

Ergebnisse des IEA SHC Task 32

Solarthermische Anlagen mit fortschrittlicher Speichertechnologie für Niedrigenergiegebäude

W. Streicher, Institut für Wärmetechnik TU Graz

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, Jean Christohe Hadorn, 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, SERC, Chris Bales, 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, IWT, Wolfgang Streicher , Ende: 31. Dezember 2007

Subtask D:

Fortschrittliche Warmwasserspeicher und Ihre Komponenten

Ergebnis:

Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten.

Leitung: Deutschland, ITW, Harald Drück, Ende: 31. Dezember 2007

Teilnehmende Länder und Organisationen :

Dänemark, DTU

Frankreich, ASDER, EDF

Deutschland, ITW, ZAE Bayern, ISE, Universität Kassel, Schüco International

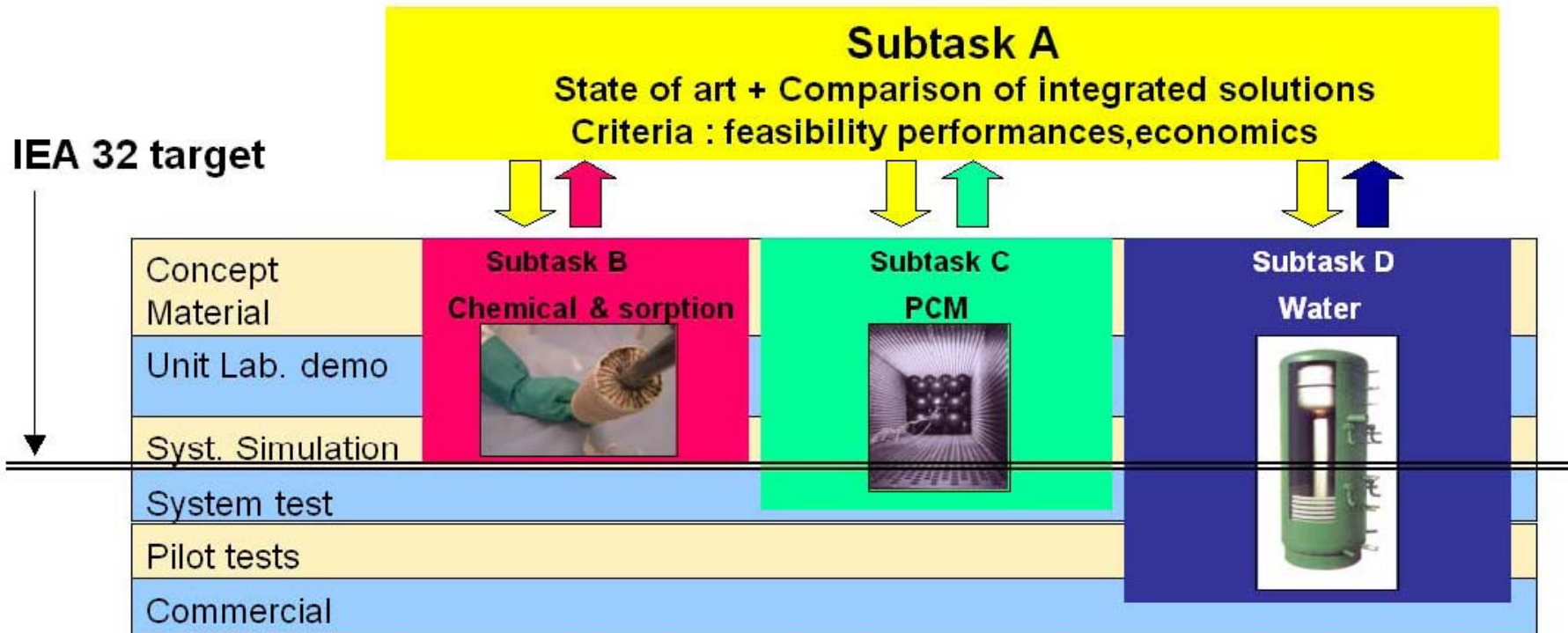
Niederlande, Entry Technologies, ECN

Österreich, IWT, AEE Intec

Spanien, Universitat de Lleida

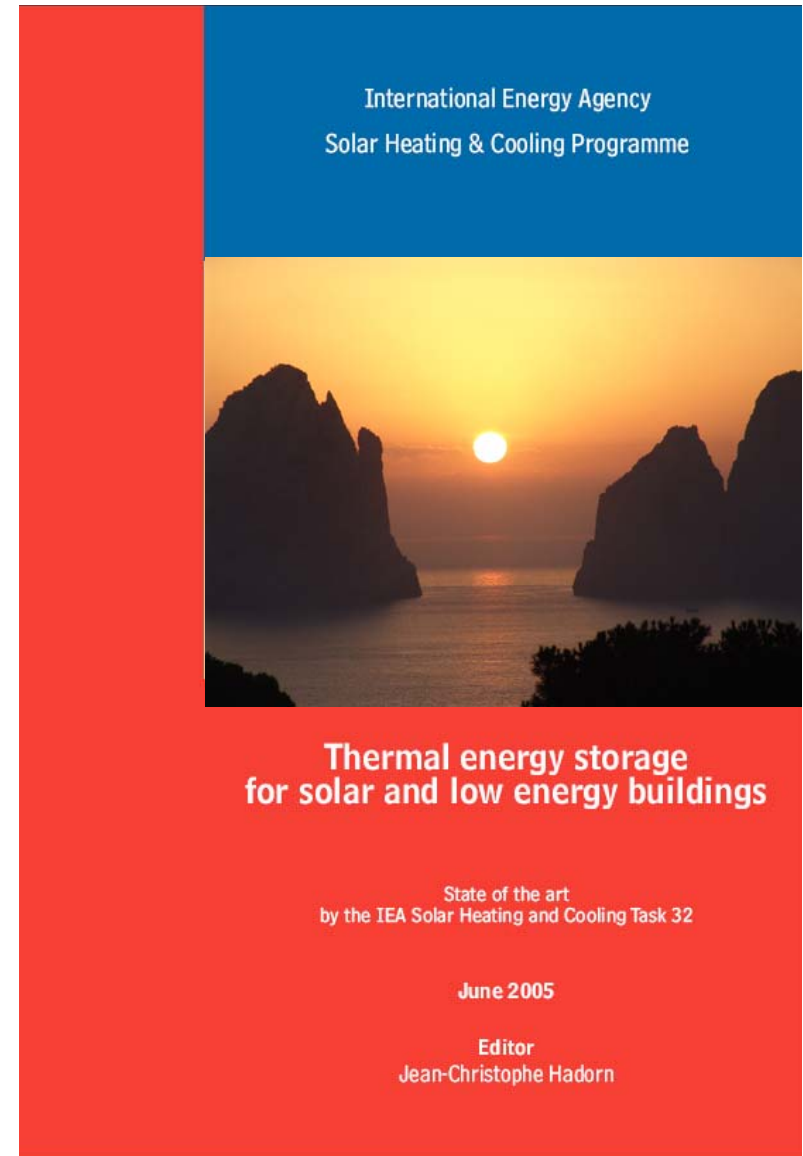
Schweden, SERC

Schweiz, Bundesamt für Energie, HEIG-VD LESBAT, SPF, EMPA



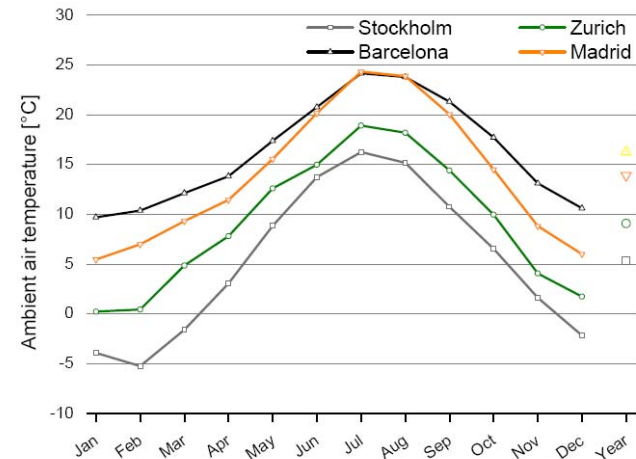
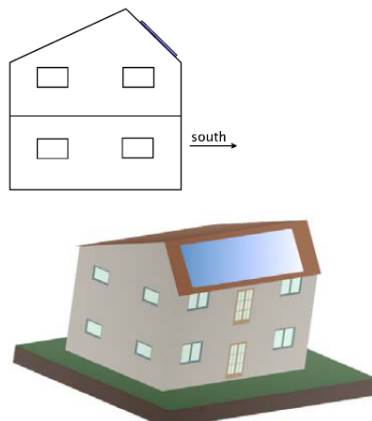
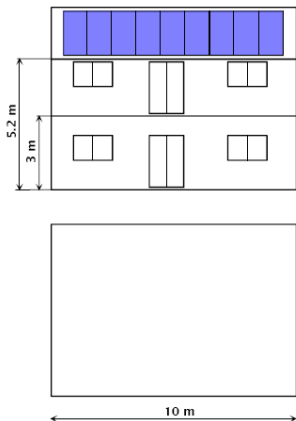
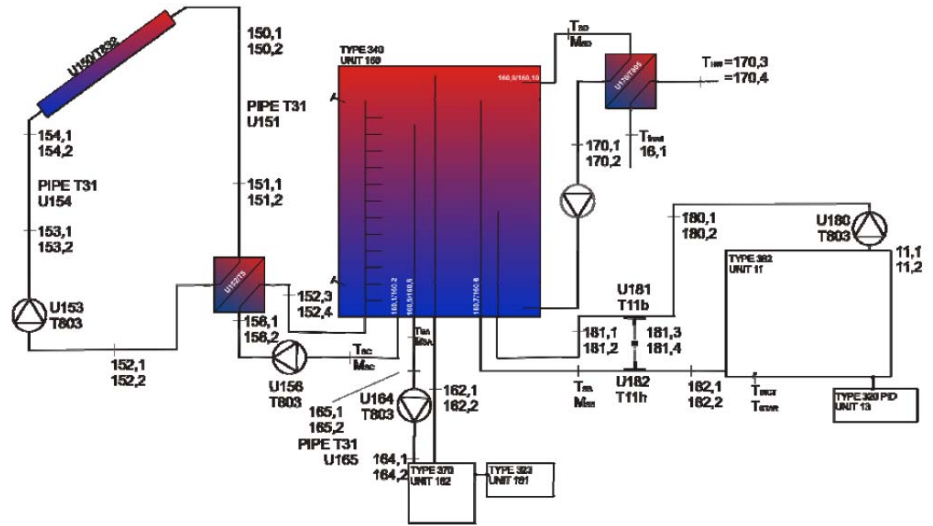
Subtask A: Resultate

- Handbook



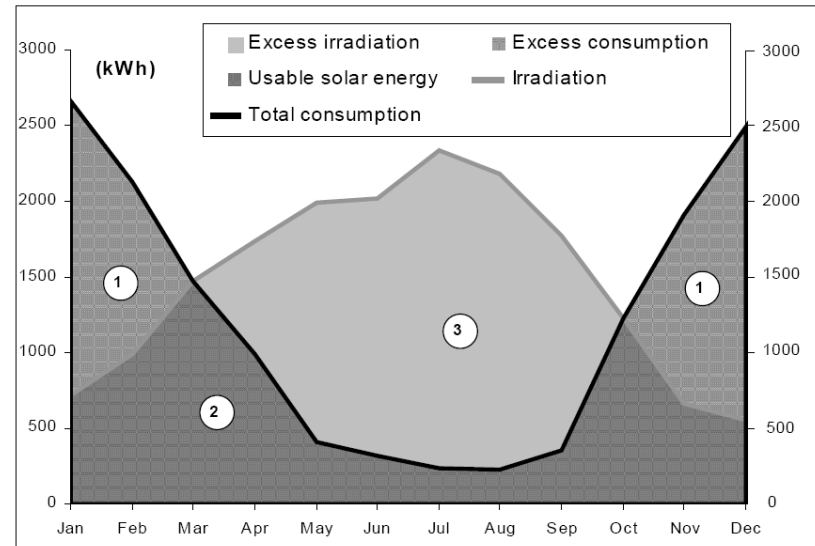
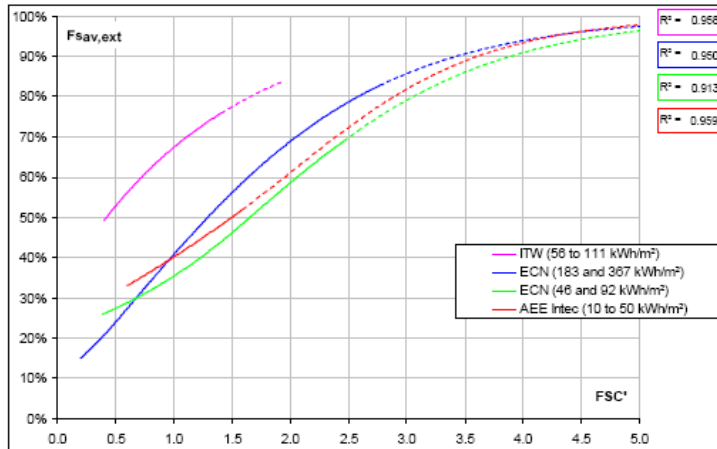
Subtask A: Resultate

- Referenzsystem für den Vergleich



Subtask A: Resultate

- Vergleichsmethode = weiterentwickelte FSC-Methode des IEA SHC Task 26
- Methode angewandt für Sorptionsspeicher



$$FSC = \frac{[(2)]}{[(1) + (2)]} = \frac{\left[\sum_1^{12} Q_{solar,excess} \right]}{\left[\sum_1^{12} E_{ref,month} \right]} = \frac{[(3)]}{[(1) + (2)]}$$

$$ENC = \frac{\left[\sum_1^{12} E_{ref,month} \right]}{Q_{store, cap}}$$

$$FSC' = FSC + \frac{1}{ENC^\alpha} \frac{\left[\sum_1^{12} Q_{solar,excess} \right]}{\left[\sum_1^{12} E_{ref,month} \right]}$$

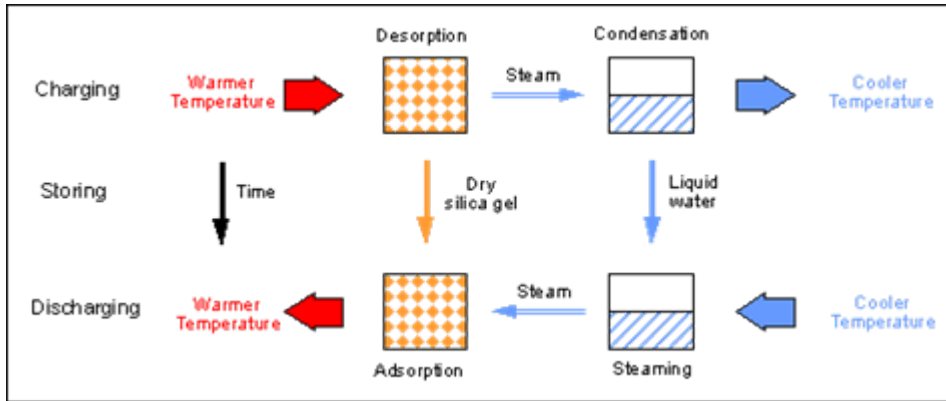
Subtask B: Speicherkonzepte basierend auf Sorptionsmaterialien

Aktivitäten:

- Auswahl geeigneter Materialien,
- Entwicklung von Speicher Prototypen
- Optimierung von Systemen basierend auf dem Referenzsystem von Subtask A

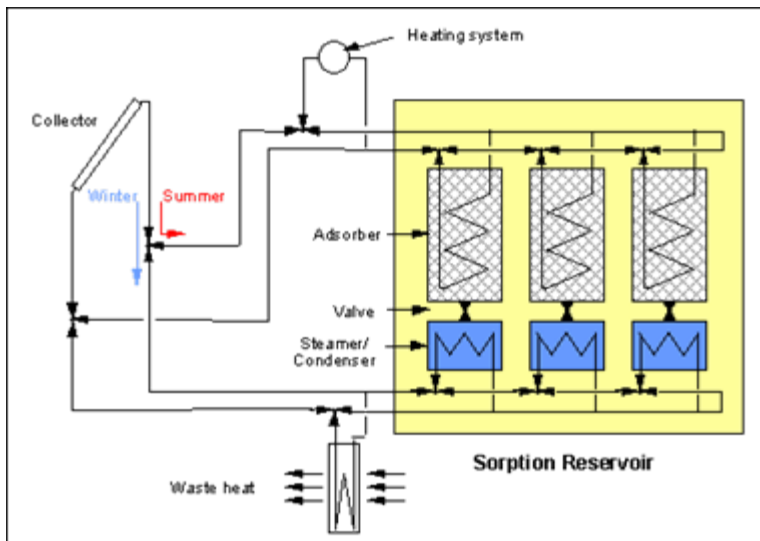
Subtask B:

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.

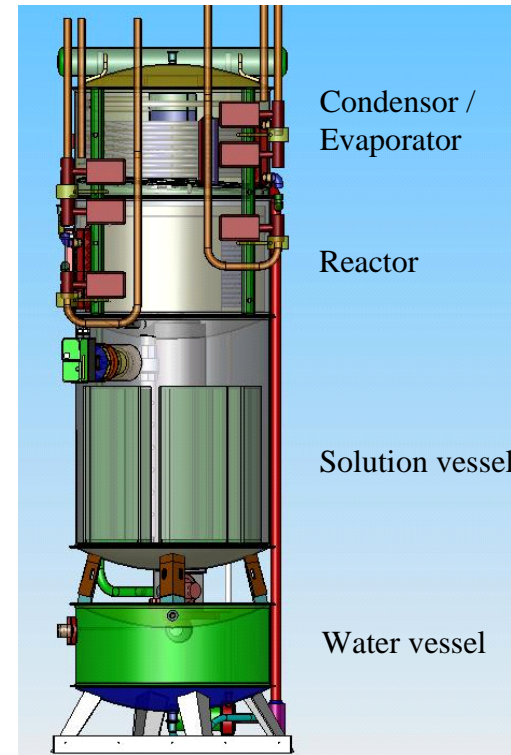
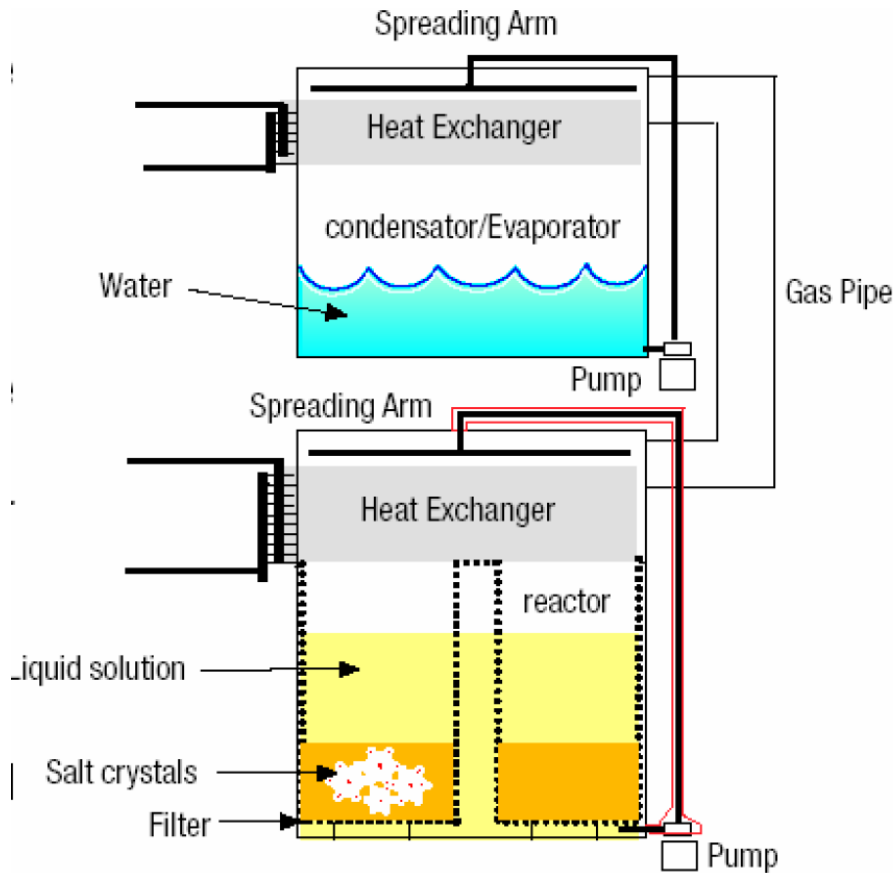


Chemische Speicherung und Sorptionsspeicher Forschungsexpertise in Europa (IEA SHC Task 32)

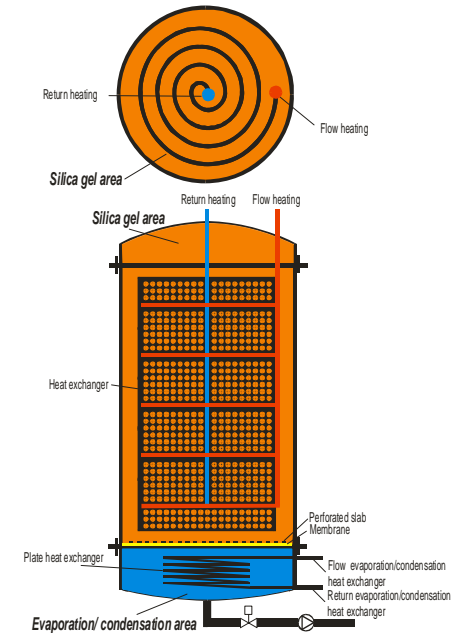
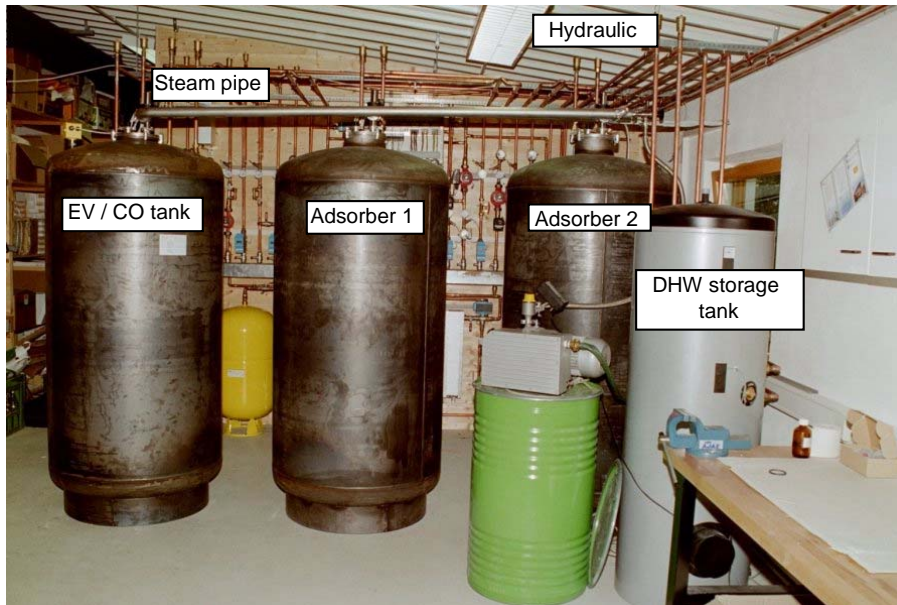
Table 1 Summary of prototype storage units studied in Subtask B.

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

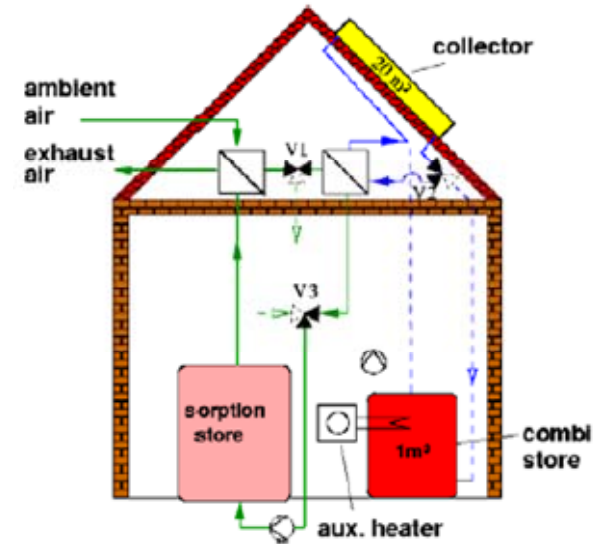
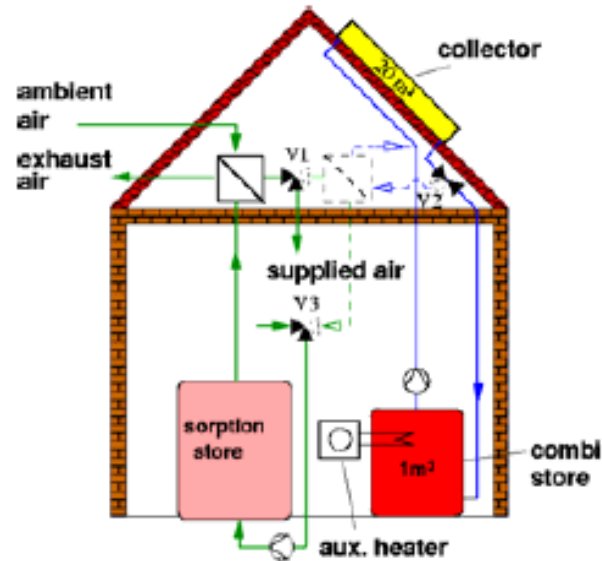
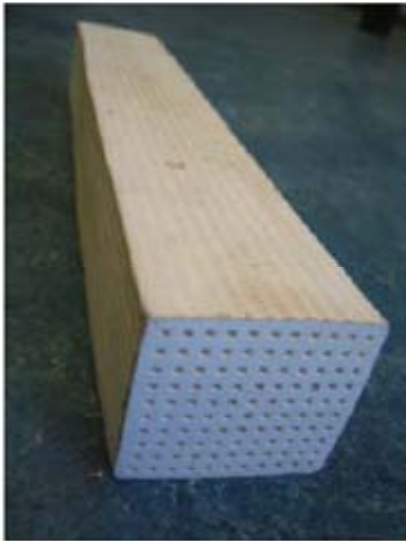
Geschlossener Sorptionsprozess, Thermo-Chemical Accumulator Climate Well, Schweden



Geschlossener Saison Sorptionsspeicher AEE- Intec - Österreich



Offener Sorptionsspeicher, ITW Stuttgart

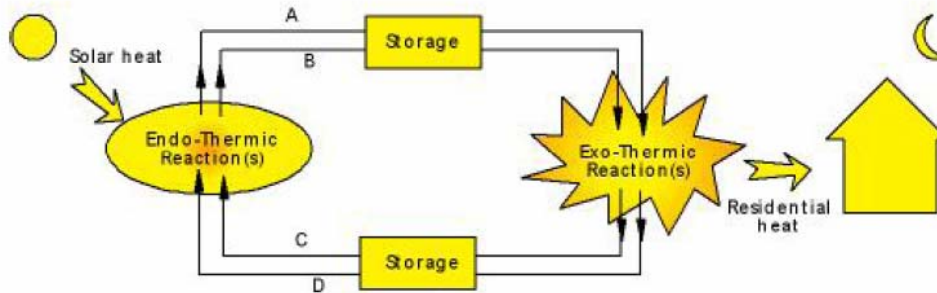


Chemische Speicherung und Sorptionsspeicher

Parameter	TCA 80-100°C	NaOH 95°C test 150°C calculated	Modestore 88°C	SPF 180°C
Type of technology	Closed absorption	Closed absorption	Closed adsorption	Closed adsorption
Cost of material	3600 €/m ³	250 €/m ³	4300 €/m ³	2-3000 €/m ³
Storage materials weight:	LiCl salt 54 kg Water 117 kg Steel 47 kg	NaOH 160 kg Water 160 kg	Silica gel 200 kg Water 30 kg Steel 100 kg 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 m ²	2 m ²	0.4 m ²	0.3 x 0.3 m ²
Energy density of material (NRJ4.1) (ratio to water 25/85°C)	253 kWh/m ³ (3.6)	250 kWh/m ³ (3.6)	50 kWh/m ³ (0.71)	180 kWh/m ³ (~ 3)
Energy density of prototype - heat (NRJ4.2) (ratio to water 25/85°C)	85 kWh/m ³ (1.2)	5 kWh/m ³ (0.07)	33.3 kWh/m ³ (0.48)	57.8 kWh/m ³ (~ 1)
Energy density of prototype - cold (ratio to water 7/17°C)	54 kWh/m ³ (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 m ³ (1.6)	1.3 m ³ (0.75)	1.7 m ³ (0.59)	1.2 m ³ (~ 1)
Estimated size for 1000 kWh (ratio to water 25/85°C)	5.3 m ³ (2.7)	5 m ³ (2.9)	23 m ³ (0.62)	17 m ³ (~ 1)

Source:
IEA SHC
Task 32

Ansätze chemische Speicherung



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

Material name	Dissociation reaction			energy storage density of C GJ/m ³	turnover temperature °C	realisation potential %
	C <=>	B +	A			
Magnesium sulphate	MgSO ₄ ·7H ₂ O	MgSO ₄	H ₂ O	2,8	122	9,5%
Silicon oxide	SiO ₂	Si	O ₂	37,9	4065 + HF: 150	9,0%
Iron carbonate	FeCO ₃	FeO	CO ₂	2,6	180	6,3%
Iron hydroxide	Fe(OH) ₂	FeO	H ₂ O	2,2	150	4,8%
Calcium sulphate	CaSO ₄ ·2H ₂ O	CaSO ₄	H ₂ O	1,4	89	4,3%

Source:
IEA SHC
Task 32

Subtask C: Speicherkonzepte mit Phasenwechsellmaterialien (PCM)

Aktivitäten:

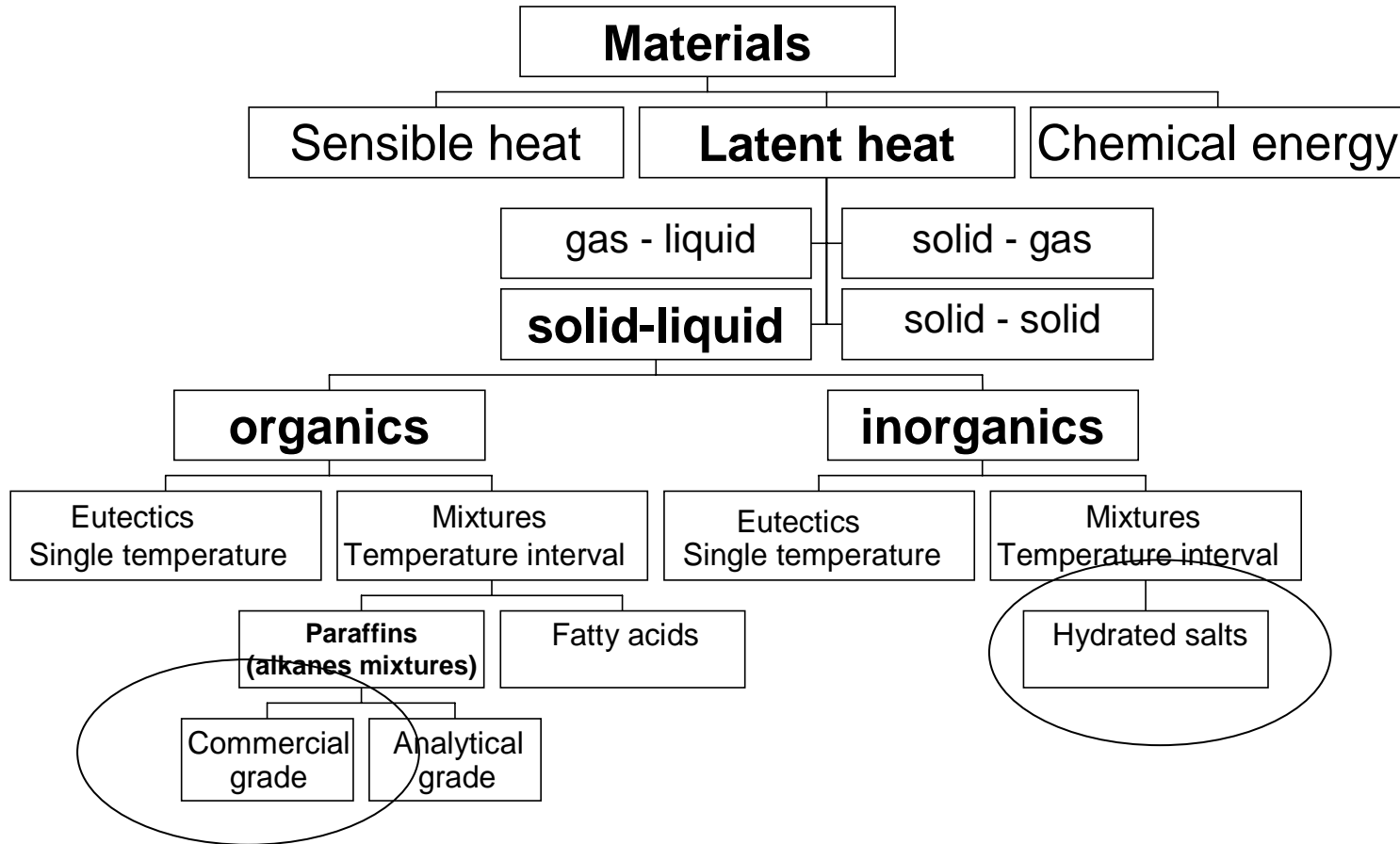
- Auswahl geeigneter Materialien,
- Entwicklung von Speicher Prototypen
- Optimierung von Systemen basierend auf dem Referenzsystem von Subtask A

Table 1.1 Summary of prototype storage units studied in Subtask C.

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 (DTI), 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

Klassifizierung von PCM Materialien



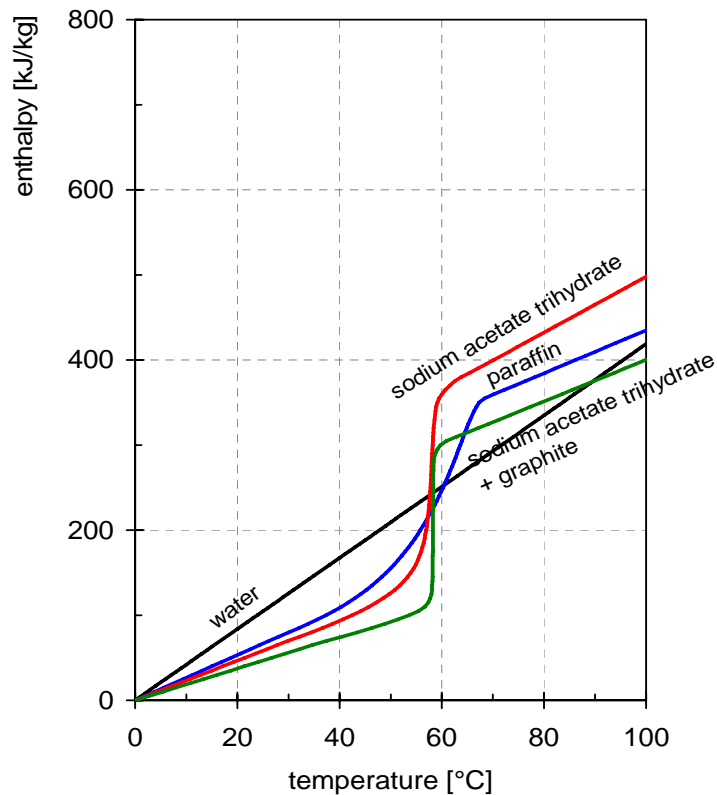
A. Abhat, Low temperature latent heat thermal energy storage: heat storage materials, Solar Energy 30 (1983), 313–332.

Klassifikation von PCM Materialien

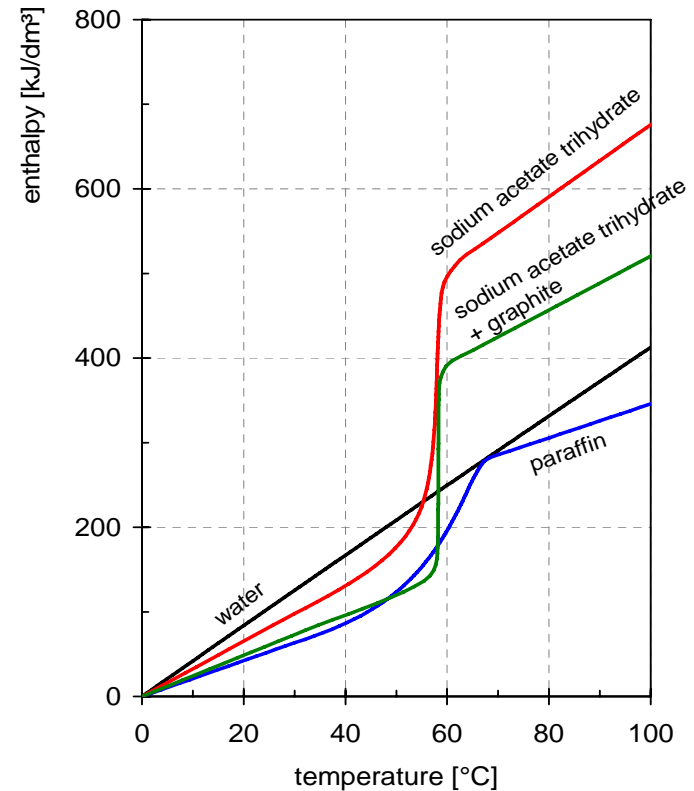
Organische (Paraffine)	Anorganische (Salzhydrate)
<p><u>Vorteile</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Nicht Korrosiv • Chemisch and thermisch stabil • Keine oder geringe Unterkühlung 	<p><u>Vorteile</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Höhere Phasenwechselenthalpie • Größere Dichte
<p>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

Speicherdichte verschiedener Phasenwechsellmaterialen im Vergleich zu Wasser

Je Masseneinheit

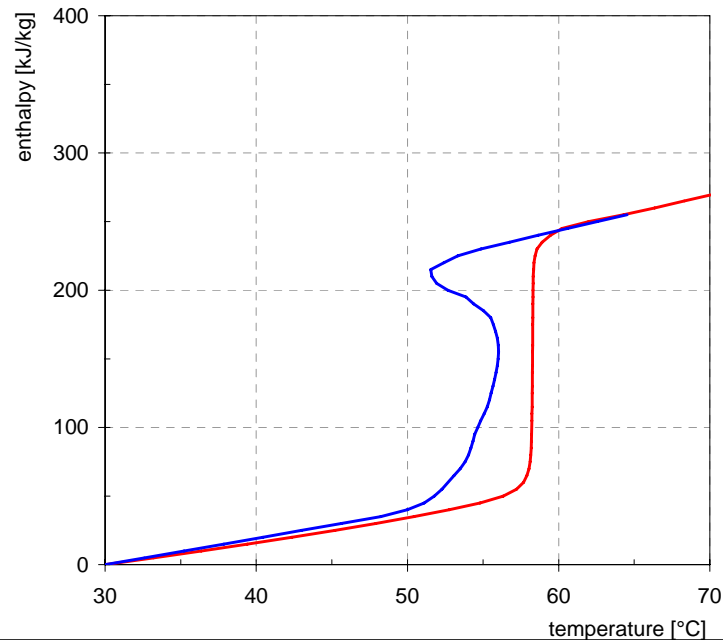
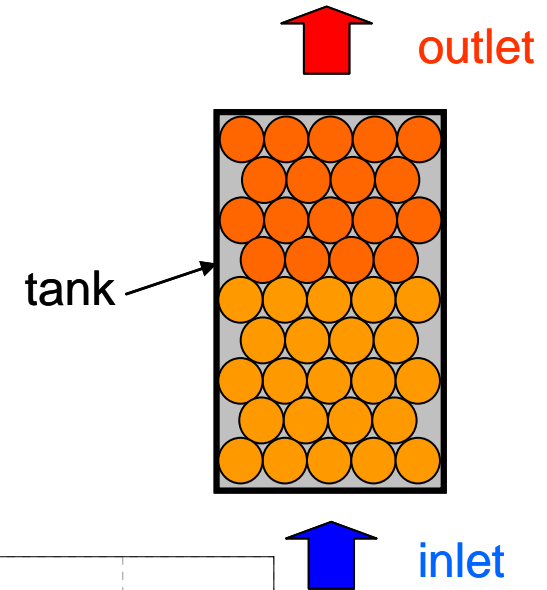


Je Volumeneinheit



Charakteristik von PCM Materialien

- PCM ist nicht der Wärmeträger zum Verbraucher (außer PCM slurries)
- Unterkühlung (tritt hauptsächlich bei hydrierten Salzen auf)
- Phasentrennung (tritt hauptsächlich bei hydrierten Salzen auf)
- Phasenwechsel in einem Temperaturbereich (hauptsächlich bei Paraffinen technischer Reinheit)



Charakteristik von PCM Materialien

Wärmeübergang (Thermische Leistung)

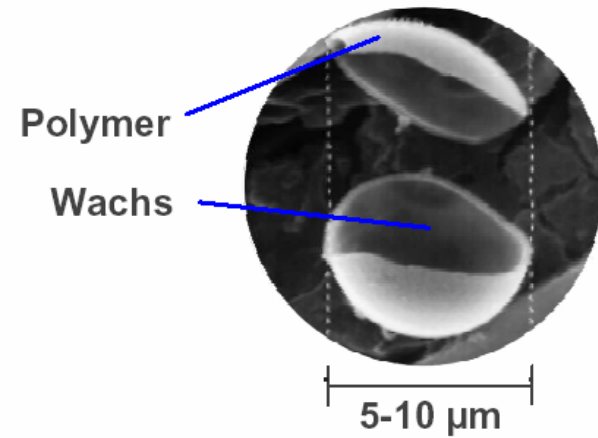
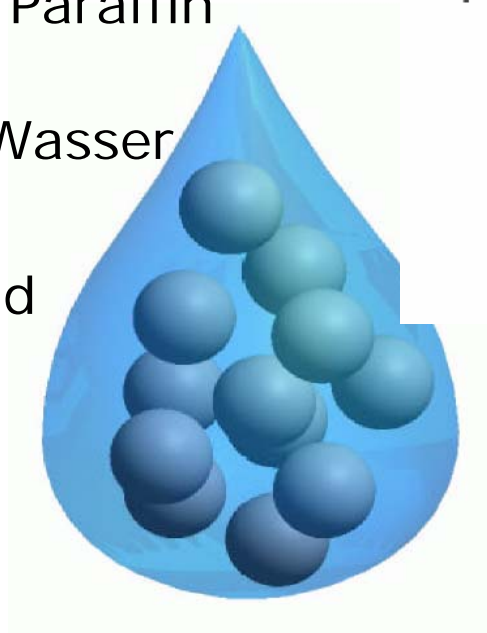
- Problem: geringe Wärmeleitfähigkeit der PCM im festen Zustand * Graphit-Matrix mit PCM oder ander Wärmeleitungsverbesserer
- Wenn die PCMs in Behältern sind kommt zusätzlich der Wärmeübergang von Behälter zu Wasser und PCM dazu => kleine Behälter mit großer Oberfläche oder Slurries

Was ist ein PCM-Slurry ?

Microverkapseltes Paraffin

⇒ vermischt mit Wasser

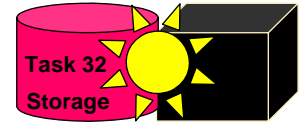
⇒ Pumpbares Fluid



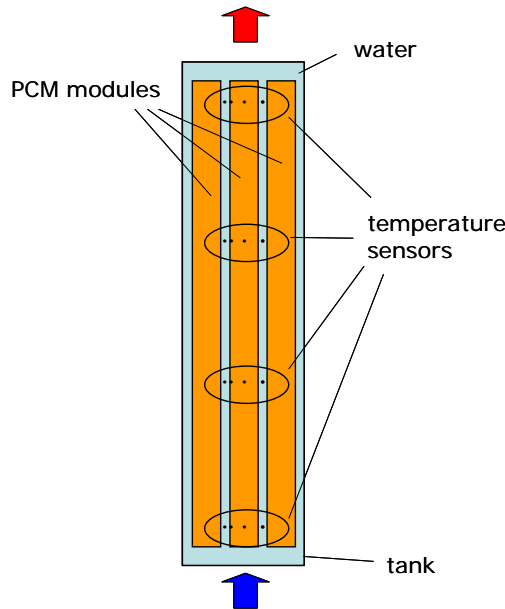
Speicher mit Phasenwechselmaterialien (PCM)



Test und Simulation verschiedener PCM-Optionen
Institut für Wärmetechnik



Speicher für mikroverkapselte
PCM emulsion



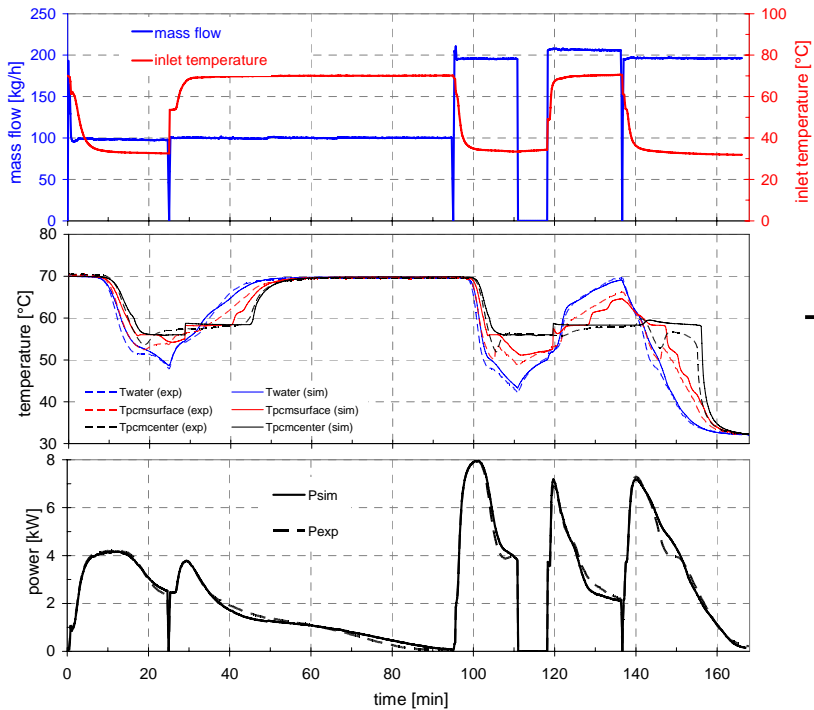
PCM Speicher
mit zylindrischen Modulen



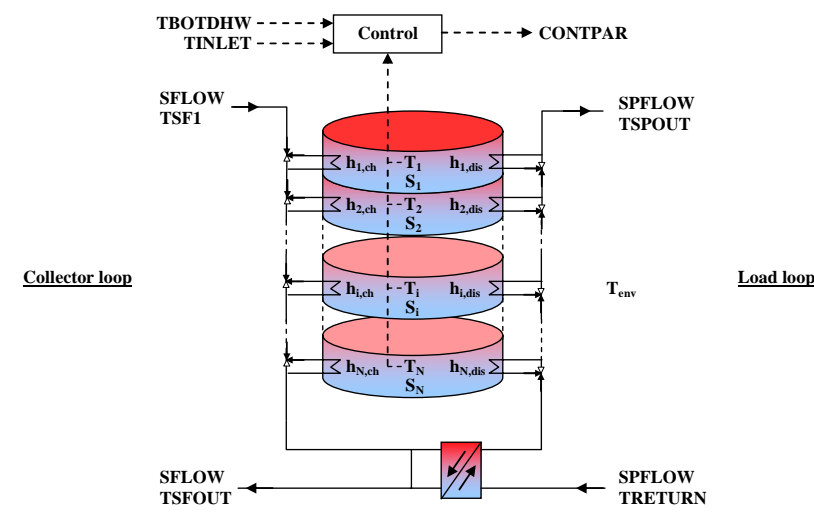
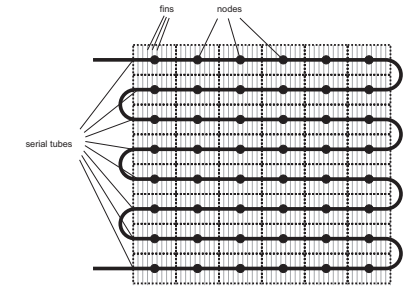
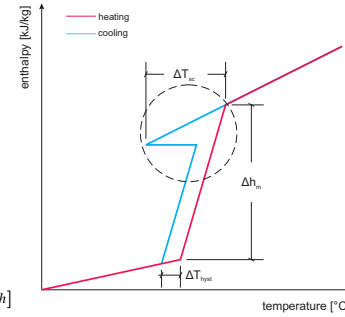
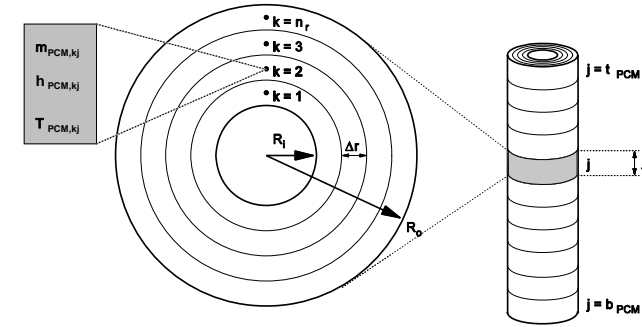
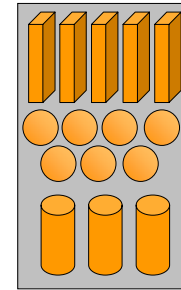
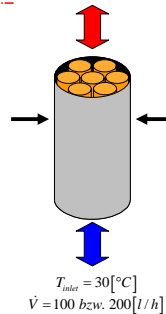
PCM Speicher mit
eingehängten Wärmetauscher

PCM Speichermodellierung

TRNSYS Types von HEIG-VD, IWT TU Graz, DTU



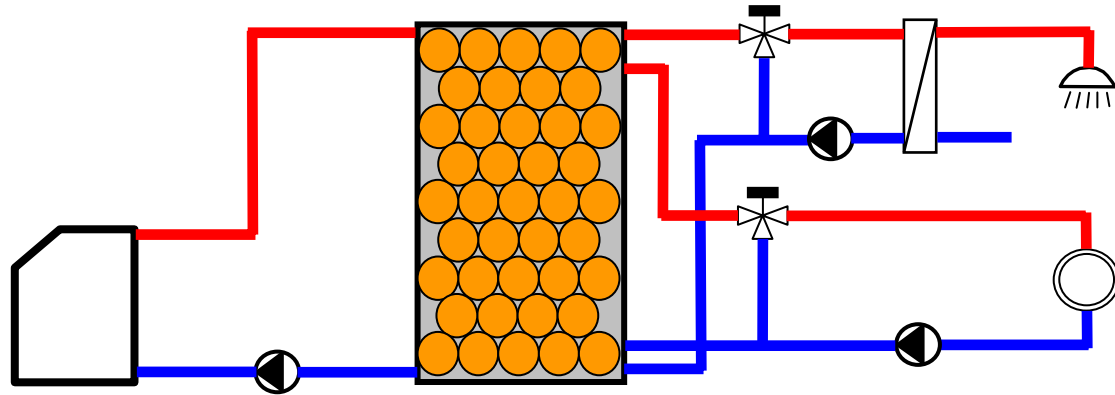
$T_{inlet} = 70 [^{\circ}C]$
 $\dot{V} = 100 \text{ bzw. } 200 [l/h]$



Systemsimulation

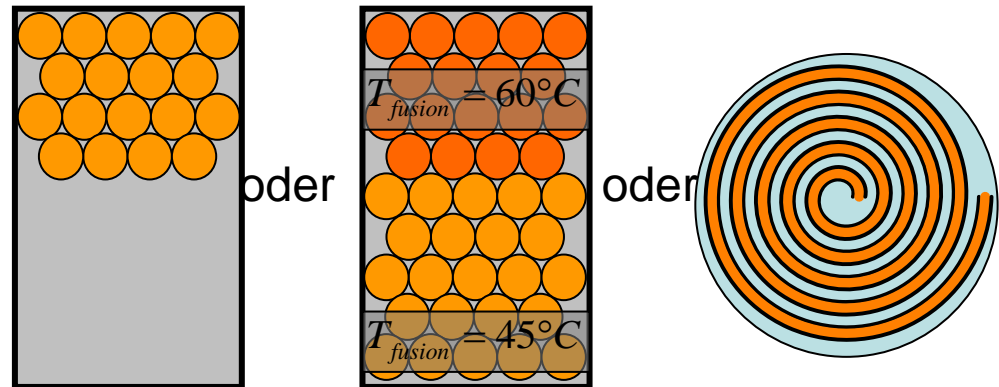
Jahressimulation

- Trinkwarmwasser
- Heizenergiebedarf
- Hilfsenergie
- Sonnenkollektor



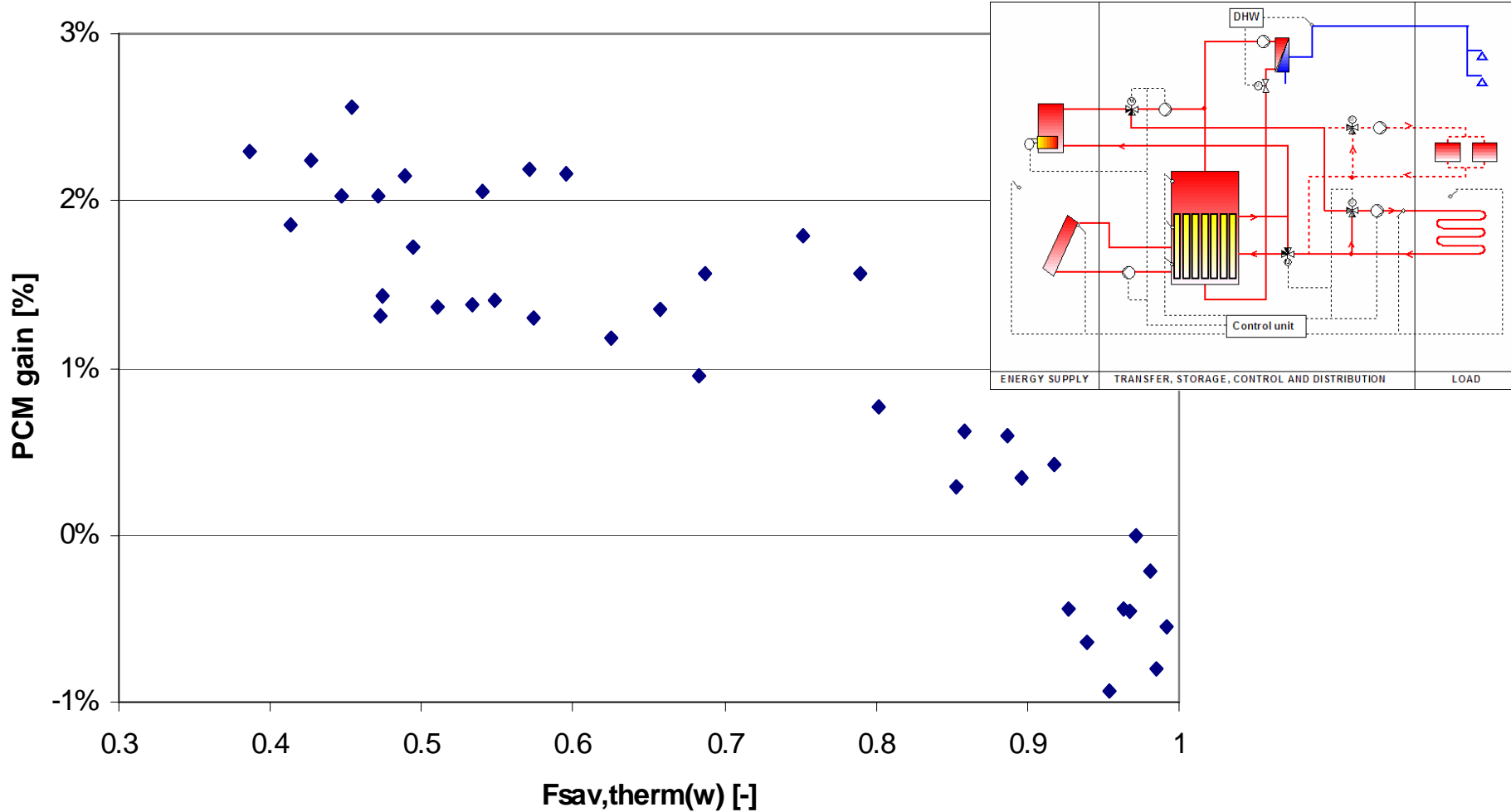
Optimierung der Speicher

- Position der PCM Module
- Phasenwechseltemperatur
- Andere PCM Geometrien



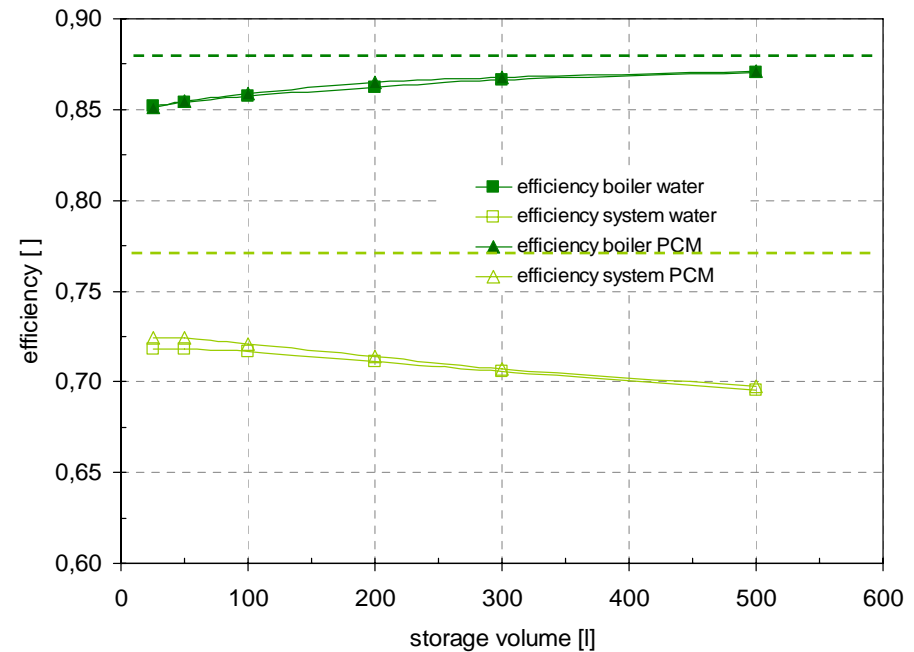
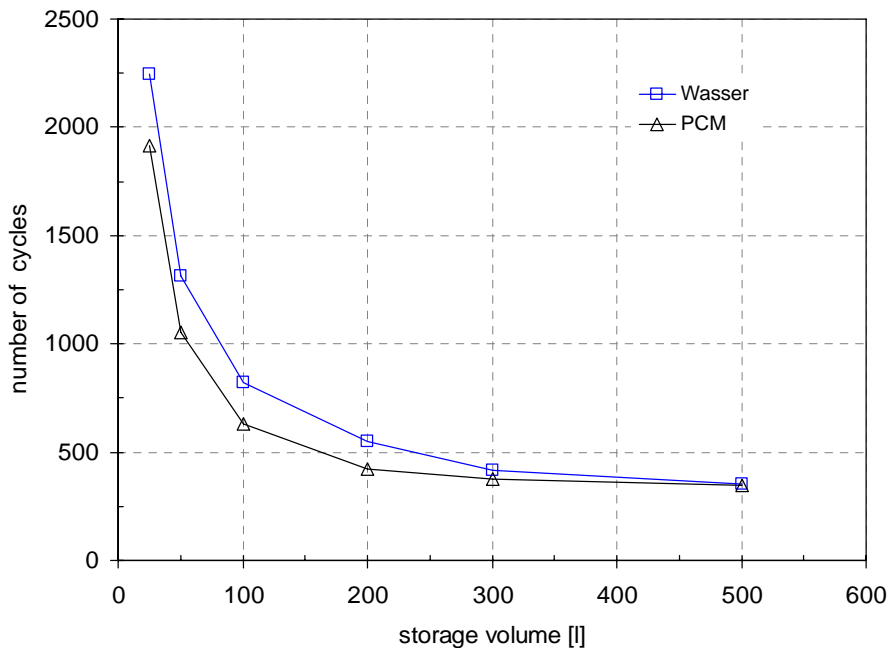
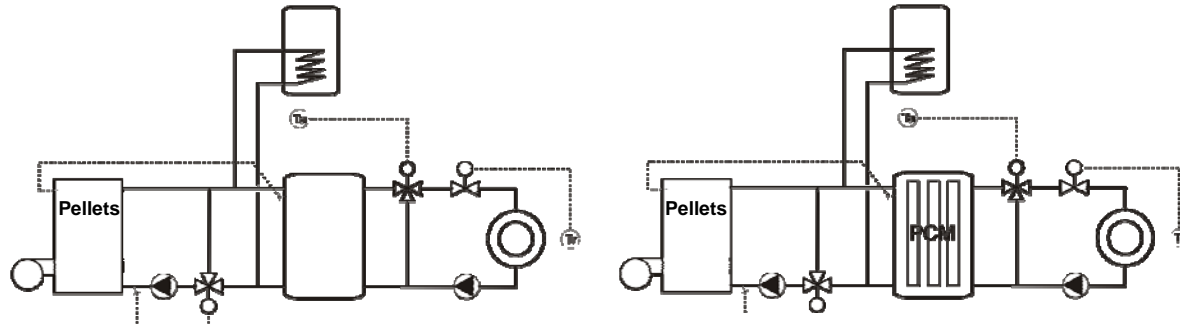
Vergleich von reinem Wasserspeicher + PCM System.

(PCM gain = $F_{sav,therm}(W+PCM)/F_{sav,therm}(W) - 1$),
HEIG-VD, Switzerland



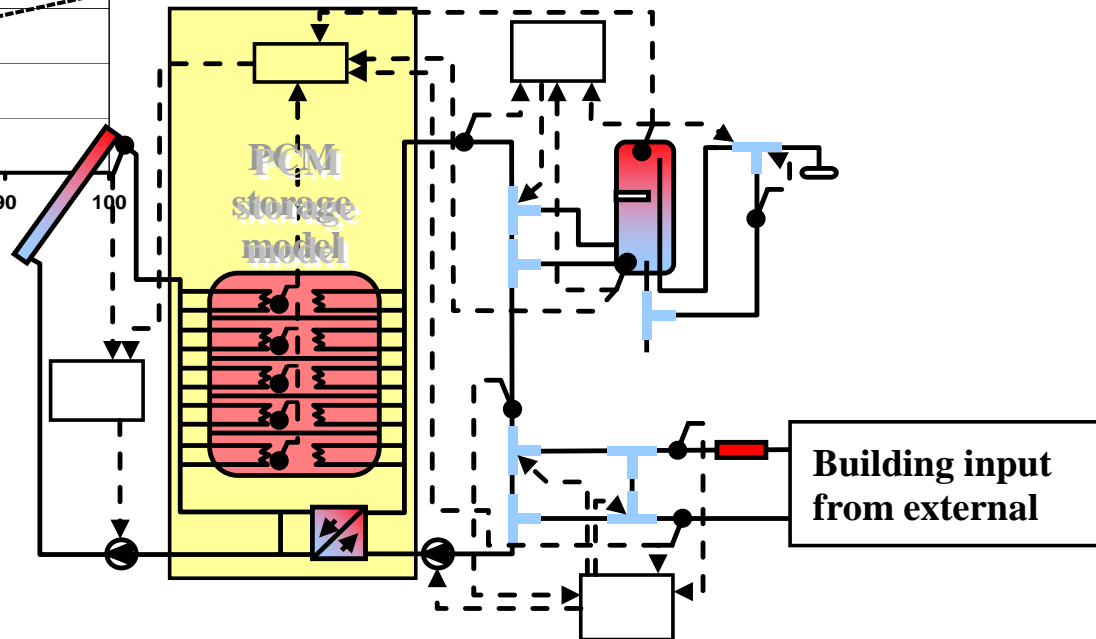
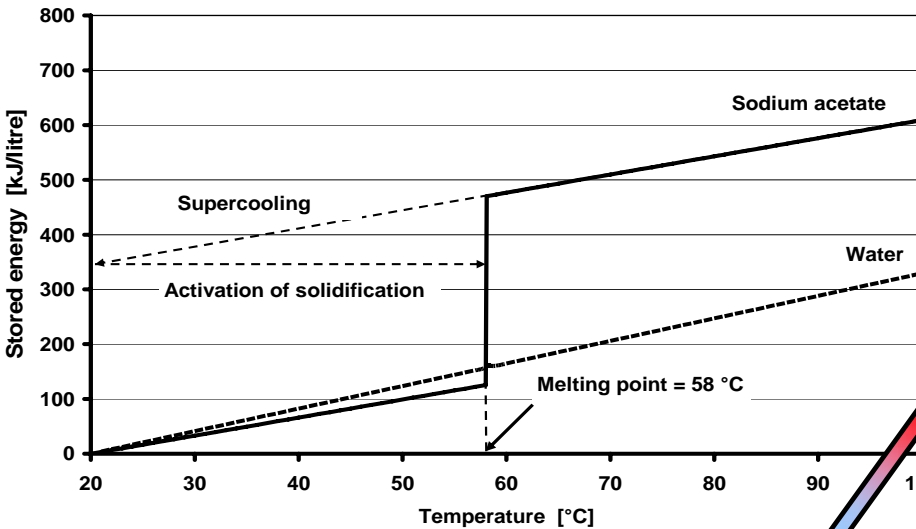
Systemsimulationen IWT, TU Graz, Österreich

**Pellets Kessel:
Anzahl der Startups
Jahresnutzungsgrad**



Nutzung der Unterkühlung für Jahresspeicherung (DTU, Dänemark)

Heat storage capacity of sodium acetate compared to water



Nutzung der Unterkühlung für Jahresspeicherung (DTU, Denmark)

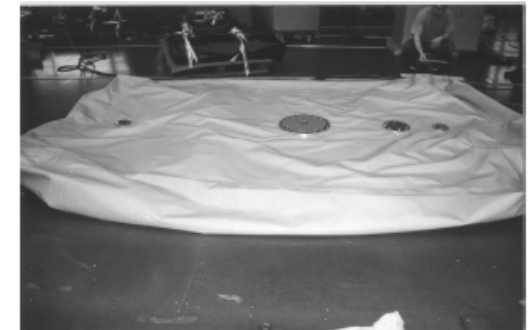
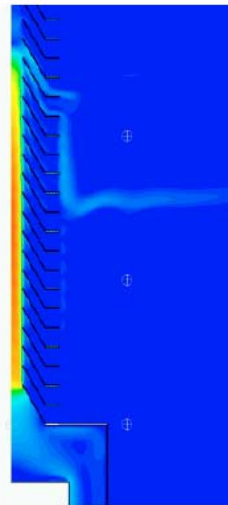
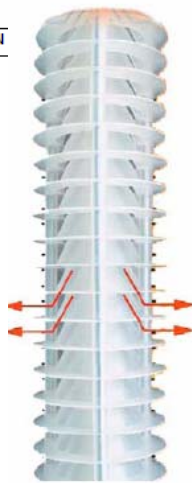
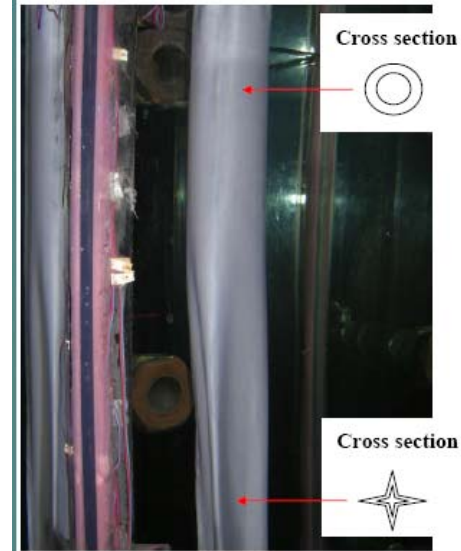
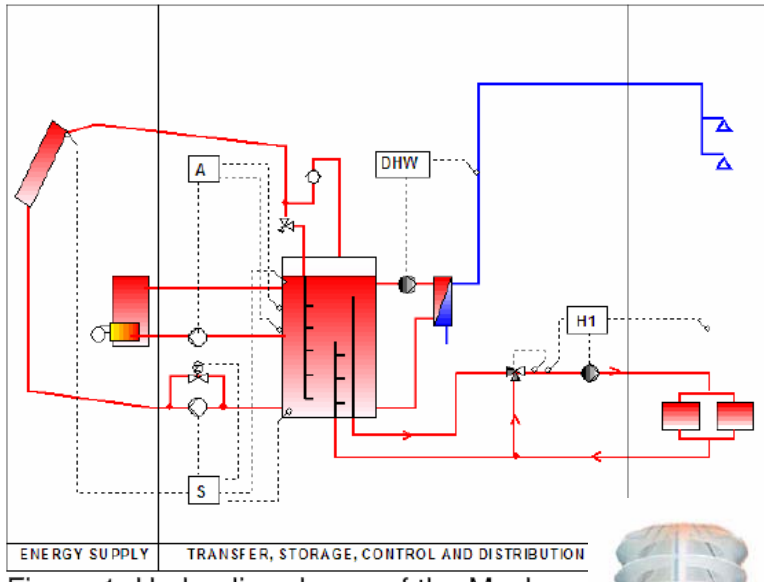
- 100 % solarer Deckungsgrad mit PCM Speichervolumen von 10 m³ für ein 135 m² Nutzungsfläche Passivhaus (15 kWh/m²a Resttheizenergiebedarf).
- Wasserspeicher müssen viel größer sein um 100% Deckungsgrad zu erreichen.
- 80 – 90 % Deckungsgrad können auch mit 10 m³ Wasserspeicher erreicht werden.
- Hoher technischer Aufwand (viele getrennte Speicher)

Subtask D: Fortschrittliche Wasserspeicher

Aktivitäten:

- Prototypen von Erfolg versprechenden Speicherkonzepten, Verbesserung von vorhandenen Konzepten.
- Simulationsergebnisse nach den Randbedingungen von Subtask A

Subtask D: Fortschrittliche Wasserspeicher



Schlussfolgerungen aus IEA SHC Task 32

Generell:

- Werkzeuge zur Evaluierung von PCM- und Sorptionsspeichern im Vergleich zu Wasserspeichern sind vorhanden (Simulationmodule und Vergleichskennzahlen)

PCM –Speicher :

- Mit den derzeitigen Materialien können **keine** signifikanten Verbesserungen gegenüber Wasserspeichern in kompletten Systemen über ein ganzes Jahr erzielt werden.
- Gründe dafür liegen in der geringen Verbesserungen der Wärmespeicherkapazität gegenüber Wasser in den benötigten Temperaturbereichen und den Temperaturverlusten durch Wärmeleitung und Wärmeübergang vom PCM zum Wärmeträger.
- Einzig die gezielte Verwendung der Unterkühlung könnte theoretisch einen Langzeit-Wärmespeicher darstellen

Schlussfolgerungen aus IEA SHC Task 32

Sorptions –Speicher :

- Auch für Sorptionsmaterialien sind Wärmespeicher kaum besser als Wasserspeicher (aufgrund der geringen chemischen Bindungsenergie der derzeitigen Materialien)
- Hier könnte die Entwicklung des ITW, das die Feuchte der Abluft zur Entladung nützt, noch Verbesserungen bringen
- Sorptionsmaterialien eignen sich dagegen zum Einsatz in Wärmepumpen

Wasser-Speicher

- Wasserspeicher können noch weiter in den Bereichen Schichtungsverhalten, Anschlüsse, Wärmedämmung, Tankmaterialien, Wärmeaustauscher verbessert werden

Outlook

- There is a need to find better materials and system solutions for PCM heat stores
- Joint IEA SHC Task and IEA ECES Annex 4224 is starting

Compact Thermal Energy Storage: Material Development for System Integration



Leading organisations **ECN, NL**
Wim van Helden

ZAE, D
Andreas Hauer

TASK SHC/ECES 4224

