  - Sorptionsspeicher, welche den Wasserdampf zum Entladen aus der Abluftfeuchte des Hauses beziehen und
  - Saisonspeicher auf PCM Basis welche bewusst die Unterkühlung des PCM ausnutzen um bei Langzeitspeicherung keine Wärmeverluste zu haben.
- Außerdem sind Wärmepumpenanwendungen auf Sorptionsbasis als interessant einzustufen. Eine Entwicklung in Schweden (Climate Well) befindet sich derzeit in der Markteinführung.
- Es ist derzeit ein Nachfolgetask zu Task 32 in Vorbereitung (als Joint Task zwischen den Implementing Agreements on ECES (Energy Conservation with Energy Storage) und SHC (Solar Heating and Cooling)), in welchem unter Zuhilfenahme der in IEA SHC Task32 entwickelten Elemente (Simulationsmodule und Anwendungen) im speziellen Materialien mit besseren thermodynamischen Eigenschaften gesucht werden sollen.
- Die Ergebnisse des IEA SHC Task 32 wurden in Österreich bei den folgenden Veranstaltungen einem breiten Publikum aus Industrie, Wissenschaft, öffentlicher Hand und sonstigen Interessierten präsentiert:
  - Tagung: Innovative Speichertechnologien, Veranstalter: AEE-INTEC, Tagungsort: Wirtschaftskammer Wien, 17. März 2006. Bei dieser Tagung wurden alle bisherigen Ergebnisse vom Operating Agent, den Subtaskleadern und einigen ausgewählten Beispielen präsentiert
  - Treffen des Solarnet Styria am 7. Februar 2007
  - Austrian Solar Thermal Plattform (ASTTP) in Wien am am 3. September 2007
  - Über das Projekt Modestore wurde auf der Gleisdorf Solar 2006 berichtet



## Abstract

IEA SHC Task 32 „Advanced storage concepts for solar and low energy buildings“ within the Implementing Agreement on Solar Heating and Cooling of the International Energy Agency was started in June 2003 and ended at the end of December 2007. It dealt with advanced heat storage for high solar fraction and other applications. Besides theoretical research on different heat storage concepts, improvements of existing storage systems and construction of new storage types was performed.

The work was structured by the following four Subtasks

**Subtask A:** Evaluation, analysis and dissemination of the state of the art in the field of advanced heat storage. Development of common boundary conditions for the comparison of different heat storage concepts.

Results:

- Task 32 Handbook, Thermal energy storage for solar and low energy buildings
- Boundary conditions for the comparison of different heat storage technologies

Lead: Switzerland, end: 31. December 2007

**Subtask B:** Storage concepts based on chemical reactions and on the sorption principle:

Results:

- Theoretical analysis of materials
- Simulation modules for storage concepts, seasonal simulation of storage systems within boundary conditions from Subtask A
- Prototypes of promising storage concepts

Lead: Sweden, end: 31. December 2007

**Subtask C:** Storage concepts based on phase change materials (PCM)

Result:

- Theoretical analysis of known PCM materials
- Simulation modules for storage concepts, seasonal simulation of storage systems within boundary conditions from Subtask A
- Prototypes of promising storage concepts

Lead: Austria (Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology)

End: 31. December 2007

**Subtask D:** Storage concepts based on advanced water tanks and special devices

Results: Prototypes of promising storage concepts, Improvement of existing designs.

Lead: Germany, end: 31. December 2007

## Motivation

Heat storage is one of the key problems for the use of solar thermal energy, when a high fractional savings of the conventional heat energy demand of a building should be realized. Other applications may be the introduction of heat storage material in the building walls like microencapsulated PCM plaster or in gypsum boards to increase the thermal mass and reduce the cooling load in summer or the reduction of the cycling rate and therefore emissions of boilers.

## Objectives and Scope

In the here described project mainly organisational, travel and report costs as well as some scientific work for the task like the adoption of the boundary conditions from IEA SHC Task 26 to Task 32 was financed. The research work itself was funded by two European Union projects (one on PCM slurries and one on sorption heat storage) as well as some national projects. The European Union projects ended long before the end of the task, the national projects were finished with December 2006.

## Method

The different storage concepts were compared to each other using the same boundary conditions (climate, building etc.) by the way of simulations. The degree of detail in the modelling depends on the state of development of the different concepts. Water and PCM storage could be simulated in great detail and validated by laboratory measurements. Sorption and chemical storage could only be simulated as more or less lumped models from measured data and theoretical considerations.

## Results

- Task 32 Handbook, Thermal energy storage for solar and low energy buildings.
- Definition of boundary conditions for different storage concepts.
- Extensive inventory of PCM Materials and storage/heat exchanger concepts.
- Detailed measurement results of water, PCM and sorption storage
- Simulation models for PCM and sorption heat storage. Validation of the models by experiments.
- Seasonal simulation of applications (solar combisystem on water and air basis, boiler cycling for conventional heating systems). The heat storage was either used short term or seasonal.
- Comparison of PCM- and sorption storage to water storage
- Unfortunately there was no significant improvement by PCM or sorption storage compared to water storage for most of the applications with the materials used so far. This can be explained on the one hand by the improvement of the storage energy content and on the other hand on the additional temperature losses during charging/discharging of the PCM and water stores. Both effects seem to level each other. For sorption storage the properties of the involved materials are very important. The materials used in Task 32 could not give an advantage compared to water stores. Therefore research should focus on new materials .
- Nevertheless, two of the applications with the materials used so far look promising for deeper research:
  - sorption storage that uses the air moisture content of the exhaust air of buildings to discharge the sorption store and
  - seasonal storage using subcooled liquid PCM to avoid the heat losses during long term storage for 100 % solar fraction.
- Additionally heat pump applications based on liquid sorption are looking interesting. The development of the company Climate Well is now being introduced to the market.
- Currently a follow up Task of IEA SHC Task 32 is in preparation (as Joint Task of the Implementing Agreements on ECES (Energy Conservation with Energy Storage) and SHC (Solar Heating and Cooling)), where new materials with better thermodynamic properties should be found. This new task, of course, will use the models and outcomes developed so far in IEA SHC Task 32.
- The results of IEA SHC Task 32 were presented in Austria at the following events:
  - Conference: Innovative Speichertechnologien, Organizer: AEE-INTEC, Tagungsort: Wirtschaftskammer Wien, 17. März 2006. All results of IEA SHC Task 32 were presented by the Operating Agent, the Subtaskleaders and selected examples
  - Meeting of Solarnet Styria at 7. February 2007
  - Meeting at Austrian Solar Thermal Platform (ASTTP) in Vienna at 3. Sept. 2007.
  - The project Modestore was additionally presented at Gleisdorf Solar 2006

## Kurzdarstellung

Der Task 32 „Speicherkonzepte für Niedrigenergiegebäude mit Sonnenenergienutzung“ des Implementing Agreements on Solar Heating and Cooling der Internationalen Energieagentur (IEA SHC Task 32) wurde im Juni 2003 offiziell gestartet und mit Ende 2007 beendet. Er befasste sich mit den Möglichkeiten der fortschrittlichen Wärmespeicherung für solarunterstützte Heizungssysteme von Niedrigenergiehäusern mit hohem solaren Deckungsgrad. Neben der theoretischen Untersuchung verschiedener Speichervarianten wurden auch ausgeführte Speicher verbessert bzw. neue Speicher geplant. Die folgenden vier Subtasks wurden bearbeitet:

- Subtask A:** Erhebung, Analyse und Verbreitung des Standes der Technik im Bereich fortschrittlicher Wärmespeicher, Erstellung von Randbedingungen für den Vergleich der unterschiedlichen Speicher  
Ergebnis:
- Task 32 Handbook, Thermal energy storage for solar and low energy buildings
  - Randbedingungen für den Vergleich verschiedener Speichertechnologien
- Subtask B:** Chemische Speicher und Sorptionsspeicher:  
Ergebnis:
- Theoretische Analyse von geeigneten Sorptions Materialien
  - Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten
  - Simulationsmodule für Speicherkonzepte, Jahressimulationen innerhalb der Randbedingungen aus Subtask A
- Subtask C:** Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM –Speicher)  
Ergebnis:
- Analyse von bekannten PCM Materialien
  - Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten
  - Simulationsmodule für Speicherkonzepte, Jahressimulationen innerhalb der Randbedingungen aus Subtask A
- Subtask D:** Fortschrittliche Warmwasserspeicher und Ihre Komponenten  
Ergebnis: Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten.

Die folgenden Organisationen und Personen nahmen am IEA SHC Task 32 teil:

### Operating Agent (Leiter)

Jean Christoph Hadorn, Programmleiter der Schweizer Forschungsprogramme "Solarwärme" and "Wärmespeicherung" für das Schweizer Bundesamt für Energie

Subtask Leader (Projektleiter)

**Subtask A:** Jean Christoph Hadorn (siehe oben)

**Subtask B:** Chris Bales, Solar Energy Research Center SERC, Schweden

**Subtask C:** Wolfgang Streicher, Institut für Wärmetechnik, TU Graz

**Subtask D:** Harald Drück, Institut fuer Thermodynamik und Waermetechnik (ITW), Stuttgart, Deutschland

### Weitere Teilnehmer

#### Österreich:

Andreas Heinz, Richard Heimrath, Hermann Schranzhofer, Institut für Wärmetechnik, TU Graz

Werner Weiss, Dagmar Jähmig, Günter Gartler, AEE-INTEC, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, Gleisdorf

**Dänemark:**

Simon Furbo, Elsa Andersen, Jörgen Schulz, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark

**Frankreich**

Thomas Letz, ASDER, ST ALBAN LEYSSE  
Laurent Barthel, EDF Paris

**Deutschland**

Andreas Hauer, ZAE Bayern, Garching  
Hans-Martin Henning, Thomas Nunez, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE  
Klaus Vajen, Katrin Zass, Klaus Wilhelms, Institut für Thermische Energietechnik, Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik, Universität Kassel  
Frank Thole, Schüco International K

**Niederlande**

Jakob van Berkel, Entry Technologies, Rhenen  
Klaas Visscher, Wim van Helden, Marco Bakker, Energy Research Center (ECN), Petten

**Spanien**

Luisa Cabeza, Christian Solé, Escola Universitària Politècnica, Universitat de Lleida

**Schweiz**

Jaques Bony Stephane Citherlet, School of Engineering (HEIG-VD LESBAT), Yverdon-les-Bains  
Peter Vogelsanger, Paul Gantenbein, Michel Haller, Robert Haberl, Heinz Marty, SPF Solartechnik Prüfung Forschung, Ingenieurschule Rapperswil IT  
Robert Weber, EMPA, Abt. Energiesysteme/Haustechnik, Dübendorf

**Relevanz des Forschungsvorhabens für die Ziele der Programmlinie**

Wärmespeicherung ist eines der Hauptprobleme bei der Nutzung von thermischer Sonnenenergie, wenn höhere Anteile an Solarenergie am gesamten Energiebedarf von Gebäuden angestrebt wird. Passivhäuser mit einer Volldeckung des Restheizenergiebedarfs durch Solarenergie benötigen Pufferspeicher in der Größenordnung von 20 m<sup>3</sup>. Durch geeignete Speichermedien wie Latentwärmespeicher oder Sorptionsspeicher können unter gewissen Umständen wesentlich höhere Energiedichten und damit kleinere Speichergrößen als bei Wasserspeichern erreicht werden. Eine Verringerung der Speichergröße auf unter 10 m<sup>3</sup> erlaubt einen wesentlich vereinfachten Einbau in ein Gebäude. Auch bei Niedrigenergiegebäuden kann durch den Einsatz von verbesserten Wärmespeichern beim Einsatz von thermischen Sonnenkollektoren der solare Deckungsgrad erhöht werden.

Ein weiterer Einsatz von Wärmespeichern ist die Verwendung für nicht leistungsgeregelte Wärmeerzeuger. Holzschichtkessel benötigen einen Pufferspeicher, der einen vollständigen Ausbrand des Kessels erlaubt, d.h. dass er die gesamte erzeugte Wärme aufnehmen kann, ohne dass die maximale erlaubte Temperatur im Kesselausgang wasserseitig überschritten wird. Untersuchungen innerhalb des Forschungsprojektes „Biomassefeuerungen für das Haus der Zukunft“, Joanneum Research, im Rahmen des „Haus der Zukunft“ Forschungsprogramms haben gezeigt, dass selbst bei bis zu 30 % Teillast leistungsgeregelten Kesseln ein Taktbetrieb (d.h. Ein- und Ausschalten des Kessels aufgrund einer Wärmeabnahme die geringer als die niedrigste Kesselleitung ist) über fast die halbe Heizperiode auftritt. In den Forschungsprojekten „Solare Wärmenetze“ im Rahmen des „Haus der Zukunft“ Forschungsprogramms und „Fortschrittliche Wärmespeicher“ im Rahmen des „Energiesysteme der Zukunft“ Forschungsprogramms konnte gezeigt werden, dass die Emissionen im Teillastbetrieb

sowohl von Biomassekesseln als auch von konventionellen Öl- oder Gaskesseln um eine bis mehrere Größenordnungen über denen des Stationärbetriebes liegen. Daraufhin wurde die Idee weiterverfolgt, das Wärmespeicher von geringer Größe bedingt durch den Einsatz von Phasenwechselmaterialien generell in solche Kessel integriert werden, was zu einer verringerten Taktrate und damit zu einem verringerten Emissionsausstoß führt.

Weitere Einsatzgebiete von Wärmespeichern sind u.a. die Einbringung in Putze oder Gipskartonplatten zur Erhöhung der thermischen Speichermassen von Gebäuden

Die oben genannten Aspekte wurden im Laufe des IEA SHC Task 32 von den beteiligten Partnern untersucht.

### Inhalt und beabsichtigte Ziele

Im hier beschriebenen Projekt wurden primär Organisations-, Reise- und Berichtskosten sowie einige Arbeiten für den Task wie z.B. die Erstellung von gemeinsamen Randbedingungen finanziert. Die eigentliche Forschungsarbeit wurde zum Teil durch zwei EU-Projekte der Projektbeteiligten (Phasenwechselmaterialien im Projekt PAMELA und Sorption im Projekt MOEDSTORE) und begleitende nationale Projekte im Rahmen des Forschungsprogramms „Nachhaltig Wirtschaften“ sichergestellt. Beide EU-Projekte endeten lange vor der Beendigung des IEA-Tasks. Die nationalen Projekte wurden mit Ende 2006 beendet.

### Methode der Bearbeitung

Verschiedenen Speicherkonzepte basierend auf PCM und Sorption wurden unter gleichen Randbedingungen miteinander verglichen. Dies wurde auf Basis von Simulationen durchgeführt. Der Detaillierungsgrad der Speichermodellierung war hierbei vom Entwicklungsstand abhängig. Wasserspeicher und PCM –Speicher konnten sehr detailliert und über Laborversuche abgesichert modelliert werden, Sorptionsspeicher und chemische Speicher konnten nur als einfache Modelle und aufgrund theoretischer Erkenntnisse modelliert werden.

### Ergebnisse der Arbeiten:

- Veröffentlichung eines Handbuchs über thermische Energiespeicherung „Thermal energy storage for solar and low energy buildings“ (Bild 1).
- Definition der Randbedingungen für den Vergleich der verschiedenen Speicherkonzepte
- Umfassendes Inventar an Speichermaterialien auf Basis Phasenwechsel und verschiedenen Speichergeometrien/Anordnungen von Wärmeübertragern
- Messergebnisse von Speichern auf Basis Wasser, Phasenwechsel und Sorption (Bild 3)
- Berechnungsmodule für die Simulation von Speichern auf Basis Phasenwechselmaterialien und Sorptionsspeicher. Validierung der Modelle durch Messungen (z.B. Bild 2)
- Veranschaulichung von Anwendungen (Solares Kombisysteme auf Wasser und Luftbasis, Speichertakten bei herkömmlichen Heizungssystemen). Hierbei wurden die Speicher als Kurzzeitspeicher oder auch Saisonspeicher eingesetzt.
- Vergleich des Einsatzes von Speichern auf Basis Phasenwechselmaterialien und Sorption mit herkömmlichen Wasserspeichern.

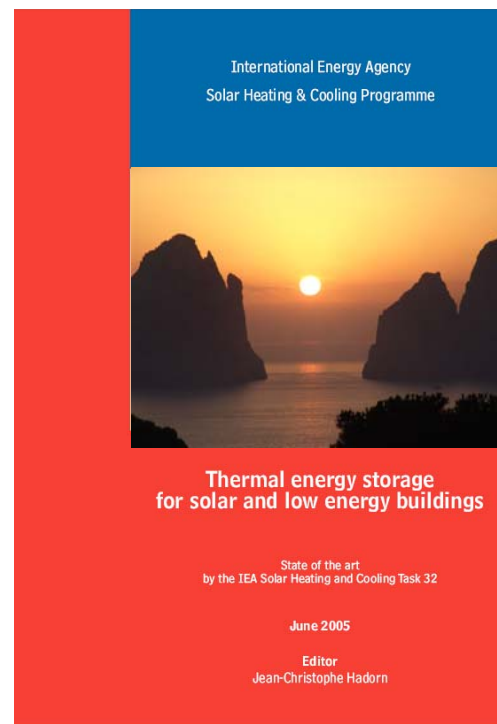


Bild 1: Handbuch des IEA SHC Task 32

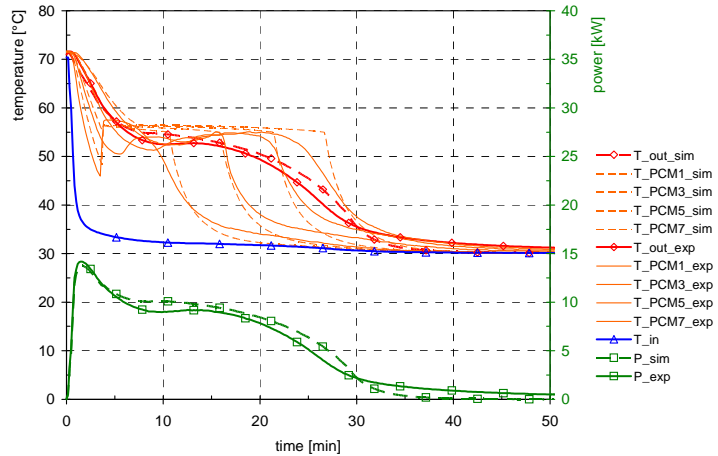


Bild 2: eingehängter Wärmetauscher in einen mit PCM gefüllten Tank. Links: Photo, rechts: Vergleich von Messung und Simulation für einen Entladeversuch.

- Leider ergab sich für die meisten der untersuchten Anwendungen keine signifikante Verbesserung von PCM- und Sorptionspeichern gegenüber Wasserspeichern mit den bisher eingesetzten Materialien. Dies ist im Speziellen darin begründet, dass die erhöhte Energiespeicherung auf der einen Seite durch die höheren Temperaturverluste beim Be- und Entladen mit höherer Leistung wettgemacht werden (siehe auch Bild 4 und Bild 5). Bei den Sorptionspeichern kommt es stark auf die verwendete Materialpaarung an. Mit den im Task untersuchten Materialien konnte keine Verbesserung zu Wasser nachgewiesen werden. Daher wird in weiterer Folge verstärkt im Materialbereich geforscht werden müssen.
- Zwei der international untersuchten Anwendungen erscheinen weiter verfolgenswert:
  - Sorptionsspeicher, welche den Wasserdampf zum Entladen aus der Abluftfeuchte des Hauses beziehen (System des ITW in Stuttgart) und
  - Saisonspeicher auf PCM Basis welche bewusst die Unterkühlung des PCM ausnutzen um bei Langzeitspeicherung keine Wärmeverluste zu haben (System des DTU in Dänemark).

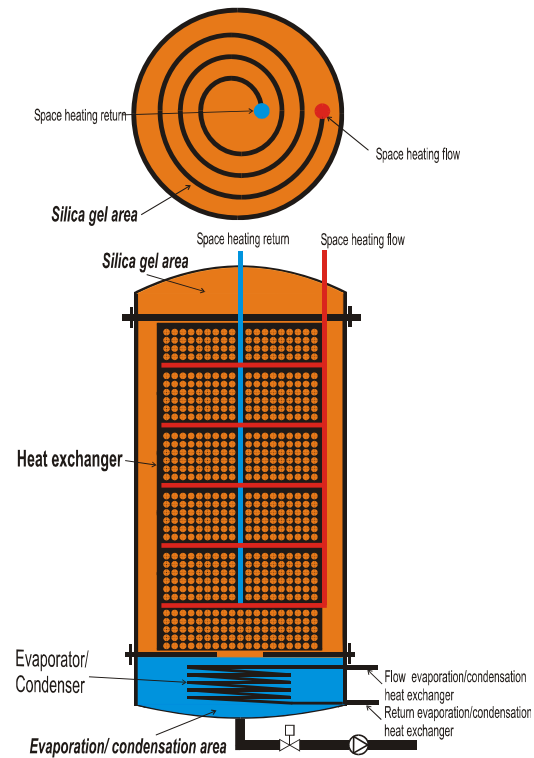


Bild 3: Untersuchter Sorptionsspeicher

- Außerdem sind Wärmepumpenanwendungen auf Sorptionsbasis als interessant einzustufen. Eine Entwicklung in Schweden (Climate Well) befindet sich derzeit in der Markteinführung.
- Mit Ende 2008 wird der IEA SHC Task 42 „Compact Thermal Energy Storage: Material Development and System Integration“ als Nachfolgetask zu IEA SHC Task 32 in starten (als Joint Task zwischen den Implementing Agreements on ECES (Energy Conservation with Energy Storage) und SHC (Solar Heating and Cooling)), in welchem unter Zuhilfenahme

nahme der in IEA SHC Task32 entwickelten Elemente (Simulationsmodule und Anwendungen) im speziellen Materialien mit besseren thermodynamischen Eigenschaften gesucht werden sollen. Von österreichischer Seite werden sich das Institut für Wärmetechnik der TU Graz, AEE-INTEC und arsenal research, finanziert durch das BMVIT und diesem Task beteiligen.

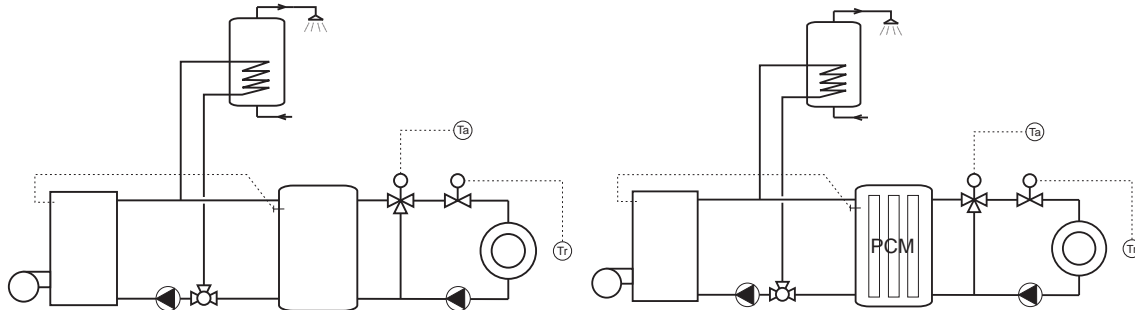


Bild 4: Zwei der untersuchten Hydrauliksysteme für die Ermittlung des Kesseltaktens: links konventionelles System mit Gaskessel und Pufferspeicher (G2a), rechts Pufferspeicher mit eingehängten PCM-Modulen (G2b).

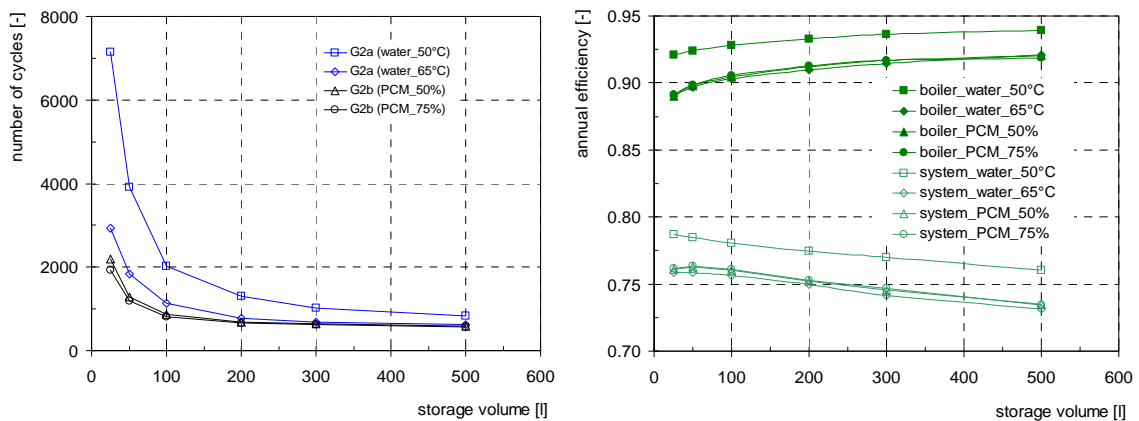


Bild 5: Auswirkungen des Pufferspeichervolumens auf das Taktverhalten (links) und den Kessel- und den Systemwirkungsgrad (rechts). Die Abnahme des Systemwirkungsgrades mit der Speichergröße ist auf die Speicherverluste zurückzuführen.

- Die Ergebnisse des IEA SHC Task 32 wurden in Österreich bei den folgenden Veranstaltungen einem breiten Publikum aus Industrie, Wissenschaft, öffentlicher Hand und sonstigen Interessierten präsentiert:
  - Tagung: Innovative Speichertechnologien, Veranstalter: AEE-INTEC, Tagungsort: Wirtschaftskammer Wien, 17. März 2006. Bei dieser Tagung wurden alle bisherigen Ergebnisse vom Operating Agent, den Subtaskleadern und einigen ausgewählten Beispielen präsentiert
  - Treffen des Solarnet Styria am 7. Februar 2007
  - Austrian Solar Thermal Plattform (ASTTP) in Wien am am 3. September 2007
  - Über das Projekt Modestore wurde auf der Gleisdorf Solar 2006 berichtet

Alle Berichte sind unter <http://www.iea-shc.org/task32/publications/index.html> herunterladbar.

# Inhaltsverzeichnis

|   |  |           |
|---|--|-----------|
| <b>1</b>  | <b>EINLEITUNG .....</b>  | <b>2</b>  |
| 1.1   | Inhalt des Task 32.....  | 2         |
| 1.2   | Teilnehmer.....  | 3         |
| 1.3   | Österreichische Beteiligung.....   | 4         |
| <b>2</b>  | <b>DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN IM IEA SHC TASK 32 .....</b>   | <b>7</b>  |
| 2.1   | Meetings .....   | 7         |
| 2.2   | Handbuch und Folder des Task 32.....   | 8         |
| 2.3   | Berichte des Task 32.....  | 9         |
| <b>3</b>  | <b>BEITRÄGE DER ANTRAGSTELLER IM RAHMEN DES<br/>GEGENSTÄNDLICHEN PROJEKTS, TÄTIGKEITSBERICHT .....</b>                         | <b>10</b> |
| 3.1   | Tätigkeitsbericht über die bisher durchgeführten Arbeiten des Instituts für<br>Wärmetechnik im Rahmen des IEA SHC TASK 32..... | 10        |
| 3.2   | Tätigkeitsbericht über die bisher durchgeführten Arbeiten der AEE INTEC im Rahmen<br>des IEA SHC TASK 32.....                  | 14        |
| 3.3   | Verbreitung der Ergebnisse in Österreich .....   | 16        |
| <b>ANHANG 1 TEILNEHMER AM IEA SHC TASK 32</b>   |  |           |
| <b>ANHANG 2 ENDBERICHT SUBTASK B,REPORT B8</b>  |  |           |
| <b>ANHANG 3 ENDBERICHT SUBTASK C,REPORT C8</b>  |  |           |
| <b>ANHANG 4 PRÄSENTATION DES TASK 32 BEIM ASTTP WORKSHOP IN WIEN AM 3.<br/>SEPTEMBER 2007</b> |  |           |



# 1 Einleitung

Die Internationale Energieagentur (IEA), eine Organisation der OECD, wurde 1974 mit dem Ziel gegründet, schnell und flexibel auf Energiekrisen reagieren zu können. Ein weiteres Ziel war der Aufbau einer umweltverträglichen, effizienten und nachhaltigen Energieversorgung. 24 Mitgliedsstaaten und die Europäische Kommission arbeiten im Rahmen der IEA zur Entwicklung neuer und effizienter Energietechnologien sowie an gemeinsamen Markteinführungsstrategien. Der Forschungsbereich gliedert sich in vier „Working Parties“ („fusion power“, „fossil fuel“, „energy end use technologies“ und „renewable energy“). Innerhalb der Working Parties sind als Forschungsprogramme die Implementing Agreements (derzeit ca. 40) angesiedelt. Die Implementing Agreements wiederum sind in Forschungsprojekte (Tasks oder Annexe) unterteilt.

Eines der ersten Implementing Agreements im Rahmen der IEA war das 1977 gestartete „Solar Heating and Cooling Programme“ (SHC). Es wurden in Summe bisher 33 Tasks durchgeführt.

## 1.1 Inhalt des Task 32

Der Task 32 wurde im Juni 2003 gestartet und befasst sich mit den Möglichkeiten von fortschrittlichen Wärme- oder Kältespeichern bei Niedrigenergiehäusern. Einen Schwerpunkt stellten hierbei Speicher für solarthermische Systeme mit hohem solaren Deckungsgrad dar. Daneben wurden auch Speicher für andere Heizungs- und Kühltechnologien basierend z.B. auf Kompressions- oder Absorptionswärmepumpen untersucht. Neben der theoretischen Untersuchung verschiedener Speichervarianten wurden auch ausgeführte Speicher verbessert bzw. neue Speicher geplant.

Das Ziel des Tasks bestand in der Entwicklung von verbesserten Speichertechnologien für den Einsatz in Einfamilien- und Reihenhäusern in Niedrigenergiebauweise. Hierbei wurden die verschiedenen Speicherkonzepte auf gleicher Basis miteinander verglichen. Daher liegt das Hauptaugenmerk des Tasks auf:

- Erhebung des Ist-Zustandes der Wärmespeicherung in Einfamilienhäusern.
- Analyse der Speichertechnologien in Bezug auf Ökonomie, Verfügbarkeit und Ungiftigkeit des Speichermaterials.
- Entwicklung neuer Prototypen von Speichern für Solaranlagen in Zusammenarbeit mit interessierten Industriepartnern.
- Optimierung der Integration der Speicher in solare Kombisysteme mit Zielrichtung Langzeitspeicherung und solarer Volldeckung.
- Aufbau und Vermessung von Prototypen von Speichern.
- Aufbau von Simulationsmodulen für die Speichertypen und Integration in einheitliche Rahmenbedingungen (vorzugsweise unter Benutzung des Simulationswerkzeuges TRNSYS).
- Vergleich der Ergebnisse von Messung, Simulation und der Speicher untereinander. Die verschiedenen Speicherkonzepte werden unter gleichen Randbedin-

gungen auf Basis von Simulationen miteinander verglichen. Der Detaillierungsgrad der Speichermodellierung ist hierbei vom Entwicklungsstand abhängig. Wasserspeicher können sehr detailliert und über Simulation abgesichert, Speicher mit Phasenwechselmaterialien nur über Prototypen und chemische Speicher eventuell nur aufgrund theoretischer Erkenntnisse modelliert werden.

- Weitergabe der Ergebnisse an Industriepartner im Task und über Tagungen und Workshops an die interessierte Öffentlichkeit.

Folgende Ergebnisse des IEA SHC Task 32 waren von Beginn an geplant:

#### **Subtask A:**

Erhebung, Analyse und Verbreitung des Standes der Technik im Bereich fortschrittlicher Wärmespeicher, Erstellung von Randbedingungen für den Vergleich der unterschiedlichen Speicher

Ergebnis: Vergleich von Wärmespeichersystemen

Report über fortschrittliche Speichertechnologien und Prototypen  
Randbedingungen für den Vergleich der Speichertechnologien

#### **Subtask B:**

Chemische Speicher und Sorptionsspeicher:

Ergebnis: Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten

Simulationsergebnisse nach den Randbedingungen von Subtask A

#### **Subtask C:**

Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien

Ergebnis: Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten

Simulationsergebnisse nach den Randbedingungen von Subtask A

#### **Subtask D:**

Fortschrittlicher Warmwasserspeicher und Ihre Komponenten

Ergebnis: Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten.

Simulationsergebnisse nach den Randbedingungen von Subtask A

Weitere Informationen über den Task 32 können auch unter der Homepage <http://www.iea-shc.org/task32/index.html> gefunden werden.

## 1.2 Teilnehmer

Am IEA SHC Task 32 nahmen 33 Experten aus 8 Ländern (Dänemark, Deutschland, Frankreich, Niederlande, Spanien, Schweden Schweiz, und Österreich) teil. Eine detaillierte Aufstellung der teilnehmenden Institute, Firmen und Personen ist in Anhang 1 zu finden

### 1.3 Österreichische Beteiligung

Durch das gegenständliche Projekt im Rahmen der Forschungsinitiative „Haus der Zukunft“ wurde die österreichische Beteiligung durch das Institut für Wärmetechnik der TU Graz und der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Institut für nachhaltige Technologien (AEE INTEC) bis 31. 12. 2007 mit der Leitung des Subtask C „Wärmespeicher mit Phasenwechselmaterialien“ sichergestellt. Durch dieses Projekt waren keine Speicherentwicklungen innerhalb des Tasks möglich.

Das Institut für Wärmetechnik leitete den Subtask C (PCM Storage) und brachte die Erfahrungen aus einem laufenden EU-Projekt (PAMELA, siehe unten) über Suspensionen mit Phasenwechselmaterialien und aus dem Projekt „Fortschrittliche Wärmespeicher“ (siehe ebenfalls unten) in den Subtask ein. AEE-INTEC arbeitete primär im Subtask B (Chemical und Sorption Storage) mit und brachte die Erfahrungen aus 2 EU-Projekten (HYDES und MODESTORE) und dem anschließenden Haus der Zukunft Projekt ebenfalls mit Namen MODESTORE ein. Beide Partner beteiligten sich auch an Subtask A (Evaluation and Dissemination) im Speziellen beim Aufstellen der Referenzbedingungen, da beide Partner über die Leitung des IEA SHC Task 26 bzw. die Leitung des Subtasks Optimization in IEA SHC Task 26 federführend bei der Aufstellung der dortigen Rahmenbedingungen tätig waren. Diese Rahmenbedingungen wurden für die IEA SHC Task 32 adaptiert. Auch in Subtask D (Advanced water tanks) beteiligten sich die Teilnehmer an der Diskussion.

In Österreich waren zwei Projekte für fortschrittliche Wärmespeicher in Bearbeitung:

Das Projekt Phase Change Material Slurries and their Commercial Applications, **PAMELA** (EU Project No: NNE5-2001-0038) mit der Universität Ulster (Vereinigtes Königreich) als Koordinator, dem Antragsteller als Contractor, und 6 weiteren Partnern aus Deutschland (ISE Freiburg, BASF, Tyforop), Schweiz (Fachhochschule Yverdon), Bulgarien (Bulgarische Akademie der Wissenschaften, Zentrallabor für Solarenergie und neue Energiequellen), und Frankreich (Fa. Cristopia). In diesem Projekt wurden mikroverkapselte Paraffine, welche eine Suspension mit Wasser bilden, als Speichermedium untersucht. Bei geringen Temperaturhuben kann ein Verdoppelung bis Verdreifachung des Wärmeinhaltes gegenüber Wasser erreicht werden. Die Laufzeit des Projektes war von 12/2001 – 12/2004. Mit mikroverkapselten Paraffinen als Latentwärmespeicher lässt sich durch Auswahl des geeigneten Speichermediums der Phasenwechsellpunkt zwischen 5°C und 60°C variieren. Daher ist ein Einsatz sowohl als Kaltspeicher für die Klimatisierung als auch für Heizzwecke denkbar. Im EU-Projekt PAMELA wurden Prototypen sowohl für die Kühlung, die Heizungsanwendung als auch für Solarsysteme entwickelt.

- Im Rahmen „Energiesysteme der Zukunft“ wurde im März 2004 das Projekt „**Fortschrittliche Wärmespeicher** zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringerung durch verringertes Takten, Projekt zum IEA-SHC Task 32“, Projekt 807807, genehmigt, in dessen Rahmen die Arbeiten von PAMELA fortgeführt werden und gemeinsam mit den Partnern Polymer Competence Center Leoben (PCCL) und den Firmen KWB, Vaillant Österreich und SOLID, Speicher auf Basis Phasenwechselmaterialien entwickelt werden. Das Projekt sollte eigentlich mit 28. Februar 2006 enden, es wurde jedoch eine Verlänge-

rung um 6 Monate ohne Zusatzkosten bewilligt.

- Das Projekt **MODESTORE** hatte zum Ziel, einen Energiespeicher zu entwickeln, der sich durch überdurchschnittliche Speicherkapazität (rund das zweieinhalbfache zu Wasser) und praktisch verlustloser Langzeitspeicherung von den klassischen Wasserspeichern abhebt. Dies wird durch die Nutzung des „Sorptionsprozesses“ erreicht. Seit 1995 gibt es eine konsequente Entwicklungstätigkeit mit dem Endziel einen solchen Sorptionsspeicher zu bauen und auf den Markt zu bringen. Beginnend mit Grundlagenforschung und Simulation wurde inzwischen über erste Labormodelle bis zur Prototypenentwicklung ein grundsätzlich funktionierender Sorptionsspeicher entwickelt (EU-Projekt **HYDES** (JOR3-CT-0199)). Ziel des Projektes MODESTORE war es, basierend auf diesem Prototyp der ersten Generation mittels spezieller Testläufe noch offene technische Detailfragen zu klären bzw. Optimierungen durchzuführen. Mit den Ergebnissen dieser Test- und Optimierungsphase wurde der Prototyp der zweiten Generation entwickelt und gebaut. Wesentliches Ziel der zweiten Generation war es, statt einem Speicher bestehend aus mehreren Behältern mit unterschiedlichen Funktionen ein kompaktes Speichermodul zu entwickeln, d.h. alle Funktionsbereiche sind in einem Behälter vereint. Diese Kompaktmodule können dann in beliebiger Anzahl hydraulisch aneinandergesetzt werden. Dieser Prototyp der zweiten Generation wurde im Haus der Zukunft Projekt MODSTORE in einer Pilotanlage eingebaut und mit einem Messprogramm begleitet. Während dieser einjährigen Messperiode wurden die Belade- und Entladevorgänge laufend analysiert und optimiert bzw. ein entsprechender Regelalgorithmus entwickelt.

Im in diesem Bericht behandelten Projekt wurden primär die Organisations-, Reise- und Berichtskosten gefördert. Die eigentliche Forschungsarbeit durch die beiden EU-Projekte und die nationalen Projekte können als Eigenleistung angesehen werden.

Die Ergebnisse des Tasks wurden in Österreich auf den Treffen des Solarnet Styria am 7. Februar 2007 und der Austrian Solar Thermal Plattform (ASTTP) in Wien am 3. September 2007 präsentiert und Umsetzungsprojekte als Nachfolge zu den beiden EU-Projekten diskutiert (Anhang 8). Zudem wurde über das Projekt Modestore wurde auf der Gleisdorf Solar 2006 berichtet

Hierbei entstand unter anderem das nationale Projekt „Evaluierung von solarthermischen Energiespeichern anhand eines einheitlichen und marktfähigen Kennzahlensystems“ gemeinsam mit arsenal research (Antragsteller), AEE-INTEC, dem Institut für Wärmetechnik der TU Graz, und den Firmen Teufel&Schwarz GmbH, Pink Behältertechnik GmbH, Solution Solartechnik welches am 1.1.2007 gestartet wurde. Die Laufzeit beträgt 2 Jahre. Es soll in einer pränormativen Arbeit eine Methode zum Vergleich der verschiedensten Speicherkonzepte, aufbauend auf den Erfahrungen des IEA SHC Task 32 erarbeitet und in Laborversuchen ausgetestet werden.

Ein Know-How-Transfer der in den EU-Projekten erzielten Ergebnisse zu einem Netzwerk von Wissenschaftlern und Firmen in dem neuen IEA-Task in die eine Richtung bzw. die Nutzung des Wissens- und Erfahrungspotentials eines Pools aktiver Forscher und Entwickler in die andere Richtung bietet sich an und wird bereits in den österreichischen Projekten umgesetzt. Mit dem gegenständlichen Projekt wurde dieser Austausch an Know How mit den Ergebnissen der beiden EU-Projekte und der nationalen Projekte als österreichischen Input in den IEA-Task sichergestellt.

## 2 Durchgeführte Arbeiten im IEA SHC Task 32

### 2.1 Meetings

Für die Vorbereitung des IEA SHC Task 32 wurden 4 Meetings (z.T. in Verbindung mit IEA SHC Task 26 Meetings) durchgeführt. Nach Beginn des Tasks im Juni 2003 wurden 10 Experts-Meetings abgehalten. Alle Meetings wurden von den Projektpartnern besucht:

| Ort  | Datum                    | Teilnehmer / Länder | Österr. Teilnehmer   |
|--|--------------------------|---------------------|--|
| <b>Vorbereitungstreffen</b>                                    |                          |                     |  |
| Rapperswil / Schweiz   | Oktober 2001             | 30                  | Streicher (IWT TU Graz)<br>Thür (AEE-INTEC)  |
| Oslo / Norwegen  | 9, April 2002            | 25                  | Streicher (IWT TU Graz)<br>Thür (AEE-INTEC)  |
| Bad Blumau / Österreich  | 24, Sept. 2002           | 20 / 8              | Streicher (IWT TU Graz)<br>Thür (AEE-INTEC)  |
| Amsterdam / Niederlande  | 9, May 2003              | 6                   | Streicher (IWT TU-Graz)  |
| <b>Experts Meetings</b>  |                          |                     |  |
| 1. Lausanne / Schweiz  | 10/11, Juli 2003         | 17 / 8              | Streicher (IWT TU-Graz)<br>Thür (AEE-INTEC)  |
| 2. Petten / Niederlande  | 9.-11. Nov. 2003         | 18 / 7              | Streicher (IWT TU-Graz)<br>Thür (AEE-INTEC)  |
| 3. Arvika / Schweden<br>Joint Meeting mit IEA<br>ECES Annex 17 | 7. Juni 2004             | 19 / 8              | Streicher, Heinz (IWT<br>TU-Graz)<br>Gartler (AEE-INTEC)   |
| 3. Arvika / Schweden   | 8.-9. Juni 2004          | 19 / 8              | Streicher, Heinz (IWT<br>TU-Graz)<br>Gartler (AEE-INTEC)   |
| 4. Graz / Österreich   | 1.-3. Dezember<br>2004   | 25 / 9              | Streicher, Heinz,<br>Puschnig (IWT TU-Graz)<br>Jaehnig, Wagner,<br>Isaksson, Hausner (AEE-<br>INTEC) |
| 5. Lleida / Spanien  | 18.-20. Mai 2005         | 24 / 8              | Streicher, Heinz,<br>Heimrath (IWT TU-Graz)<br>Jaehnig (AEE-INTEC)                                   |
| 6. Fontainebleau / Frankreich                                  | 23.-25. November<br>2005 | 25 / 8              | Streicher, Heinz,<br>Heimrath (IWT TU-Graz)<br>Jähmig (AEE-INTEC)                                    |
| 7. Pomona NJ / USA   | 29.-30 Mai 2006          | 22 / 8              | Streicher, Heimrath,<br>Heinz (IWT TU-Graz)<br>Jähmig (AEE-INTEC)                                    |

|                            |                       |        |   |
|----------------------------|-----------------------|--------|---|
| 8. Kopenhagen / Dänemark   | 15.-16. November 2006 | 25 / 8 | Streicher, Heimrath, Heinz (IWT TU-.Graz)<br>Jähmig (AEE-INTEC) |
| 9. Stuttgart / Deutschland | 17.-18. April 2007    | 23 / 8 | Streicher, (IWT TU-.Graz)<br>Jähmig (AEE-INTEC)                 |
| 10. Zürich /Schweiz        | 3.-5. Oktober 2007    | 29 / 9 | Streicher, (IWT TU-.Graz)<br>Jähmig (AEE-INTEC)                 |

Die Minutes der Meetings 7 – 10 seit dem letzten Zwischenbericht liegen als Anhang 2 bis 5 bei.

Die Minutes aller Experts Meetings liegen auf der CD bei.

Besonders das Joint Meeting mit dem IEA-ECES Task 17 (Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions) in Arvika / Schweden brachte viele neue Kontakte und Erkenntnisse. Dieser Task ist zwar mit Ende des Jahres 2004 ausgelaufen, wurde aber durch den Task 18 (IEA ECES Annex 18 “Transportation of Thermal Energy by Thermal Energy Storage“) fortgesetzt.

Diese Koppelung hat sich so bewährt, das der Nachfolgetask zu Task 32 als Joint Task zwischen den Implementing Agreements on ECES (Energy Conservation with Energy Storage) und SHC (Solar Heating and Cooling) in Vorbereitung ist. In diesem sollen unter Zuhilfenahme der in IEA SHC Task32 entwickelten Elemente (Simulationsmodule und Anwendungen) im speziellen Materialien mit besseren thermodynamischen Eigenschaften gesucht werden sollen.

Eine Beteiligung Österreichs wurde seitens des Instituts für Wärmetechnik der TU Graz in Verbindung mit AEE INTEC und arsenal research bereits eingereicht.

## 2.2 Handbuch und Folder des Task 32

Neben den experimentellen und simulationstechnischen Arbeiten der teilnehmenden Institute (wie auch der Auftragnehmer), bei denen Prototypen von Speichern vermessen, die Speicher verbessert und unter anderem für die Validierung von erstellten Simulationsmodellen verwendet wurden, wurde als weiteres wichtiges Zwischenergebnis des Tasks ein Handbuch mit dem Titel „Thermal energy storage for solar and low energy buildings“ veröffentlicht. Darin wird ein Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der thermischen Energiespeicherung in Solar- und Niedrigenergiegebäuden gegeben, wobei auch im Speziellen auf Ergebnisse des Task 32 eingegangen wird.

Ein Exemplar des Handbuchs lag dem 3. Zwischenbericht bei.

Um den Bekanntheitsgrad des Tasks zusätzlich zu steigern, wurde außerdem ein Folder erstellt, in dem eine Beschreibung der Arbeitsgebiete und Ziele des Tasks erfolgt. Dieser Folder wird auf diversen Veranstaltungen zur Information aufgelegt und war ebenfalls im 3. Zwischenbericht beigelegt.

## 2.3 Berichte des Task 32

Alle Berichte des IEA SHC Task 32 sind bereits bzw. werden voraussichtlich mit Ende April auf der Homepage <http://www.iea-shc.org/task32/index.html> zu finden sein.

Die folgenden Berichte des Task 32, die unter Mitarbeit der Projektpartner entstanden sind, liegen auf der mitgelieferten CD (dreifach ident) bei. Es handelt sich fallweise noch um vorläufige Berichte, die noch vom ExCo des Implementing Agreements SHC noch approbiert werden müssen.

1. Report A2 "The Reference Heating System, the Template Solar System".
2. Report A3 " Method of comparison of designs and criteria".
3. Report A4 "Comparison of solar combisystems with advanced storage concepts"
4. Report B1 "Chemical and sorption storage, Selection of concepts"
5. Report B2 "Thermal Properties of Materials for Thermo-chemical Storage of Solar Heat"
6. Report B3 "Laboratory Prototypes of Thermo-Chemical and Sorption Storage Units"
7. Report B4 "Laboratory Tests of Chemical Reactions and Sorption Storage Units"
8. Report B5 "Store Simulation and optimization Report
9. System: Closed-Cycle Sorption Storage ("MODESTORE")
10. Report B8 "Final report of Subtask B "Chemical and Sorption Storage""
11. Report C1 "Storage concepts based on Phase Change Materials (PCM)".
12. Report C2 "Inventory of Phase Change Materials (PCM)".
13. Report C3 "Laboratory Prototypes of PCM Storage Units".
14. Report C4 "Laboratory Prototypes of PCM Storage Units (Improvements since Report C3)".
15. Report C5 "Simulation Models of PCM Storage Units".
16. Report C6 "Simulation Report of PCM Storage Units"
17. Report C6, Appendix 3 "PCM storage to reduce cycling rates for boilers, IWT".
18. Report C8 "Final Report of Subtask C "Phase Change Materials".

Im Anhang finden sich die jeweiligen Endberichte von Subtask B (Report B8) als Anhang 6 (Zuarbeit von AEE INTEC, vorläufiger Endbericht) und Subtask C (Report C8) als Anhang 7 (Subtaskleader Institut für Wärmetechnik TU Graz, vorläufiger Endbericht).

### **3 Beiträge der Antragsteller im Rahmen des gegenständlichen Projekts, Tätigkeitsbericht**

#### **3.1 Tätigkeitsbericht über die bisher durchgeführten Arbeiten des Instituts für Wärmetechnik im Rahmen des IEA SHC TASK 32**

- Teilnahme an den Experts Meetings
- Diverse Präsentationen im Rahmen der Experts-Meetings, Leitung des Subtask C durch W. Streicher und Darstellung der durchgeführten Projekte. Die Präsentationen und Veröffentlichungen finden sich auf den beiliegenden drei identen CD-Roms.

##### **Petten / Niederlande :**

- Literaturrecherche über Speicher mit Phasenwechselmaterialien (W. Streicher)
- Kurzdarstellung des Projektstandes PAMELA (W. Streicher)
- Kurzdarstellung des geplanten Projektes „Fortschrittliche Wärmespeicher“ (W. Streicher)

##### **Arvika / Schweden:**

- Darstellung des Subtask C in einem Joint-Meeting mit dem IEA-ECES Task 17 (Advanced thermal energy storage through phase change materials and chemical reactions) (W. Streicher)
- Darstellung der Umsetzung der Referenzbedingungen des IEA SHC Task 26 in TRNSYS/TRNSED (W. Streicher)
- Darstellung des Projektstandes von PAMELA und des Stands der Labormessungen und Simulationsmodelle für PCM-Slurry Wärmetauscher und Wärmespeicher (A. Heinz)

##### **Graz / Österreich:**

- Darstellung des Projektstandes von PAMELA und des Stands der Labormessungen und Simulationsmodelle für PCM-Slurry Wärmetauscher (A. Heinz)
- Vorstellung des durch den Antragsteller entwickelten TRNSYS-Simulationsmodells für PCM-Speicher (P. Puschnig)

##### **Lleida / Spanien:**

- Darstellung des Fortschritts der experimentellen Arbeiten bzgl. PCM Speicher mit zylindrischen Modulen (A. Heinz)
- Darstellung erster Validierungs-Rechnungen mit dem am IWT entwickelten PCM-Speicher-Modell (A. Heinz, P. Puschnig)
- Vorstellung des Simulations -Referenzsystems zum Vergleich der in den einzelnen Subtasks entwickelten Speicher (R. Heimrath)

##### **Fontainebleau / Frankreich:**

- Darstellung des Fortschritts der experimentellen Arbeiten bzgl. PCM Speicher mit zylindrischen Modulen (A. Heinz)



- Darstellung weiterer Validierungs-Rechnungen und Vorstellung von neuen Features des am IWT entwickelten PCM-Speicher-Modelles (H. Schranzhofer, A. Heinz)
- Ergebnisse der Emissionsmessungen von Kesseln im Teillast- und Taktbetrieb im Rahmen des Projektes (A. Heinz, G. Eisl)
- Vorstellung des Simulations-Referenzsystems zum Vergleich der in den einzelnen Subtasks entwickelten Speicher (R. Heimrath)

#### **Pomona / USA:**

- Vorstellung des Simulations-Referenzsystems zum Vergleich der in den einzelnen Subtasks entwickelten Speicher (R. Heimrath)
- Darstellung des Fortschritts der experimentellen Arbeiten bzgl. PCM Speicher mit zylindrischen Modulen (A. Heinz)

#### **Kopenhagen / Dänemark :**

- Vorstellung der Weiterentwicklung des Simulations-Referenzsystems zum Vergleich der in den einzelnen Subtasks entwickelten Speicher (R. Heimrath)
- Darstellung des Fortschritts der simulationsmäßigen Arbeiten bzgl. PCM Speicher (A. Heinz)

#### **Stuttgart / Deutschland:**

- Vorstellung der Weiterentwicklung des Simulations-Referenzsystems zum Vergleich der in den einzelnen Subtasks entwickelten Speicher (W. Streicher)

#### **Zürich / Schweiz:**

- Vorstellung einer Simulation zur Bereitung von Trinkwasrmwasser mit PCM.Modulen, durchgeführt von Micheol Haller. (A. Heinz)

- Genehmigung eines Folgeprojektes zum EU-Projekt PAMELA im Rahmen der österreichischen Ausschreibung „Energiesysteme der Zukunft“ welche bisher nicht in den IEA SHC Task 32 eingebunden war, unter Beteiligung von 3 österreichischen Firmen (Vaillant/Österreich, KWB, Solid) und dem Polymer Competence Center Leoben , „Fortschrittliche Wärmespeicher“, Start März 2004
- Anwendung und teilweise Weiterentwicklung einer Meßmethode zur Charakterisierung der im Task 32 verwendeten PCM Materialien
- Aufbau eines Versuchsspeichers zur experimentellen Untersuchung der Integration von PCM-Modulen in einen Wasserspeicher, Durchführung umfangreicher Messreihen mit unterschiedlichen PCM-Materialien
- Aufbau eines Versuchsspeichers zur experimentellen Untersuchung eines PCM Speichers mit eingehängte, Luft-Wasser Wärmeübertrager (PCM auf der Luftseite im Speicher) zur Be- und Entladung mit hoher thermischer Leistung
- Entwicklung eines Modells für die Simulationsumgebung TRNSYS zur Simulation von thermischen Energiespeichern mit PCM Slurries und/oder PCM Modulen; Va-

Validierung des Modells anhand von eigenen Messungen und Messungen der Partner im Task 32

- Entwicklung eines Modells für die Simulationsumgebung TRNSYS zur Simulation von thermischen Energiespeichern mit PCM und eingehängtem Luft-Wasser Wärmeübertrager; Validierung des Modells anhand von eigenen Messungen
- Austausch von Messdaten mit den Projektpartnern aus dem Task 32 zur Schaffung einer soliden Datengrundlage für die Validierung der entwickelten Simulationsmodelle
- Erstellung der Referenzbedingungen für den Vergleich der im IEA SHC Task 32 behandelten Speicher im Subtask A (Report A2)
  - Entwicklung von 4 Referenzgebäuden mit unterschiedlichem Heizwärmebedarf
  - Entwicklung des Referenz-Heizsystems
  - Entwicklung des Referenz-Solarsystems

Alle angeführten Punkte wurden im Rahmen der Subtask A - Sessions vorgestellt, diskutiert und definiert. Die Umsetzung erfolgte mit dem thermischen Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm TRNSYS, welches von allen Task-Partnern verwendet wird.

- Erstellung der Teile „Combistores“ und „Microencapsulated PCM slurries“ für das Handbuch „Thermal energy storage for solar and low energy buildings“
- Simulationen von Heizungssystemen mit PCM-Speichern zur Analyse der Reduktion der Taktrate von Heizkesseln.
- In Österreich wurden die Ergebnisse des IEA SHC Task 32 auf der Tagung: Innovative Speichertechnologien, Veranstalter: AEE-INTEC, Tagungsort: Wirtschaftskammer Wien, 17. März 2006, dem Treffen des Solarnet Styria am 7. Februar 2007 und bei der der Austrian Solar Thermal Plattform (ASTTP) in Wien am 3. September 2007 präsentiert. Die Ergebnisse des Task 32 wurden bei der Erstellung des „Positionspapiers für ein Österreichisches Solarforschungs- und Technologieprogramm“ der Österreichischen Solarthermieplattform aufgenommen.
- Diverse Veröffentlichungen / Vorträge auf Tagungen und Konferenzen:
  - 15. Symposium Thermische Solarenergie, 27.-29. April 2005, Kloster Banz, D-96231 Staffelstein:
    - Heinz, A., Streicher, W., Dispersionen aus mikroverkapselten Paraffinen und Wasser als Wärmespeicher- und Transportmedien
    - Puschnig, P., Heinz, A., Streicher, W., Simulation eines Energiespeichers für Phasenwechselmaterialien

Second Conference on Phase Change Material and Slurry, Yverdon, Schweiz, 15.-17. Juni 2005:

- Heinz, A., Streicher, W., Experimental testing of a storage tank filled with microencapsulated PCM slurries
- Puschnig, P., Heinz, A., Streicher, W., TRNSYS simulation model for an energy storage for PCM slurries and/or PCM modules
- Bony, J., Ibanez, M., Puschnig, P., Citherlet, S., Cabeza, L., Heinz, A., Three different approaches to simulate PCM bulk elements in a solar storage tank

International Solar Energy Society (ISES) Conference 2005, Orlando, Florida, USA, 6.-12. August 2005,:

- Bales, C., Drück, H., Hadorn, J., C., Streicher, W., Advanced Storage Concepts for Solar Houses and Low Energy Buildings - IEA-SHC TASK 32

PCM, Tagung Innovative Solar-Speichertechnologien, Wirtschaftskammer Wien, 17.3.2006

- Heinz, A., Streicher, W., (2006) Neue Entwicklungen bei Wärmespeichern unter Ausnützung der Phase Change Materials – PCM, Tagung Innovative Solar-Speichertechnologien, Wirtschaftskammer Wien, 17.3.2006, Seite 8/1 – 8/10.

Ecostock-Konferenz 2006 in Stockton, USA

- Schranzhofer, H. Heinz, A. Puschnig, P., Streicher, W., (2006), Validation of a TRNSYS simulation model for PCM energy storages and PCM wall construction elements, Ecostock Conference, 31th May – 2nd June 2006, Pomona, USA.
- Heinz, A. Streicher, W., (2006), *Application of Phase Change Materials and PCM slurries for thermal energy storage*, Ecostock Conference, 31th May – 2nd June 2006, Pomona, USA.

Alle obigen Präsentationen und Veröffentlichungen befinden sich auf der beiliegenden CD.

Weitere Veröffentlichungen

- Heinz, A., (2007), Application of Thermal Energy Storage with Phase Change Materials in Heating Systems, PhD-Thesis, Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology.
- Heinz, A., Streicher, W., Wallner, G., Schobermayr, H., Puschnig, P., Schranzhofer, H., Eisl, G., Heimrath, R. (2006) *Endbericht zum Projekt "Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringierung durch verringertes Takten"*, Projekt im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften
- Streicher, W., Heinz, A., Thermal Storage 2008 – PCM storages, Prag, 14. März 2008

### 3.2 Tätigkeitsbericht über die bisher durchgeführten Arbeiten der AEE INTEC im Rahmen des IEA SHC TASK 32

- Teilnahme an den allen Experts Meetings, folgende Präsentationen sind im Anhang 3-5 zu finden:
  - Graz, Dezember 2004 Zwei Präsentationen zum aktuellen Stand des Projektes MODESTORE und zum Stand der Simulationen (AEE\_INTEC\_general\_Graz.pdf, AEE\_INTEC\_modeling.pdf)
  - Führung der Taskteilnehmer durch das Sorptionsspeicherlabor und den Teststand für Parabolrinnenkollektoren in Gleisdorf, Dezember 2004.
  - Lleida, Mai 2005 Präsentation zum aktuellen Stand des Projektes MODESTORE, Beginn der Pilotanlagenphase (Lleida\_AEE\_INTEC.pdf)
  - Fontainebleau, November 2005 Präsentation zum aktuellen Stand des Projektes MODESTORE, Sommerbetrieb der Pilotanlage (AEE\_INTEC\_Task32\_Fontainebleau.pdf)
  - Pomona, Mai 2006
    - Vortrag im Rahmen der ECOSTOCK 2006 Konferenz über die Ergebnisse der Komponentenentwicklung im EU-Projekt MODESTORE, Closed-Cycle Sorption Storage Pilot Plant in a Single-Family House (Jaehrig\_Ecostock\_2006.pdf)
    - Präsentation im Task Meeting zum Betrieb der Pilotanlage im Rahmen des „Haus der Zukunft“-Projektes MODESTORE (AEE\_Intec\_Stockton.pdf)
  - Kopenhagen, November 2006 Keine Präsentation, Teilnahme an der Diskussion zu den geplanten Simulationen innerhalb des Tasks.
  - Stuttgart, zwei Präsentationen, eine auf dem Industry-Workshop (Adsorption Technology for Long-Term Heat Storage, AEE\_INTEC\_Stuttgart\_Modestore\_Ind\_Workshop.pdf) und eine im Meeting (Simulation of Closed Cycle Sorption Storage System, MODESTORE, AEE\_INTEC\_Stuttgart\_Apr\_07.pdf)
  - Zürich, Simulation of Closed Cycle Sorption Storage System MODESTORE (AEE\_INTEC\_Zurich\_Oct\_07.pdf)
- Mitarbeit am Sorptionsspeicherteil des Handbuches: Allgemeine Einleitung des Themas und Darstellung des MODESTORE Projektes.
- Über das Projekt Modestore wurde auf der Gleisdorf Solar 2006 berichtet

Das Projekt MODESTORE hat zum Ziel, einen Energiespeicher zu entwickeln, der sich durch überdurchschnittliche Speicherkapazität und praktisch verlustfreie Langzeitspeicherung auszeichnet. Dies wird durch die Nutzung des so genannten „Sorpti-

onsprozesses“ erreicht. Aufbauend auf den Testergebnissen der noch aus dem vorangegangenen EU-Projekt HYDES (JOR3-CT-0199) stammenden Speichers wurde ein Prototyp der zweiten Generation entwickelt und gebaut. Wesentliche Änderung im Vergleich zur 1. Generation ist dabei, dass alle Funktionen in ein kompaktes Speichermodul integriert sind. Diese Kompaktmodule können dann in beliebiger Anzahl hydraulisch aneinander gekoppelt werden.

Der Prototyp wurde gebaut, im Labor installiert und unter Laborbedingungen getestet. Dabei hat sich die grundsätzliche Funktion des Speichers gezeigt. Die Integration von Verdampfer/Kondensator und Adsorber in einem Bauteil ermöglicht einen verbesserten Dampftransport und geringe Wärmeverluste. Nachteilig ist allerdings, dass bei sehr trockenem Adsorber der Verdampfer einfrieren kann. Dies kann nicht durch ein Schließen eines Ventils verhindert werden.

Für den anschließenden Bau der Pilotanlage im Rahmen des Haus der Zukunft-Projektes (ebenfalls mit dem Namen MODESTORE) wurde daher das Konzept geringfügig geändert. Die Pilotanlage wurde im Sommer 2005 in einem Einfamilienhaus in Haag am Hausruck/OÖ installiert und in Betrieb genommen. Der Betrieb wurde bis zum Ende der Heizsaison 2006 detailliert vermessen.

Das Ergebnis dieses Pilotversuchs war, dass das Anlagenkonzept funktioniert hat und auch praktikabel ist. Die Energiedichte des Speichers ist aber durch den sehr niedrigen Temperaturhub der Materialpaarung zu gering, um technisch und wirtschaftlich sinnvoll zu sein.

Das Haus der Zukunft Projekt MODESTORE wird außer vom BMVIT von den Firmen Solution Solartechnik GmbH und Pink Behältertechnik GmbH finanziert.

Aufgrund des Ergebnisses des Pilotversuchs wurden die Simulationen im Rahmen des Task 32 zwar mit dem gleichen Systemkonzept wie bei MODESTORE durchgeführt, jedoch mit einer anderen Materialpaarung mit einem höheren Temperaturhub. Dieses Material, das von der Firma Mitsubishi hergestellt wird, ist derzeit sehr teuer. Ziel der Simulationen war es zu zeigen, was mit einem Sorptionsspeicher mit einem Material mit besseren Kennwerten zu erreichen ist. Allerdings ist bis zu einer Umsetzung in einem realen Speicher noch viel Entwicklungsarbeit im Materialbereich notwendig, um die Materialkennwerte noch weiter zu verbessern und um geeignete Materialien kostengünstiger anbieten zu können.

Für die Simulationen wurde ein von der AEE INTEC entwickeltes Rechenmodell (TRNSYS Type) für den Sorptionsspeicher basierend auf Energie- und Massenbilanz verwendet (siehe Report B5).

Diverse Veröffentlichungen / Vorträge auf Tagungen und Konferenzen:

Gartler G., Jähniig D., Purkarthofer G., Wagner W. (2004): Development of a High Energy Density Sorption Storage System, Proceedings of the Eurosun 2004 conference, Freiburg, Germany.

Jähniig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Betriebserfahrungen mit einem Sorptionsspeicher in einer ersten Pilotan-

lage, Zeitschrift erneuerbare energie, ee 2-06, Arbeitsgemeinschaft ER-NEUERBARE ENERGIE.

Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Thermo-Chemical Storage for Solar Space Heating in a Single-Family House, ECOSTOCK conference, Richard Stockton College, New Jersey, Mai 2006.

Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Solares Heizen mit einem Sorptionsspeicher in einem Einfamilienhaus - Erste Betriebserfahrungen mit einer Pilotanlage, OTTI - Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V.

Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Derzeitige Möglichkeiten und Grenzen von Sorptionsspeichern – Ergebnisse aus dem Testbetrieb in einem Einfamilienhaus, Symposium Gleisdorf Solar 2006.

### 3.3 Verbreitung der Ergebnisse in Österreich

Die Ergebnisse des IEA SHC Task 32 wurden in Österreich bei den folgenden Veranstaltungen einem breiten Publikum aus Industrie, Wissenschaft, öffentlicher Hand und sonstigen Interessierten präsentiert:

- Tagung: Innovative Speichertechnologien, Veranstalter: AEE-INTEC, Tagungsort: Wirtschaftskammer Wien, 17. März 2006. Bei dieser Tagung wurden alle bisherigen Ergebnisse vom Operating Agent, den Subtaskleadern und einigen ausgewählten Beispielen präsentiert (Veranstaltungsprogramm und die Teilnehmerliste siehe nächste Seiten). Drei Tagungsbände liegen als extra Beilage dem Bericht bei.
- Treffen des Solarnet Styria am 7. Februar 2007
- Austrian Solar Thermal Plattform (ASTTP) in Wien am 3. September 2007 (Präsentation im Anhang 8)
- Über das Projekt Modestore wurde auf der Gleisdorf Solar 2006 berichtet

Die Tagung „Innovative Solar-Speicherkonzepte,“ wird von der AEE INTEC im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und in Kooperation mit der Wirtschaftskammer Österreich, Dachverband Energie Klima durchgeführt. Die Tagung ist Teil einer Veranstaltungsserie, die dem verstärkten Know-how Transfer von Ergebnissen aus IEA Tasks im Rahmen des IEA Solar Heating and Cooling Programme dienen.



#### Teilnahme- und Rücktrittsbedingungen

Sie erhalten nach Eingang der Anmeldung Ihre Teilnahmeunterlagen. Bitte überweisen Sie den Rechnungsbetrag vor dem Veranstaltungstermin. Die Teilnahmegebühren sind mehrwertsteuerfrei und mit Erhalt der Rechnung ohne Abzug zur Zahlung fällig.

Eine Teilnahme kann nur gewährt werden, wenn die Zahlung bei der AEE INTEC eingegangen ist oder der Rechnungsbetrag am Veranstaltungsort bar beglichen wird.

Bei Überweisung des Betrags später als 14 Tage vor Veranstaltungstermin bitten wir Sie, eine Kopie des Überweisungsauftrages im Tagungsbüro vorzulegen.

Eine Stornierung ist in schriftlicher Form möglich.

Bei Stornierung der Anmeldung von 30 bis 15 Tagen vor Veranstaltungsbeginn erheben wir eine Bearbeitungsgebühr von EUR 25,- bei späteren Absagen (ab 14 Tage vor Veranstaltungsbeginn) wird die gesamte Teilnahmegebühr berechnet. Die Stornoerklärung muss schriftlich erfolgen. Ein Ersatzteilnehmer kann jederzeit gestellt werden.

Etwalge Änderungen des Programms behält sich die AEE INTEC vor.

Pb.b. Verlagspostamt 8200 Gleisdorf **erneuerbare energie** Nr. 1-2006  
 Zeitungszulassungsnum.mer. 6Z 02032494 M Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft

Bureau de poste A-8200 Gleisdorf  
 (Autriche ) >>Imprime<< Envoi à taxe réduite

**ANMELDEKARTE**

Bitte vollständig und beschriftet ausfüllen.  
 Ich melde mich hiermit verbindlich an:

**Tagung "Innovative Solar-Speicherkonzepte"**  
 am 17. März 2006 in Wien

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Firma                |       |
| Titel, Vorname, Name |       |
| Strasse, PLZ, Ort    |       |
| Tel. & Fax           | eMail |
| Datum & Unterschrift |       |

Anmeldung per e-Mail: [seminare-aeointec@aei.at](mailto:seminare-aeointec@aei.at) / Fax: +43(0)3112/58 86-18

**AEE INTEC**  
 Feldgasse 19  
 8200 Gleisdorf

Bitte  
 notifizieren

[www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)



## INNOVATIVE SOLAR-SPEICHERTECHNOLOGIEN

[www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)



Wenn thermische Solarenergie einen hohen Anteil des Wärmebedarfs in einem zukünftigen Energiesystem decken soll, dann sind dafür effiziente, kostengünstige Wärmespeicher mit hohen Energiedichten erforderlich.

Dass es auch jetzt schon möglich ist, den Wärmebedarf von einzelnen Gebäuden oder Mehrfamilienhäusern in Mittel- und Nordeuropa zur Gänze zu decken, zeigen Pilotprojekte, bei denen die im Sommer erzeugte Solarwärme in einem saisonalen Wasserspeicher bis in den Winter gespeichert und dann genutzt wird.

Neben der Entwicklung von saisonalen Wasserspeichern gibt es derzeit aber auch vielversprechende Neuentwicklungen, mit denen es möglich ist, Wärme über lange Zeiträume nahezu verlustfrei zu speichern oder welche eine, gegenüber Wasser, wesentlich erhöhte Speicherdichte erwarten lassen. Außerdem wird an der Weiterentwicklung von Wasserspeichern gearbeitet, mit denen eine solare Deckung über 50% erreicht werden kann.



Der Task 32 „Speicherkonzepte für Niedrigenergiegebäude mit Sonnenenergienutzung“ der Internationalen Energieagentur (IEA) wurde im Juni 2003 offiziell unter österreichischer Beteiligung gestartet und befasst sich mit den Möglichkeiten von fortschrittlichen Wärmespeichern für solarunterstützte Heizungssysteme von Niedrigenergiehäusern mit hohem solaren Deckungsgrad. Neben der theoretischen Untersuchung verschiedener Speichervarianten werden auch ausgeführte Speicher verbessert bzw. neue Speicher geplant. Der Stand der Entwicklungen und die Chancen der thermischen Solartechnologie, für die sich durch verbesserte Speichertechnologien neue Marktbereiche eröffnen, können nun aufgezeigt werden.



Behälter mit Phasenwechselmaterialien, die in einen Wasserspeicher eingebaut werden können, Quelle: IWT, Technische Universität Graz



Einbindung eines Sorptionspeichers in die Lüftungsanlage (Arbeitsmedien Zeolith und Wasser), Quelle: IWT, Universität Stuttgart

## TAGUNG

### “INNOVATIVE SOLAR-SPEICHERKONZEPTE”

Freitag, 17. März 2006  
von 10:00 bis 16:00 Uhr

Wirtschaftskammer Österreich,  
Wiedner Hauptstraße 63,  
1045 Wien

#### Programm:

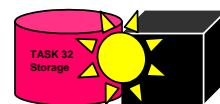
- 9:30 Registrierung und Kaffee
- 10:00 Begrüßung  
Dipl.-Päd. Ing. **Werner Weiß**, AEE INTEC, Gleisdorf
- 10:15 Österreichische IEA Beteiligungen  
Dipl.-Ing. **Brigitte Weiß**, BMVIT, Wien
- 10:35 IEA Solar Heating and Cooling – Task 32 –  
Speicher – Projektumfang und erste Ergebnisse  
Dr. **Jean Christophe Hadorn**, Base consultants, Genf, Schweiz
- 11:00 Pause
- 11:25 Sorptionspeicher – Ergebnisse aus Laborversuchen  
und einer Pilotanlage  
Dipl.-Ing. **Dagmar Jähmig**, AEE INTEC, Gleisdorf
- 11:50 MonoSorp – Ein integrales Konzept zur solarthermischen  
Gebäudeheizung mit Sorptionswärmespeicher  
Dr. **Henner Kerskes**, IWT Universität Stuttgart,  
Deutschland
- 12:10 Überblick über neue Sorptionsmaterialien für die  
Wärmespeicherung  
Dipl.-Phys. **Ferdinand Schmidt**, Fraunhofer Institut für  
Solare Energiesysteme, Freiburg, Deutschland
- 12:30 Mittagspause
- 14:00 Neue Entwicklungen bei Wasserspeichern  
Dipl.-Ing. **Harald Drück**, IWT Universität Stuttgart,  
Deutschland
- 14:25 Saisonale Speicherung für Mehrfamilienhäuser  
Dr. **Jean Christophe Hadorn**, Base consultants, Genf,  
Schweiz
- 14:45 Neue Entwicklungen bei Wärmespeichern unter  
Ausnutzung der Phase Change Materials - PCM  
Prof. Dr. **Wolfgang Streicher**, IWT TU, Graz
- 15:10 Pause
- 15:35 Diskussion – Thermische Speicher der Zukunft
- 16:00 Ende der Tagung

#### Tagungsbeitrag

Inkl. Tagungsunterlagen und Pausengetränken EUR 90,-  
bzw. EUR 65,- für Mitglieder der AEE,  
Studenten mit Inskriptionsbestätigung EUR 25,-.

[www.aee-intec.at](http://www.aee-intec.at)





## TeilnehmerInnen „INNOVATIVE SOLAR-SPEICHERKONZEPTE“ Freitag, 17. März 2006, Wirtschaftskammer Österreich

|                            |                                     |                       |
|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Hans-Peter Atzl            |                                     | 6336 Langkampfen      |
| Werner Bauer               | Solarbauer                          | 1210 Wien             |
| Mag. Martin Bergmayr       | Solarteam                           | 4111 Walding          |
| Dr. Klaus Bernhard         | OÖ Akademie für Umwelt und Natur    | 4020 Linz             |
| Brigitte Bitther           |                                     | 2201 Hagenbrunn       |
| Johann Braunsperger        | SENSERV                             | 4030 Linz             |
| DI Christian Buchbauer     | Gasokol                             | 4371 Dimbach          |
| DI César Cano              | arc-kunst                           | 8302 Nestelbach       |
| Michael Dirnbacher         |                                     | 2640 Gloggnitz        |
| Erich Dullnig              | Zimmerei Dullnig                    | 9712 Friesach         |
| Willi Eggartner            | Palladio Bau                        | 9712 Friesach         |
| Helmut Elwitschger         | KELAG                               | 9020 Klagenfurt       |
| Ing. Wolfgang Faderl       | GAWAPLAN                            | 1180 Wien             |
| Ing. Helmut Ferrari        | Xenon Consulting                    | 3454 Maria Ponsee     |
| Walter Fieber              |                                     | 4210 Unterweikersdorf |
| Dr. Franz Forstenlechner   | Forstenlechner Installationstechnik | 4320 Perg             |
| Hans Furtlehner            |                                     | 4232 Hagenberg        |
| Franz Gahleitner           | Gahleitner GmbH                     | 4074 Strohein         |
| Ing. Josef Göderle         | Austria Email AG                    | 8720 Knittelfeld      |
| DI Dr. Dieter Gottwald     | arsenal research                    | 1210 Wien             |
| DI Paul Grossfurthner      | Hoval Ges.m.b.H                     | 4614 Marchtrenk       |
| Dr. Wolfgang Guggenberger  | Sonnenkraft Österreich              | 9300 St. Veit/Glan    |
| Ing. Peter Gully           | GAWAPLAN                            | 1180 Wien             |
| Franz Gurdet               | Solarprovider                       | 8653 Stanz            |
| Dr. Jean-Christophe Hadorn | Base Consultants                    | 1035 Bournens         |
| Franz Haider               |                                     | 3314 Strengberg       |
| Otmar Handler              |                                     | 8605 Parschlug        |
| DI Martin Harrer           |                                     | 4600 Wels             |
| DI Andreas Heinz           | IWT TU Graz                         | 8010 Graz             |
| DI Irene Hirschauer        | Von der Heyden GmbH                 | 1090 Wien             |
| Johannes Höfler            | GRAT /TU Wien                       | 1040 Wien             |
| Ing. Andreas Hölzl         | Innowatt Gruppe                     | 4400 Steyr            |
| Ing. Peter Huber           | KELAG                               | 9020 Klagenfurt       |
| Johannes Hudec             |                                     | 1210 Wien             |
| DI Rudolf Hüpfel           | Austrian Development Agency         | 1020 Wien             |
| DI Dagmar Jähniß           | AEE INTEC                           | 8200 Gleisdorf        |
| Rupert Jeitler             |                                     | 8230 Hartberg         |
| Ing. Gerald Jungreithmayr  | SOLution Solartechnik               | 4642 Sattledt         |
| Dr. Jochen Käferhaus       | Käferhaus GmbH                      | 2103 Langenzersdorf   |
| Ing. Gerhard Kempel        | Fernwärme Wien                      | 1090 Wien             |
| Dr. Henner Kerskes         | ITW Stuttgart                       | 70550 Stuttgart       |
| Siegfried Kirchsteiger     |                                     | 8501 Lieboch          |
| Ing. Thomas Kloss          |                                     | 9811 Lendorf          |
| Thomas Krizsanits          | Bayer Installationen                | 1040 Wien             |

|                               |                                  |                      |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| DI Franz Kuchar               |                                  | 1120 Wien            |
| Johannes Kurz                 |                                  | 3743 Röschitz        |
| Ing. Fritz Langer             | Magistrat Wien, MA 34            | 1190 Wien            |
| DI Piotr Lapinski             | LAPA Bauprojekt                  | 1220 Wien            |
| Leopold Lederbauer            | Fa. Lederbauer                   | 2301 Oberhausen      |
| Dr. Kurt Leeb                 | MEA Solar                        | 4600 Wels            |
| Dr. Franz Leichtfried         | Biovest                          | 1020 Wien            |
| GV Albert Lientschnig         | Marktgemeinde Arnoldstein        | 9601 Arnoldstein     |
| Klaus Lutschounig             | GREENoneTEC                      | 9300 St. Veit/Glan   |
| Gerhard Magg                  | G.Magg GmbH                      | 8010 Graz            |
| Hans Mairböck                 | Solarier                         | 4223 Katsdorf        |
| Christoph Malzer              | Stenum GmbH                      | 8010 Graz            |
| Helmut Meisl                  | GSWB                             | 5020 Salzburg        |
| Nabg. Hermann Mentil          |                                  | 3100 St. Pölten      |
| Stefan Mikisek                | Teufel & Schwarz                 | 6353 Going           |
| Arch. Hannes Mitterer         | nubes                            | 1070 Wien            |
| Karl Mittermayr               | M-TEC Mittermayr GmbH            | 4122 Arnreit         |
| Mag. Martin Mudri             | Energy Cabin                     | 8200 Gleisdorf       |
| Heinz-Andreas Mutzek          | Spar Österr.                     | 1220 Wien            |
| DI Adolf Penthor              | Fernwärme Wien                   | 1090 Wien            |
| Ing. Christian Pirker-Frühauf | Heizung&Bad GmbH                 | 9851 Lieserbrücke    |
| Alexander Polivka             | Solarier                         | 4223 Katsdorf        |
| DI Anita Preisler             | arsenal research                 | 1210 Wien            |
| Ing. Georg Ptak               | Austria Email AG                 | 8720 Knittelfeld     |
| Ing. Franz Quendler           | TB für Elektro-und Umwelttechnik | 8053 Graz            |
| Peter Rabitsch                | Aquatherm                        | 8055 Graz            |
| Johann Rauch                  | Elektro Solar Rauch              | 3932 Kirchber        |
| DI Peter Reindl               |                                  | 1160 Wien            |
| Elisabeth Reitbauer           | AEE INTEC                        | 8200 Gleisdorf       |
| Andreas Reiter                | AEE NÖ/Wien                      | 1120 Wien            |
| Herbert Reithmaier            |                                  | 9560 Feldkirchen     |
| Ing. Gerhard Richard          | GAWAPLAN                         | 1180 Wien            |
| DI Herbert Rünzler            |                                  | 6700 Bludenz         |
| DI Peter Salem                |                                  | 2640 Gloggnitz       |
| Bakary Sanou                  | APEES Burkina Faso               | 1110 Wien            |
| DI Ernst Schedy               |                                  | 1170 Wien            |
| Richard Schillinger           | CACHIL                           | 2630 Pottschach      |
| Karl Schinnerl                | Austria Email AG                 | 8720 Knittelfeld     |
| Dr. Ferdinand Schmidt         | FhG ISE                          | 79110 Freiburg       |
| Herwig Schomann               |                                  | 2522 Oberwaltersdorf |
| Luise Schreiter               |                                  | 9560 Feldkirchen     |
| Dr. Peter Schütz              |                                  | 1140 Wien            |
| Ing. Johann Schweng           | Schweng Installationen           | 2275 Bernhardsthal   |
| DI Karin Schweyer             | GEA                              | 8010 Graz            |
| Ing. Arthur Sief              | SIKO SOLAR                       | 6200 Jenbach         |
| Johann Singer                 | Solarstromerzeugung              | 9231 Kostenberg      |
| Stefan Spitzer                | Ing. Riebenbauer GmbH            | 8243 Pinggau         |
| Karl Starlinger               | Bramac Dachsysteme               | 4673 Gaspoltskirchen |
| DI Johannes Stockinger        | SOLAR 4 You Consulting           | 2340 Mödling         |
| Rosa-Magdalena Stranzl        | AEE INTEC                        | 8200 Gleisdorf       |
| Manfred Strobl                | Der Österreichische Installateur | 1110 Wien            |
| Prof. Helmut Umschaden        | HTBLVA Villach                   | 9580 Villach         |
| Wolfgang Vosahlo              |                                  | 6780 Schruns         |
| DI Peter Wagner               | BMW Wohnbauforschung             | 1011 Wien            |
| Roland Weber                  |                                  | 1080 Wien            |

|                             |                          |                   |
|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| DI Brigitte Weiß            | BMVIT                    | 1010 Wien         |
| Dipl.-Päd.Ing. Werner Weiß  | AEE INTEC                | 8200 Gleisdorf    |
| Arch. Ing. Wolfgang Widhalm | Widhalm optimert Energie | 2483 Ebreichsdorf |
| Ing. Michael Wiczorek       | energie 3 gmbh           | 1230 Wien         |
| Richard Wipp                | TU Wien                  | 1120 Wien         |
| Bmst. Gerhard Zehetner      | Xenon Consulting         | 3454 Maria Ponsee |

## **Anhang 1**

### **Teilnehmer am IEA SHC Task 32**

## Operating Agent

Jean Christoph Hadorn  
Programmleiter der Schweizer  
Forschungsprogramme "Solarwärme" and  
"Wärmespeicherung" für das Schweizer  
Bundesamt für Energie  
CH-1035 Bournens  
Tel: +41 79 210 57 06  
Fax: +41 21 732 13 20  
e-mail: jchadorn@baseconsultants.com

## Subtask Leaders

### Subtask A

Jean Christoph Hadorn  
CH-1035 Bournens  
T: +41 79 210 57 06 F: +41 21 732 13 20  
e-mail: jchadorn@baseconsultants.com

### Subtask B

vorraussichtlich Chris Bales  
Solar Energy Research Center SERC  
Dept. of Energy  
Environment and Construction  
S-78188 Borlänge  
Schweden  
Tel: +46 (0)23 778707  
Fax: +46 (0)23 778701  
e-mail: cba@du.se

### Subtask C

Wolfgang Streicher \*  
TU Graz  
Inffeldgasse 25  
A-8010 Graz  
phone: +43.316.873.7306  
fax: +43.316.873.7305  
e-mail: streicher@iwt.tu-graz.ac.at

### Subtask D

Harald Drück  
Institut fuer Thermodynamik und  
Waermetechnik (ITW)  
Pfaffenwaldring 6  
D-70550 Stuttgart  
Phone: ++49-711-685/3553  
Fax: /3503  
e-mail: drueck@itw.uni-stuttgart.de

## List of Task Participants

### Austria

Wolfgang Streicher, Andreas Heinz,  
Richard Heimrath, Hermann Schranzhofer  
TU Graz  
Inffeldgasse 25  
A-8010 Graz  
phone: +43.316.873.7306  
fax: +43.316.873.7305  
e-mail: [w.streicher@tugraz.at](mailto:w.streicher@tugraz.at),  
[andreas.heinz@tugraz.at](mailto:andreas.heinz@tugraz.at), [heimrath@tugraz.at](mailto:heimrath@tugraz.at),  
[hermann.schranzhofer@tugraz.at](mailto:hermann.schranzhofer@tugraz.at)

Werner Weiss, Dagmar Jähnig, Günter Gartler,  
AEE-INTEC  
Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE  
ENERGIE – Institut für Nachhaltige  
Erdgaslogistik,  
A-8200 Gleisdorf  
Tel: 03112 5886 17 Fax 03112 5886 18  
e-mail: [w.weiss@aee.at](mailto:w.weiss@aee.at), [g.gartler@aee.at](mailto:g.gartler@aee.at),  
[d.jaehnig@aee.at](mailto:d.jaehnig@aee.at)

### Denmark

Simon Furbo, Elsa Andersen, Jörgen Schulz  
Department of Civil Engineering  
Technical University of Denmark  
Brovej, Building 118  
DK-2800 Kgs. Lyngby  
Denmark  
Phone: (+45) 4525 1857  
Fax: (+45) 4593 1755  
e-mail: [sf@byg.dtu.dk](mailto:sf@byg.dtu.dk), [ean@byg.dtu.dk](mailto:ean@byg.dtu.dk),  
[is@byg.dtu.dk](mailto:is@byg.dtu.dk)

### France

Thomas Letz  
ASDER  
299 rue du granier BP 45  
F- 73232 ST ALBAN LEYSSE Cedex  
Frankreich  
tél : 04 79 85 88 50  
fax : 04 79 33 24 64  
e-mail: thomas.letz@asder.asso.fr

Laurent Barthel  
EDF Paris  
e-mail laurent.barthel@edf.fr

## Germany

Harald Drück, Henner Kerskes  
Institut fuer Thermodynamik und  
Waermetechnik (ITW)  
Pfaffenwaldring 6  
D-70550 Stuttgart  
Phone: ++49-711-685/3553  
Fax: /3503  
e-mail: [drueck@itw.uni-stuttgart.de](mailto:drueck@itw.uni-stuttgart.de),  
[kerskes@itw.uni-stuttgart.de](mailto:kerskes@itw.uni-stuttgart.de)

Andreas Hauer  
ZAE Bayern  
Walther-Meissner-Str. 6  
D-85748 Garching  
phone:+49. 089 356250-16  
fax:+49.89.32.94.42.12  
e-mail:hauer@muc.zae-bayern.de

Hans-Martin Henning  
Group Manager  
Thermal Systems and Components  
Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems  
ISE  
Thomas Nunez  
Heidenhofstr. 2  
79110 Freiburg  
Germany  
PHONE: ++49 (0) 761 4588 5134  
FAX: ++49 (0) 761 4588 9000  
e-mail: [hans-martin.henning@ise.fhg.de](mailto:hans-martin.henning@ise.fhg.de)  
[thomas.nunez@ise.fhg.de](mailto:thomas.nunez@ise.fhg.de)

Klaus Vajen, Katrin Zass, Klaus Wilhelms  
Institut für Thermische Energietechnik  
Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik  
Universität Kassel  
Kurt-Wolters-Str. 3  
D - 34125 Kassel  
Phone: +49 (561) 804-3788  
e-mail: [zass@uni-kassel.de](mailto:zass@uni-kassel.de), [wilhelms@uni-kassel.de](mailto:wilhelms@uni-kassel.de)

Frank Thole  
Schüco International KG  
[fthole@schueco.de](mailto:fthole@schueco.de)

## Netherlands

Jakob van Berkel  
Entry Technologies  
Sporbaanweg 15  
3911 CA Rhenen  
E-Mail: [jvb@entry.demon.nl](mailto:jvb@entry.demon.nl)

Klaas Visscher, Wim van Helden, Marco  
Bakker  
Energy Reseach Center (ECN)

P.O. box 1  
NL - 1755 ZG Petten  
e-mail: [visscher@ecn.nl](mailto:visscher@ecn.nl), [vanhelden@ecn.nl](mailto:vanhelden@ecn.nl),  
[m.bakker@ecn.nl](mailto:m.bakker@ecn.nl)

## Spain

Luisa Cabeza, Christian Solé  
Escola Universit ria Polit cnica  
Universitat de Lleida  
Jaume II, 69  
SP - 25001 Lleida  
e-mail: [lcabeza@diei.udl.es](mailto:lcabeza@diei.udl.es), [csole@diei.udl.es](mailto:csole@diei.udl.es)

## Sweden

Chris Bales  
Solar Energy Research Center SERC  
Dept. of Energy  
Environment and Construction  
S-78188 Borlänge  
Schweden  
Tel: +46 (0)23 778707  
Fax: +46 (0)23 778701  
e-mail: [cba@du.se](mailto:cba@du.se)

## Switzerland

Jaques Bony Stephane Citherlet  
School of Engineering (HEIG-VD LESBAT)  
Route de Cheseaux 1  
CH-1400 Yverdon-les-Bains  
Tel: +41 24426 - 0  
Fax +41 24426 - 4477  
e-mail: [jacques.bony@heig-vd.ch](mailto:jacques.bony@heig-vd.ch)  
[stephane.citherelet@heig-vd.ch](mailto:stephane.citherelet@heig-vd.ch)

Peter Vogelsanger, Paul Gantenbein, Michel  
Haller, Robert Haberl, Heinz Marty  
SPF Solartechnik Prüfung Forschung  
Ingenieurschule Rapperswil ITR  
Oberseestrasse 10  
CH-8640 Rapperswil  
Tel: +41-55 222 4622  
Fax: +41-55 210 6131  
e-mail: [peter.vogelsanger@solarenergy.ch](mailto:peter.vogelsanger@solarenergy.ch),  
[paul.gantenbein@solarenergy.ch](mailto:paul.gantenbein@solarenergy.ch),  
[michel.haller@solarenergy.ch](mailto:michel.haller@solarenergy.ch),  
[Robert.haberl@solarenergy.ch](mailto:Robert.haberl@solarenergy.ch)  
[heinz.marty@solarenergy.ch](mailto:heinz.marty@solarenergy.ch)

Robert Weber  
EMPA  
Abt. Energiesysteme/Haustechnik  
Ueberlandstr. 129  
CH-8600 Duebendorf  
Tel: +41 1 823 4722  
e-mail: [Andreas.Weber@empa.ch](mailto:Andreas.Weber@empa.ch)

## **Anhang 2**

**Endbericht Subtask B, Report B8**

**Final report  
of Subtask B  
“Chemical and Sorption Storage”**

---

# Final report

## Of Subtask B “Chemical and Sorption Storage”

---

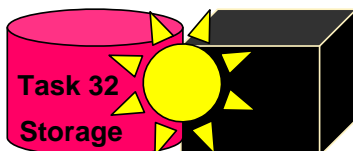
**A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme -  
Task 32**

**Advanced storage concepts  
for solar and low energy buildings  
Report B8 of Subtask B**

**February 2008**

Edited by:  
Chris Bales

Contributions from:  
Paul Gantenbein  
Dagmar Jaenig  
Henner Kerskes  
Martijn van Essen et al.  
Robert Weber





**Final Report of Subtask B “Chemical and Sorption Storage”**

by

Chris Bales (Subtask leader)

With contributions by:

Paul Gantenbein, SPF, Rapperswil, Switzerland,

Dagmar Jaenig, AEE-INTEC, Gleisdorf, Austria

Henner Kerskes, ITW, Stuttgart, Germany

Martijn van Essen, Herbert Zonntag, ECN, Petten and TU Eindhoven, Holland

Robert Weber, EMPA, Switzerland

Final report of Subtask B



## Executive Summary

This report is the final report of a Subtask of the Task 32 “Advanced Storage Concepts for solar and low energy buildings” of the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency.

As a final report of a Subtask it has two aims:

1. it summarizes all the works conducted in the Subtask during the period of the Task (June 2003 – December 2007) highlighting some important results that the participants in the Subtask reached and it refers to all the detailed documents that have been produced by the Subtask and Task 32,
2. it presents some hints on the management of an IEA Subtask in order to improve future collaborative works within this framework

In Subtask B, major achievements have been:

1. Identification of potentially suitable materials for long term storage of solar heat and publication of material properties.
2. Documentation of State of the Art in chemical and sorption storage in Task 32 Handbook.
3. Development of new concepts of short and long term storage of solar heat to prototype stage with lab and field tests.
4. Development of models for simulation of chemical and sorption storage.
5. Simulation of three systems with long term chemical or sorption storage with the Task 32 boundary conditions.
6. Support in the commercialisation of a chemical heat pump with short term thermal storage for solar heating and cooling applications.
7. Input for the storage part of the strategic research agenda of the European Solar Thermal Technology Platform, further refining the compact heat storage R&D questions that should be tackled on an international level.

## Table of Contents

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>DESCRIPTION OF SCOPE OF SUBTASK</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>PROJECTS WITHIN SUBTASK B</b>  | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b>MAIN RESULTS OF SUBTASK B</b>  | <b>4</b>  |
| 3.1      | Compact Chemical Seasonal Storage of Solar Heat (ECN and TU Eindhoven, Holland) | 4         |
| 3.2      | Closed Three-Phase Absorption (SERC, Sweden)                                    | 5         |
| 3.3      | Solid Closed Adsorption Storage (SPF, Switzerland)                              | 6         |
| 3.4      | Modestore (AEE INTEC, Austria)  | 6         |
| 3.5      | Monosorp (ITW, Germany)   | 7         |
| 3.6      | Two-Phase Closed Absorption Storage (EMPA, Switzerland)                         | 8         |
| <b>4</b> | <b>FUTURE WORK ON THE SUBTASK B TOPIC</b>                                       | <b>9</b>  |
| <b>5</b> | <b>MANAGEMENT ASPECTS OF SUBTASK B</b>  | <b>10</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERENCES</b>   | <b>12</b> |
| <b>7</b> | <b>PUBLICATIONS FROM SUBTASK B</b>  | <b>13</b> |
| 7.1      | Subtask reports   | 13        |
| 7.2      | Journal Articles  | 14        |
| 7.3      | Articles in Conferences   | 14        |
| 7.4      | Other reports   | 15        |



## IEA Solar Heating and Cooling Programme

The *International Energy Agency* (IEA) is an autonomous body within the framework of the Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) based in Paris. Established in 1974 after the first “oil shock,” the IEA is committed to carrying out a comprehensive program of energy cooperation among its members and the Commission of the European Communities.

The IEA provides a legal framework, through IEA Implementing Agreements such as the *Solar Heating and Cooling Agreement*, for international collaboration in energy technology research and development (R&D) and deployment. This IEA experience has proved that such collaboration contributes significantly to faster technological progress, while reducing costs; to eliminating technological risks and duplication of efforts; and to creating numerous other benefits, such as swifter expansion of the knowledge base and easier harmonization of standards.

The *Solar Heating and Cooling Programme* was one of the first IEA Implementing Agreements to be established. Since 1977, its members have been collaborating to advance active solar and passive solar and their application in buildings and other areas, such as agriculture and industry. Current members are:

|                     |             |               |
|---------------------|-------------|---------------|
| Australia           | Finland     | Portugal      |
| Austria             | France      | Spain         |
| Belgium             | Italy       | Sweden        |
| Canada              | Mexico      | Switzerland   |
| Denmark             | Netherlands | United States |
| European Commission | New Zealand |               |
| Germany             | Norway      |               |

A total of 39 Tasks have been initiated, 30 of which have been completed. Each Task is managed by an Operating Agent from one of the participating countries. Overall control of the program rests with an Executive Committee comprised of one representative from each contracting party to the Implementing Agreement. In addition to the Task work, a number of special activities—Memorandum of Understanding with solar thermal trade organizations, statistics collection and analysis, conferences and workshops—have been undertaken.

The Tasks of the IEA Solar Heating and Cooling Programme, both underway and completed are as follows:

**Current Tasks:**

- Task 32 *Advanced Storage Concepts for Solar and Low Energy Buildings*
- Task 33 *Solar Heat for Industrial Processes*
- Task 34 *Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools*
- Task 35 *PV/Thermal Solar Systems*
- Task 36 *Solar Resource Knowledge Management*
- Task 37 *Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation*
- Task 38 *Solar Assisted Cooling Systems*
- Task 39 *Polymeric Materials for Solar Thermal Applications*

**Completed Tasks:**

- Task 1 *Investigation of the Performance of Solar Heating and Cooling Systems*
- Task 2 *Coordination of Solar Heating and Cooling R&D*
- Task 3 *Performance Testing of Solar Collectors*
- Task 4 *Development of an Insolation Handbook and Instrument Package*
- Task 5 *Use of Existing Meteorological Information for Solar Energy Application*
- Task 6 *Performance of Solar Systems Using Evacuated Collectors*
- Task 7 *Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage*
- Task 8 *Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings*
- Task 9 *Solar Radiation and Pyranometry Studies*
- Task 10 *Solar Materials R&D*
- Task 11 *Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings*
- Task 12 *Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Applications*
- Task 13 *Advance Solar Low Energy Buildings*
- Task 14 *Advance Active Solar Energy Systems*
- Task 16 *Photovoltaics in Buildings*
- Task 17 *Measuring and Modeling Spectral Radiation*
- Task 18 *Advanced Glazing and Associated Materials for Solar and Building Applications*
- Task 19 *Solar Air Systems*
- Task 20 *Solar Energy in Building Renovation*
- Task 21 *Daylight in Buildings*
- Task 23 *Optimization of Solar Energy Use in Large Buildings*
- Task 22 *Building Energy Analysis Tools*
- Task 24 *Solar Procurement*
- Task 25 *Solar Assisted Air Conditioning of Buildings*
- Task 26 *Solar Combisystems*
- Task 28 *Solar Sustainable Housing*
- Task 27 *Performance of Solar Facade Components*
- Task 29 *Solar Crop Drying*
- Task 31 *Daylighting Buildings in the 21<sup>st</sup> Century*

**Completed Working Groups:**

*CSHPSS, ISOLDE, Materials in Solar Thermal Collectors, and the Evaluation of Task 13 Houses*

To find Solar Heating and Cooling Programme publications and learn more about the Programme visit [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) or contact the SHC Executive Secretary, Pamela Murphy, e-mail: [pmurphy@MorseAssociatesInc.com](mailto:pmurphy@MorseAssociatesInc.com)

September 2007

# What is IEA SHC Task 32

## “Advanced Storage Concepts for solar and low energy buildings” ?

The main goal of this Task is to investigate new or advanced solutions for storing heat in systems providing heating or cooling for low energy buildings.

- The first objective is to contribute to the development of advanced storage solutions in thermal solar systems for buildings that lead to high solar fraction up to 100% in a typical 45N latitude climate.
- The second objective is to propose advanced storage solutions for other heating or cooling technologies than solar, for example systems based on current compression and absorption heat pumps or new heat pumps based on the storage material itself.

Applications that are included in the scope of this task include:

- new buildings designed for low energy consumption
- buildings retrofitted for low energy consumption.

The ambition of the Task is not to develop new storage systems independent of a system application. The focus is on the integration of advanced storage concepts in a thermal system for low energy housing. This provides both a framework and a goal to develop new technologies.

The Subtasks are:

- Subtask A: Evaluation and Dissemination
- Subtask B: Chemical and Sorption
- Subtask C: Phase Change Materials
- Subtask D: Water tank solutions

Duration

July 2003 - December 2007.

[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) look for Task32

# IEA SHC Task 32 Subtask B

## “Chemical and Sorption”

This report is part of Subtask B of the Task 32 of the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency dealing with solutions of storage based on adsorption or absorption processes and on thermochemical reactions.

The density of storage for these techniques compared to that of water is theoretically 2 to 10 depending on the temperature range of comparison.

The topic of storing energy in an absorption process is not new. For cooling purposes at least it has been exploited since decades.

A new technology from Sweden, a three phase system both for cooling and heating purposes is however recent and was studied within Task 32.

Adsorption promising techniques on silicagel or zeolite materials, long time forgotten for solar energy, have been investigated in Task 32. Results are presented in this document.

Thermochemical reactions deserve much more effort than the one Task 32 could raise. Unfortunately despite its huge potential very few research money has been invested in this topic for decades. We hope Task 32 has helped to re-open this way of storing solar energy in a dense manner.

The report does not cover all aspects of the targeted topic of a Subtask since the rules of an IEA SHC Task is that participating countries share information on projects they decide to bring in the Task.

Projects presented in this report reflects the knowledge of the participating body presenting the project.

The Operating Agent would like to thank the authors of this document for their implication in the search of future storage solutions for solar thermal energy, the key to a solar future for the heating and cooling of our buildings.

Jean-Christophe Hadorn

Operating Agent of IEA SHC Task 32  
for the Swiss Federal Office of Energy

BASE Consultants SA - Geneva  
jchadorn@baseconsultants.com

### NOTICE:

The Solar Heating and Cooling Programme, also known as the Programme to Develop and Test Solar Heating and Cooling Systems, functions within a framework created by the International Energy Agency (IEA). Views, findings and publications of the Solar Heating and Cooling Programme do not necessarily represent the views or policies of the IEA Secretariat or of all its individual member countries.

# 1 Description of scope of Subtask

Subtask B dealt with a type of storage technology that is new for solar thermal, namely chemical reactions and sorption storage. The scope, in terms of general system aspects, for Subtask B was the same as that for the whole of Task 32, namely solar heating and cooling systems for residential buildings, principally detached houses for one up to a few families. Buildings with a larger specific heat load ( $>100 \text{ kWh/m}^2$  for Zurich climate) are not considered. The main focus was to be storage solutions sized to achieve a significant solar fraction.

In terms of temperature, the storage solutions have been limited to temperatures  $< 250^\circ\text{C}$ , with the emphasis on materials suitable up to around  $150^\circ\text{C}$ .

The scope in terms of storage concepts includes chemical reactions and thermo-chemical storage, which in this subtask is restricted to sorption processes, both adsorption and absorption. Figure 1 shows a classification of processes for chemical and thermo-chemical storage of heat. All types of the processes given in the diagram have been addressed in the task, but not all materials.

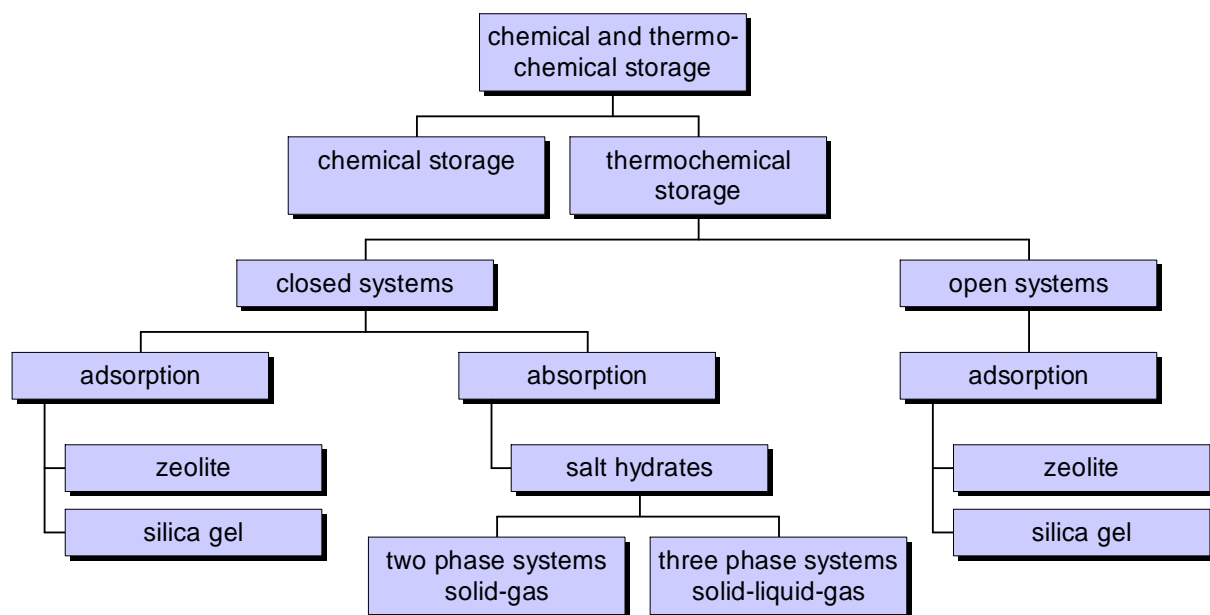


Figure 1. Classification of chemical and thermo-chemical processes for heat storage applications [1].



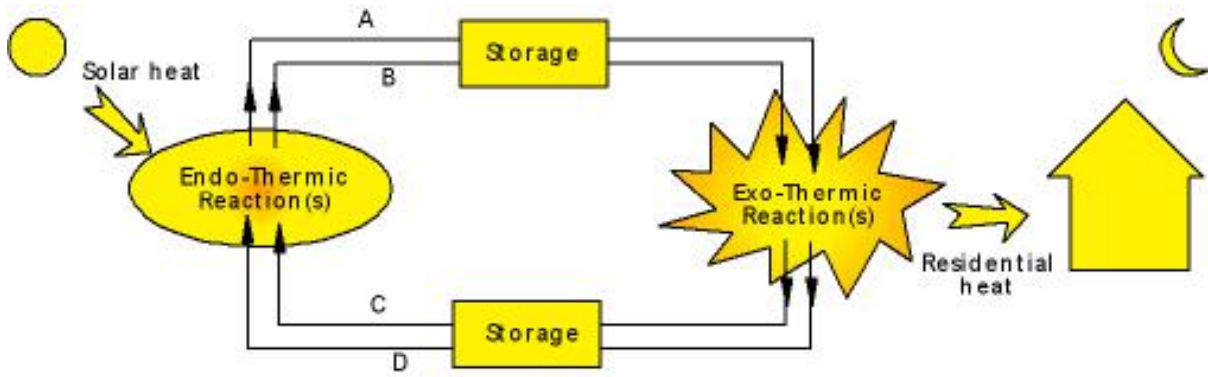


Figure 2. Schematic of Solar Energy Storage in Chemical reactions [1].

Figure 2 shows a schematic of the basic principles of chemical storage of heat, requiring reversible endothermic and exothermic reactions at suitable temperatures for this application. A, B, C & D refer to different chemical substances formed and used in these reactions.

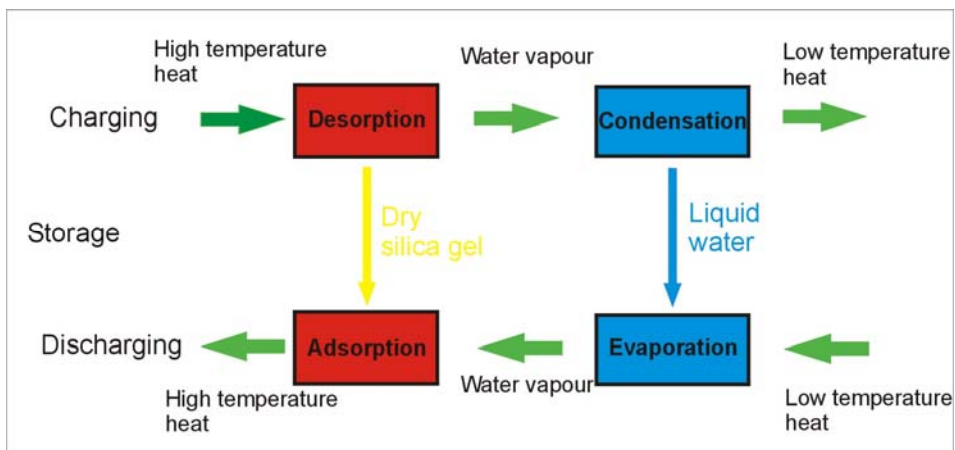


Figure 3. Working principle of an adsorption heat storage in a closed system [1].

Figure 3 shows the basic principle of a closed sorption (thermo-chemical process) where heat, but not matter, is exchanged with the ambient and the sorbate needs to be condensed in the charging phase and then evaporated in the discharge phase. The evaporation process requires low grade heat  $\sim 5^{\circ}\text{C}$  to evaporate the water used in all sorption stores in Subtask B. This low grade heat can be extracted from the building, thus cooling the building, or from the ambient or other “free” source while the exothermic sorption into the sorbent is used for heating the building. The thermal storage can thus be used for providing cooling or heating.

## 2 Projects within Subtask B

There were six related projects included in Subtask B of Task 32. Table 1 show their basic data. Only one of the projects deals with chemical reactions, that based at ECN in Holland. The others are based on sorption, two with close absorption and three with adsorption. Of these only one system is an open system, Monosorp that has been developed by ITW in Germany. All projects apart from that for the Thermo-chemical accumulator (TCA) deal with seasonal storage of heat, while the TCA project is more related to cold storage.

*Table 1. Projects within Subtask B of IEA-SHC Task 32 and brief description of the contents of relevance to Task 32.*

| Group / Project  | Description  |
|--|--|
| ECN and Univ. Eindhoven, Holland.<br><i>Compact chemical seasonal storage of solar heat.</i> | Theoretical analysis of suitable chemical reactions in the range 60 - 250°C. Choice of most suitable material and experimental studies of material properties (MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O). Simple modelling of the chemical heat store and system simulations with the Task 32 boundary conditions.   |
| SERC, Högskolan Dalarna, Sweden.<br><i>Evaluation of thermo-chemical accumulator (TCA).</i>  | Measurements on a prototype and commercial TCA chemical heat pump, based on a 3-phase closed absorption process, in the lab. Modelling of the process and of the prototype and commercial machines. System simulations for cooling in district heating and solar cooling systems for Swedish and Spanish conditions.   |
| Institut für Solartechnik SPF, Switzerland.<br><i>Sorption storage.</i>                      | Solid closed system adsorption process with zeolite or silica gel. Studies of material properties and theoretical analysis. Measurements of heat and mass transfer dynamics.   |
| AEE INTEC, Austria.<br><i>Modestore (Modular high energy density heat storage).</i>          | Design of closed system adsorption heat store with silica gel with all components integrated into one unit. Testing in the lab and in the field. Modelling of the store, design of system and then simulation for full scale domestic seasonal storage for the Task 32 boundary conditions.  |
| ITW, Univ. Stuttgart, Germany.<br><i>Monosorp.</i>   | Initial study of open adsorption system using zeolite. Heat storage and removal from the store utilises the ventilation heat recovery system and moisture in the house. Measurements on prototype heat store in the lab. Modelling of the store and design of system. System simulations of seasonal storage for German conditions as well as the Task 32 boundary conditions. |
| EMPA, Switzerland.<br><i>Closed NaOH absorption storage.</i>                                 | Development of closed two-phase absorption process with NaOH. Measurements on a prototype in the lab.  |

### 3 Main results of Subtask B

Only one storage solution dealt with in Subtask B has become commercial within the time frame of Task 32 (TCA). This has been commercialised by the company ClimateWell from Sweden, with over 35 stores/heat pumps having been sold, mostly for solar heating and cooling systems in Spain. ClimateWell were not represented directly within the Task, but had strong collaboration with SERC who did participate. A demonstration system of a closed adsorption store was made in the Modestore project, but the materials available for the field test were shown to be not suited for seasonal storage. Three other projects have got as far as design and testing of lab prototypes of sorption stores, and the sixth project is still in the stage of material characterisation.

#### 3.1 Compact Chemical Seasonal Storage of Solar Heat (ECN and TU Eindhoven, Holland)

The main findings of the studies on storage through chemical reactions, as reported by ECN and TU Eindhoven, are the following:

- An extensive theoretical study at ECN [2, Subtask B report B2] indicated magnesium sulphate heptahydrate as potential interesting storage material using the following reversible reaction:  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}(\text{s}) + \text{heat} \rightleftharpoons \text{MgSO}_4(\text{s}) + 7\text{H}_2\text{O}(\text{g})$   
The theoretical storage density of the material is 11 times that of water [Subtask B report B4].
- Initial characterization experiments reveal that the dehydration of  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  actually proceeds through three steps: first,  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  is formed after releasing one water molecule, in the second step 5.8 water molecules are released and finally  $\text{MgSO}_4$  is formed in the third step. The second dehydration step is most interesting since it is able to store ~420 kWh/m<sup>3</sup> energy (6 times that of water) [3, Subtask B report B4]
- After dehydration,  $\text{MgSO}_4$  was able to take up water in a single step until  $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  was formed. The vapour transport between the particles is the limiting factor for hydration of magnesium sulphate [3, Subtask B report B4]
- The cyclability of the material at hydration temperature of 20°C was very good, however, no water uptake was observed at 40°C, which may be caused by a lower water vapour pressure. Currently, experiments are performed to investigate this observation [Subtask B report B4].
- System studies were carried out, indicating that a large increase in solar fraction can be obtained by adding a TCM storage to a solar system with sufficient collector area. Care should be taken to find materials with a good DH (not too low for heating, but also not too high for the solar array). The system performance turned out to be very sensitive to the value of DH. Correspondingly, the system yield was found to decrease significantly if flat-plate collectors were used instead of vacuum tube collectors. [report B6].
- It was found that the coupling of the TCM system to a water storage tank significantly reduces the power requirements on the TCM reactor [report B6]. The water tank can then supply the high-power loads, while the TCM tank can afterwards recharge the water tank at a lower power level. Simulations were carried out for the case in which the solar collector system gives priority to the charging of the water tank and uses any excess heat to charge the TCM tank. However, it is now very important that the solar array is large

enough to be able to provide significant charging of the TCM tank. For the case of the 15 kWh/m<sup>2</sup>/a building in Zürich (total load 7.3 GJ for space heating and 10.9 GJ for domestic hot water), it was found that the collector array required to charge a 6.6 GJ TCM storage completely was about 20 m<sup>2</sup> vacuum tube if a TCM material with a DH of 66 kJ/mol of water was used; for higher DH the required collector area increases strongly.

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B1, B2, B4, B5 and B7.

### **3.2 Closed Three-Phase Absorption (SERC, Sweden)**

The main findings of the studies on the TCA technology [8], as reported by SERC, are the following:

- In comparison to storage in water, cold storage is more interesting than heat storage, as the available temperature range for water is much lower for cold than for heat. For the commercial machine the storage density for the store (that is also a heat pump) is roughly 5 times greater than that for water for cold whereas it is only 1.5 times greater for heat [4].
- The thermal storage of the TCA is sufficient for small scale solar cooling applications that do not have large night cooling loads. Otherwise additional storage is required. [4,5].
- The temperature lift for the prototype and commercial heat pump/stores is relatively low and limits the application range to systems with low temperature differences between cold/heat distribution system and the desired temperature of the conditioned space [5].
- LiCl, the salt used in all stores so far, is not suitable for seasonal storage due to its high cost (~3600 €/m<sup>3</sup>) [4]. However, the storage density would be approximately 2.7 times that of water for seasonal storage of 1000 kWh.
- A TRNSYS model of process [6] and the controller for commercial machine [7] has been developed and is available from the authors.
- The problems with unwanted crystallisation and non-condensable gases in the storage have been solved and the store has been redesigned for rational production resulting in a reliable process [4, Subtask B report B7]. The technology has been commercialised under the product name ClimateWell 10. The heat pump/store is sold mainly for solar heating and cooling applications in the Mediterranean countries [9].

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B1, B3, B4, B5 and B7.

### **3.3 Solid Closed Adsorption Storage (SPF, Switzerland)**

The main findings of the studies on closed adsorption storage, as reported by SPF in Switzerland, are the following:

- The geometrical parameters and the dynamical behaviour of the closed sorption system are strongly related. The available temperature depends on the pressure of the sorbate and the driving force is limited by the external temperature ranges - the low temperature energy source - the mid temperature source/sink and – the high temperature energy source, which is aimed to be a solar collector.
- The measured temperature behaviour as a function of time in the sorbent module and in the sorbate (water) tank is indicating an optimum cycle time in the range 3 to 8 min. The determined power output shows a higher system performance for cooling than for heating because of a higher heat transfer in the evaporation of the sorbate. Regarding the short cycle time and the higher power output for cooling, the adsorption process is more suitable for cooling application of a thermally driven heat pump. At this development level a scaling up to long term storage is doubtful.
- A further understanding of the sorption system will be needed for a maximum power design because it will be determined by the geometric dimension of the system i.e. particle distribution of the sorbent fixed bed in a defined solid sorbent – liquid sorbate material combination.
- In a comparison of the solid adsorption and a the liquid absorption processes the liquid system could be favoured for storage application – exactly because the fluid can be pumped from one storage tank through a reaction zone to an other storage tank.
- Thermal energy storage in a sorption storage system is depending on the available thermal energy sources and sinks. So, the selection of the sorbent – sorbate material combination has to be done under these general conditions, beside of others. With the idea of the reduction of moving parts i.e. pumps in a solid sorption system the power limiting low heat transfer coefficients are leading to a layer structure in the sorption module. But a layer structure applied to a heat exchanger will limit the energy output of the system.

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B1, B3, B4, B5 and B7.

### **3.4 Modestore (AEE INTEC, Austria)**

The main findings of the studies on closed adsorption storage, as reported by AEE-INTEC in Austria, are the following:

- A sorption heat store with the material pair silica gel and water was developed, the system was scaled up for use in a single-family house and a first pilot plant was built.
- In this project, it could be shown for the first time that sorption technology for heat storage is technically feasible in a live test. The system concept, as well as the control strategy, have been proven to be functional under real operating conditions.
- The operation of the system was satisfactory and the system concept could be implemented in further systems. It has been shown that sorption storage with the used material combination is technically feasible. However, the temperature lift that can be achieved is only technically useful in a relatively small range of water contents. As long as the silica gel is very dry, the temperature lift is sufficient. But starting at a water

content of approximately 13%, the temperature lift is not large enough to compensate for higher losses in heat exchangers, pipes and tanks. That means that the energy density of the material that can be used in a real application is much smaller than both the theoretical one and what has been measured under laboratory conditions. Therefore, a large quantity of material would be necessary which makes sense neither technically nor economically.

- The used material has been chosen because it is manufactured in mass production and therefore inexpensive. Up to now, there are very few research institutes that develop sorption material specifically for heat storage. In most cases, the focus is on heat pumps, cooling machines or gas separation and drying processes. Singular projects have shown that the development of sorption materials for heat storage is technically feasible. So far, these materials have been expensive or for example corrosive.
- A TRNSYS model for the sorption store including the evaporator/condenser heat exchanger has been developed and a TRNSYS deck has been set up for the Task 32 reference conditions.
- For the simulations reported in report B6, a different sorption material has been used to show the possibilities of the store/system concept. The system concept was similar to the one used in the field test system which was using the sorption store only for space heating and not for domestic hot water preparation. This was done because of the low temperature lift of the material pair silica gel / water. The temperature lift of the material chosen for the simulations is much higher. Therefore, domestic hot water preparation would be feasible. But in the simulations, the solar fraction was limited to a value below 100% even for very large storage volumes because of the mentioned system design.

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B1, B3, B4, B5, B6 and B7.

### **3.5 Monosorp (ITW, Germany)**

The main findings of the studies on open adsorption storage designed for seasonal storage of solar heat, as reported by ITW in Germany, are the following:

- An effective sorption storage integrated in a conventional mechanical ventilation system has been developed in the Institute of Thermodynamics and Thermal Engineering (ITW), University of Stuttgart and was theoretical and experimental investigated
- For the first time, highly filled zeolite honeycomb structures made by extrusion of zeolite powder using thermoplastic polymers as plasticising aid and binder are used as adsorbent. Honeycomb structures have decisive advantages compared with fixed beds of spheres or other shaped bodies. They show excellent adsorption kinetics and generate low pressure losses along the process length. In open cycle processes low pressure drop is important to minimise the electric power consumption of the fans.
- Theoretical analysis has been carried out. Special attention has been given to precisely incorporate the appropriate physical and chemical processes that occur during adsorption and desorption, into the theoretical model; this will then reflect the proper performance of the proposed sorption system under real practical conditions.
- Simulation of the space heating for a residential building based on sorption storage was carried out using TRNSYS. The sorption process was evaluated using a 1-D two-phase model with heat- and mass-balance in a separate numerical routine.

- A prototype sorption storage tank integrated into a commercially available residential heating system has been built at ITW. The system has been scaled to achieve short cycles on a weekly basis, so that the system could be tested under varying conditions.
- Theoretical analysis shows that, compared to the adsorption period, the desorption process is more sensitive to several input parameters.
- Experiments have been carried out that demonstrate the technical feasibility of the proposed system under real operating condition. The experimental results concerning the thermal behaviour of the adsorption/desorption process and the achieved heat storage capacity are in good agreement with the theoretical analyses. Furthermore it has been shown that the solar thermal desorption under transient conditions using high performance CPC collectors performs well. Special attention was given to achieve the necessary high desorption temperature of 180°C inside the sorption store.

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B1, B4, B5, B6 and B7.

### **3.6 Two-Phase Closed Absorption Storage (EMPA, Switzerland)**

The main findings of the studies on closed adsorption storage, as reported by EMPA in Switzerland, are the following:

- The heat capacity of the NaOH storage (2 stages) compared to a water storage is about 3 times better for domestic hot water (DHW) and about 6 times better for heating purposes (heating floor). The calculations are made for a building located in central Europe.
- The heat capacity of a one stage (one process unit per storage) system especially for DHW is insufficient. The above specified heat capacity is only given with a second stage.
- The storage is intended to be charged with solar energy with no auxiliary heater. To avoid too big storage volumes, the buildings must be built in low energy standard like "Passive House" or "Minergie" (Swiss standard).
- NaOH – lye as sorbent has a good cost benefit ratio. NaOH is a by-product of the PVC production and costs only about 250€/m<sup>3</sup>. The estimated volume of NaOH – lye for a passive house is about 5 m<sup>3</sup>. This figure depends strongly on the climate and the used solar collector area.
- The separation of the process units and the tanks into independent modules, leads to a simple control strategy. In the process unit, there are only small amounts of mass of the chemical process involved. This allows continuous operation.

More details can be found in the IEA-SHC Task 32 reports: B3, B4, and B7.

## 4 Future work on the Subtask B topic

The work in Subtask B (and outside of it) has taken chemical and sorption storage further from theory to practice and commercialisation. However, there are a number of things that were planned for the Task but which were not completed:

- No simulations of short term sorption storage for heating and cooling were carried out with the Task 32 boundary conditions.
- No simulations of closed sorption acting as heat pumps together with a boiler were performed.
- Boreholes as heat sink and source were planned to be simulated for a number of systems, but the parameter values for Spanish conditions were not identified in time.
- Monitoring and documentation of prototypes and commercial stores in the field.
- Theoretical study and lab testing of two stage charge or discharge of the two-phase absorption store. This should increase the storage density by making it possible to discharge the store to lower concentrations at the cost of lower storage efficiency.

The work of Subtask B has shown that there are promising sorption storage solutions that should be further developed and tested at least in field trials. The work has also shown that current materials are a limitation for the processes that have been studied. The following areas are suggested for future work in the field, in addition to the studies listed above that were planned but not completed within this Subtask:

- Research in materials for seasonal storage. This is required for closed three-phase absorption, open and closed adsorption as well as chemical reactions. The current materials are either too expensive, do not have the correct properties, or have not yet been shown to work in prototypes with realistic boundary conditions. Fundamental materials research is needed to get a better understanding of the physicochemical mechanisms.
- The work on  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  shows it has a very good potential for seasonal storage. However, the material needs to be tested in a prototype to check whether there are any practical problems with melting, cyclability and degradation in general as well as heat transfer.
- The numerical modelling of the heat and mass transfer processes in thermochemical materials is still very basic. Model improvement will result in new tools to better understand the dynamic behaviour of the TCM processes and assist the material development in this field.
- For short term storage, research is required to find suitable materials and operational conditions that give a suitable temperature lift for cooling and heating together with sufficiently high energy density for storage. The cost of the material is not as important as for seasonal storage, but it is still an important factor.
- Studies on sources of low grade heat for heat pumping using closed processes. The sorption (and chemical reaction) processes studied in this Subtask, all use water. This needs to be evaporated before it is recombined with the active substance. This energy has to be either extremely low cost or free, and additionally has come from a heat source of at least  $\sim 5^\circ\text{C}$ .
- The Monosorp concept is very promising and is suited for a full scale field test. However, at present there is no commercial method for extruding the zeolite monoliths required in the store.



- Seasonal stores are not charged once and then discharged. During autumn and spring there are periods with both charging and discharging. The store operates at different temperatures for these two states. More study is required to understand how best to recover the sensible heat during these changes in store temperature and whether it is best to segment the store so that only smaller portions undergo these changes.
- One focus for further development in this technology field can be on new materials – like ionic liquids or functional adsorption materials (H. Kakiuchi, Mitsubishi Chemical Group) – which will have a higher sorption mass ratio in the temperature range reachable by solar thermal collectors.

## 5 Management aspects of Subtask B

Subtask B was organized this way:

- The general aims of the Subtask were defined in the Task definition.
- In practice, all groups that wanted to participate and whose projects were within the scope of the Subtask were welcomed into it. One group was only active in Subtask B at the very end of the Subtask, that from EDF in France.
- Additionally, other groups have contributed to the chapters in the handbook and initial meetings, but have not received finance to participate fully.
- Subtask B meetings were held in the plenary sessions of the Task 32 experts meetings. At the first meetings, the majority of the time was devoted to presentations of recent studies, but towards the end more emphasis was put into discussions on inter-comparison and contents of reports.
- Additionally all members working with adsorption have attended a meeting on adsorption including other interested groups.
- The subtask leader visited several of the groups in order to gain a better understanding of their work.
- The members of the Subtask have had the opportunity of visiting most of the labs used in the studies during the course of the Task meetings.

What was efficient was the open exchange of information between groups. The presentations have led to productive formal and informal discussions. The people involved in the Subtask have a large number of years of experience and have been able to give constructive criticism and advice to one another. The quality of the work has been high. The fact that the whole Task has had a common goal and framework for simulations and inter-comparison has been appreciated by all. The discussions have been more focussed and it has been easier to put one's own work into perspective.

Seasonal storage has been the focus of most of the work in Subtask B. The fact that there has been a project working with seasonal storage using supercooling of phase change materials in Subtask C has added another dimension to the inter-comparison of possible technologies.

However, the Subtask has not resulted in any deeper direct collaboration or interchange of staff or resources between the participants. The different projects were essentially related to different processes requiring different approaches. Certain common elements were found, but these were not elaborated as the projects were in different phases. Additionally, not that

much effort has been possible to devote within the individual projects for the inter-comparison work due to the fact that they have been funded nationally. Finally the funding has sometimes not been sufficient to provide time for system simulation even though the models are all available.

The nature of IEA-SHC is such that this picture is likely to be repeated, with the majority of the benefit being interchange of information between mostly independent projects with the possibility of inter-comparison based on common boundary conditions. However, the depth of these inter-comparisons is dependent on the individual funding of each project. It is suggested that common funding is applied for that will finance the central aspects of future Tasks, such as definition of boundary conditions, the exchange of experts between parts of a Task and the inter-comparison work. It should also finance the work required of a number of participants to produce the Task specific results from their ongoing individual projects. EC funded projects could provide a partial basis for the common funding of parts of a Task, but this contribution would probably be restricted to participants from EU countries. National counter-financing for non-EU countries is then a prerequisite to a balanced funding model. This touches the core of the present IEA model for Implementing Agreements. This model should be revisited on a higher level, taking account of the increasing importance of international collaboration in energy R&D and the decreasing future number of scientists available.

## 6 References

1. Hadorn, J.-C., ed. *Thermal Energy Storage for Solar and Low Energy Buildings .- State of the Art*. 2005, Lleida University: Lleida, Spain. ISBN: 84-8409-877-X.
2. Visscher, K., Veldhuis, J.B.J., Oonk, H.A.J., Van Ekeren, P.J. and Blok, J.G. *Compacte chemische seizoensopslag van zonnewarmte*, 2004, ECN report C04074
3. Herbert Zondag, Martijn van Essen, Zeming He, Roelof Schuitema, Wim van Helden, *Characterization of MgSO<sub>4</sub> for thermochemical storage* in Second International Renewable Energy Storage Conference (IRES II), 2007, Bonn, Germany
4. Bales, C. *Thermal Storage With The Thermo-Chemical Accumulator (TCA)*. in *Ecstock 2006*. 2006. Pomona, NJ, USA.
5. Bales, C. *Solar Cooling and Storage with the Thermo-Chemical Accumulator*. in *Eurosun 2006*. 2006. Glasgow, UK.
6. Nordlander, S., C. Bales, *Type 215 – ClimateWell 10 Barrel Model Description*, SERC, Högskolan Dalarna, 2007. [www.serc.se](http://www.serc.se).
7. Nordlander, S., C. Bales, *Type 216 – ClimateWell 10 Controller Model*, SERC, Högskolan Dalarna, 2007. [www.serc.se](http://www.serc.se).
8. Bales, C. and S. Nordlander, *TCA EVALUATION - Lab Measurements, Modelling and System Simulations*. 2005, SERC, Högskolan Dalarna: Borlänge, Sweden. ISRN DU-SERC--91—SE. [www.serc.se](http://www.serc.se).
9. [www.climatewell.com](http://www.climatewell.com). Accessed January 28<sup>th</sup> 2008.

## 7 Publications from Subtask B

### 7.1 Subtask reports

These are available from the IEA-SHC website at [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) under Task 32.

**B1: Selection of Concepts.** This report gives details of five projects involved in the Subtask. One project started after this report was published, that of EMPA in Switzerland, so is not included.

**B2: Thermal Properties of Materials for Thermo-chemical Storage of Solar Heat.** This is a short report giving details of properties of sorption materials. There is also a very short summary of an evaluation study of materials for chemical storage of solar heat. The contents of the report can also be found in the Task handbook.

**B3: Laboratory Prototypes of Thermo-Chemical Storage Units.** This report has been superseded by report B4 that has the same data as well as that for two other projects.

**B4: Laboratory Tests of Chemical Reactions and Sorption Storage Units.** This report describes the results of laboratory measurements on five store prototypes, including data for energy density and boundary conditions. A short inter-comparison of the prototypes is made. This report is the same as B3, but with two additional projects: that of Monosorp open adsorption store; and characterisation of the hydration and dehydration of  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

**B5: Store Models of Chemical and Sorption Storage Units.** This report describes briefly the models developed within the Subtask and gives details of their validation. The full model description is not given, but is referred to in the text.

**B6: Simulation of Chemical and Sorption Stores.** This report has a short cover document giving details of the methodology and nomenclature as well as briefly describing the boundary conditions. The results for the three different systems that were simulated are given in separate appendices. Monosorp, Modestore, and compact chemical storage are the three systems that were simulated. The cover document and appendices are available as separate documents.

**B7: Improved Design of Sorption Storage Units.** This report summarises the advances achieved within the time frame of Task 32. A short report is given for each of the projects active in the Subtask.

**B8: Final Report of Subtask B “Chemical and Sorption Storage”.** This report summarises the work of Subtask B of IEA-SHC Task 32. The main results and conclusions are given as are suggestions for future work. A short discussion on management aspects of the SubTask is also given.

## 7.2 Journal Articles

Weber, R., Dorer, V.: *Long-term heat storage with NaOH*, Vacuum, 2007, [doi:10.1016/j.vacuum.2007.10.018](https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2007.10.018).

## 7.3 Articles in Conferences

- Bales, C. (2006) Thermal Storage With The Thermo-Chemical Accumulator (TCA). In *Proceedings Ecostock 2006, CD-rom*, Pomona, NJ, USA.
- Bales, C. (2006) Solar Cooling and Storage with the Thermo-Chemical Accumulator. In *Proceedings Eurosun 2006, CD-rom*, Glasgow, UK.
- Bales, C., J.-C. Hadorn, W. Streicher and H. Drück (2005) Advanced Storage Concepts For Solar Houses And Low Energy Buildings - IEA-SHC Task 32. In *Proceedings ISES Solar World Congress 2005 CD-rom*, Orlando, Florida, USA. <http://www.ases.org/solar2005/swc2005.htm>
- Bales, C., F. Setterwall and G. Bolin (2004) Development of the Thermo Chemical Accumulator (TCA). In *Proceedings Eurosun 2004, CD-rom*, Freiburg, Germany.
- Bales, C., F. Setterwall and G. Bolin (2005) Solar Driven Chemical Heat Pump With Integral Storage - The Thermo-Chemical Accumulator (TCA). In *Proceedings First International Conference of Solar Air Conditioning*, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany.
- Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Thermo-Chemical Storage for Solar Space Heating in a Single-Family House, ECOSTOCK conference, Richard Stockton College, New Jersey, Mai 2006.
- Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta: Solares Heizen mit einem Sorptionsspeicher in einem Einfamilienhaus - Erste Betriebserfahrungen mit einer Pilotanlage, Proceedings of OTTI - Symposium Thermische Solarenergie, Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (in German), 2006.
- Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Derzeitige Möglichkeiten und Grenzen von Sorptionsspeichern – Ergebnisse aus dem Testbetrieb in einem Einfamilienhaus, Proceedings of Symposium Gleisdorf Solar 2006 (in German), 2006.
- Kerskes, H., H.Müller-Steinhagen (2004): MonoSorp – ein weiterer Schritt auf dem Weg zur vollständigen solarthermischen Gebäudeheizung, Tagungsband 14. Symposium Thermische Solarenergie, page 169 – 173, 2004, Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg, ISBN 3-934681-6
- Kerskes, H., K.Sommer, H.Müller-Steinhagen (2006): An Effective Application of an Open Adsorption Process for Solar Thermal Heat Storage, *Proceedings Eurosun 2006, CD-rom*, Glasgow, UK.
- Kerskes, H., K.Sommer, H.Müller-Steinhagen (2007): Solarthermische Energiespeicherung durch offene Adsorptionsverfahren und ihr Potential für die Gebäudeheizung, Tagungsband 17. Symposium Thermische Solarenergie, 2007, Otti-Technologie-Kolleg, Regensburg

## 7.4 Other reports

- Bales, C. and S. Nordlander (2005) SERC report ISRN DU-SERC--91--SE: *TCA EVALUATION - Lab Measurements, Modelling and System Simulations*, SERC, Höskolan Dalarna, Borlänge, Sweden.[www.serc.se](http://www.serc.se).
- H.Kerskes, H.Müller-Steinhagen (2006): MonoSorp – ein integrales Konzept zur solarthermischen Gebäudeheizung mit Sorptionsspeicher, Final report in research program BWPlus, [www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/fofaweb/xindex.html](http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/fofaweb/xindex.html)
- Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Wagner, Waldemar; Isaksson, Charlotta (2006): Betriebserfahrungen mit einem Sorptionsspeicher in einer ersten Pilotanlage, *Journal erneuerbare energie*, ee 2-06, Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE (in German), 2006.
- Nordlander, S. and C. Bales (2007): *TRNSYS TYPE 215 – ClimateWell 10 Barrel Model Description*, SERC, Höskolan Dalarna, Borlänge, Sweden.[www.serc.se](http://www.serc.se).
- Nordlander, S. and C. Bales (2007): *TRNSYS TYPE 216 – ClimateWell 10 Controller Model*, SERC, Höskolan Dalarna, Borlänge, Sweden.[www.serc.se](http://www.serc.se).
- Wagner, Waldemar; Jähnig, Dagmar; Isaksson, Charlotta; Hausner, Robert (2006): Final report of Austrian research project MODESTORE. A project in the framework of the research program ‚Haus der Zukunft‘, [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at) (in German), 2006.
- Wagner, Waldemar; Jähnig, Dagmar; Hausner, Robert; Isaksson, Charlotta (2006): Final report EU Project MODESTORE (Modular High Energy Density Sorption Storage), FP5 DG TREN, contract number: NNE5/2001/979, Deliverable D6: System prototype storage module (Austria), Deliverable D9: Installed system equipped with monitoring devices in Austria, Deliverable D14: Final Report on Austrian Field Test Period (Performance and Evaluation), 2006.

## **Anhang 3**

### **Endbericht Subtask C, Report C8**

**Final report  
of Subtask C  
“Phase Change Materials”**

---

# Final report of Subtask C “Phase Change Materials”

---

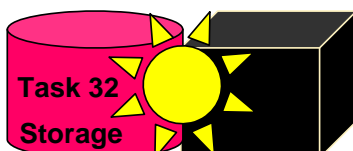
**A Report of IEA Solar Heating and Cooling programme -  
Task 32**

**Advanced storage concepts  
for solar and low energy buildings  
Report C8 of Subtask C**

**March 2008**

Edited by:  
Wolfgang Streicher

Contributions from:  
Jørgen M. Schultz  
Cristian Solé & Luisa Cabeza  
Jacques Bony & Stephane Citherlet  
Andreas Heinz





**Report C8 of Subtask C:Phase Change Materials**

by

Wolfgang Streicher (Subtask leader)\*

With contributions by:

Bony, J, Citherlet, S., HEIG-VD, Yverdon-les-Bains, Switzerland,

Cabeza, L., Sole, C., University of Lleida (Spain),

Schultz, J., M., Furbo, S., BYG DTU, Department of Civil Engineering (Denmark)

Heinz, A., Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology (Austria)

Final report of Subtask C

**IWT** TU Graz  
Institut für Wärmetechnik

 TU  
Graz  
Graz University of Technology

\*Institute of Thermal Engineering

Graz University of Technology Austria

Inffeldgasse 25 B, A-8010 Graz

[w.streicher@tugraz.at](mailto:w.streicher@tugraz.at)

[www.iwt.tugraz.at](http://www.iwt.tugraz.at)

## Executive Summary

This report is the final report of a Subtask of the Task 32 “Advanced Storage Concepts for solar and low energy buildings” of the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency.

As a final report of a Subtask it has two aims:

1. it summarizes all the work conducted in the Subtask during the period of the Task (June 2003 – December 2007) highlighting some important results that the participants in the Subtask reached and it refers to all the detailed documents that have been produced by the Subtask and Task 32,
2. it presents some hints on the management of an IEA Subtask in order to improve future collaborative works within this framework

In Subtask C, major achievements have been:

1. Documentation of State of the Art in PCM storage in the Task 32 Handbook [1].
2. Development of various heat store laboratory prototypes including PCM either in containers located in a more or less common water store, or with PCM as the storage fluid with an immersed heat exchanger for charging and discharging. While normally subcooling of the PCM is tried to be avoided, one application makes active use of this feature in order to achieve long term heat storage.
3. Experimental testing of these stores in the laboratories under various conditions and PCM contents in order to characterize energy content, heat transfer, heat losses etc.
4. Development of four simulation models for the TRNSYS simulation environment. Two models deal with macroencapsulated PCM in containers of various shapes with a number of different heat exchangers and in- and outlets available. One store-model simulates a store filled with PCM with an immersed finned tube heat exchanger. The last model deals with the subcooling long term heat storage.
5. Finally seasonal simulations were performed from 4 groups by integrating these PCM store models in complete systems for various applications. The applications were mainly related to the reference conditions developed in Subtask A for solar combisystems (and are therefore comparable to results from other subtasks) but also for conventional systems using the PCM store to reduce the cycling operation for conventional boilers.
6. Unfortunately most of the applications could not show a significant improvement of PCM stores compared to conventional water stores. Only the long term heat storage with subcooled liquid PCM shows the possibility to achieve 100 % solar fraction with PCM store volumes of about 10 m<sup>3</sup> for a 135 m<sup>2</sup> floor area passive houses (15 kWh/(m<sup>2</sup>a) space heating demand). Water stores have to be far bigger to achieve the 100 % solar fraction. 80 – 90 % solar fraction can be achieved also with water stores of 5 - 10 m<sup>3</sup>.
7. Input for the storage part of the strategic research agenda of the European Solar Thermal Technology Platform, further refining the compact heat storage R&D questions that should be tackled on an international level.

## Table of Contents

|  |           |
|--|-----------|
| <b>DESCRIPTION OF SCOPE OF SUBTASK C .....</b>                 | <b>8</b>  |
| <b>1 PROJECTS WITHIN SUBTASK C .....</b>                       | <b>9</b>  |
| <b>2 MAIN RESULTS OF SUBTASK C.....</b>                        | <b>11</b> |
| 2.1 Results of the laboratory measurements (Reports C3, C4) .. | 11        |
| 2.2 Simulation modules developed (Report C5).....              | 16        |
| 2.3 Results of System simulations (Report C6) .....            | 17        |
| 2.4 Final conclusions.....                                     | 20        |
| <b>3 FUTURE WORK ON THE SUBTASK C TOPIC.....</b>               | <b>20</b> |
| <b>4 MANAGEMENT ASPECTS OF SUBTASK C .....</b>                 | <b>21</b> |
| <b>5 REFERENCES.....</b>                                       | <b>22</b> |



## IEA Solar Heating and Cooling Programme

The International Energy Agency (IEA) is the energy forum for 26 of the Economic Cooperation and Development's (OECD) 30 member countries. Established in 1974 after the first "oil shock," the IEA is committed to carrying out a comprehensive program of energy cooperation among its member countries and the Commission of the European Communities. The IEA is the source of authoritative energy statistics as well as research and analysis on all aspects of world energy.

Since 1974, the IEA has provided a legal framework, through IEA Implementing Agreements such as the *Solar Heating and Cooling Agreement*, for international collaboration in energy technology research and development (R&D) and deployment. This IEA experience has proved that such collaboration contributes significantly to faster technological progress, while reducing costs; eliminates technological risks and duplication of efforts; and brings multiple other benefits, such as swifter expansion of the knowledge based and easier harmonization of standards.

The *Solar Heating and Cooling Programme* was one of the first IEA Implementing Agreements to be established. Since 1977, its 20 members have been collaborating to advance active solar, passive solar and photovoltaic technologies and their application in buildings and other areas, such as agriculture and industry.

|                     |             |                |
|---------------------|-------------|----------------|
| Australia           | Finland     | Portugal       |
| Austria             | France      | Spain          |
| Belgium             | Italy       | Sweden         |
| Canada              | Mexico      | Switzerland    |
| Denmark             | Netherlands | United Kingdom |
| European Commission | New Zealand | United States  |
| Germany             | Norway      |                |

A total of 35 Tasks have been initiated, 25 of which have been completed. Each Task is managed by an Operating Agent from one of the participating countries. Overall control of the program rests with an Executive Committee comprised of one representative from each contracting party to the Implementing Agreement. In addition to the Task work, a number of special activities—Memorandum of Understanding with solar thermal trade organizations, statistics collection and analysis, conferences and workshops—have been undertaken.

## What is IEA SHC Task 32

### “Advanced Storage Concepts for solar and low energy buildings” ?

The main goal of this Task is to investigate new or advanced solutions for storing heat in systems providing heating or cooling for low energy buildings.

- The first objective is to contribute to the development of advanced storage solutions in thermal solar systems for buildings that lead to a high solar fraction of up to 100% in a typical 45N latitude climate.
- The second objective is to propose advanced storage solutions for other heating or cooling technologies than solar, for example systems based on current compression and absorption heat pumps or new heat pumps based on the storage material itself.

Applications that are included in the scope of this task include:

- new buildings designed for low energy consumption
- buildings retrofitted for low energy consumption.

The ambition of the Task is not to develop new storage systems independent of a system application. The focus is on the integration of advanced storage concepts in a thermal system for low energy housing. This provides both a framework and a goal to develop new technologies.

The Subtasks are:

- Subtask A: Evaluation and Dissemination
- Subtask B: Chemical and Sorption
- Subtask C: Phase Change Materials
- Subtask D: Water tank solutions

Duration

July 2003 - December 2007.

[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org) look for Task32

## **IEA SHC Task 32 Subtask C**

### **“Phase Change Materials”**

This report is part of Subtask C of the Task 32 of the Solar Heating and Cooling Programme of the International Energy Agency dealing with solutions for storage based on Phase Change Materials (PCM).

It is the final subtask report that presents the major achievements within a Subtask and the remaining open questions. It presents a summary of the results and not the details to be found in other Subtask reports, which are listed in the reference chapter, and that can be found on the IEA web site [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org), when the report was classified as public by the IEA SHC Executive Committee.

The storage density of PCMs compared to water is theoretically by a factor of 1.2 to 5 higher, depending on the temperature range of comparison. Small temperature differences will favour PCM solutions, whereas larger temperature ranges, 30 to 60 K and more will probably favour sensible storage in water.

The application of PCM for solar energy storage is not completely new, but the way Task 32 has handled it is new. From material to system and simulation, the process was application oriented: a solar combisystem has a target.

PCM could also be used to reduce the cycling of boilers in a small volume tank. This new idea was also investigated in Task 32 in a project bringing more insight on the usefulness of PCMs in storing heat and power.

The report does not cover all aspects of the topic, since the rule of an IEA SHC Task is, that participating countries share information on projects they decide to bring in the Task.

Projects presented in this report reflect the knowledge of the participating body presenting the project.

The Operating Agent would like to thank the participants of all Subtasks within Task 32 for their implication in the search of future storage solutions for solar thermal energy, the key to a solar future for the heating and cooling of our buildings.

Jean-Christophe Hadorn

Operating Agent of IEA SHC Task 32  
on behalf of the Swiss Federal Office of Energy

BASE Consultants SA - Geneva  
[jchadorn@baseconsultants.com](mailto:jchadorn@baseconsultants.com)

#### **NOTICE:**

**The Solar Heating and Cooling Programme, also known as the Programme to Develop and Test Solar Heating and Cooling Systems, functions within a framework created by the International Energy Agency (IEA). Views, findings and publications of the Solar Heating and Cooling Programme do not necessarily represent the views or policies of the IEA Secretariat or of all its individual member countries.**

## Description of scope of Subtask C

This Subtask focuses on solutions for storing heat or "cold" using Phase Change Materials (PCM).

The scope, in terms of general system aspects, for Subtask C was the same as that for the whole of Task 32, namely solar heating and cooling systems for residential buildings, principally detached houses for one up to a few families. Buildings with a larger specific heat load ( $>100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  for Zurich climate) are not considered. The main focus was to find storage solutions sized to achieve a significant solar fraction but also for other applications in the heat storage field for domestic housing, especially to reduce the cycling rate of conventional boilers.

All solutions with PCM stores were compared to pure water stores.

Some solutions using such materials have already been tested in full scale pilot plants and some durable commercial products are already on the market for special applications (Cristopia, Rubitherm among others).

Detailed activities include

- the selection of suitable materials,
- the development of storage prototypes and
- the optimization of existing solutions in an integrated system such as the reference combisystem defined by Subtask A.

Figure 1 shows a classification of processes for PCM storage of heat, in Subtask C only the paraffins (analytical grade) and hydrated salts have been addressed.

In terms of temperature, the storage solutions have been limited to temperatures  $< 85^\circ\text{C}$ , because the maximum needed temperature for the domestic applications with low temperature heating systems is the DHW demand with around  $50^\circ\text{C}$ . The phase change temperature of the materials chosen (mainly sodium acetate trihydrate, partly embedded in a graphite matrix to increase the thermal conductivity) is at about  $58^\circ\text{C}$ . For some other tests additional PCM with a lower phase change temperature was chosen (paraffin).

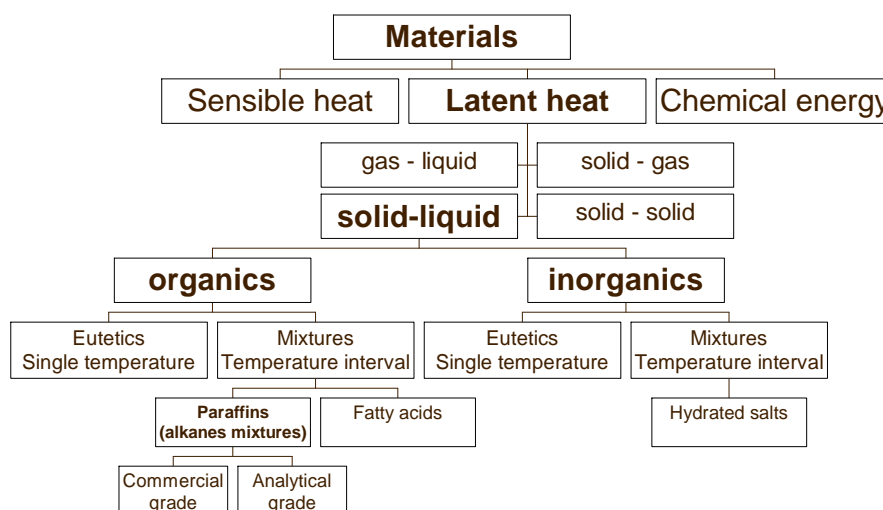


Figure 1: Classification of energy storage materials [2].

Simulation models of the PCM storage component were developed for different types of PCM heat store philosophies, as no validated models were available for the simulation software TRNSYS. These models were validated before being integrated into a system model within TRNSYS. Each Subtask was responsible to develop an appropriate tool, in order to enable an estimation of the performance of a system with the proposed storage concept.

## 1 Projects within Subtask C

There are five PCM related projects included in Task 32. A summary of these projects is given in Table 1.

Three projects dealt with macro-encapsulated PCM containers in water stores. All of these projects include the development of TRNSYS models for the PCM stores:

- At Lleida University, Spain, bottles and filled up heat exchangers of PCM material with graphite matrix for the enhancement of the heat conduction and increase of power input/output were tested. Applications are free-cooling and DHW tanks.
- At the University of Applied Sciences Western Switzerland in Yverdon-les-Bains/Switzerland a parametric study for the use of PCM in heat stores embedded in aluminium bottles for solar combisystems was carried out.
- The Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology performed tests and simulations with different PCM materials encapsulated in plastic tubes and steel containers for stores for conventional boilers to reduce the number of start-stop cycles of the burner.

The two other projects are slightly different:

- At the Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark the use of super cooling of PCM materials for long-term heat storage was investigated with simulations. This project showed that a 10 m<sup>3</sup> only PCM seasonal storage using the supercooling effect is theoretically possible. Experimental setup assessed some assumptions on heat transfer in a bulk PCM tank
- The Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology performed tests and simulations with PCM-slurries of microencapsulated paraffins for stores for conventional boilers to reduce the number of start-stop cycles.

The above project is also dealing with heat exchangers immersed in PCM material

- The Institute of Thermal Engineering at Graz University of Technology performed tests and simulations with a bulk PCM tank with an immersed water-to-air heat exchanger for stores for conventional boilers to reduce the number of start-stop cycles of the burner.

A summary of these projects is given in Table 1, and the main results are given in the following chapter.

*Table 1: Summary of prototype storage units studied in Subtask C.*



| Type of Technology   | Material   | Stage of Development   | Investigating Institute   |
|--|--|--|---|
| PCM seasonal storage using subcooling                        | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$                                  | Lab prototype; Simulation model for store developed and seasonal simulations of the system were performed  | Technical University of Denmark (DTI), Denmark                            |
| Macroencapsulated PCM in storage tank                        | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O} + \text{graphite}$                | Lab prototype; Seasonal simulations of the system were performed, using the model developed by the Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology   | University of Lleida, Spain   |
| Macroencapsulated PCM in storage tank with integrated burner | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O} + \text{graphite}$                | Lab prototypes; Simulation model for store developed and validated; Seasonal simulations of the system were performed according to the reference conditions from Subtask A   | University of Applied Sciences Western Switzerland (HEIG-VD), Switzerland |
| Microencapsulated PCM slurry                                 | Paraffine,   | Lab prototypes, Development of simulation models for a store filled with slurry with various internal heat exchangers and flow/return pipes and an external heat exchanger with PCM slurry on one or both sides.                               | Graz University of Technology, (IWT-TU Graz), Austria                     |
| Macroencapsulated PCM in storage tank                        | Paraffine, $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ with/without graphite | Simulation model for store developed and validated; Seasonal simulations of the system were performed for various hydraulic schemes for heating systems in order to analyze the reduction of the boiler cycling rate compared to water stores. | Graz University of Technology, (IWT-TU Graz), Austria                     |

|                                |   |  |   |
|--------------------------------|---|--|---|
| Immersed heat exchanger in PCM | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O without graphite | Simulation model for store developed and validated; Seasonal simulations of the system were performed for various hydraulic schemes for heating systems in order to analyze the reduction of the boiler cycling rate compared to water stores. | Graz University of Technology, (IWT-TU Graz), Austria |
|--------------------------------|---|--|---|

## 2 Main results of Subtask C

### 2.1 Results of the laboratory measurements (Reports C3, C4)

All storage solutions dealt with in Subtask C were only laboratory prototypes. The results of the store systems are shown in Table 2.

Measured results and projected heat storage densities for units of 70 and 1000 kWh storage for single family houses are reported. The prototypes use either paraffins or sodium acetate trihydrate, but all of them have a phase change at about 58°C in order to provide space heating and domestic hot water. The system from HEIG-VD additionally uses a PCM with phase change at 27°C in the preheating zone of the buffer store.

The prototypes are intended for different applications. While the stores from HEIG-VD, Switzerland and University of Lleida, Spain are short term heat storages for solar combi-systems, the store from the Technical University of Denmark is used as seasonal storage by making use of the subcooling effect in hydrated salts. The work of Graz University of Technology is dealing with very short term storage for boilers, to reduce start-stop cycles and emissions. For small short term storages one decisive factor is to deliver enough thermal power for the domestic hot water demand (26 kW e.g. for a single family residential building). This means high specific power and therefore either high thermal conductivity of the solid PCM and/or small distances for the heat transfer from PCM to the heat carrier. For larger stores this problem is far smaller due to the lower necessary specific power. The projects are financed partly from national and partly from European Union projects.

The storage density compared to water is strongly dependent on the temperature lift in the storage tank. For small temperature differences (50 – 70 °C) and a bulk PCM tank with immersed heat exchanger (like the store used at the Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology), the store can be sized about 1/3 of the volume compared to water, if sodium acetate trihydrate is used as PCM. With this layout additionally the about 20 kW thermal power can be delivered for the DHW production. For the same PCM-material but macro-encapsulated and for a temperature lift from 25 to 85°C or 20 to 70°C in solar combisystems the store has the same size as a water store. For such cases there is only little benefit from PCM with respect to the store size.

For PCM store used for seasonal storage the comparison to water stores is not as simple, because there are no heat losses of the subcooled PCM store. Compared to the theoretical heat storage of water without heat losses the volume of the PCM store can be reduced by about 30 %.

Table 2 Comparison of the stores with PCM material

| Parameter  | DTU  | Lleida   | HEIG-VD  | TU Graz  | TU Graz  |
|--|--|--|--|--|--|
| Type of technology   | Seasonal storage with subcooled                | Macroencapsulated PCM in solar combistore                                | Macroencapsulated PCM in solar combistore  | Macroencapsulated PCM in store for boiler                                  | Immersed heat exchanger in PCM store                       |
| Cost of material   |  |  |  |  |  |
| Storage materials weight: in kg  | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O: 60 | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 4.2<br>Water: 140 | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 90<br>water: 710<br>paraffin RT27: 43 | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 13.7<br>water :20.8 | Na(CH <sub>3</sub> COO)·3 H <sub>2</sub> O: 45<br>Water: 0 |
| Temperature difference in tank   | 35/70°C  | 20/70°C  | 25/85  | 50/70°C  | 50/70°C  |
| Floor space required for prototype   | 1.3 m <sup>2</sup>                             | 0.25 m <sup>2</sup>  | 1.8 m <sup>2</sup>   | 0.4 m <sup>2</sup>   | 0.2 m <sup>2</sup>   |
| Energy density of material (NRJ4.1) in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water)         | 128 (3.2)                                      | 56 (0.97)  | Water 69,7<br>SAT 81.2 (1.16)<br>Paraffin RT27 58.3 (0.84)                                   | 85 (3.7)   | 103 (4.44)   |
| Energy density of prototype - heat (NRJ4.2) in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water) | 10.9 (0.3)                                     | 57 (0.98)  | 70 (1.0)   | 40 (1.7)   | 76 (3.3)   |
| Energy density of material in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water, 15/35°C)         |  |  | Water 23.2<br>Paraffin RT27 57 (2.45)  |  |  |
| Energy density of material in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water, 50/70°C)         |  |  | Water 23.2<br>SAT 51.4 (2.21)  |  |  |
| Charge rate in kW  | N/A  |  | Auxiliary 20   | 0.5-1  | 5-20   |
| Discharge rate in kW   | N/A  |  | DHW around 30  | 0.5-1  | 5-20   |
| Estimated size for 70 kWh in m <sup>3</sup> (energy density ratio to water)        | 2.8 (0.6)                                      | 1.2 (1)  | 1 (1)  | 1.75 (1.7)   | 0.92 (3.0)   |
| Estimated size for 1000 kWh in m <sup>3</sup> (energy density ratio to water)      | 17 (1.4)                                       | 17.5 (1)   | 14.3 (1)   | 25 (1.7)   | 13 (3.3)   |

SAT = sodium acetate trihydrate

In terms of material cost, all materials are expensive compared to water, ranging from pure sodium acetate with about 1€/kg, paraffin with about 2 €/kg (including nucleation enhancer) to sodium acetate trihydrate with graphite and nucleation enhancers with about 3 - 4 €/kg. The cost for the whole storage system has not been estimated here.

The work at **BYG DTU, Department of Civil Engineering, Denmark** measurements dealt in the first phase of the laboratory tests on melting approximately 70 kg of sodium acetate trihydrate and afterwards let it supercool in the large melting tank. The melting was performed by circulation of 85 °C hot water through the mantle of the melting container. The melting process required about 2 days before stationary temperatures in the melted salt was obtained. The tube pump was started after one day to obtain a good mixing in the melted salt and avoid sediments of undissolved salt hydrates.

In the second phase experiments have been carried out with filling of laminated plastic bags with melted sodium acetate trihydrate both as warm salt (80 °C) and as supercooled salt at room temperature. The experiments with warm melted salt solution worked well, while the experiments with the supercooled salt solution failed due to immediate solidification when the supercooled salt was exposed to the surrounding air. The conclusions from the filling experiments are that it is possible to fill the bags with warm melted sodium acetate trihydrate. It might also be possible to fill the bags with supercooled salt solution, but in this case the filling system should be sealed to avoid any water evaporation

In the third phase the activation of the solidification of the supercooled sodium acetate trihydrate by a microprocessor controller was tried out. Several different experiments of ways to activate the solidification of a supercooled salt solution have been tested, e.g. ultrasound, local heating and mechanical by a piston injected into the salt by an electromagnet. The latter seems to be the most feasible solution resulting in activation of the solidification. The reason could either be the mechanical impact itself or the fact that the piston when withdrawn from the salt solution will hold some crystals that are injected next time the piston is activated.

Finally a very small test prototype storage, which is just large enough to investigate the control system, activation mechanism and the supercooling and to get an idea of the heat transfer possibilities, was developed. The prototype design is not at all optimised for maximum storage capacity per volume unit and therefore the achieved figures are not at all representative for the expected final storage design

At **Lleida University, Spain** the same store with three different fillings was used:

- pure water,
- aluminium bottles filled with sodium acetate trihydrate with graphite and
- the coil of the heat exchanger in the middle of the tank with additional three bottles filled with sodium acetate trihydrate with graphite.

The amount of PCM placed in the each cylindrical bottle was 1150 g, which means that the 8 modules configuration had 9200 g (4.18% of the water volume). In the coil/modules configuration, the coil had 4900 g of PCM and the 3 modules 1050 g each one, meaning 8050 g in total (4.92% of the water volume – see that the PCM included in the coil does not take volume to the water). The amount of PCM placed into the coil results in an experimental density of 0.5 kg/L, significantly lower than the value provided by the manufacturer (1.3 kg/L).

The experimental work consisted of charging and discharging tests. The discharging experiments were performed introducing cold water (24°C) at the bottom part of the tank, and extracting hot water (65°C) from the top. The flow rate was regulated using a valve. The

system worked in a closed loop, cooling the water going out of the top part of the tank. The cooling was done using tap water at public drinking water system supply temperature passing through a plate heat exchanger. In these experiments the inlet with stratifier was used

In the charging tests, hot water (65°C) was introduced at the top part of the tank, and cold water (24°C) was extracted from the bottom. The flow rate was regulated using a valve. The heating system was an electrical resistance of 5 kW of nominal power, ensuring an inlet temperature of 65°C. The temperature control was done with a PID control system used in the test ring installation. The system worked in a closed loop, heating the water going out of the bottom port of the tank.

The main conclusions from the experiments are:

1. Cooling down experiments
  - Sodium acetate trihydrate cools down slower than sodium acetate trihydrate + graphite due to its worse heat transfer
  - There is a big dependence from the ambient temperature in long term storage (i.e. cool down test)
2. Charging experiments
  - When only sodium acetate trihydrate is used, the PCM temperature is the same as the water temperature, no melting is appreciate in Figure 2.2.5
  - On the other hand, a clear melting process is observed when using graphite mixed with the sodium acetate trihydrate
3. Discharging experiments
  - All at 20°C → water or PCM?
    - If high flow rate → PCM is not fully solidified and a reheating process is observed
    - If low flow rate → No reheating is observed, PCM is fully solidified
  - There was no influence of the ambient temperature due to the short time of the test, therefore comparison of the graphics was possible
4. Cycles experiments
  - The five-minutes shower does only affected the bottom of the tank

Different discharge flow rates were performed (2, 3, 4 and 5 L/min). There was no significant increase of the energy content of the three tanks, but as the maximum theoretical increase was only 2 % this was expected. The main focus of theses experiments was laid on the level of stratification within the tanks. It could be shown, that the stratification was not disturbed by the (little amount) of PCM in the store.

In the project at **HEIG-VD, Switzerland** , PCM bottles of about 1l volume were placed in the water tank. The bottles are made of aluminium and the caps are made of polypropylene. The latter have been modified in order to resist pressure variation between the water tank and the PCM in the bottle. The modification consists in an aluminium disk and a rubber disk. The system has been tested in a special tank in which the pressure could be modified. The bottle has resisted to a relative pressure between minus one bar to three bars.

A set of 102 bottles filled with paraffin (40%) and sodium acetate trihydrate (60%) are plunged in the water tank. The occupied volume represents approximately 15% percent of the tank volume. This low ratio of PCM is due to various problems:

- The two heat exchangers

- The extra-heating system
- The bottles are not filled to the top to allow for PCM expansion.

Nevertheless, these tests with a rather low PCM ratio were undertaken. The results are compared to the simulation results, in order to validate the model developed for TRNSYS (See Report C5).

A 7 day heating test with two different winter periods of the Zürich climate, for a single family house with a 140m<sup>2</sup> floor area and a heat demand of 30 [kWh/(m<sup>2</sup>.a)] were performed. The DHW demand is 7.5 [kWh/day]. The first weather sequence is a medium sunny winter and the second one is a high sunny winter. Additional DHW tests over 24 hour with a large and a small draw off were performed.

The measured stores were filled either with pure water and in comparison with water and 102 bottles of PCM (12 % PCM, 60 bottles of sodium acetate with graphite in the upper part of the tank and 42 bottles of paraffin RT27 in the lower part)

For the heating tests there was no significant difference between the pure water tank and the one filled with PCM bottles. For the DHW test it could be seen, that the burner had to switch on more often with the PCM store due to the lower water content and the low heat transfer from PCM to water.

**At the Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Austria,** different approaches of integrating PCMs into thermal storage tanks were studied:

- macro-encapsulation (store volume 34 litres)
- PCM tank with an immersed heat exchanger (store volume 45 litres)
- microencapsulated PCM slurry

4 different experimental tanks have been built and tested in the laboratory. The goal of the work was to find a simple and efficient way of PCM integration, that allows both high energy densities and high charge and discharge powers. Besides a measurement method for the determination of the enthalpy as a function of temperature of PCM materials was applied.

The results of the experimental work were also used to validate a PCM storage simulation model that has been developed at the Institute [3].

For the tests with macroencapsulated PCM the evolution of the discharge power with time for different PCM materials inside of the cylindrical PCM modules was measured. At the beginning of the experiment the discharge powers are relatively high, which is a result of the hot water being pushed out of the tank by the cold water entering at the bottom. After that the heat is discharged only from the PCM modules. With the paraffin as well as with sodium acetate trihydrate the discharge power is quite low (about 0.2 kW), due to the low thermal conductivity of these materials. This results in a very long discharge time and a limitation concerning the possible applications. When the sodium acetate trihydrate graphite compound is used inside the modules, the achievable discharge power is much higher (0.6 kW), due to the enhancement of the thermal conductivity. For sodium acetate trihydrate (with and without graphite) a subcooling effect can be observed, resulting in a local minimum of the discharge power.

Another approach was a tank with a volume of 45 litres filled with Sodium Acetate Trihydrate and an immersed water-to-air heat exchanger (PCM volume fraction ~ 80%). Due to the large heat exchanger surface a discharge power of up to 20-30 kW can be achieved with an

acceptable temperature loss (outlet temperatures of 45 to 50°C at a melting temperature of 58°C) during the phase change of the PCM material.

The stores with microencapsulated PCM did not show an advantage compared to water stores, because the PCM is paraffin (which has a relatively low heat of fusion per volume), not a fixed temperature but a melting temperature range (at technical grade) and at maximum a mass fraction of 35 % PCM in water in order to be pumpable. Additionally the heat transfer rate decreases strongly with the concentration of microcapsules in water and the pumping power increases significantly due to higher viscosity of the fluid.

## **2.2 Simulation modules developed (Report C5)**

In the beginning of the Task 32 no simulation models for PCM stores were available. Therefore three groups started to develop numerical models for PCM stores.

- At **HEIG-VD in Yverdon-les-Bains, Switzerland** a PCM model using the TRNSYS standard type 60 as basis, was developed for different shapes (plates, cylinders and spheres) and numbers of PCM modules in the tank (Type 860). Additionally subcooling, hysteresis and convection of the liquid part of the PCM in the modules was modelled. The type of PCM is modelled by 5 points of the temperature-enthalpy curve.
- At the **Institute of Thermal Engineering (IWT), Graz University of Technology, Austria** a new type for a heat storage including pure water, PCM slurries, PCM modules (plates, cylinders and spheres), subcooling and hysteresis was developed (Type 840). The PCM type is given by an ASCII-Input file that is read by the module. Instead of water a PCM slurry can be used as the storage medium.
- Another store model for an immersed heat exchanger (finned air to water type) in a PCM filled tank was developed at IWT for the simulation of applications with high requirements concerning the charging and discharging power with little temperature loss (Type 841).
- At **BYG DTU, Department of Civil Engineering, Denmark** a store model for long term storage of subcooled PCM in different compartments was developed and validated against laboratory measurements (Type 185).

All models were validated by experiments and are suitable for the TRNSYS simulation environment. Nevertheless the authors do NOT take any responsibility for the results of the models.

All models were used for yearly system simulations including PCM storage.

With these models there is now the opportunity to develop optimized systems with various PCM store, hydraulic and control configurations and to compare PCM heat store systems with water heat store systems.

The use of the models for the public is decided by the author of the model individually.

All models are described in Report C5 in detail

## 2.3 Results of System simulations (Report C6)

Four simulation studies were performed in Subtask C. Three of them were using more or less the reference conditions defined in Subtask A (Report A2). One of them dealt with a complete different application to reduce boiler cycling by introducing a PCM store.

The simulation results from **HEIG-VD in Yverdon-les-Bains, Switzerland** concerning the advantage of makroencapsulated PCM in solar combisystems are shown in Figure 2. It should be reminded that the proposed system has been analysed only from the simulation side, where a water tank storage filled only with water or filled with water + PCM (paraffin RT35) is compared.

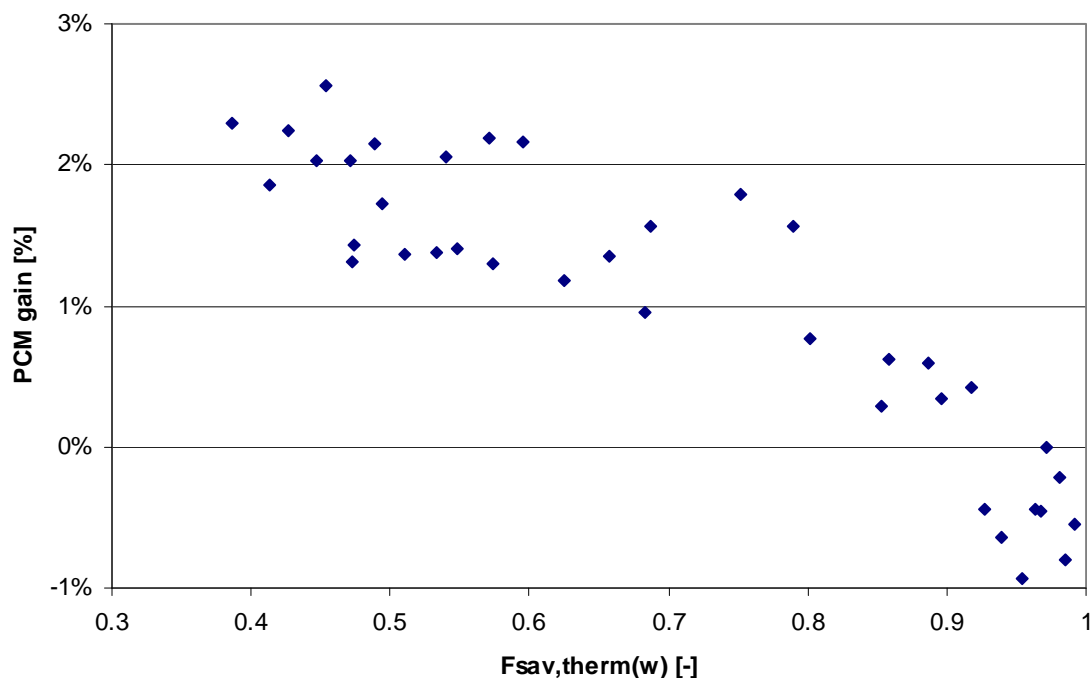


Figure 2.: Difference between pure water and water + PCM system. The PCM gain =  $F_{sav,therm(W+PCM)}/F_{sav,therm(W)} - 1$

To evaluate the impact of the PCM on the performances, it is possible to define the energy gain between the  $F_{sav,therm}$  for the tank with PCM ( $F_{sav,therm(W+PCM)}$ ) and only with water ( $F_{sav,therm(W)}$ ). If this gain is higher than 0, then the PCM brings an advantage. As it can be seen in Figure 2, the gain due to using PCM is low. A decrease of the RATIO according to the increase of the  $F_{sav,therm}$  can also be noticed. But it should be remembered, that when the  $F_{sav,therm}$  is high, the solar installation is oversized. As it can be seen, adding a PCM becomes less interesting when the solar system is oversized. This is due to the fact, that when oversized, the storage of heating is less relevant.

According to the additional cost of adding the PCM and the environmental impacts results described in Report C3, this system with PCM does not show a substantial benefit compare to a storage tank filled only with water.



Only the long term heat storage with subcooled liquid PCM (**BYG DTU, Department of Civil Engineering, Denmark**, Figure 3) shows the possibility to achieve 100 % solar fraction with PCM store volumes of about 10 m<sup>3</sup> a 135 m<sup>2</sup> floor area passive houses (15 kWh/m<sup>2</sup>a space heating energy demand). Water stores have to be far bigger to achieve the 100 % solar fraction. 80 – 90 % solar fraction can be achieved also with water stores of 5 - 10 m<sup>3</sup>. Taking into account the long term heat losses of water stores the size reduction is far bigger.

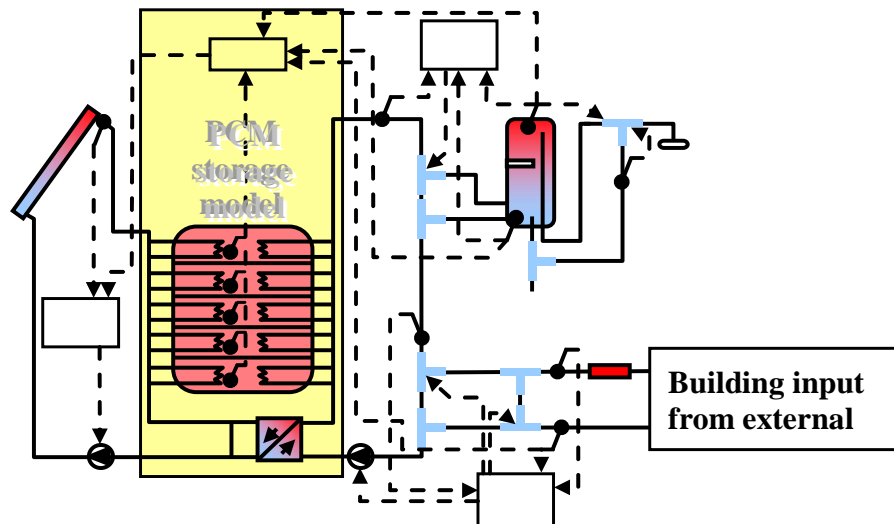


Figure 3: Simulation model of BYG DTU, Department of Civil Engineering, Denmark

At the **Institute of Thermal Engineering (IWT), Graz University of Technology, Austria** different hydraulic systems were investigated in terms of their ability to reduce boiler cycling operation. In the following a description of the hydraulic systems, which are used in the simulations, is given. Table 3 shows a summary of all simulated concepts.

The results for the system with a water storage (G2a) and for systems with a water storage with integrated PCM modules (G2b) are shown in Figure 4 for different storage volumes. In comparison to the systems without buffer storage the number of start-stop cycles is reduced strongly. Even with the smallest volume of only 25 litres a reduction of about 70 % (set temp. 50°C) or 90 % (set temp. 65°C) can be achieved. With increasing storage volumes the number of cycles decreases, whereby the potential for a further reduction is low for volumes above 200 litres. Because of the lower utilized temperature difference the number of cycles is higher with a boiler temperature of 50°C in comparison to 65°C. On the other hand the higher temperatures decrease the annual efficiencies of the condensing boiler by 2-3 %.

The integration of PCM modules (boiler set temp. 65°C in all cases) allows an enhancement of the storage capacity, resulting in a further decrease of the number of start-stop cycles especially with small storage volumes. There are only minor differences between the PCM volume fractions of 50 and 75 %. The integration of PCM modules hardly influences the annual efficiencies of the boiler and the system.

Table 3: Summary of all simulated system concepts

| system   | type of boiler | type of buffer storage      | type of DHW preparation          | hydraulic integration and control of the boiler  |
|--|----------------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| <b>System Category 1: no buffer storage, DHW tank</b>                      |                |                             |                                  |  |
| G1a  | gas            | no storage                  | DHW tank                         | boiler temperature controlled as a function of the ambient temperature, throttle control                       |
| G1b  | gas            | no storage                  | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve   |
| G1c  | gas            | no storage                  | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, hydraulic switch                             |
| P1   | pellets        | no storage                  | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, hydraulic switch, return temperature control |
| <b>System Category 2: buffer storage, DHW tank</b>                         |                |                             |                                  |  |
| G2a  | gas            | water storage               | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage                               |
| G2b  | gas            | water storage + PCM modules | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage                               |
| P2a  | pellets        | water storage               | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage, return temperature control   |
| P2b  | pellets        | water storage + PCM modules | DHW tank                         | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage, return temperature control   |
| <b>System Category 3: buffer storage, instantaneous preparation of DHW</b> |                |                             |                                  |  |
| G3a  | gas            | water storage               | instantaneous preparation of DHW | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage                               |
| G3b  | gas            | bulk PCM tank               | instantaneous preparation of DHW | constant boiler temp., flow temperature control via mixing valve, buffer storage                               |

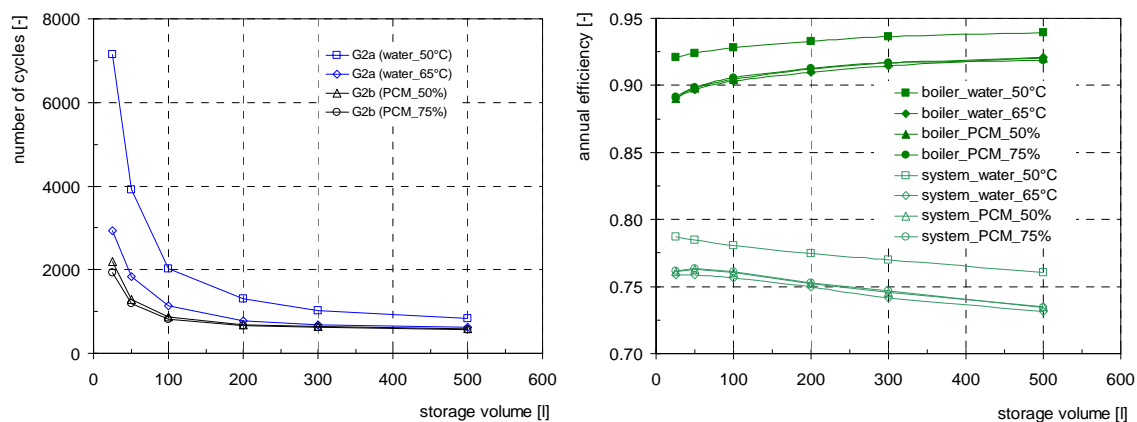


Figure 4: Gas boiler: annual number of start-stop cycles (left) and annual efficiencies (right) for different storage volumes for systems with water storage (G2a) and for systems with water storage with integrated PCM modules (G2b)

Figure 5 shows the number of start-stop cycles and the annual efficiencies for the system G3a (water storage) and the system G3b (bulk PCM storage). Due to the higher storage capacity of the PCM storage (assuming the same volume of 45 liters) in system G3b the number of cycles can be reduced by 50 % compared to system G3a. The annual efficiency of the boiler is also slightly higher, which is a result of the lower amount of heat produced in start-stop operation due to the higher storage capacity.

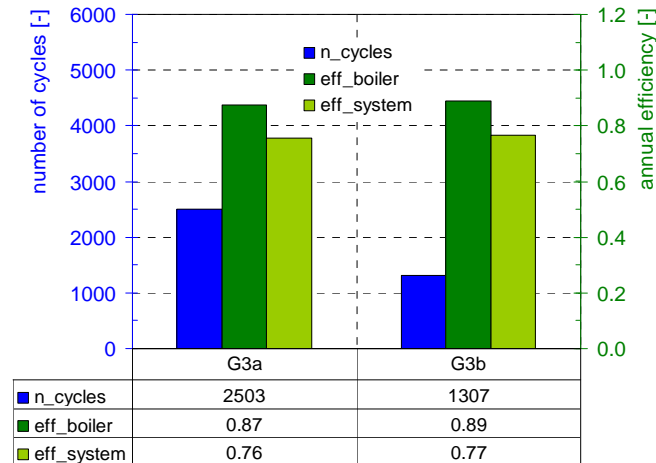


Figure 5: Annual number of start-stop cycles and annual efficiency for the systems G3a (water storage) and G3b (bulk PCM storage)

## 2.4 Final conclusions

Phase change materials as heat storage offer an advantage compared to water stores on the one hand, when the cycling temperature is close around the phase change temperature and the phase change can be used quite often. The other possible application is the use of the subcooling effect for seasonal storage. The investigations reported here showed only little advantages for macro-encapsulated PCM modules in combistores and for PCM slurries for heat stores in solar combisystems.

## 3 Future work on the Subtask C topic

### Current situation

The results of Subtask C showed, that the improvement of using PCM in heat stores are very limited compared to water stores for most of the applications looked at. The only application that, in theory, can achieve significant improvement is the long term storage using subcooling for 100 % solar heated lowest energy buildings. But this system is probably very complicated due to the need of several storages insulated against each other and a reliable mechanism to activate crystallization. Additionally such a seasonal storage is only used once (or a slightly higher number of times). Therefore the investment cost should be not too high.

Therefore the following future work should be performed in the field of PCM:

1. Screening for better PCM materials with higher heat of fusion. Laboratory results on these materials and their suitability for solar storage in low energy buildings
2. Improvement of store concepts with PCM to get a high PCM fraction and a high heat transfer rate between the heat carrier and the PCM in order to fulfill the user demand (about 26 kW for filling a bath tube) without high temperature loss in the heat exchanger or in the heat conduction in the solid PCM. Laboratory prototypes of storage units. These concepts include also embedded PCM in the building structure.

3. Development of simulation models of such store units based on selected materials and technology, and programmed as a TRNSYS "type"
4. Screening for better suited applications where the heat store is used very often over the temperature range of the phase change.
5. Development of hydraulic layouts and control of solar systems including the user demands optimized for the specifications of PCM stores.
6. Test of storage units in a real or laboratory solar combi-systems installation
7. TRNSYS (or equivalent) simulations of an ideal design or a possible prototype of a system (according to Subtask A specifications) with an advanced storage unit
8. if succeeded, new storage units ready for industrialization
9. Proposals for future work and demonstration installations
10. A limited selection of candidates (maximum three to four, depending on the number of research teams and industries participating) for advanced storage solutions based on phase change material, readily available or available within the time frame of the Task, with or without a collaboration of the Subtask participants

## 4 Management aspects of Subtask C

Subtask C was organized this way:

- The general aims of the Subtask were defined in the Task definition.
- In practice, all groups that wanted to participate and whose projects were within the scope of the Subtask were welcomed into it. Except one all groups started from the beginning. One group started about 1 year late.
- Subtask C meetings were held in the plenary sessions of the Task 32 experts meetings. At the first meetings, the majority of the time was devoted to presentations of recent studies, but towards the end more emphasis was put into discussions on inter-comparison and contents of reports.
- There was one additional meeting for the development of the simulation tools.
- The subtask leader visited several of the groups in order to gain a better understanding of their work.
- The members of the Subtask have had the opportunity of visiting most of the labs used in the studies during the course of the Task meetings.

What was efficient was the open exchange of information between groups. The presentations have led to productive formal and informal discussions. The people involved in the Subtask have a large number of years of experience and have been able to give constructive criticism and advice to one another. The quality of the work has been high. The fact that the whole Task has had a common goal and framework for simulations and inter-comparison has been appreciated by all. The discussions have been more focussed and it has been easier to put one's own work into perspective.

Short term has been the focus of most of the work in Subtask C. Most of Subatsk B were dealing with seasonal storage, which fits nicely in the strategy of the Subtask C project using

supercooling of phase change materials and added another dimension to the inter-comparison of possible technologies.

The Subtask has resulted in a deeper direct collaboration or interchange of staff or resources between the participants. There was e.g. a three month visit of a member of the Lleida group in Graz and a separate meeting on simulation modules. Not that much effort has been possible to devote within the individual projects for the inter-comparison work due to the fact that they have been funded nationally.

The nature of IEA-SHC is such that this picture is likely to be repeated, with the majority of the benefit being interchange of information between mostly independent projects with the possibility of inter-comparison based on common boundary conditions. However, the depth of these inter-comparisons is dependent on the individual funding of each project. It is suggested that common funding is applied for that will finance the central aspects of future Tasks, such as definition of boundary conditions, the exchange of experts between parts of a Task and the inter-comparison work. It should also finance the work required of a number of participants to produce the Task specific results from their ongoing individual projects. EC funded projects could provide a partial basis for the common funding of parts of a Task, but this contribution would probably be restricted to participants from EU countries. National counter-financing for non-EU countries is then a prerequisite to a balanced funding model. This touches the core of the present IEA model for Implementing Agreements. This model should be revisited on a higher level, taking account of the increasing importance of international collaboration in energy R&D and the decreasing future number of scientists available.

## 5 References

### Subtask reports

1. Report A2 "The Reference Heating System, the Template Solar System"
2. Report C3 "Laboratory Prototypes of PCM Storage Units"
3. Report C4 "Laboratory Prototypes of PCM Storage Units (Improvements since Report C3)"
4. Report C5 "Simulation Models of PCM Storage Units"
5. Report C6 "Simulation Report of PCM Storage Units"

### General References

1. Hadorn, J.-C., ed. (2005), *Thermal Energy Storage for Solar and Low Energy Buildings* .- *State of the Art*. 2005, Lleida University: Lleida, Spain. ISBN: 84-8409-877-X.
2. A. Abhat, (1983) *Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials*, *Solar Energy* 30 (1983) 313-332.

### Other reports

- 3 European-Project PAMELA (2004), *Phase Change Material Slurries and Their Commercial Application (PAMELA)*, European project in the 5th framework, 2001-2004, Project number ENK6-CT-2001-00507
- 4 Heinz A., Streicher W., Wallner G., Schobermayr H., Puschnig P., Schranzhofer H., Eisl G., Heimrath R. (2006), *Endbericht zum Projekt "Fortschrittliche Wärmespeicher zur Erhöhung von solarem Deckungsgrad und Kesselnutzungsgrad sowie Emissionsverringern durch verringertes Takten"*, Projekt im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

#### Articles in Conferences related to Subtask C developments

- 5 Schranzhofer, H. Heinz, A. Puschnig, P., Streicher, W., (2006), *Validation of a TRNSYS simulation model for PCM energy storages and PCM wall construction elements*, Ecostock Conference, 31th May – 2nd June 2006, Pomona, USA
- 6 Heinz, A., Streicher, W., (2005), *Experimental testing of a storage tank filled with microencapsulated PCM slurries*, *Phase Change Material and Slurry*. Scientific Conference and Business Forum, 15.-17. Juni 2005, Yverdon les Bains, Schweiz, S. 67 – 76
- 7 Heinz, A. Streicher, W., (2006), *Application of Phase Change Materials and PCM slurries for thermal energy storage*, Ecostock Conference, 31th May – 2nd June 2006, Pomona, USA
- 8 Heinz, A., Streicher, W., (2006) *Neue Entwicklungen bei Wärmespeichern unter Ausnützung der Phase Change Materials – PCM*, Conference Innovative Solar-Speichertechnologien, Wirtschaftskammer Wien, 17.3.2006, Seite 8/1 – 8/10.
- 9 Bony, J., et al., (2006), *Three different approaches to simulate PCM bulk elements in solar storage tank*, PCM2005, Yverdon-les-Bains, June 2005.
- 10 Bony, J., and Citherlet, S., (2006), *Extension of a TRNSYS model for latent heat storage with phase change materials used in solar water tank*, Ecostock2006, Stockton.
- 11 Bony, J., and Citherlet, S., (2007), *Comparison between a new TRNSYS model and experimental data of phase change material in a solar combisystem*, Building and Simulation conference, Beijing 2007.
- 12 Lavanchy H., (2006), *Stockage avancé par matériaux à changement de phase*, diploma.
- 13 Cabeza, L.F., Ibáñez, M., Solé, C., Roca, J., Nogués, M., (2006), *Experimentation with a water tank including a PCM module*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90 (2006), 1273-1282.
- 14 Ibáñez, M., Cabeza, L.F., Solé, C., Roca, J., Nogués, M., (2006), *Modelization of a water tank including a PCM module*. Applied Thermal Engineering, 26, 1328-1333.
- 15 C. Solé, M. Comellas, A. Castell, M. Medrano, L. F. Cabeza, (2007), *Stratification and energetic studies in a water tank and a PCM-water tank*. Presentation at IRES II, Bonn (Germany), 2007

## **Anhang 4**

**Präsentation des Task 32 beim ASTTP Workshop in Wien  
am 3. September 2007**

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Arbeitsgruppe Wärmespeicher

Stand der Anwendung und Entwicklung

Wolfgang Streicher  
Institut für Wärmetechnik, TU Graz

**TU Graz**  
Graz University of Technology

**IWT TU Graz**  
Institut für Wärmetechnik

www.asttp.at 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Inhalt

- Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien
- Möglichkeiten der Wärmespeicherung
- Entwicklungsbedarf (Ergebnisse der ESTTP WG1 Storage Group)

**Diskussion**

- F&E- Bedarf aus österreichischer Sicht
- Wo können Projekte sinnvoll eingereicht werden (EU, National wie FFG, EnergieDerZukunft, Länderförderungen etc.)
- Welche Beträge sind die Firmen bereit zu leisten (finanziell, ideell ...)

www.asttp.at 2 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Punkt 1

Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien

www.asttp.at 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien

- Ausgleich von unregelmäßiger Wärmeerzeugung (z.B. thermische Solaranlagen)  
Größe: (Tagesspeicher bis Saisonspeicher)

Probleme: Wärmeverluste, Temperaturverluste durch Mischung, Platzbedarf

- Verringerung von Taktverlusten bei Wärmeerzeugern (erhöhter Wirkungsgrad und verringerte Emissionen)  
Größe: Kurzzeitspeicher (wenige Minuten bis Stunden)

Probleme: vorhandene Leistung, Platzbedarf

www.asttp.at 4 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien

Solare Kombisysteme, Solarertrag - Wärmebedarf des Hauses

www.asttp.at 5 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien

Solarer Deckungsgrad über Kollektorfläche und Speichergröße

www.asttp.at 6 03.09.2007



**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Wozu Wärmespeicherung, wozu neue Technologien



- Platzbedarf und damit
- Kosten für umbauten Raum
- Akzeptanz durch die Benutzer



www.asttp.at 7 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



## Punkt 2

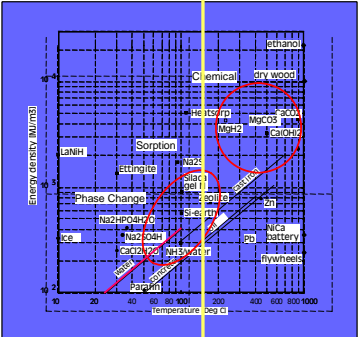
### Möglichkeiten der Wärmespeicherung



www.asttp.at 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Möglichkeiten der Wärmespeicherung



- Speicherung und Festkörpern (z.B. Betondecke)
- Wasserspeicher
- Phasenwechselmaterialien (Latentspeicher)
- Chemische und Sorptionspeicher


www.asttp.at 9 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Festkörper Wärmespeicher



- Geringe volumetrische Wärmekapazität, 0,5 kWh/m<sup>3</sup>K
- Hohe Dichte, 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Beliebig vorhanden, billig, ungiftig etc.
- Nur als Wärmespeicher nutzbar, kein Wärmetransport
- Phasenwechselmaterialien in Festspeicher möglich



www.asttp.at 10 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Festkörper Wärmespeicher mit PCM



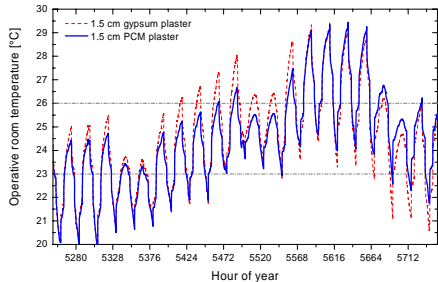
- Mikroverkapselte Paraffine in Putzen
- 1 cm Putz kann Effekt wie 10 cm Beton haben
- Anwendungen im Leichtbau (Fertigteil-Holzständer, Dachbodenausbau)
- Speichermasse nur nutzbar wenn Phasenwechsellpunkt überschritten
- Relativ teuer



www.asttp.at 11 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Festkörper Wärmespeicher mit PCM



www.asttp.at 12 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



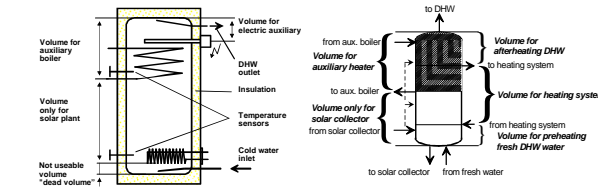
### Wasserspeicher

- Wärmekapazität, 1,16 kWh/m<sup>3</sup>K
- Hohe Dichte, 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Beliebig vorhanden, billig, ungiftig etc.
- Als Wärmespeicher und Wärmetransportmedium nutzbar

www.asttp.at 13 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher (Zonen)



Labels in diagram: Volume for auxiliary boiler, Volume for electric auxiliary, DHW outlet, Insulation, Temperature sensors, Cold water inlet, Volume for solar plant, Not useable volume "dead volume", Volume for auxiliary heater, Volume for afterheating DHW to heating system, Volume for heating system, Volume only for solar collector from solar collector, from heating system, Volume for preheating fresh DHW water, to solar collector, from fresh water, to DHW.

www.asttp.at 14 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

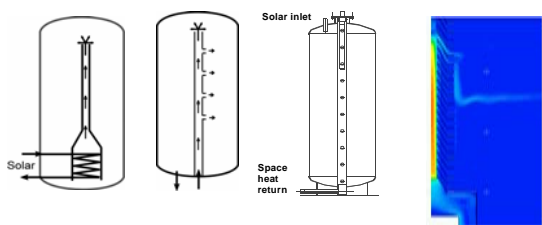
### Wasserspeicher



www.asttp.at 15 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher (Schichtenspeicherung)

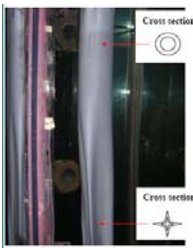


Labels in diagram: Solar inlet, Solar, Space heat return.

www.asttp.at 16 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher (Schichtenspeicherung)

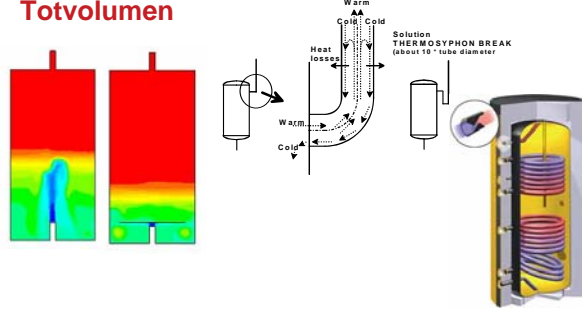


- Gewebeschlach (DTU, Dänemark)
- Eintritt in allen Höhen
- Generelles zur Schichtladung:
- Bei hohen Delta T in der Anwendung
- Bei geringer Umwälzung des Speichers

www.asttp.at 17 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher Einlauf, Thermosyphon, Totvolumen

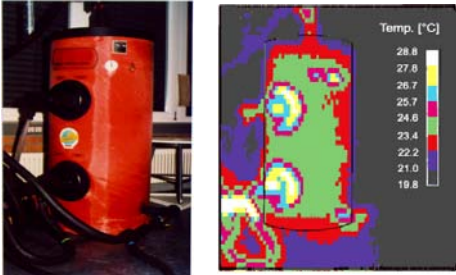


Labels in diagram: Warm, Cold, Heat losses, w.z.m., Cold, Solution THERMOSYPHON BREAK (about 10 tube diameters).

www.asttp.at 18 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher Dämmung



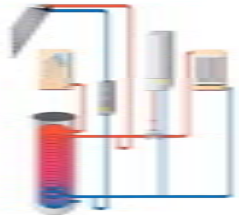
Temp. [°C]  
28.8  
27.6  
26.7  
25.7  
24.6  
23.4  
22.2  
21.0  
19.8

Quelle: ITW Stuttgart

www.asttp.at 19 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher Reduzierte Anschlüsse



Aqua-System Paradigma,  
Quelle: ITW –Stuttgart

www.asttp.at 20 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Wasserspeicher Großspeicher, Saisonspeicher



Quelle: ITW Stuttgart

www.asttp.at 21 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Speicher mit Phasenwechselmaterialien



- Hohe Wärmekapazität um den Phasenwechsellpunkt
- Die besten Materialien (Salzhydrate) sind gleich oder etwas besser als Wasser im sensiblen Bereich
- Paraffine sind ungünstiger aber unproblematisch
- Nur als Wärmespeicher und nicht als Wärmetransportmedium nutzbar (Ausnahme Slurry)




www.asttp.at 22 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Klassifikation von PCM Materialien

```

    graph TD
      Materials --> Sensible_heat[Sensible heat]
      Materials --> Latent_heat[Latent heat]
      Materials --> Chemical_energy[Chemical energy]
      Latent_heat --> gas_liquid[gas - liquid]
      Latent_heat --> solid_gas[solid - gas]
      Latent_heat --> solid_liquid[solid-liquid]
      Latent_heat --> solid_solid[solid - solid]
      solid_liquid --> organics
      solid_liquid --> inorganics
      organics --> organics_eutectics[Eutectics Single temperature]
      organics --> organics_mixtures[Mixtures Temperature interval]
      organics_eutectics --> Paraffins[Paraffins (alkanes mixtures)]
      organics_eutectics --> Fatty_acids[Fatty acids]
      Paraffins --> Paraffins_commercial[Commercial grade]
      Paraffins --> Paraffins_analytical[Analytical grade]
      inorganics --> inorganics_eutectics[Eutectics Single temperature]
      inorganics --> inorganics_mixtures[Mixtures Temperature interval]
      inorganics_eutectics --> Hydrated_salts[Hydrated salts]
  
```

A. Abhat, Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials, Solar Energy 30 (1983), 313-332.

www.asttp.at 23 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Klassifikation von PCM Materialien

| Organische (Paraffine)   | Anorganische (Salzhydrate)  |
|--|---|
| <b>Vorteile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nicht Korrosiv</li> <li>Chemisch and thermisch stabil</li> <li>Keine oder geringe Unterkühlung</li> </ul>                   | <b>Vorteile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Höhere Phasenwechselenthalpie</li> <li>Größere Dichte</li> </ul>                                   |
| <b>Nachteile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Niedrige Phasenwechselenthalpie</li> <li>Geringere Dichte</li> <li>Geringe Wärmeleitfähigkeit</li> <li>Brennbar</li> </ul> | <b>Nachteile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Unterkühlung</li> <li>Korrosiv</li> <li>Phasenentmischung</li> <li>Zyklusstabilität ??</li> </ul> |

www.asttp.at 24 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Was ist ein PCM-Slurry ?

Microverkapseltes Paraffin  
 ⇒ vermischt mit Wasser  
 ⇒ Pumpbares Fluid

www.asttp.at 25 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Speicherdichte verschiedener Phasenwechselmaterialien im Vergleich zu Wasser

**Je Masseneinheit**

**Je Volumeneinheit**

www.asttp.at 26 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Speicherdichte von Natriumacetat TriHydrat im Vergleich zu Wasser

- Anwendung sollte oft und eng um den Phasenwechselpunkt schwanken
- PCM sind daher eher Kurzzeitspeicher (Ausnahme Nutzung der Unterkühlung)

www.asttp.at 27 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### PCM-Projekte in Europa (IEA SHC Task 32)

| Type of Technology   | Material   | Stage of Development | Investigating Institute                                       |
|--|--|----------------------|---|
| PCM seasonal storage using subcooling                        | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$                                  | Lab prototype        | Technical University of Denmark (DTU), Denmark                |
| Macroencapsulated PCM in storage tank                        | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ + graphite                       | Lab prototype        | University of Lleida, Spain                                   |
| Macroencapsulated PCM in storage tank with integrated burner | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ + graphite                       | Lab prototype        | Applied University of West-Switzerland (HEIG-VD), Switzerland |
| Microencapsulated PCM slurry                                 | Paraffine  | Lab prototypes       | Graz University of Technology, (IWT-TUGraz), Austria          |
| Macroencapsulated PCM in storage tank                        | Paraffine, $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ with/without graphite | Lab prototypes       | Graz University of Technology, (IWT-TUGraz), Austria          |
| Immersed heat exchanger in PCM                               | $\text{Na}(\text{CH}_3\text{COO}) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ without graphite                 | Lab prototypes       | Graz University of Technology, (IWT-TUGraz), Austria          |

www.asttp.at 28 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM) Ausnutzung der Unterkühlung zur Langzeitspeicherung (Projekt DTU, Dänemark)

www.asttp.at 29 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM) System simulationen

**Annual simulation**

- Domestic hot water
- Heat load
- Auxiliary heater
- Solar collector

**Optimization of storage**



- Position of PCM modules
- Melting point
- Other PCM geometries


www.asttp.at 30 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM)

Test und Simulation verschiedener PCM-Optionen  
Institut für Wärmtechnik



Speicher für mikroverkapselte PCM emulsion

PCM Speicher mit zylindrischen Modulen

PCM Speicher mit eingehängten Wärmetauschern

www.asttp.at 31 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM)

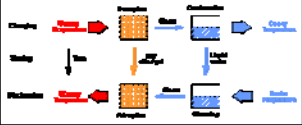
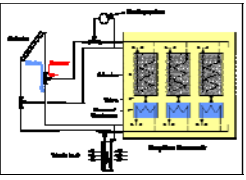
| Parameter  | DTU   | Liesle   | HEB-VD  | TU Graz   | TU Graz   |
|--|---|--|---|---|---|
| Type of technology   | Seasonal storage with subcooled                           | Macroencapsulated PCM in solar combi   | Macroencapsulated PCM in solar combi  | Macroencapsulated PCM in store for boiler                                       | Immersed heat exchanger in PCM store                                |
| Cost of material   |   |  |   |   |   |
| Storage materials weight: in kg  | NaCl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·3 H <sub>2</sub> O: 80 | NaCl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 4.2 Water: 140 | NaCl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 50 Water: 30 Paraffin RT27-43 | NaCl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·3 H <sub>2</sub> O + graphite: 13.7 Water: 0 | NaCl <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·3 H <sub>2</sub> O + 45 Water: 0 |
| Temperature difference in tank   | 32/70°C   | 20/70°C  | 25/65   | 50/70°C   | 50/70°C   |
| Floor space required for prototype   | 1.3 m <sup>2</sup>  | 0.25 m <sup>2</sup>  | 1.8 m <sup>2</sup>  | 0.4 m <sup>2</sup>  | 0.2 m <sup>2</sup>  |
| Energy density of material (NRJ4.1) in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water)         | 128 (3.2)   | 56 (0.97)  | Water 89.7 SAT Paraffin RT27 58.3 (0.84)  | 85 (3.7)  | 103 4.44  |
| Energy density of prototype - heat (NRJ4.2) in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water) | 10.9 (0.3)  | 57 (0.96)  | Water 23.2 Paraffin RT27 57 (2.45)  | 40 (1.7)  | 76 3.3  |
| Energy density of material in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water, 15/55°C)         |   |  | Water 23.2 Paraffin RT27 57 (2.45)  |   |   |
| Energy density of material in kWh/m <sup>3</sup> (ratio to water, 50/70°C)         |   |  | Water SAT 514 (2.21)  |   |   |
| Charge rate in kW  | N/A   |  | Auxiliary 20  | 0.5-1   | 5-20  |
| Discharge rate in kW   | N/A   |  | DHW around 30   | 0.5-1   | 5-20  |
| Estimated size for 70 kWh in m <sup>3</sup> (energy density ratio to water)        | 2.8 (0.8)   | 1.2 (0)  | 1 (0)   | 1.75 (1.7)  | 0.92 (0.9)  |
| Estimated size for 1000 kWh in m <sup>3</sup> (energy density ratio to water)      | 17 (1.4)  | 17.5 (0)   | 14.3 (0)  | 25 (1.7)  | 13 (0.3)  |

Source: IEA SHC Task 32

www.asttp.at 32 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Chemische Speicherung und Sorptionsspeicher

- Ausnutzung der Bindungsenergie von Wasser an porösen Medien (z.B. SilikaGel) Langzeitspeicher
- Beim Entladen wird Wasserdampf benötigt (Erzeugung ?)
- Beim Entladen wird der Speicher warm: Es wird Kondensationswärme und (etwas) chemische Bindungsenergie genutzt
- Zum Austreiben des Wassers im Sommer wird Wärme benötigt.

www.asttp.at 33 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Chemische Speicherung und Sorptionsspeicher Forschungsexpertise in Europa (IEA SHC Task 32)

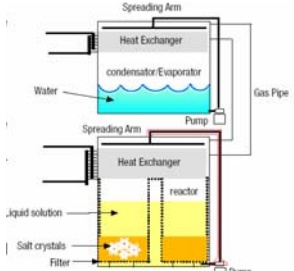
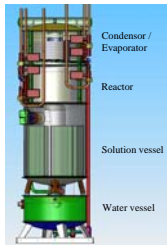
Table 1 Summary of prototype storage units studied in Subtask B.

| Type of Technology                  | Material            | Stage of Development                   | Investigating Institute                   |
|-------------------------------------|---------------------|--|---|
| Closed three phase absorption (TCA) | LiCl-water + vapour | Nearly commercial                      | Solar Energy Research Center SERC, Sweden |
| Closed two phase absorption         | NaOH-water          | Lab prototype                          | EMPA, Switzerland                         |
| Closed adsorption                   | Zeolite-water       | Lab prototype                          | SPF, Switzerland                          |
| Closed adsorption                   | Silicagel-water     | Field installation (Nearly Commercial) | AEE-Intec, Austria                        |
| Open adsorption                     | zeolite-water       | Lab prototype                          | ITW Stuttgart                             |

www.asttp.at 34 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Geschlossener Sorptionsprozess, Thermo-Chemical Accumulator Climate Well, Schweden

www.asttp.at 35 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Geschlossener Saison Sorptionspeicher AEE-Intec - Österreich




www.asttp.at 36 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Offener Sorptionsspeicher, ITW Stuttgart

The diagram illustrates an open sorption storage system. It shows a collector at the top, a storage tank in the middle, and an auxiliary heater at the bottom. The system is designed to store heat by using a sorption process. The diagram includes labels for ambient air, exhaust air, supplied air, and a control store.

www.asttp.at 37 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Chemische Speicherung und Sorptionsspeicher

| Parameter  | TCA<br>80-160°C                                | NaOH<br>50°C test<br>150°C<br>calculated | Moderstore<br>80°C   | SPF<br>180°C      |
|--|--|--|--|-------------------|
| Type of technology   | Closed absorption                              | Closed absorption                        | Closed adsorption  | Closed adsorption |
| Cost of material   | 3600 €/m³                                      | 250 €/m³                                 | 4300 €/m³  | 2-3000 €/m³       |
| Storage materials weight   | LiCl salt 64 kg<br>Water 117 kg<br>Steel 47 kg | NaOH 160 kg<br>Water 180 kg              | Silica gel 200 kg<br>Water 30 kg<br>Steel 150 kg<br>Copper 50 kg | Zeolite 13x 7 kg  |
| Storage capacity for heat  | 35 kWh   | 8.9 kWh                                  | 13 kWh   | 1 kWh             |
| Floor space required for prototype                                   | 0.46 m²  | 2 m²                                     | 0.4 m²   | 0.3 x 0.3 m²      |
| Energy density of material (NRJ4.1) (ratio to water 25/85°C)         | 253 kWh/m³ (0.6)                               | 250 kWh/m³ (0.6)                         | 50 kWh/m³ (0.7)  | 180 kWh/m³ (< 3)  |
| Energy density of prototype - heat (NRJ4.2) (ratio to water 25/85°C) | 85 kWh/m³ (1.2)                                | 5 kWh/m³ (0.07)                          | 33.3 kWh/m³ (0.48)   | 57.8 kWh/m³ (< 1) |
| Energy density of prototype - cold (ratio to water 7/17°C)           | 54 kWh/m³ (4.7)                                | -  | -  | -                 |
| Charge rate  | 15 kW  | 1 kW                                     | 1-1.5 kW   | -                 |
| Discharge rate   | 8 kW   | 1 kW                                     | 0.5 - 1 kW   | 0.8 kW / 1.8 kW   |
| Estimated size for 70 kWh (ratio to water 25/85°C)                   | 0.64 m³ (1.6)                                  | 1.3 m³ (0.75)                            | 1.7 m³ (0.58)  | 1.2 m³ (< 1)      |
| Estimated size for 1000 kWh (ratio to water 25/85°C)                 | 5.3 m³ (2.7)                                   | 5 m³ (2.9)                               | 23 m³ (0.62)   | 17 m³ (< 1)       |

Source: IEA SHC Task 32

www.asttp.at 38 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Ansätze chemische Speicherung

The diagram shows a chemical storage cycle. It starts with solar heat input, which is used to drive a chemical reaction (A to B). The reaction is reversible, allowing for storage (B to A) and subsequent heat output (A to B). The cycle is shown with a sun icon and a house icon.

Promising chemical solar storage candidate materials, identified by ECNUU, The Netherlands (Visscher, 2004).

| Material name      | Dissociation reaction                |                   |                  | energy storage density of C<br>GJ/m³ | turnover temperature<br>°C | realisation potential<br>% |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                    | C <->                                | B +               | A                |                                      |                            |                            |
| Magnesium sulphate | MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O | MgSO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> O | 2.8                                  | 122                        | 9.5%                       |
| Silicon oxide      | SiO <sub>2</sub>                     | Si                | O <sub>2</sub>   | 37.9                                 | 4065<br>+ HF, 155          | 9.0%                       |
| Iron carbonate     | FeCO <sub>3</sub>                    | FeO               | CO <sub>2</sub>  | 2.6                                  | 180                        | 6.3%                       |
| Iron hydroxide     | Fe(OH) <sub>2</sub>                  | FeO               | H <sub>2</sub> O | 2.2                                  | 150                        | 4.8%                       |
| Calcium sulphate   | CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O | CaSO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> O | 1.4                                  | 89                         | 4.3%                       |

Source: IEA SHC Task 32

www.asttp.at 39 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Punkt 3

Entwicklungsbedarf  
(Ergebnisse der ESTTP WG1 Storage Group)

The photograph shows a large array of solar collectors installed on a roof. The collectors are arranged in rows and are tilted towards the sun. The text 'Punkt 3' and 'Entwicklungsbedarf (Ergebnisse der ESTTP WG1 Storage Group)' is overlaid on the image.

www.asttp.at 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Ergebnisse und derzeitige Probleme bei PCM und Sorptionsspeichern

- Speicher können nicht unabhängig vom Wärmebedarfssystem bewertet werden
- Signifikante Unterschiede bei Langzeit- Kurzzeit Wärmespeichern
- Erhöhung der Speicherkapazität bei PCM/Sorption gegenüber Wasser in den meisten Fällen sehr gering (im Gesamtsystem über das Jahr)
- Technischer Aufwand und dafür Kosten derzeit zu hoch
- => Wasser ist derzeit noch wie vor in den meisten Fällen die bessere Wahl => Forschungsbedarf ???!!

www.asttp.at 41 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Ziele Wissenschaft :

8-fache Speicherdichte im Vergleich zu Wasser

## Ziele Hersteller: Speicher für einfache, billige und wartungsarme SolarSYSTEME

www.asttp.at 42 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf Wärmespeicher:

- Reduktion der Wärmeverluste (z.B. Vakuumisolation)
- Reduktion der Mischungsverluste (z.B. Thermosyphon, Schichtladeeinheit, Kunststoffspeicher ...)

**First Law of Thermodynamics**

$$q + w_t = \Delta h + \Delta e_{kin} + \Delta e_{pot}$$

↳ sensible heat  
latent heat → phase change  
physical reaction  
chemical reaction

**Second Law of Thermodynamics**

$$\Delta W_{ex,loss} = T_{am} \cdot \Delta S$$

Irreversibilities due to temperature gradients, mixing, friction, reactions ...

Quelle: ITW Stuttgart

www.asttp.at 43 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf Phasenwechselmaterialien:

- Bessere Materialien
- Geringere Wärmeverluste
- Billigere Wärmetauscher
- Standzeit
- Systemtechnologie

www.asttp.at 44 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf Sorptionsspeicher :

**Bessere Materialien**  
**Billigere Wärmetauscher**  
**Systemtechnologie**

www.asttp.at 45 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

| Technology   | Applied research  | Fundamental research   |
|--|---|--|
| <b>System technology</b>                             |   |  |
| Life Cycle Analysis                                  | design for recyclability<br>analysis of service life<br>materials compatibility   |  |
| Standardisation and certification                    | modelling system performance  |  |
| Intelligent distribution of heat with automatic taps | valve drives<br>wireless control: wireless communication  |  |
| Waste water heat exchange                            | storage integration in heat exchanger   |  |
| PCM integrated in building material                  | encapsulation technologies, mechanical properties of building materials and constructions incorporation into construction materials | encapsulated PCM production technologies<br>characterization of the material (thermophysical properties, safety and long-term characteristics)<br>integration in thermal simulation software |
|  | mixing technologies   |  |

www.asttp.at 46 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

| Technology  | Applied research   | Fundamental research |
|---|--|----------------------|
| <b>System technology</b>  |  |                      |
| cascaed adsorption storage  | thermodynamic design optimisation  |                      |
| intelligent control   | predictive and adaptive control<br>user interfaces   |                      |
| active building mass  | building integrated decentralised storage, controlled heat or cold charging and discharging, heat transfer enhancement, prefabricated constructions        |                      |
| cold storage  | cooling ceilings, heat sinks   |                      |
| system integration  | collector integrated storage, prefabricated building envelope elements, integration into building services (building ventilation, heating, cooling system) |                      |
| buried air ducts  | reduced mixing and heat transfer   |                      |
| buried water pipes  |  |                      |
| store-burner-heating system couplings (black box systems)<br>Either burner in store or increased store in burner, inclusion of space heating and DHW production |  |                      |

www.asttp.at 47 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

| Apparatus technology  | Applied research  | Fundamental research                                 |
|---|---|--|
| legionella resisting or suppressing technologies  | specific coating of surfaces  | microbiology, toxicology                             |
| TCM reactor in distribution system<br>distributed microreactors on walls<br>reactor in collector absorber | microreactors<br>microlenses  |  |
| heat exchangers   | compact heat exchangers, heat pipes, integrated capillary tubes or air channels   |  |
| advanced water stores   | reduced mixing, modularity, combined water-PCM (PCM supported storage)  |  |
| advanced stratifiers  | new concepts, insulation  |  |
|   | optimised hydraulics, control   |  |
| PCM   | emulsification of paraffins, self-supporting macro encapsulation, composite materials, bound PCMs,<br>PCM integrated heat exchanger | PCM materials,<br>planar heat pipes<br>ionic liquids |

www.asttp.at 48 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

**Apparatus technology**

|             |  |  |
|-------------|--|--|
| Ice storage |  |  |
| sorption    | integration of sorption material with heat exchanger | sorption materials production technology                       |
|             |  | activated carbon   |
|             |  | layered silicates  |
|             |  | metal-organic frameworks (MOF)                                 |
|             |  | zeolite development  |
|             |  | metal foams  |
|             |  | salt hydrates  |
| TCM         | hydrate powder reactor                               |  |
|             | powder transport                                     |  |
|             | membrane reactor                                     | membranes  |
|             | suspension reactor                                   | wall-particle-fluid interaction                                |
|             | combined heat and mass transfer                      |  |
|             |  | materials development  |
|             |  | materials engineering  |
|             |  | hydrocarbon-hydrate bonds                                      |
|             |  | catalysis  |
|             |  | reversible chemical reactions with low equilibrium temperature |

www.asttp.at 49 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

**Apparatus technology**

|  |                                     |                                 |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|
| foldable structures: fill with storage material afterwards: modular        | sealing technologies                |                                 |
| storage with variable volumes  | flexible diaphragms: flexible tanks |                                 |
| foundation piles: soil heat exchangers                                     |                                     |                                 |
| using sensors and actuators to use those parts of storage that are 'ready' |                                     |                                 |
| lime-stone resistant heat exchangers                                       |                                     | surface treated heat exchangers |

www.asttp.at 50 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

### Forschungsbedarf ESTTP, WP 1 Storage Group

**Component technology**

|   |  |                   |
|---|--|-------------------|
| superinsulation   | foams, vacuum insulation, aerogel thermal insulation, vacuum vessels | aerogel materials |
| heat transfer fluids  | pcm slurries, suspensions, dispersions                               | fluid dynamics    |
| plug-and-play connections   | fluid connectors   |                   |
| sensor development: very cheap heat flow measurement  | fluid flow and temperature sensors                                   |                   |
| mass production: low cost materials (polymers, ...); storage technology for multiple applications |  |                   |

www.asttp.at 51 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



### Punkt 4

#### Diskussion

- (F&E- Bedarf aus österreichischer Sicht
- Wo können Projekte sinnvoll eingereicht werden (EU, National wie FFG, EnergieDerZukunft, Länderförderungen etc.)
- Welche Beträge sind die Firmen bereit zu leisten (finanziell, ideell ...)

www.asttp.at 03.09.2007

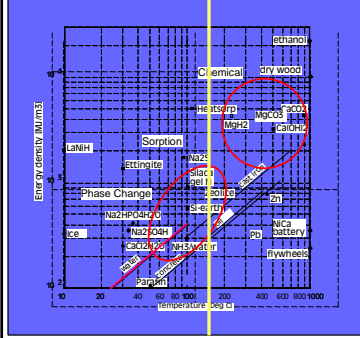
**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



### Arbeitsgruppe Wärmespeicher

www.asttp.at 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



### Möglichkeiten der Wärmespeicherung

- Speicherung und Festkörpern (z.B. Betondecke)
- Wasserspeicher
- Phasenwechselmaterialien (Latentspeicher)
- Chemische und Sorptionspeicher

www.asttp.at 54 03.09.2007



**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## F&E- Bedarf aus österreichischer Sicht

- **In Österreich vorhandene Expertise (Export)**
  - Systemtechnologie (Regelung, Hydraulik, Energiekoordination) Grundlagenforschung bis Anwendung
  - Zielrichtungen: Wohngebäude, Hotel, Gewerbe&Industrie
  - Kombisystem (auch MFH mit größeren Speicher)
  - Saisonspeicher
  - Kältespeicherung, Hochtemperaturspeicherung
  - Systemtechnik Wasser, PCM und Sorption für verschiedene Anwendungen und Zielsetzungen (bestehende Technologie, 8 fache Energiedichte, Kosten)
  - Speicher und Wärmetauscher und Kleinteile für Salzhydrate (ev. Kunststoff)
- **Nach Österreich zu holendes Know-How (Import)**
  - Grundlagen Materialsuche (PCM, Sorption, chemisch) aus Simulation festlegen, wie Materialien aussehen sollten.
  - Speicherhersteller aus ganz Europa einbinden (da nur wenige große Speicherhersteller in Österreich).

www.asttp.at 55 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Wo können Projekte sinnvoll eingereicht werden (EU, National wie FWF, FFG, EnergieDerZukunft, Länderförderungen etc.)

www.asttp.at 56 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform

## Welche Beträge sind die Firmen bereit zu leisten (finanziell, ideell ...)

www.asttp.at 57 03.09.2007

**ASTTP**  
Austrian Solar Thermal Technology Platform



www.asttp.at 03.09.2007