

SONNE
LUPPE
FT
POWER
ENERGIE
SOLAR

SONNEN-
STRAHL
ENERGIE
Energie

Temperatur
VORTEIL
Haustechnik

Solar

thermie +

thermische
Speicher

WÄRME
Speicher
✓

WISSEN
UMWELT
ZUKUNFT

KLIMA

WARM-
WASSER

ENERGIE

WARM KALT

Energie
SPEICHER

TEIL
Haustechnik



Cover Illustration: Stefanie Hilgarth

VORWORT

Seite 03

Begleitforschung Solarthermie - Solare Großanlagen

Seite 05

Die Begleitforschung analysiert die Ergebnisse des im Jahre 2010 gesetzten Förderschwerpunkts „Solare Großanlagen“. Dabei wurden mehr als 280 Beratungsgespräche durchgeführt und 88 Projekte gemonitort. Diese Ergebnisse fließen in die zukünftige Entwicklung von hocheffizienten solaren Wärmeversorgungssystemen ein.

Solare Prozesswärme für die AVL List GmbH

Seite 15

Eine solare Großanlage mit einer Fläche von mehr als 1.500m² und einer Energiegewinnung von etwa 600 MWh jährlich ist das Ergebnis dieses Projektes. Neben einer umweltfreundlichen und sicheren Wärmeversorgung wurde Österreichs erste industrielle Contracting-Anlage im Bereich Solarthermie realisiert.

SolPol-4/5: Solarthermal Systems based on Polymeric Materials: Novel Pumped/Non-Pumped Collector-Systems

Seite 21

Um die Kosten von Solarthermie zu verringern wurden neuartige polymere Materialien erforscht. Dadurch wird das Kollektorgewicht reduziert und eine einfache Montage ermöglicht. Ein vermehrter Einsatz von Kunststoffen in der Solarthermie kann eine Belebung des Marktes bewirken.

TES4SET: Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Technology

Seite 29

Dieses Leitprojekt beschäftigt sich mit der Entwicklung von neuen thermischen Speichermaterialien. Neben der stationären Anwendung in Einfamilienhäusern stehen mobile Anwendungen im Fokus. Ziel ist die Erhöhung der Energiedichte von sorptiven Speichermaterialien sowie die Systemintegration von Wärmespeichern.

MH4HeatStorage: Metallhydrid-Technologien für verlustfreie übersaisonale Wärmespeicherung

Seite 41

In diesem Projekt wurde ein autarkes Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept erforscht. Neben der grundsätzlichen Funktionstauglichkeit konnten auch große Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. In zukünftigen Projekten sollen die Optimierungspotenziale ausgenutzt werden.

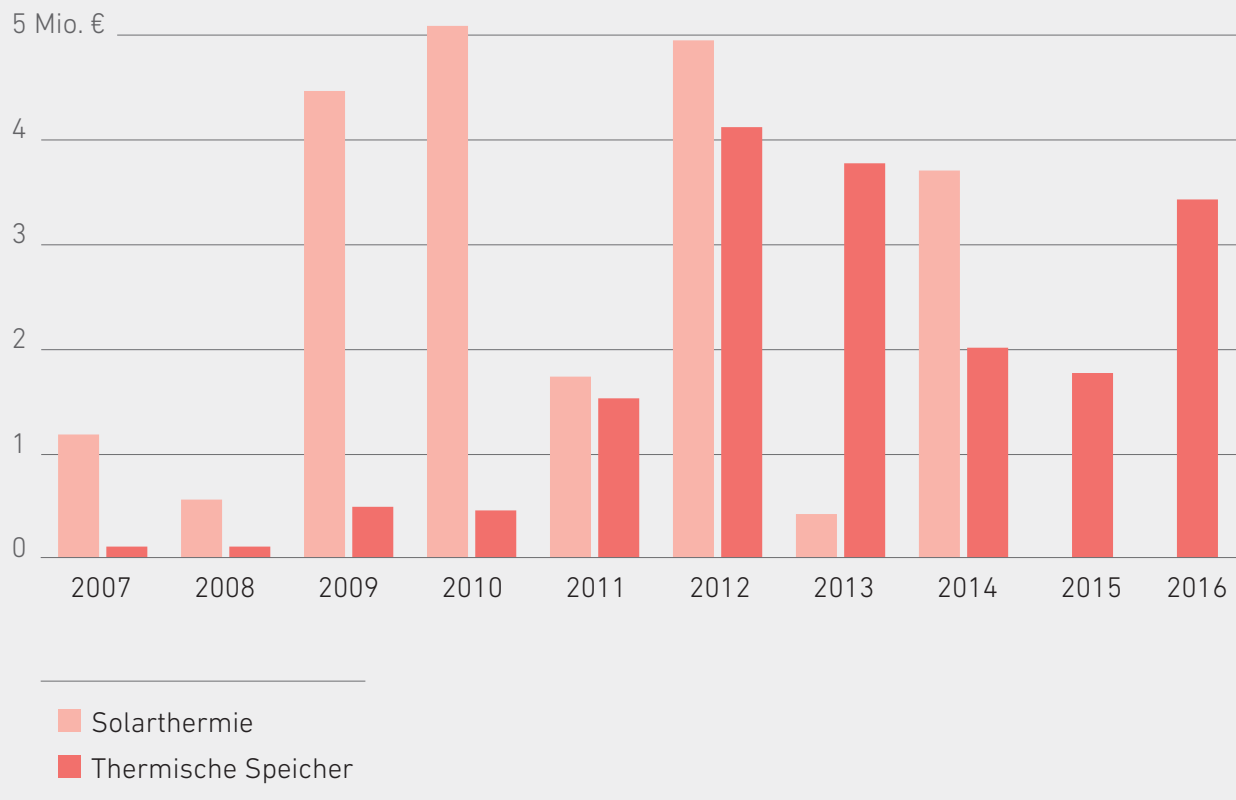
Offene Sorptionstechnik für Langzeit-Wärmespeicher

Seite 51

Bei diesem Projekt steht die dezentrale Wärmespeicherung im Vordergrund. Dabei wurde ein Prototyp eines Sorptionsspeichers realisiert. Es zeigt sich, dass ein Energiespeicher mit offener Sorptionstechnik kosteneffizient und umweltfreundlich arbeiten kann. Für die Marktreife sind aber noch weitere Entwicklungsschritte notwendig.

Alle geförderten Projekte im Überblick

Seite 62



„Neue innovative Entwicklungen im Bereich Solarthermie und thermische Speicher sind von enormer Bedeutung für unsere Energiezukunft. Sie helfen uns die ambitionierten Klima- und Energieziele zu erreichen und schaffen neue Exportchancen für Österreich“

THERESIA VOGEL, GESCHÄFTSFÜHRERIN DES KLIMA- UND ENERGIEFONDS

Mit Solarthermie und thermischen Speichern die Klimaziele erreichen

Das große Potenzial von Solarthermie und thermischer Energiespeicherung

Die Europäische Kommission hat im Winterpaket beschlossen, den Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bis 2030 auf mindestens 27% zu erhöhen, ganz nach dem Motto „Saubere Energie für alle Europäerinnen und Europäer“. Österreich hat dadurch eine Chance, seine technologische Führungsrolle im Bereich erneuerbare Energien auszubauen und neue Exportchancen zu gewinnen.

Seit der Gründung des Klima- und Energiefonds im Jahre 2007 wurde die Weiterentwicklung von kosteneffizienten solarthermischen Anlagen und thermischen Energiespeichern mit mehr als 40 Millionen Euro Förderung unterstützt. Die Gesamtprojektkosten belaufen sich im Bereich Solarthermie auf rund 30 Millionen Euro und im Bereich Thermische Speicher auf gut 27 Millionen Euro.

Schwerpunkte der Forschungsagenda sind dabei im Bereich Solarthermie die Kostensenkung und die verbesserte Installierbarkeit. Auch soll die Effizienz durch neue Innovationen erhöht werden. Im Bereich thermische Speicher wird der Schwerpunkt auf die Erhöhung der Energiedichte, der verbesserten Zyklenbeständigkeit und Kosteneffizienz gelegt.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünscht Ihnen

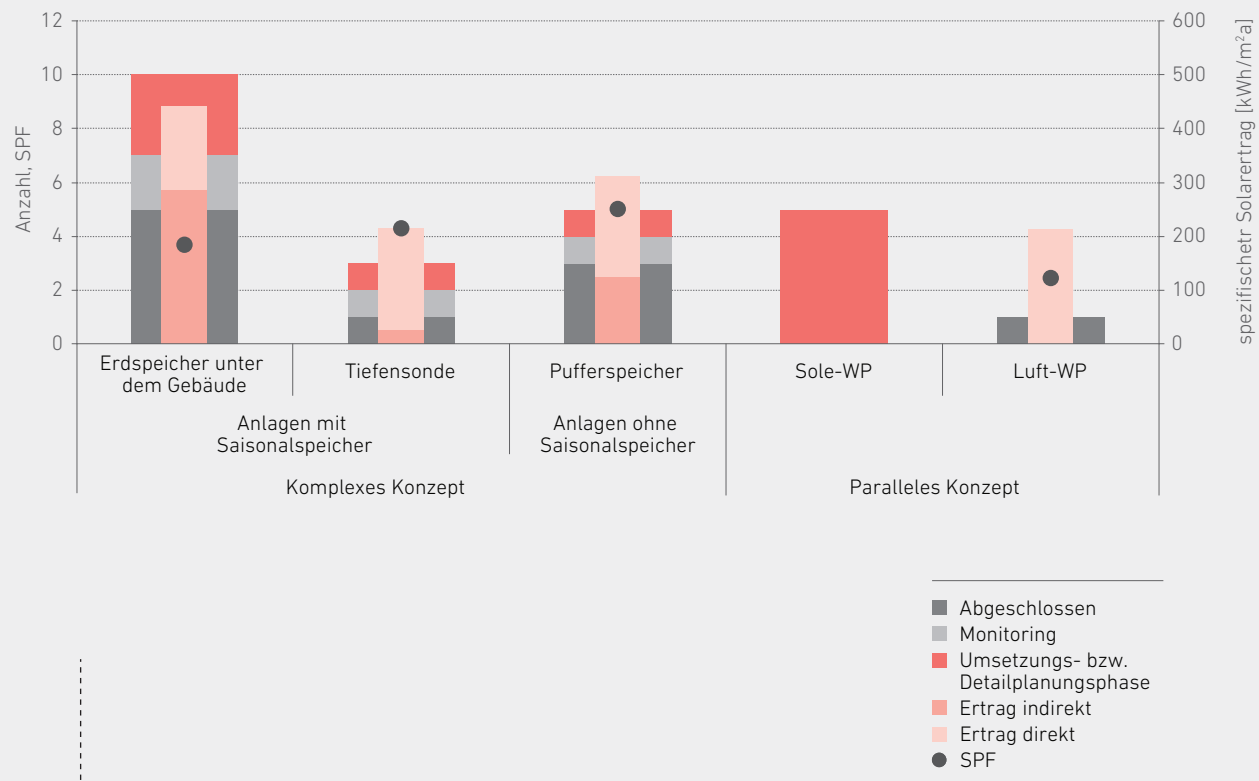
Ihr Klima- und Energiefonds



Projektleitung: CHRISTIAN FINK
 AEE INTEC - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE
 Institut für Nachhaltige Technologien

Anzahl der Anlagen je Kategorie, Status Quo in der wissenschaftlichen Begleitung und durchschnittliche Messergebnisse

ABBILDUNG 1



Spezifischer Solarertrag aufgeteilt in direkte und indirekte Anteile, Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe SPF (Bildquelle AEE INTEC)

Begleitforschung Solarthermie - Solare Großanlagen

Hintergrund

Mehr als 50% des weltweiten Endenergiebedarfs (rund 160 EJ) entfällt auf die Wärmebereitstellung in Gebäuden und Industriebetrieben. Auch in Europa und Österreich macht der Wärmesektor etwa den gleichen Anteil aus. Im Zuge der Energiewende gilt es diese immensen Potenziale für effiziente, vor Ort verfügbare erneuerbare Umwandlungstechnologien zugänglich zu machen. Große solarthermische Anlagen können hierzu aus technologischer Sicht erhebliche Beiträge leisten. Gleichzeitig sind österreichische Unternehmen im Spitzenfeld der internationalen Technologieanbieter.

Vor diesem Hintergrund definierte der Klima- und Energiefonds im Jahr 2010 erstmals einen Förderungsschwerpunkt für große solarthermische Anlagen in gewerblichen Anwendungen. Die Unterteilung erfolgte in vier spezifischen Kategorien „Solare Prozesswärme in Produktionsbetrieben“, „Solare Einspeisung in netzgebundene Wärmeversorgung“, „Hohe solare Deckungsgrade in Gewerbe und Dienstleistungsbauwerken“ und „Neue Technologien“.

Parallel zum Förderprogramm wurde auch das Instrument einer wissenschaftlichen Begleitung definiert. Zentrale Aufgaben dieses Instruments sind einerseits die Durchführung von verpflichtenden Beratungsgesprächen mit den Förderwerbern und andererseits eine messdatenunterstützte Analyse im ersten Betriebsjahr (einjähriges Monitoring). Innerhalb der sechs zwischen 2010 und 2016 ausgeschriebenen Förderprogramme wurden insgesamt 282 Beratungsgespräche mit kumulierten 110.405 m² Solarkollektorfläche

durchgeführt. Von den insgesamt 282 Projekten wurden 88 Projekte für die einjährige Monitoringphase ausgewählt, wobei diese aktuell bei 37 Projekten bereits abgeschlossen und bei 13 weiteren Projekten gestartet wurde. Im Fokus steht dabei nicht die alleinige Betrachtung des Solarsystems, sondern viel mehr die gesamtsystemische Analyse, sprich die Analyse der Einbindung in und die Interaktion mit einem gesamten Wärmeversorgungssystem (andere Erzeugung- und Umwandlungstechnologien, Abwärmequellen, Verbraucherstrukturen, Verteilnetze, Wärmespeicher, Regelung, etc.).

Die Analyse und Beurteilung der gesamten Wärmeversorgungssysteme erfolgte anhand von Energiebilanzen, Temperaturprofilen sowie dem Einsatz von Kennzahlen und Benchmarks.

Aggregierte Ergebnisse

Die 37 solarunterstützten Wärmeversorgungssysteme mit abgeschlossener einjähriger Monitoringphase zeigten im Betrachtungszeitraum eine hohe Funktionalität. Das bedeutet, dass die Anlagen zuverlässig und stabil auf vertretbarem Ertragsniveau arbeiten. In Abhängigkeit von Dimensionierung, Anwendungstemperaturniveau, verwendeter Technologie sowie der projektspezifischen Funktionalität liegt die Bandbreite der spezifischen Jahressolareerträge bei 200 kWh/m² Apertura (Projekt mit sehr hohem solaren Deckungsgrad von 97%) und 695 kWh/m² Apertura (Projekt mit tiefem Arbeitstemperaturniveau aufgrund einer quellenseitigen Einbindung einer Wärmepumpe). Im Durchschnitt aller 37 Projekte liegt der spezifische



Ansicht des Projekts „Büro- und Fertigungsgebäudes TROTEC“.
Aufgrund der konsequenten Einbindung des Solarsystems auf der
Verdampferseite der Wärmepumpe konnte ein spezifischer Solarertrag
von 695 kWh/m² Apertura erreicht werden. (Bildquelle: EcoProjekt)

Ertrag bei $368 \text{ kWh/m}^2 \text{ Apertura}$, was grundsätzlich ein zufriedenstellendes Ergebnis darstellt. Die berechneten solaren Deckungsgrade zeigen mit Werten zwischen 97% (Raumheizung und Warmwasserbereitung für ein Unternehmensgebäude) und 2% (Einspeisung in ein kommunales Wärmenetz) eine enorme Bandbreite. Daraus können sehr unterschiedliche Dimensionierungsansätze in den verschiedenen Themengebieten sowie auch in den einzelnen Projekten abgeleitet werden.

Die durchschnittliche solare Deckung des Gesamtwärmebedarfs betrug bei den 37 Projekten rund 21%. Beispielhaft für die gesamten Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleitung werden nachfolgend drei thematische Bereiche behandelt.

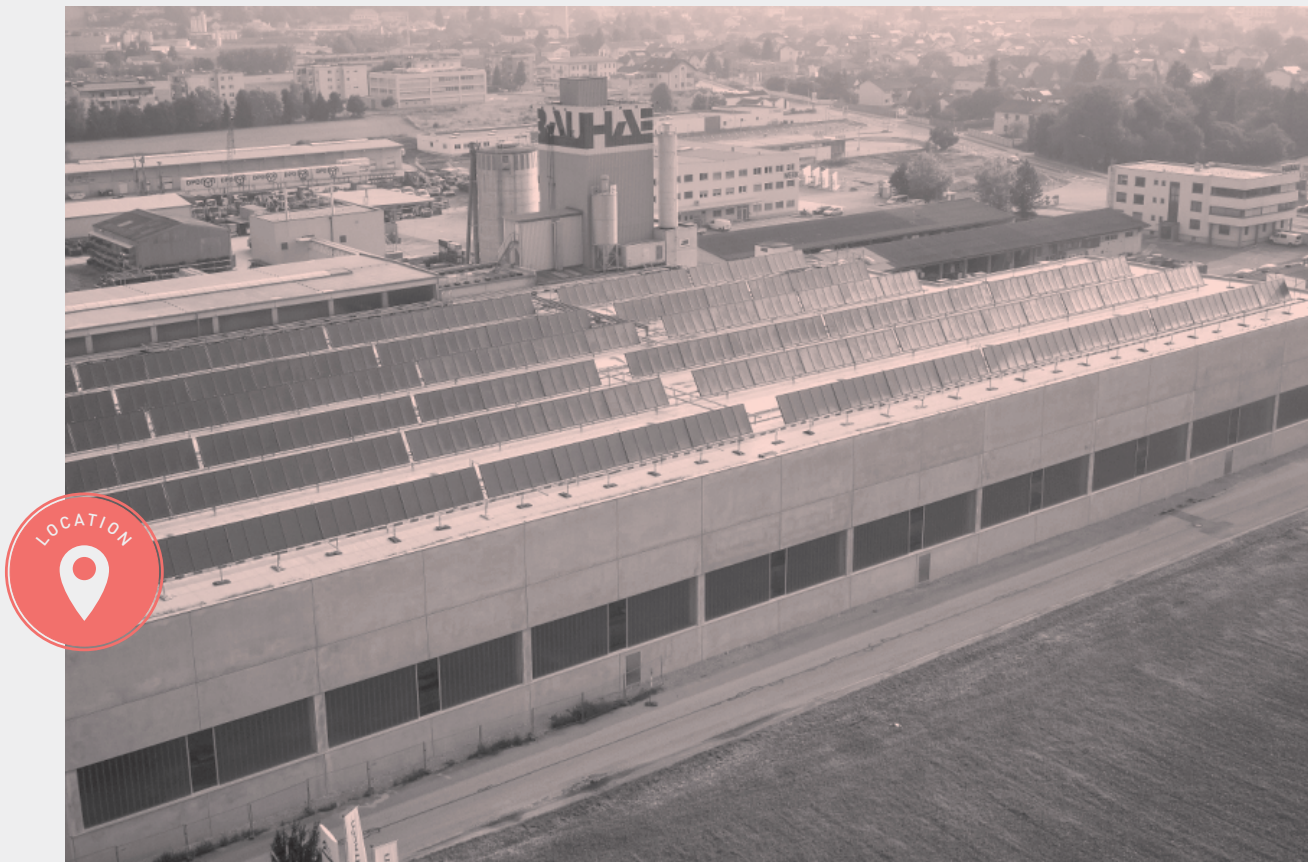
Solarthermie-Wärmepumpen Kombinationen

Die Kombination von Wärmepumpen mit Solarthermie spielt im Programm „Solare Großanlagen“ eine wichtige Rolle. Die wissenschaftliche Begleitung wurde bereits bei zehn Projekten dieser Kategorie abgeschlossen, weitere 14 Projekte befinden sich in Umsetzung. Bei den zehn Projekten mit abgeschlossener wissenschaftlicher Begleitung können neun Projekte der Kategorie „Komplexe Konzepte“ (Kombinationen aus seriellen, parallelen und/oder regenerativen Anwendungen) und ein Projekt der Kategorie „Parallele Konzepte“ (Solarthermie und Wärmepumpe liefern parallel und ohne Kopplung Wärme an den Verbraucher) zugeordnet werden. Abbildung 1 zeigt die Anzahl der abgeschlossenen und der in Umsetzung bzw. im Monitoring befindlichen Anlagen jeder Kategorie. Außerdem sind die Mittelwerte des durchschnittlichen direkten und indirekten spezifischen Solarertrags sowie der Arbeitszahl (SPF, engl. Seasonal Performance Factor) der jeweiligen Anlagenkategorie dargestellt. Die Kategorie „Anlagen mit Saisonalspeicher“ umfasst Anlagen, in denen Wärmepumpensysteme mit Flächenkollektoren oder Tiefensonnen ausgestattet sind und solare Wärme in den Saisonalspeicher eingebracht wird, den das Wärmepumpensystem als Quelle nutzt. In der Kate-

gorie „Anlagen ohne Saisonalspeicher“ sind einerseits Anlagen zusammengefasst, die keine solare Wärme als Quelle für die Wärmepumpe nutzen und andererseits Wärmepumpen, die solare Wärme als Quelle nutzen und ohne saisonale Speicherung netzgekoppelt arbeiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Wärmepumpentechnologie grundsätzlich gut zur Kombination mit Solarthermie geeignet ist, um Raumwärme auf Niedertemperaturniveau und Wärme zur Warmwasserbereitung zur Verfügung zu stellen. Der durchschnittliche spezifische Solarertrag wird „direkter“ und „indirekter“ Nutzung zugeordnet. Der direkt genutzte Teil wurde direkt den Verbrauchern (Raumheizung, Warmwasserbereitung) oder einem Kurzzeitspeicher zugeführt. Der indirekt genutzte Teil diente der Wärmepumpe als Quelle oder wurde dem Saisonalspeicher zugeführt. Anhand der spezifischen Erträge kann man erkennen, welcher Anteil des Solarertrags direkt und welcher Anteil indirekt genutzt wurde. Der direkte Anteil des Solarertrags wird jeweils auf höherer Betriebstemperatur der Anlage generiert. Die durchschnittliche Kollektormitteltemperatur ist bei indirekter Nutzung bei den meisten Anlagen um mehr als 25 K geringer, wodurch die Effizienz und damit der Solarertrag der Solaranlage steigen. Das tiefe Temperaturniveau muss jedoch mit der Wärmepumpe unter Aufwand von elektrischer Energie wieder angehoben werden.

Abbildung 2 zeigt hierzu beispielhaft die Gebäudeansicht des Büro- und Fertigungsgebäudes TROTEC. In diesem Projekt speisen 160 m^2 Bruttokollektorfläche einen 3 m^3 Wasserspeicher und 2.700 m^2 Erdspeicher (angeordnet unter der Fundamentplatte), der als Wärmequelle für eine Wärmepumpe fungiert. Der im Betrachtungsjahr gemessene spezifische Solarertrag lag mit $695 \text{ kWh/m}^2 \text{ Apertura}$ vergleichsweise hoch, kann aber aufgrund der konsequenten Einbindung des Solarsystems auf der Verdampferseite der Wärmepumpe erklärt werden. Die gemessene Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe beträgt 4,4.



Ansicht des Projekts „Fertigungshalle HABAU“
mit 1.411 m² Bruttokollektorfläche
(Bildquelle: www.kuster.co.at)

Solarthermische Bauteilaktivierung - Multifunktionale Nutzung von Gebäudebauteilen

Das Konzept der solarthermischen Bauteilaktivierung basiert auf der aktiven thermischen Nutzung von quasi sowieso verfügbaren Gebäudemassen als Wärmespeicher. Gleichzeitig kann über den Bauteil auch gekühlt werden. Bisher wurde in drei Projekten mit thermisch aktivierten Bauteilen die einjährige Monitoringphase abgeschlossen. Zwölf weitere Projekte durchlaufen aktuell die Detailplanungs- und Umsetzungsphase.

Die Anwendungsbandbreite der insgesamt fünfzehn Projekte reicht von Handwerksbetrieben, Gärtnereien, Büros, Sportanlagen, Wohnungen, Schulen bis hin zu Veranstaltungszentren.

Die Bandbreite der prognostizierten solaren Deckungsgrade liegt zwischen 50 und 100% am gesamten Wärmebedarf, wobei bei drei Projekten die Prognosewerte mit gemessenen solaren Deckungsgraden von 52% (Pfarrzentrum Rif), 94% (Fertigungshalle HABAU) und 97% (ETG-Sonnenhaus) ausgezeichnet bestätigt werden konnten.

Ein zentraler Vorteil solarthermisch aktivierter Bauteile, nämlich das günstige Betriebstemperaturniveau

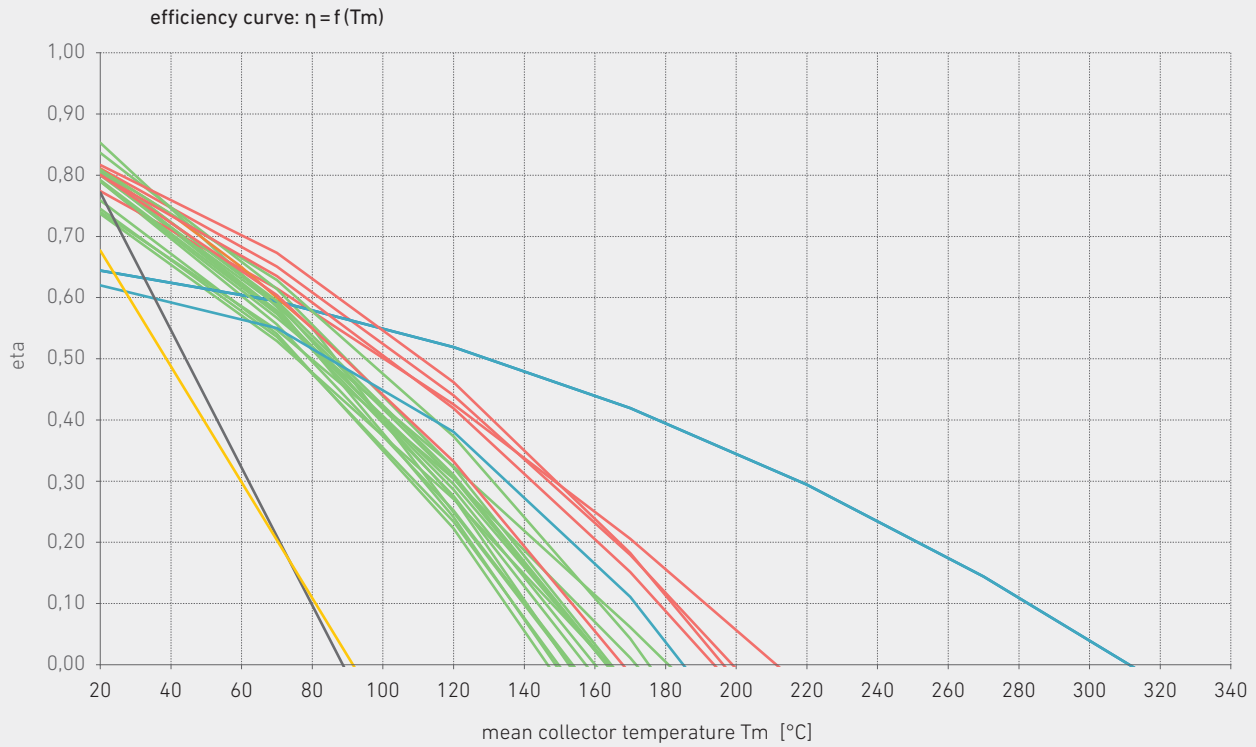
für Solarkollektoren in der Heizperiode, wird nachfolgend anhand von Messergebnissen vom Projekt „Fertigungshalle HABAU“ verdeutlicht. Die Firma HABAU erweiterte in Perg, Oberösterreich ihre Produktionsstätte für konstruktive Betonfertigteile ua. um eine Halle mit einer Bruttogeschoßfläche von 7.315 m². Die Wärmeversorgung dieser Halle erfolgt mit 1.411 m² Bruttokollektorfläche, 80 m³ Wasserspeicher und mittels konsequenter Bauteilaktivierung der 2.560 m³ umfassenden Fundamentplatte. Überschüssige Solarwärme (insbesondere außerhalb der Heizperiode) wird in einzelnen Prozessen (insbesondere der beschleunigten Trocknung der produzierten Betonfertigteile) genutzt. Ein Foto zu diesem Projekt kann Abbildung 3 entnommen werden. Konkret wurden im Messjahr für die Beheizung der Fertigungshalle 378 MWh Solarwärme eingespeist, was einen solaren Jahresdeckungsgrad von rund 94% alleine für die Hallenheizung bedeutet. Darüber hinaus konnten 186 MWh in die Trocknungsprozesse eingespeist werden. Der spezifische Solarertrag betrug für das Messjahr 435 kWh/m² Apertura.

„Der festgelegte Standard der messtechnischen Untersuchung und die Analyse von komplexen, solarunterstützten Wärmeversorgungssystemen in gewerblichen Anwendungsbereichen ermöglicht die detaillierte Analyse von einzelnen Komponenten, Systemabschnitten als auch von Gesamtsystemen. Dadurch werden vielschichtige Erkenntnisse gewonnen, die neben der Effizienzmaximierung der jeweiligen Anlagen die Basis für die Entwicklung energetisch hochoptimierter Wärmeversorgungssysteme der Zukunft bilden und deren Umsetzung beschleunigen. Gleichzeitig stärken die fundierten Erkenntnisse zum realen Betriebsverhalten die Wissensbasis der heimischen Solarindustrie und somit auch die technologische Positionierung im internationalen Umfeld.“ PROJEKTLEITER CHRISTIAN FINK



Wirkungsgradkennlinien der in 37 Anlagen zum Einsatz kommenden Kollektoren

ABBILDUNG 4

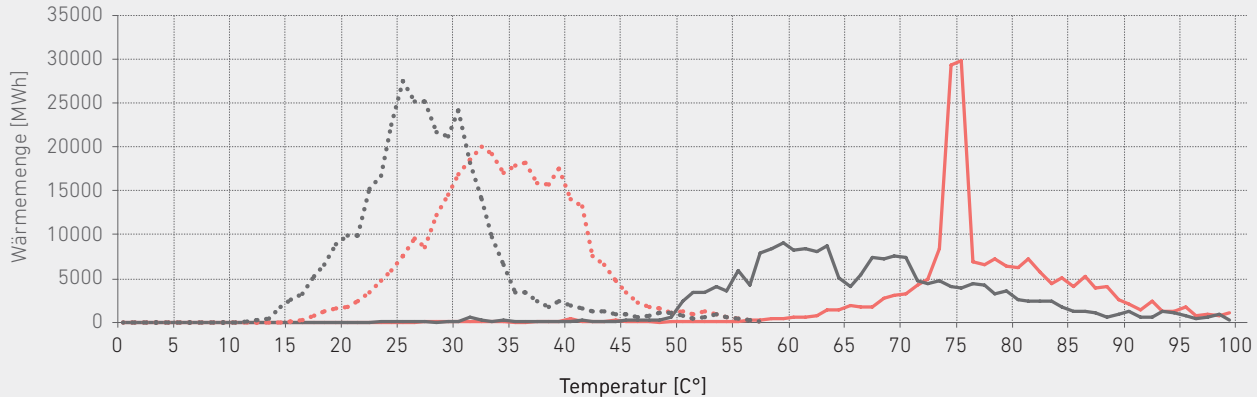


-
- Flachkollektoren
 - 2-fach abgedeckte Flachkollektoren
 - Vakuumröhrenkollektor
 - Hybridkollektor
 - Luftkollektor
-

Datenbasis: Solar Keymark (Einstrahlung: 1000 W/m²;
Umgebungstemperatur: 20°C; Bezugsfläche: Bruttokollektorfläche)

Darstellung der vom Solarsystem übertragenen Wärmemenge bei unmittelbarer Zuordnung zum Vor- bzw. Rücklauf temperaturniveau des Solarprimärkreislaufes (Q-T Diagramm).

ABBILDUNG 5

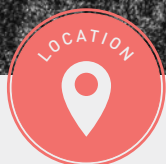


Deutlich sind jene Temperaturniveaubereiche erkennbar, bei denen große Mengen an Wärme übertragen werden, sprich ein Funktionsmodus „Solare Bauteilaktivierung“ (strichlierter Bereich) und ein Funktionsmodus „Solare Prozesswärme“ (durchgezogener Bereich). (Bildquelle AEE INTEC)

— T-Solar-VL[°C]
 — T-Solar-RL[°C]
 T-Solar-VL[°C]
 T-Solar-RL[°C]

Die durchschnittlich gemessene mittlere Vorlauf-temperatur betrug in der Heizperiode (Funktion Bauteilaktivierung) rund 28°C. Deutlich ersichtlich ist dies in Abbildung 5, in der alle Wärmemengen (fünf Minuten Mittelwerte) über den zugehörigen Vor- und Rücklauf-temperaturen im Solarprimärkreislauf aufgetragen wurden. Deutlich sind zwei Betriebsmodi zu erkennen und zwar ein Betriebsmodus in dem in der Heizperiode die Bauteilaktivierung bedient wird (Solarvorlauf-temperaturen von 15°C bis 50°C) und ein Betriebsmodus in dem in den Sommermonaten (oder bei Überschüssen auch in der Heizperiode) die Fertigungsprozesse versorgt werden (Solarvorlauf-temperaturen von 60°C bis 95°C).

Dadurch kann alleine durch den Hallenheizungsbe-trieb ein nutzbarer Solarertrag von rund 290 kWh/m² Apertura innerhalb der Heizperiode erreicht werden. Die Nutzung von Solarwärme in den Sommermonaten (bzw. auch in Wintermonaten mit reduziertem Heiz-wärmebedarf), wie sie bei „Fertigungshalle HABAU“ mit der Nutzung in den Trocknungsprozessen der Betonteilproduktion umgesetzt wurde, ist die sinnvolle Ergänzung dieses Wärmeversorgungskonzeptes und bringt zusätzlichen Nutzen im Solarertrag und somit in der Wirtschaftlichkeit. Im Projekt „Fertigungshalle HABAU“ konnte der spezifische Solarertrag dadurch noch um rund 145 kWh/m²Apertura gesteigert werden.



Im Zuge einer solaren Integration ins Grazer Fernwärmenetz werden in einem Teilkollektorfeld mit 2.490 m² Bruttokollektorfläche fünf unterschiedliche 2-fach abgedeckte Flachkollektoren in parallelen Strängen betrieben (Bildquelle: Picfly.at Thomas Eberhard).

Einsatz von Mitteltemperaturkollektoren

Insbesondere die Einspeisung solarer Wärme in Fernwärmenetze sowie in industrielle Prozesse erfordert häufig sogenannte Mitteltemperaturkollektoren, die im Temperatursegment zwischen 70 und 120°C eine höhere Effizienz aufweisen als herkömmliche Flachkollektoren. Im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung werden hier sowohl Projekte mit Vakuumröhrenkollektoren (vier) als auch mit zweifach abgedeckten Kollektoren (sieben) untersucht. Insbesondere im Segment der zweifach abgedeckten Kollektoren konnten dabei zahlreiche Produktneuentwicklungen festgestellt werden, die im Zuge der wissenschaftlichen Begleitung auch sehr gute Betriebsergebnisse mit sich brachten. Im wissenschaftlich begleiteten Projekt „Fernheizwerk II, Graz“ sind in einem 2.490 m² großen Kollektorfeld fünf verschiedene 2-fach abgedeckte Kollektorprodukte umgesetzt worden (siehe Abbildung 6). Das Teilkollektorfeld ist Bestandteil der aktuell größten solarthermischen Anlage, die mit insgesamt 7.490 m² Bruttokollektorfläche direkt in den Vorlauf des Fernwärmenetzes in Graz einspeist. Angesichts der Netzvorlauftemperatur von 80 bis 120°C und

Netzurücklauftemperaturen von 50 bis 70°C konnte für das Teilkollektorfeld ein betreffend den spezifischen Solarertrag von 489 kWh/m² Apertura, ausgezeichnetes Ergebnis erreicht werden. Integral zu diesem Ergebnis beigetragen haben die in diesem Temperaturbereich deutlich leistungsstärkeren 2-fach abgedeckten Solarkollektoren.

Die Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Begleitung des Förderprogramms erfreuen sich nationalen und internationalen Interesses, was 43 einschlägige Veröffentlichungen (Konferenzen, Fachveranstaltungen und Publikationen) durch das Projektteam demonstrieren. Darüber hinaus sind im Zuge der Projektbearbeitung bisher neun akademische Arbeiten (Masterarbeiten), betreut durch das Team der wissenschaftlichen Begleitung, verfasst worden.

Detaillierte Ergebnisse zum Projekt „Wissenschaftliche Begleitung zum Förderprogramm Solare Großanlagen“ können dem Ergebnisbericht unter der Website: www.solare-grossanlagen.at entnommen werden.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Erkennen und Benchmarking von vielversprechenden Solarthermieranwendungen sowie deren Systemintegration
- Identifikation von Optimierungs- und Technologieentwicklungspotenzialen in komplexen Wärmeversorgungssystemen
- Nachweis der Technologieleistungsfähigkeit und Rückkopplung der Ergebnisse in die Ausgestaltung des Förderprogramms





Projektleitung: ROBERT SÖLL
Solar.nahwaerme.at



Solare Prozesswärme für AVL List GmbH

Kurzfassung

Die AVL List hat eine solarthermische Prozesswärmanlage mit einer Fläche von 1.585 m² errichtet und wird in das Wärmenetz der AVL voraussichtlich ca. 600 MWh einspeisen. Die solar erzeugte Wärme wird für die Konditionierung der Prüfstände sowie auch für die Beheizung der Büroräume verwendet werden. Das Kollektorfeld dient gleichzeitig als Überdachung der obersten Parkebene der Parkgarage. Die von der Grazer Firma SOLID installierte solarthermische Großanlage ist das erste industrielle Contractingprojekt und das 1. Projekt, welches aus dem erfolgreichem Bürgerbeteiligungsmodell „SOLID Invest“ cofinanziert wurde. Diese Anlage ist Teil eines Gesamtkonzeptes. Zusätzlich zu dieser Anlage wird noch eine solarthermische Anlage auf dem Nebengebäude mit einer Kollektorfläche von voraussichtlich ca. 1000 bis 1200 m² installiert, welche Prozesskälte zur Verfügung stellen wird. Des Weiteren ist es geplant Abwärme aus den Prüfständen zu nutzen und in das interne Wärmenetz einzuspeisen.

Ausgangssituation und Zielsetzung

Die AVL List GmbH (AVL List) benötigt Prozesswärme für die Entfeuchtung der Lüftungsanlagen für die Prüfzellenklimatisierung, welche derzeit durch Fernwärme und Gas bereitgestellt wird. Durch die Tatsache, dass die im Jahr 2006 errichtete Parkgarage überdacht werden sollte, entstand die Idee solarthermische Kollektoren als Wärmequelle und als Überdachung der Parkgarage zu nutzen. Ziel war, die ca. 600 MWh

pro Jahr erzeugte Solarwärme für einen Teil des oben beschriebenen Prozesswärmebedarfs zu nutzen. Mit dieser Lösung sollen Teile der derzeit verwendeten Energieträger Fernwärme und Gas umweltfreundlich substituiert, und die Vorteile eines kostengünstigeren und langfristig kalkulierbaren Preis genutzt werden.

Das Projekt aus technischer Perspektive

Am Grazer Firmengelände der AVL List wurde im Jahr 2006 eine Parkgarage errichtet. Am obersten Parkdeck der Hochgarage wurde eine Stahlkonstruktion errichtet, die einerseits die Funktion einer geschlossenen Überdachung erfüllt, andererseits die Unterkonstruktion für die Solarkollektoren mit einer Gesamtkollektorfläche von 1.585 m² darstellt. Im Kellergeschoß der Parkgarage ist die Heizzentrale des Unternehmens situiert, die derzeit sowohl von der Fernwärme mit einem Verrechnungsanschlusswert von 800 kW als auch mit Erdgas über 2 Heizkessel mit einer Gesamtleistung von 2.380 kW (930 + 1.450 kW) versorgt wird.

In dieser Heizzentrale sind auch die notwendigen solartechnischen Komponenten untergebracht. Die Einbindung in die Heizungszentrale bestehend aus Wärmemengenzähler, Drosselventil, Dreiwegeventil und Absperrungen wurde bereits im Vorjahr fertiggestellt. Für die großen Wassermengen musste die automatische Ausdehnungsanlage mit einem Folgegefäß von 3.000 Liter erweitert werden.



Der Pufferspeicher mit einer Größe von 70 m³ befindet sich neben der Parkgarage im Freien. Die Solaranlage wird ganzjährig Prozesswärme für die Entfeuchtung der Lüftungsanlagen für die Prüfzellenklimatisierung zur Verfügung stellen und wird auch teilweise die Büroräume in den Übergangszeiten beheizen. **Der prognostizierte durchschnittliche Gesamtenergieertrag der Anlage beträgt ca. 600 MWh/Jahr.**

Die Steigleitungen werden in der Heizzentrale zusammengeführt, welche sich im Keller der Parkgarage befindet. Von dort aus wird mit dieser Solarwärme vorrangig ein ca. 70 m³ großer Pufferspeicher erwärmt. Für den extra großen Pufferspeicher mit 70 m³ Fassungsvermögen musste eine Sonderlösung für die Fundamentierung geschaffen werden, da der Platzbedarf auf dem Firmengelände beschränkt ist. Hierfür musste man über einem bestehenden Schacht ein enormes Fundament gießen lassen, das dem Gewicht standhält.

Die Solar-Übergabestation, die sich in einem eigenen Technikraum am Parkdeck befindet, und die Einbindung ins kundeninterne Netz, die im Technikraum der Gas-Übergabestation des Kunden integriert ist, sind fertig installiert.

Die Regelungstechnik und Sensorik wurde nach Standards des Kunden durchgeführt. Die Messdaten der Solaranlage und des Pufferspeichers können nun von der zentralen Regelung des Kunden eingesehen und verwertet werden, sodass eine möglichst effiziente Nutzung der Solarenergie als bevorzugte Wärmequelle möglich ist. Hierfür müssen für den Winterbetrieb, die Übergangszeit und den Sommerbetrieb Lastzustände analysiert und erprobt werden, um die Gesamtregelung und die konventionelle Energiebereitstellung auf eine optimale Nutzung der Solaranlage abzustimmen.

Die gesamte solar erzeugte Wärme wird an die zentrale Wärmeversorgungsanlage der AVL List geliefert und von dort zu den Lüftungsanlagen für die Entfeuchtung

der Prüfstandszellen verteilt. Die erzeugten Energiemengen können im kleinen Bereich variieren, da die Erzeugung von den Rücklauftemperaturen der Verbraucher abhängig ist.

Wenn keine Solarwärme zur Verfügung steht, speist die Fernwärme der Energie Graz über den neu installierten Pufferspeicher in das interne Wärmenetz der AVL List ein. Diese Betriebsweise führt dazu, dass die FW-Anschlussleistung reduziert werden kann, da die Spitzenlasten durch den Puffer abgedeckt werden können.

Das Geschäftsmodell – Solar Contracting

Die AVL List gilt als eines der innovativsten Unternehmen in Österreich. Der renommierte Industriebetrieb bekommt von der Solaranlage ganzjährig Prozesswärme zur Entfeuchtung der Lüftungsanlagen geliefert. Das Solarsystem befindet sich im Eigentum der Solar.nahwaerme.at, welche Betreibergesellschaft ist, die Finanzierung aufgestellt hat und Contractor ist. Geplant und umgesetzt wurde die Anlage von der SOLID GmbH. Die AVL List ist Energiekunde mit einem Langzeitenergieabnahmevertrag, das Unternehmen kauft die generierte Solarenergie zu vertraglich definierten und somit langfristig kalkulierbaren Preisen. **Österreichs erste industrielle Contracting-Anlage ist seit Juni 2017 im Vollbetrieb und liefert der AVL List saubere Energie für seine Prüfzellenklimatisierung.**

Das Contractingmodell kommt in Österreich (und darüber hinaus) bereits vielfach zum Einsatz. Insbesondere bei solaren Fernwärmeprojekten in Graz, aber auch im Bereich Geschosswohnbau. Heute hat die Solar.nahwaerme.at in Österreich Anlagen mit mehr als 10 Mio EUR Investitionsvolumen im Contracting unter Vertrag. Die solarthermische Großanlage bei der AVL List ist das erste industrielle Contractingprojekt und das 1. Projekt, welches aus dem erfolgreichem Bürgerbeteiligungsmodell „SOLID Invest“ cofinanziert wurde.



„Mit dem Grazer Projekt „Solare Prozesswärme für AVL List“ wird erfolgreich gezeigt, wie Solarthermie ein Kernelement der zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung für Industriebetriebe sein kann. Österreichs größte Anlage mit solarer Prozesswärme steht für das ökonomische und ökologische Zusammenspiel mit hohem Multiplikationspotenzial für den Industriesektor und darüber hinaus. Wenn wir uns den Herausforderungen des Klimaschutzes und der Energiewende erfolgreich stellen wollen, braucht es weitere innovative Systemlösungen und Projekte wie dieses.“

PROJEKTLEITER ROBERT SÖLL

Die Finanzierung

Die Entwicklungen der Finanzwelt mit Eigenkapitalanforderungen des Basler Ausschusses – bekannt als Basel I-III – stellten damals wie heute mittelständische Unternehmen vor große Herausforderungen. Um nachgefragte Projekte, wie das der AVL List, finanzieren zu können, kam ein neues alternatives Modell zur Projektfinanzierung zum Einsatz. 2013 von der SOLID Gruppe entwickelt, ist SOLID Invest das weltweit erste Bürgerbeteiligungs-Modell für solarthermische Anlagen. Es zielt zusätzlich zu Bankkrediten auf die finanzielle Umsetzbarkeit von Solarwärmeanlagen ab. Auch die Finanzierung der Groß-Solaranlage für die AVL List erfolgt über das Bürgerbeteiligungsmodell SOLID Invest, gemeinsam mit Banken. SOLID Invest trägt damit in der Bevölkerung einen Teil zur Bewusstseinsbildung von Solarwärmeanlagen mit Contractingmodell bei und fördert deren Verbreitung.

Das Projekt wurde vom Klima- und Energiefond als besonders innovativ ausgewählt und wird auch aus Mitteln des KLIEN-Fonds gefördert.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Solare Großanlagen sind speziell bei Industriebetrieben mit zentraler Wärmeversorgung und hoher Grundlast ein gutes Einsatzgebiet um den Anteil von Primärenergie und zugekaufter Heizenergie entscheidend zu senken und durch die vor Ort produzierte Solarenergie zu substituieren.

Bei diesem Projekt kann die Solaranlage in der momentanen Ausbaustufe diese Anforderungen sehr gut erfüllen. Daher entschied sich der Kunden für seine zukünftige Wärmeversorgung für Solarthermie.

Die gebaute Variante mit großem Pufferspeicher ermöglicht eine Lastverschiebung von Energieproduktion zu Konsumation. Auflage dafür war der Platzbedarf für den Energiespeicher. In diesem Fall konnte der Speicher direkt neben der Energiezentrale für Wärme aufgestellt werden, was die Wärmeverluste auf ein absolutes Minimum reduziert.

Herausfordernd war auch bei diesem Projekt der Kostenpunkt der Unterkonstruktion der Kollektoren, welche die Systemkosten der Solaranlage durch die notwendigen baulichen Maßnahmen – in diesem Fall eine Stahlkonstruktion die ein ganzes Parkdeck überspannt – stark beeinflussen.

Neben dem bereits realisierten Projekt ist ein zusätzliches solarthermisches System geplant, welches Prozesskälte zur Verfügung stellen wird. Bereits im Sommer 2018 möchte das Unternehmen von solarer Kälte zur Kühlung und Klimatisierung von Büro- und Laborgebäuden profitieren. Die Erweiterung des Solarprojekts, welches dann Österreichs größte Anlage mit solarer Prozesswärme wäre, befindet sich derzeit am Beginn der Umsetzungsphase.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Österreichs erste industrielle Contracting-Anlage mit Solarthermie: Ökonomische und ökologische Energieversorgung
- Stabile und langfristig gesicherte Energiepreise
- Lange Lebensdauer der Solaranlagen mit mindestens 25 Jahren





Projektleitung:

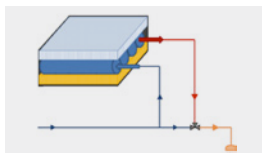
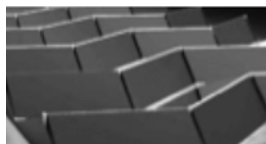
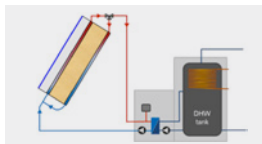
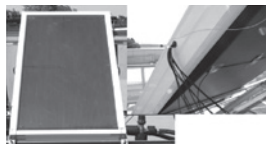
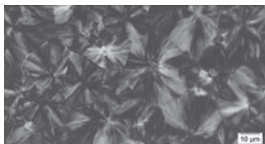
REINHOLD W. LANG, GERNOT M. WALLNER
 Johannes Kepler Universität Linz
 Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung (JKU-IPMT)

Positionierung der Arbeitspakete entlang der Wertschöpfungskette

ABBILDUNG 1

WP-01: Kosteneffiziente gepumpte Systeme

WP-02: Hochqualitative nicht-gepumpte Systeme



Material und Verarbeitung,
Prüfmethoden

Solarthermischer
Kollektor

Solarthermisches
System

Ökonomische und
ökologische Perspektiven

**WP-03:
Neue Materialien
und Prüfmethoden**

SolPol-4/5

Solarthermal Systems based on Polymeric Materials: Novel Pumped/Non-Pumped Collector-Systems

Thermische Kollektoren und Kollektorsysteme werden derzeit in aufwändigen und kostenintensiven Prozessen aus einer Vielzahl unterschiedlicher Materialien mit einem vergleichsweise geringen Kunststoffanteil gefertigt und installiert. Während in Europa im Bereich der Solarthermie die Marktentwicklung für die vornehmlich eingesetzten gepumpten Flachkollektorsysteme stagniert bzw. rückläufig ist, nimmt weltweit die Bedeutung und der Anteil nichtgepumpter Systeme, die als Thermosiphon- oder integrierte Speicherkollektoren ausgeführt sind, zu.

Die technisch-wissenschaftliche Hauptzielsetzung des gegenständlichen Projekts SolPol-4/5 liegt daher in der **Entwicklung von gepumpten und nicht-gepumpten Systemen in Vollkunststoffbauweise bzw. mit einem hohen Kunststoffanteil, die sich durch folgende Merkmale auszeichnen:**

- hoher Vorfertigungsgrad und optimierte Funktionsintegration,
- Reduzierung des Kollektorgewichts und einfache Montage (plug&function),
- hohe Zuverlässigkeit und Lebensdauer,
- attraktiveres Design, sowie
- reduzierte Kosten/Preise bzw. besseres Kosten/Nutzen-Verhältnis.

Als wirtschaftliche und ökologische Zielsetzungen sollen dadurch einerseits neue Impulse für die Belebung des europäischen und insbesondere auch des österreichischen Marktes für die solare Warmwasserbereitung und Raumheizung mit deutlicher Reduktion von

Treibhausgasemissionen gesetzt werden, andererseits soll gleichzeitig die Position der österreichischen Solarthermieindustrie am Weltmarkt gestärkt werden.

Konkret werden mit dem Projekt zwei Hauptzielsetzungen verfolgt:

- (1) Die konzeptionelle Entwicklung, Herstellung, Funktionsüberprüfung und Bewertung von hochintegrierten, gepumpten Kollektorsystemen in Vollkunststoff- oder Hybridbauweise mit dem Ziel der Kostenreduzierung um 50% im Vergleich zu marktüblichen Systemen.
- (2) Die Entwicklung von neuartigen nicht-gepumpten Speicherkollektorsystemen in Kunststoff- oder Hybridbauweise, die die Vorteile hohen Komforts bei gleichzeitig hoher Qualität und Zuverlässigkeit und moderaten Kosten verbinden.

Zur Erreichung dieser Gesamtzielsetzung wird das gegenständliche industrielle Forschungsprojekt von einem Partnerkonsortium bestehend aus 10 Unternehmenspartnern und 7 wissenschaftlichen Partnern durchgeführt. Die technologischen Hauptziele des Projektes liegen einerseits in der Entwicklung von neuartigen gepumpten und nicht-gepumpten Kollektorsystemen mit signifikant reduzierten Wärmegestehungskosten und verbesserter Performance, andererseits in der Entwicklung von maßgeschneiderten Kunststoffen für unterschiedliche Systemkomponenten und einem Portfolio von Test- und Prüfmethode zum effizienten Screening von Materialien und der

Eine-Welt-Solar-System

leistbare Solarwärme aus Kunststoff für den Volumenmarkt

ABBILDUNG 2



Lebensdauervorhersage unter praxisrelevanten, system- und standortabhängigen Beanspruchungsbedingungen. Das Forschungsprogramm des Projektes ist in insgesamt 3 Arbeitspakete gegliedert:

- WP-01: Kosteneffiziente gepumpte Systeme
- WP-02: Hochqualitative nicht-gepumpte Systeme
- WP-03: Neuartige Materialien und Prüfmethoden

Im Arbeitspaket WP-01 werden gepumpte Systeme ganzheitlich betrachtet und grundlegend überarbeitet. Neben der Systemdefinition und -optimierung liegt besonderes Augenmerk bei der Entwicklung vollständig überhitzungsgeschützter Kunststoff-Kollektortypen mit einer Maximaltemperatur im Stillstand um 100°C und bei der Entwicklung industriell vorgefertigter Systemkomponenten, die eine einfache und fehlerfreie Installation vor Ort erlauben. Bei den nicht-gepumpten Systemen werden sowohl Einkreis- als auch Zweikreis-anlagen in Vollkunststoffbauweise für den Massenmarkt der Warmwasserbereitung entwickelt, untersucht und ökonomisch bzw. ökologisch bewertet. **Durch den vollständigen Überhitzungsschutz wird der Einsatz kosteneffizienter Massenkunststoffe möglich, deren Dauergebrauchstemperaturen um 80°C liegen.** In SolPol-4/5 soll die Temperaturbeständigkeit von Materialien wie Polyolefinen oder verstärkten Polyamiden um weitere 10 bis 20°C gesteigert werden und die Performance unter kombinierten Belastungen (Heißluft, Heißwasser, korrosive Medien, UV-Bestrahlung oder mechanische Spannung) abgesichert werden. Wesentliche Synergieeffekte entstehen aus der Miteinbeziehung und interdisziplinären Zusammenarbeit führender österreichischer Forschungseinrichtungen und Unternehmen auf dem Solarthermie-Sektor und auf dem Gebiet der Kunststoffe. Die Anwendungs- und Markt-Kompetenz der industriellen Partner wird in idealer Weise mit dem wissenschaftlichen Ansatz und den wissenschaftlichen Kompetenzen der Forschungseinrichtungen verknüpft. Basierend auf diesem industriellen und wissenschaftlichen Hintergrund

wird durch dieses Projekt ein einzigartiges Potenzial zur Stärkung der österreichischen Industrie im derzeit von China dominierten Solarthermie-Markt geschaffen.

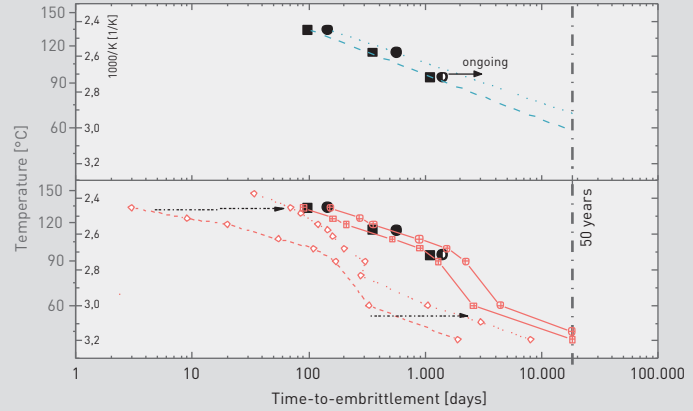
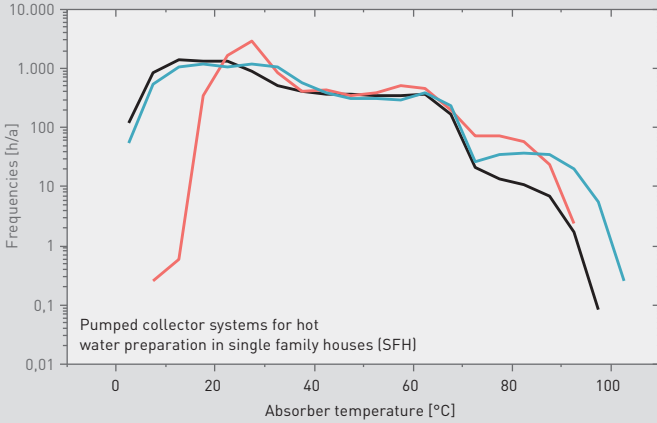
Folgende Ergebnisse bzw. Highlights wurden in den ersten 3 Jahren des insgesamt 4-jährigen Projektes, sowohl auf die Gesamtzielsetzungen von SolPol-4/5 als auch auf die Zielsetzungen der einzelnen Arbeitspakete bezogen, erzielt.

1. Neuartige gepumpte Systeme aus Polyolefinen mit Temperaturbegrenzung und signifikant reduzierten Wärmegestehungskosten

Aus mehr als 20 unterschiedlichen gepumpten Systemtypen für unterschiedliche Standorte und Anwendungen wurden besonders hohe Kostenreduktionspotenziale für drucklose Solarkreise und maximale Betriebstemperaturen von 95°C abgeleitet. Für die Systemkomponenten wurden Belastungsbedingungen simuliert und Leistungsanforderungen bzw. Eigenschaftsprofile abgeleitet und verwendet um spezifische Werkstoffe auszuwählen und zu entwickeln. Für die Fertigung der Systemkomponenten mit Stückzahlen von mindestens 500.000 pro Jahr wurde die Extrusion für den Absorber, die Rohrleitung, den Speicher und den Wärmetauscher, der Spritzguss für die Sammler, die Hydraulikeinheit (inkl. Ventile) und den Boden/Deckel des Speichers und das Spiegelschweißen für die Verbindung von Absorber und Sammler sowie Speicherwand und -deckel identifiziert. **Im Vergleich zu den Referenzsystemen in Metall/Glas-Bauweise mit Wärmegestehungskosten (LCOH) zwischen 7 und 14 €/ct/kWh wurden für die gepumpten Systeme aus Polyolefinwerkstoffen um 3 bis 6 €/ct/kWh niedrigere LCOH-Werte ermittelt.** Als besonders kosteneffizient stellte sich das „One World Solar Collector System“ von Sunlumo (mit 4 m² Kollektor und 150l Speicher) für die Warmwasserbereitung in warmen Klimazonen mit mehr als 50% niedrigeren Wärmegestehungskosten im Vergleich zum Referenzsystem heraus.

Lebensdauervorhersage für PP-Absorbermaterialien

ABBILDUNG 3



Location:
 — Antalya
 — Mumbai
 — Phoenix

Ramschak, 2017

- experimental failure PPB α
- experimental failure PPB β
- ongoing experiment PPB β (95°C)
- Arrhenius extrapolation PPB α
- Arrhenius extrapolation PPB β
- ◇ Gugumus A0-1
- ◇ Gugumus A0-7
- predicted data PPB α
- predicted data PPB β

Grabmann, 2017

Lebensdauervorhersage:

$$1/t_f = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\left(\frac{t_i}{t_{tot}} \right) / t_{fi}(T_i, \sigma_i) \right]$$

	Lebensdauer, Jahre	Antalya, TR	Mumbai, IN	Phoenix, US
Gugumus	PPBα	24	20	23
	PPBβ	34	29	32

„Kunststoffe bieten ein hohes Innovationspotenzial für Solartechnologien. Sie werden zur bedeutendsten Materialklasse und treibenden Kraft künftiger solartechnischer Entwicklungen und zum Motor ihrer steigenden Marktdurchdringung.“

PROJEKTLEITER GERNOT WALLNER



Für den Überhitzungsschutz von Flachkollektoren wurden 2 Prinzipien ((a) mit Rückkühler; (b) mit Hinterlüftung) untersucht und die Funktionsweise an Modellkollektoren nachgewiesen. Besonders effizient erwies sich die Lösung mit Rückkühler, bei der über ein 3-Wege-Kugelventil automatisch und stromlos zwischen Solarkreis und Rückkühlkreis geschaltet wird und eine Temperaturbegrenzung auf 95°C möglich ist. Bei Kollektoren mit Temperatur-gesteuerter Hinterlüftung wurden Standort-abhängige Stagnationstemperaturen von bis zu 125°C erhalten. Eine weitere für warme Klimazonen hochinteressante und kosteneffiziente Variante stellte ein System mit einem Kollektor mit beidseitiger transparenter Wärmedämmung dar, für das die niedrigsten Wärmegestehungskosten um 2 €/kWhth ermittelt wurden. Die ökologische Bewertung der neuartigen gepumpten Kollektorsysteme ergab **energetische Amortisationszeiten zwischen 0,5 und 1,5 Jahren**. Die kürzeste energetische Rückzahldauer wurde für heiße Standorte wie Mumbai (IND) oder Phoenix (USA) erhalten, wobei hier auch die zu erwartende Gebrauchsdauer des Absorbers mit 25 Jahren am niedrigsten war.

2. Nicht-gepumpte Systeme mit Speicherkollektor aus faserverstärkten Kunststoffen

Bei den nicht-gepumpten Systemen für die Warmwasserbereitung werden sowohl Thermosiphon- als auch Speicherkollektoren in Kunststoffbauweise eingehend untersucht. Für den Großteil der Zweikreissysteme ergab sich aufgrund des außenliegenden Speichers, der Wärmetauscherverluste und der Überhitzungsproblematik ein schlechteres Kosten/Performance-Verhältnis im Vergleich zu direkt durchströmten, druckbeaufschlagten Einkreissystemen. Bei diesen wiederum stellt die Innendruckbelastung von bis zu 6 bar bei Umgebungstemperatur und 4 bar bei maximaler Betriebstemperatur von 90°C sowie die Verwendung von chloriertem Trinkwasser die wesentlichsten Herausforderungen dar. Aufgrund der hohen

mechanisch-thermisch-chemischen Leistungsanforderungen wurden für die Hauptkomponente von Speicherkollektoren glasfaserverstärkte Kunststoffe ausgewählt und umfassend charakterisiert. Gleichzeitig zeigten Strömungssimulationen und Thermografieaufnahmen an Modellkollektoren signifikante Abhängigkeiten der Performance von der geometrischen Auslegung und Form des Speicherkollektors. Für ein optimiertes Design wurden geeignete Verfahrenstechniken zur zuverlässigen und kosteneffizienten Herstellung von Speicherhalbzeugen ausgelotet. Dabei erwies sich die Kombination aus Direktcompounding, Thermoforming und Bonding als am vielversprechendsten. **Im Vergleich zu auf Rohren und Endkappen basierenden Konstruktionsweise ist eine Reduktion der Einzelkomponenten eines Speicherkollektors von über 100 auf unter 10 möglich**, was neben der kosteneffizienteren Fertigung auch eine deutlich geringere Fehleranfälligkeit erwarten lässt. Für die transparente Abdeckung und die rückseitige Dämmung wurden unterschiedliche Varianten konzipiert, untersucht und gesamtheitlich bewertet. Als beste Alternativen stellten sich Stegplatten und Vliesdämmungen heraus. Die Wärmegestehungskosten für die neuartigen nicht-gepumpten Systeme werden derzeit ermittelt und Metall/Glasbasierenden Thermosiphonsystemen oder Speicherkollektoren gegenübergestellt. Vorläufige Ergebnisse zeigen deutliche Vorteile für das neue System aus faserverstärkten Kunststoffen bezüglich der Herstellkosten und der zu erwartenden Lebensdauer.

3. Neuartige Olefin-basierende Polymerwerkstoffe für Absorber von gepumpten Systemen und Liner von Speichern

Zur Bestimmung von Leistungsanforderungen an Kunststoffe in solarthermischen Anlagen wurden Soft- und Hardwarepakete entwickelt und implementiert. Neben den Temperaturstatistiken wurden auch Druckbelastungsprofile für die untersuchten

Kollektorarten ermittelt und die mechanischen Belastungen auf den Werkstoff abgeleitet. Für Absorber von gepumpten Systemen, Rohrleitungssysteme und Liner von Wärmespeichern erwiesen sich Polyolefine, insbesondere Polypropylen, als geeignet. Im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Typen war eine gezielte Modifikation und Aufstabilisierung erforderlich, um eine geforderte Gebrauchsdauer von 25 Jahren bei Anwendungstemperaturen von 95°C zu erreichen. Für den Absorber wurden insbesondere Ruß-modifizierte Polypropylen-Blockcopolymere mit immobilisierten Antioxidantien entwickelt und bezüglich des Alterungsverhaltens in Heißluft, Heißwasser oder Wasser/Glykol-Gemischen charakterisiert. Im Gegensatz dazu erwiesen sich für den Wärmespeicher Random-Copolymere auf Ethylen- oder Propylenbasis ohne Schwarzpigment als maßgeschneidert. Für die neuartigen Polyolefin-Werkstoffe wurde eine Lebensdauer vorhersagemethode entwickelt und implementiert, die auf der Simulation von Temperaturbelastungsprofilen, der Extrapolation von Versagenszeiten bei erhöhten Temperaturen von 95 bis 135°C auf niedrigere Gebrauchstemperaturen und die Kumulation von Schädigungen basiert. Die Ermittlung der Versagenszeiten erfolgt unter Verwendung und Auslagerung von Mikroprüfkörpern mit reduzierter Dicke, was eine zusätzliche Beschleunigung und Verkürzung der Testzeiten ermöglicht. Die neuartigen Absorber- und Linerwerkstoffe zeigen im Vergleich zu kommerziell eingesetzten Materialien (zB. für Schwimmbadkollektoren) eine signifikant bessere Performance (Faktor 2 bis 3). Die quantitative Lebensdauerabschätzung verdeutlicht eine starke Abhängigkeit vom Einsatzort. Je nach Standort, Kollektorsystem oder Speichertyp variieren die ermittelten Gebrauchsdauern zwischen 20 und mehr als 50 Jahren. Von den Firmenpartnern Borealis und AGRU Kunststofftechnik werden die besten Formulierungen für den Absorber und den Liner von Speichern bereits aufskaliert und exploratorisch in den Markt übergeführt.

4. Neuartige Methoden zum Screening von Werkstoffen unter kombinierten mechanischen, thermischen und chemischen Belastungen

Bei 1-Kreis-Speicherkollektoren treten relativ hohe Drücke bis zu 6 bar auf, die je nach konstruktiver Auslegung des Speichers Vergleichsspannungen von etwa 20 MPa in der Bauteilwand hervorrufen. Bei mechanischen Belastungen größer 5 MPa ist die getrennte Betrachtung funktionaler (mechanisch oder thermische Last) und stofflicher (Wärmeträgermedium) Alterungsfaktoren unzulässig. Vielmehr müssen sämtliche Einflussgrößen überlagert beaufschlagt werden. Im Projekt SolPol-4/5 wurden daher neuartige Methoden zur Beschreibung des Alterungsverhaltens unter überlagerten Lasten konzipiert, entwickelt und insbesondere für faserverstärkte, technische Kunststoffe umgesetzt. Dazu wurden elektrodynamische Prüfmaschinen mit temperierbaren Medienbehältern ausgerüstet und für die Detektion der Schädigung (Risslänge) ein kontaktloses, optisches Messsystem implementiert. Als Medien wurden sowohl Heißwasser als auch feuchte Luft berücksichtigt. Eine besondere Herausforderung stellt chloriertes Trinkwasser dar, das aufgrund des Ausfallens von Chlorionen bei erhöhten Temperaturen eine kontinuierliche Spülung des Medienbehälters erfordert. Die neuartigen Methoden wurden zum Screening von unterschiedlichen faserverstärkten Kunststoffen eingesetzt, wobei neben dem Polymertyp, der Stabilisierung auch der Fasergehalt variiert wurde. Zudem wurde das Rissausbreitungsverhalten in der Schweißnaht untersucht. Während der Einfluss der Stabilisierung der Polyamide auf die Ermüdungsrisskinetik in Heißwasser eher gering ist, zeigte sich eine starke Abhängigkeit vom Fasergehalt und -orientierung und eine deutliche Abschwächung durch Binde- oder Schweißnähte. Kürzlich wurde klar herausgearbeitet, dass Chlorgehalte von bis zu 5 ppm, wie in Trinkwasser maximal zulässig, eine nur geringe spannungsrissskorrosive Wirkung haben. Damit wurde erstmals die bessere Langzeitperformance von

glasfaserverstärkten Polyamiden im Vergleich zu Kupfer oder Edelstahl für direkt mit Trinkwasser durchströmte Speicherkollektoren nachgewiesen.

Ausblick

Im Rahmen der einzelnen Arbeitspakete wurden deutliche Fortschritte in der Entwicklung von kosteneffizienten solarthermischen Systemen und der Austestung neuartiger polymerer Materialien für unterschiedliche Systemkomponenten erzielt. Im abschließenden Projektjahr ist die Fertigstellung der Modellkollektoren, die Vermessung der gepumpten und nicht-gepumpten Vollkunststoffsysteme und die weitere Absicherung des Langzeitverhaltens der neuen Absorber- und Linerwerkstoffe auf Laborebene vorgesehen. Die künftigen Aktivitäten ausgewählter Unternehmenspartner betreffend sind vor allem folgende Kommerzialisierungsbestrebungen zu nennen:

- **APC:** Vermarktung des Know Hows im Bereich faserverstärkter Compounds und Blends aus Polyamiden für innendruckbelastete Bauteile für Warmwasseranwendungen
- **AGRU:** Weiterentwicklung und Umsetzung der hochtemperaturbeständigen Linerhalbzeuge auf Polyolefinbasis für saisonale Großwärmespeicher
- **Borealis:** Bemusterung und Vorqualifikationstätigkeiten mit Kollektor- und Rohrleitungsherstellern (neuartiges Polypropylenblockcopolymer für den Absorber, Rohre und Fittinge)

- **Gabriel-Chemie:** Vermarktung des Know Hows zu Stabilisatorformulierungen und Flammenschutz- und Farb-Masterbatches für Kunststoffe in Bauanwendungen
- **GreenOneTec:** Aufskalierung des im LFT-Verfahren hergestellten Kunststoffspeicherbehälters und Bauartzulassung für Speicherkollektoren in Vollkunststoffbauweise
- **Lenzing Plastics:** Weiterentwicklung und Vorqualifizierung von Kunststoff/Alu-Laminaten für Heißwasser- und Solarthermieranwendungen
- **Sunlumo Technology:** Vergabe von Lizenzen für das gepumpte „One World Solar Collector System“ mit Fokus auf den Massenmarkt der solarthermischen Warmwasserbereitung

Das Forschungskonsortium insbesondere die wissenschaftlichen Projektpartner sind bestrebt die erarbeiteten Erkenntnisse in weiteren kooperativen Forschungsprojekten zu nutzen. Die thematische Ausrichtung künftiger Projekte wird bei gekoppelten Energietechnologien liegen. Darüber hinaus laufen Bestrebungen die erarbeiteten Kompetenzen auf dem Gebiet der Absorber- und Linerwerkstoffe für Kollektoren und Wärmespeicher in Anwendungsgebieten mit ähnlichem Anforderungsprofil zu nutzen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Ein zentrales Problem der Solarthermie ist die Stagnation der für neue Technologien typischen Kostendegression auf Kollektor- und Systemebene. Derzeit eingesetzte Verfahren der Kollektorherstellung und Systemimplementierung sind zu aufwändig und kostenintensiv.
- Solarthermische Anlagen sind oft spezifisch angepasste Einzellösungen mit hoher Fehleranfälligkeit. Die Solarthermie befindet sich nach wie vor in der Entwicklungs- und Einführungsphase.
- Die Solarthermie wird mit Ausnahme von China von der Großindustrie noch nicht als erneuerbare Energietechnologie mit hohem Entwicklungs- und Wachstumspotenzial wahrgenommen.





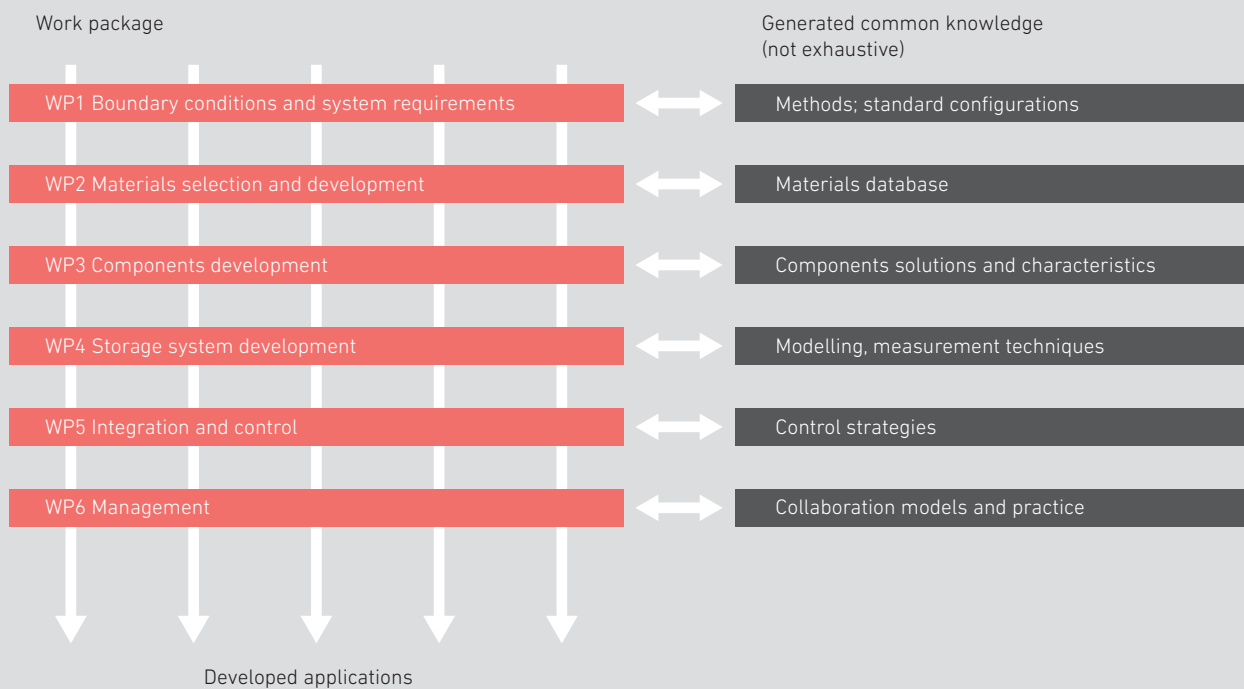
→ **Projektleitung:** WIM VAN HELDEN

AEE INTEC - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE

Institut für Nachhaltige Technologien

Arbeitspaket-Struktur im Leitprojekt

ABBILDUNG 1



TES4SET

Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Technologies

Das Leitprojekt TES4SET (Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Technology) beschäftigt sich mit der Entwicklung:

- von neuen thermischen Speichermaterialien
- von Komponenten für thermische Speicher
- und der numerischen Simulation und Regelung zur Systemintegration dieser Speicher.

Die Einsatzgebiete reichen dabei von der Industrie über mobile Anwendungen bis hin zur Verwendung in Gebäuden.

Bei der Materialentwicklung liegt der Schwerpunkt der Projektstätigkeit im Bereich der Steigerung der Energiedichte von neuen sorptiven Speichermaterialien und Composite-Materialien für Niedertemperaturanwendungen sowie die Erforschung neuer thermochemischer Materialien und Phasenwechsel-Materialien für einen mittleren Temperaturbereich für industrielle Einsatzzwecke.

Daneben werden Speicherkomponenten und -systeme sowie Regelungsstrategien für die Integration in den jeweiligen Anwendungsgebieten (Gebäude, Industrie, Mobilität) entwickelt.

Die Technologieentwicklung für die einzelnen Einsatzgebiete wird durch branchen- und anwendungsübergreifende Forschungstätigkeit und einem Interessensaustausch zwischen Industriebetrieben und Forschungspartner begleitet.

Die Arbeit dieses Leitprojektes ist nach dem Anwendungsgebiet in 5 Entwicklungslinien (A bis E) unterteilt, wobei jede Linie die gleiche Grundstruktur der Arbeitspakete aufweist (Abbildung 1).

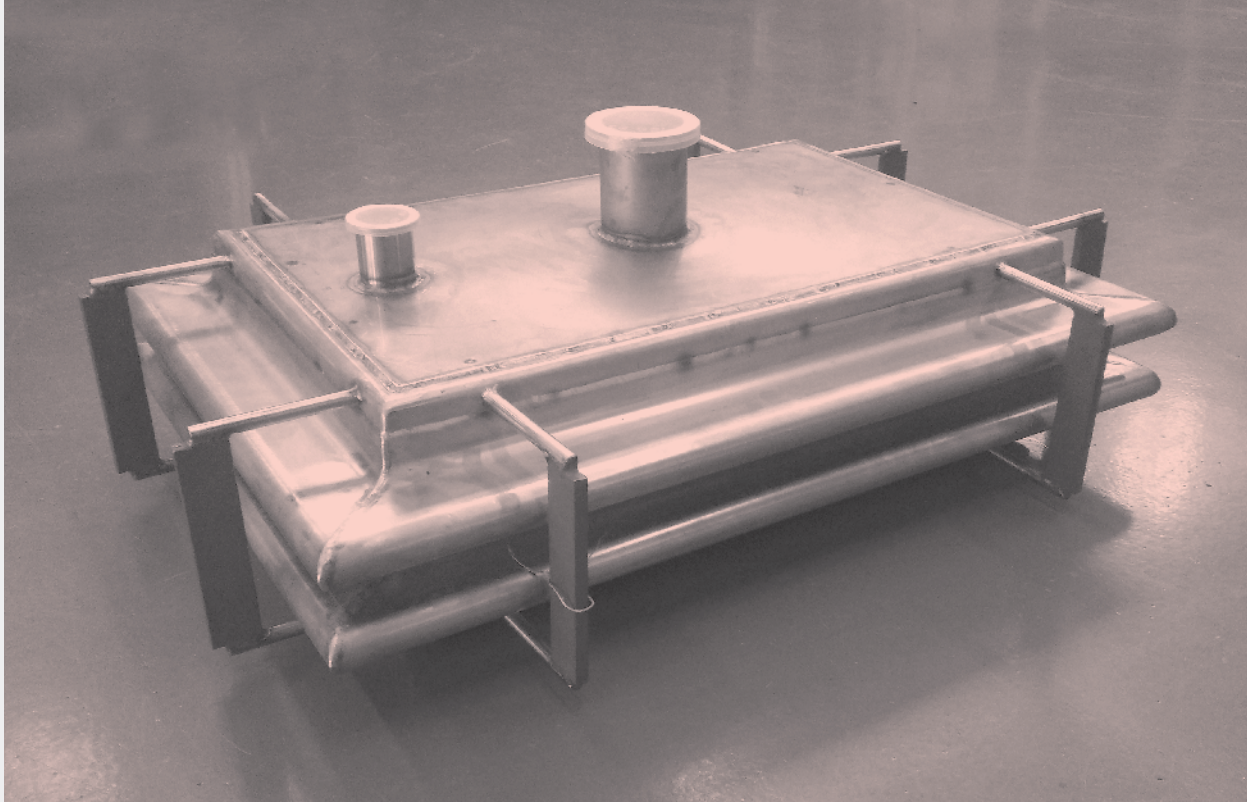
Entwicklungslinie A

Ziel der Linie A ist die Entwicklung eines saisonalen Solarthermie-Speichersystems für ein Einfamilienhaus auf Basis der Feststoffsorption. Die Optimierung des Systems konzentriert sich auf die Entwicklung der „Charge Boost“ Technologie (Umladung). Dabei werden zwei mit Sorptionsmaterial gefüllte Speicher miteinander verbunden, wovon sich der Hauptspeicher auf hoher Temperatur und der Charge Boost Speicher auf niedriger Temperatur befindet. Der resultierende Druckunterschied wird genutzt, um den Hauptspeicher noch weiter zu trocknen (zu beladen) und das auch bei niedrigen Temperaturen. Auf dieser Basis gibt es zwei Neuentwicklungen während des Projektes: den sogenannte Sorptionskollektor und den Raumspeicher (siehe dazu auch Abbildung 2), die jeweils eine effiziente und kompakte Gestaltung des Sorptionsspeichersystems ermöglichen.

Für den Sorptionskollektor wird das Sorptionsmaterial direkt in den eigens dafür entwickelten Kollektor gefüllt und über eine Vakuumleitung mit dem restlichen Speichersystem im Haus verbunden. **Durch die hohen Temperaturen und der zyklischen Be- und Umladung des Kollektormaterials wird die Energiespeicherdichte des Hauptspeichers im Haus deutlich erhöht.** Mit der richtigen Wahl eines geeigneten Kollektormaterials kann der Charge-Boost auch zum Aufladen eines bereits entladenen Sorptionswärmespeichers im Winter verwendet werden. Die zweite Neuentwicklung ist ein in die zu konditionierenden Räume integrierter Sorptionsspeicher

Raumspeicher der Entwicklungslinie A

ABBILDUNG 2



(„Raumspeicher“), ein Speicher der neben dem effizienten Heizen durch direkte Adsorption im Raum zusätzlich das Kühlen von Gebäuden im Sommer ermöglicht. Der Raumspeicher befindet sich dabei direkt als Wandelement im Raum und gibt die Wärme über die Oberfläche ab bzw. nimmt sie auf.

Nach erfolgreichen Vortests werden beide neu-entwickelten Komponenten aufgebaut, in das Gesamtspeichersystem integriert und unter realen Bedingungen in einem „Hardware-in-the-loop“ System getestet. Mit den Ergebnissen wird die in TRNSYS aufgebaute Systemsimulation validiert. Die Jahressimulationen zeigen weitere Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich Regelstrategie, Systemdesign und Konstruktion und die jährliche Einsparung an Hilfsenergie durch das Speichersystem unter verschiedenen Bedingungen.

Entwicklungslinie B

Für den effizienten Einsatz der Antriebsenergie bei PKWs vom Verbrennungsmotor, über Hybride Antriebe bis hin zur Elektromobilität ist die Entwicklung eines intelligenten Thermomanagements von essentieller Notwendigkeit. Dies ist bedingt – durch die Anforderungen des schnellen Erreichens der Betriebstemperatur sowohl für die Kabine, wie auch der zahlreichen Antriebskomponenten mit verschiedenen Betriebstemperaturen im Winter- und Sommerfall und fordert damit einen mehr oder weniger hohen Aufwand zum Heizen und Kühlen. Bei der Elektromobilität liegt kaum nutzbare Abwärme auf hohem Temperaturniveau vor, wobei insbesondere das schmale Fenster für die Betriebstemperatur der Batterie eine Herausforderung darstellt. **Ziel der Entwicklungslinie B ist die Entwicklung von einem neuartigen Thermomanagement für Batterien in Elektro- oder Hybridfahrzeugen auf Basis der Sorptions-Speichertechnologie.**

Die geschlossene Sorptionstechnologie erlaubt die Konstruktion eines kompakten thermischen Energiespeichers. Das System kann mit Abwärme auf moderatem Temperaturniveau aufgeladen werden und beim

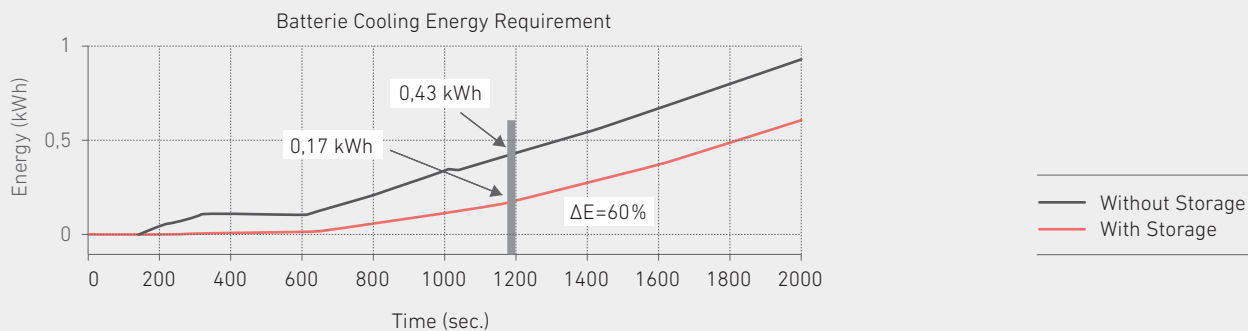
Entladen Wärme oder auch Kälte liefern. Energiedichten über 100 Wh/kg auf Materialebene sind Stand der Technik und eine Langzeitspeicherung der Energie ist grundsätzlich ohne Verluste möglich. Für die betrachtete Anwendung ist das Design des Speichersystems sowohl auf eine hohe Energiedichte als auch auf eine hohe Leistungsdichte gerichtet, was die größte Herausforderung darstellt.

Die verschiedenen zentralen Komponenten des Speichersystems, wie Sorptionsreaktor, Verdampfer und Kondensator, wurden entsprechend der speziellen Anforderungen entworfen und optimiert. Mit diesen Komponenten wurde ein thermisches Energiespeichersystem aufgebaut, welches in einem Prüfstand experimentell untersucht und weiter optimiert wurde. In weiterer Folge soll ein Hardware-in-the-Loop-Prüfstand konstruiert werden, um das Speichersystem unter realistischen Bedingungen einschließlich eines Fahrprofils zu testen.

Parallel zu den experimentellen Entwicklungen wird ein Simulationsmodell des Systems aufgebaut und mithilfe der experimentellen Ergebnisse validiert. Das Modell dient zur Bestimmung der Leistung des Speichersystems unter verschiedensten realistischen Bedingungen als auch zur weiteren Optimierung, insbesondere hinsichtlich der Regelung des Systems. Erste Experimente zeigen, dass das Speichersystem mit etwa 2,5 kg Sorptionsmaterial über 25 Minuten eine Kühlleistung von durchschnittlich etwa 1 kW liefern kann. Dies wird auch durch Simulationen unterstrichen, wo der Wärmespeicher wesentlich zum Thermomanagement des E-Fahrzeuges beitragen und das herkömmliche System bei der Kühlung der Batterie in den ersten 20 Minuten um bis zu 60 % entlasten kann (Abbildung 3), wodurch sich die Ressourceneffizienz signifikant steigert, besonders wenn diese Kühlung elektrisch erfolgen muss.

Simulierter Kühlbedarf der Traktionsbatterie mit/ohne Wärmespeicher

ABBILDUNG 3



Entwicklungslinie C

Die Klimatisierung des Fahrgastraum in Schienenfahrzeugen ist anspruchsvoll, weil hohe spezifische Anforderungen des Systems Bahn (zB. hinsichtlich Brandschutz), eine hohe Anzahl an Betriebsstunden, ein geringes Einbauvolumen, eine geringe Masse und starke Schwankungen der Betriebszustände (zB. durch zu- und aussteigende Fahrgaste) berücksichtigt werden müssen. Außerdem werden von den Betreibern niedrige Betriebs- und Wartungskosten gefordert. Im Rahmen der Projektarbeit werden die Optimierung von Kaldampf-Kompressionskälteanlagen durch die Einbindung von Speichern mit Phasenwechselmaterialien (PCM) sowie die Optimierung von Air-Cycle-Cooling Systemen mittels neuer Verfahren zur Lufttrocknung untersucht.

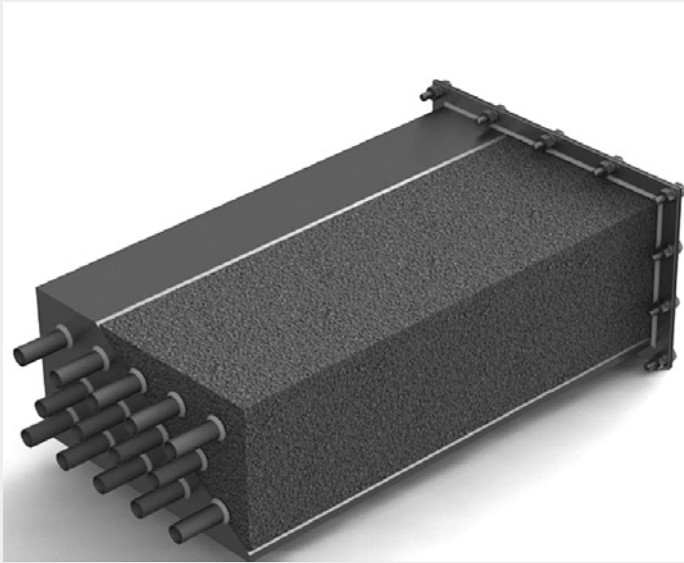
Optimierung von

Kaldampf-Kompressionskälteanlagen

Bei U-Bahnen fordern die Betreiber zunehmend Lösungen, um die an die Umgebung abgegebene Energie zu reduzieren, bei gleichbleibendem Fahrgastkomfort soll eine ungünstige Überhitzung des Tunnelsystems vermieden werden. Ein steigender Komfortanspruch und der Wunsch, die Betriebskosten zu reduzieren, erfordert auch die Verbesserung des Teillastverhaltens von konventionellen Bahn-Klimaanlagen. Technische Beschränkungen hinsichtlich Spannungsversorgung und Bordnetzstabilität verhindern bei Schienenfahrzeugen den Einsatz von Verdichter-Drehzahlregelungen. Momentan kommen daher ineffiziente, die Lebensdauer verkürzende und für den Fahrgast spürbare Teillastregelungen wie Taktbetrieb, Zylinderabschaltungen oder ein Heißgas-Bypass, zum Einsatz.

**Probenkörper für die Ermittlung von Werkstoffeigenschaften
eines mit Phasenwechselmaterial infiltrierten Aluschaums (Quelle i2m)**

ABBILDUNG 4



Beide Forderungen können wegen der eng definierten Temperaturgrenzen mit Latentwärmespeichern (PCM-Speichern) sowohl auf der kalten- als auch auf der warmen Seite der Kompressionskälteanlage erfüllt werden. Dazu wurden zwei Systeme entworfen. System 1 speichert auf der kalten Seite, und hat zB. den Vorteil, dass die Antriebsenergie für den Verdichter nicht gespeichert werden muss. System 2 speichert die Abwärme der Anlage, die dann in definierten oberirdischen Streckenabschnitten an die Umgebung abgeführt wird. Zusätzlich ist bei System 2 ein spezieller PCM-Speicherverdampfer eingebaut, um den Teillastbetrieb zu optimieren. Die Speicher bestehen aus unterschiedlich geformten Behältern, die mit Aluminiumschaum gefüllt und mit PCM-Materialien infiltriert werden (Abbildung 4). Im Labor wurden unterschiedliche Bauformen und Konfigurationen von kleinen Probenspeichern, die mit Aluminiumschaum gefüllt und mit PCM-Material

infiltriert wurden, getestet (ein Beispiel zeigt Abbildung 4). Die daraus gewonnenen Messdaten konnten unter anderem auch für die Validierung eines Simulationsmodelles herangezogen werden.

Optimierung eines Air-Cycle-Cooling Systems (ACS)

Die ACS Technologie hat Ihren Ursprung in der Luftfahrtindustrie und verwendet Umgebungsluft als Kältemittel. Diese Luft wird in einem offenen Unterdruckprozess über eine Turbine auf Unterdruck, bei gleichzeitiger Temperaturabsenkung, expandiert. An einem Wärmetauscher findet der Energieaustausch zwischen der zu konditionierenden Zuluft für den Wagen und der Prozessluft statt. Nach der Verdichtung auf Umgebungsdruck wird die heiße Prozessluft wieder der Umgebung zugeführt. Der Wirkungsgrad einer ACS-Klimaanlage (Abbildung 5) kann durch die Verwendung getrockneter Luft am Turbineneintritt angehoben werden.

ACS - Klimaanlage für Schienenfahrzeuge
(Quelle: Liebherr)

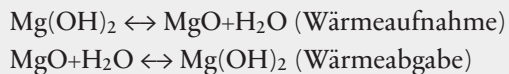
ABBILDUNG 5



Dazu werden neue Verfahren zur Lufttrocknung zB. mittels Zeolith (Molekularsiebe) entwickelt. Das am Prozessluftaustritt getrocknete Material wird zur Entfeuchtung der angesaugten Prozessluft am Eintritt verwendet. An einem skalierten Prüfaufbau werden derzeit unterschiedliche Materialien auf unterschiedlichen Trägerstrukturen hinsichtlich ihrer Entfeuchtungsleistung untersucht.

Entwicklungslinie D

Unter „Thermochemischer Energiespeicherung“ werden im Projekt Tes4Set einer-seits Adsorptionsprozesse unter der Verwendung von künstlichen und natürlichen Zeolithen (Klinoptilolith) untersucht; andererseits werden Materialien analysiert, bei denen reversible chemische Reaktionen die Basis für den Wärmespeicher- und freisetzungsvorgang sind. Typische, derartige Reaktionen sind die Dehydratation von $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Speicherung) bzw. die Hydratation des Oxids zur Wärmefreisetzung:



Theoretisch entspricht die zu- bzw. abzuführende Wärme genau der Reaktionsenthalpie der umzuwandelnden Stoffe, aufgrund von Wärmeverlusten (zB. durch Konvektion und Abstrahlung an die Umgebung) treten aber Abweichungen auf.

Bei der in Abbildung 6 dargestellten Dehydratationsanlage wird Abwärme für das Brennen des Magnesiumhydroxids genutzt. Die Wärmeübertragung erfolgt mittels eines Zwischenkreislaufs (Thermoöl, Druckwasser, sCO_2 ...) über einen In-Bettwärmetauscher auf das TCS-Material. Im vorliegenden Fall wird als Reaktor eine stationäre Wirbelschicht verwendet – die guten Wärmeübertragungsverhältnisse sorgen für kleine Wärmetauscherflächen.

Das gewonnene Material (im vorliegenden Fall MgO) wird gelagert und zur Wärmefreisetzung mit Wasserdampf in Kontakt gebracht. Die Rückreaktion zum $\text{Mg}(\text{OH})_2$ setzt die ursprünglich gespeicherte Energie wieder frei. Bei reversiblen Reaktionsablauf ist die thermochemische Energiespeicherung ein interessantes Verfahren, da während der Lagerung des Speicherstoffes keine Verluste auftreten – solange der Zutritt von Wasserdampf verhindert wird. Natürlich wird der reversibel, im Sinne von vollständiger Umwandlung, angenommene Reaktionsablauf von verschiedenen Faktoren, wie der Zyklenstabilität und der Reaktionskinetik, beeinflusst.

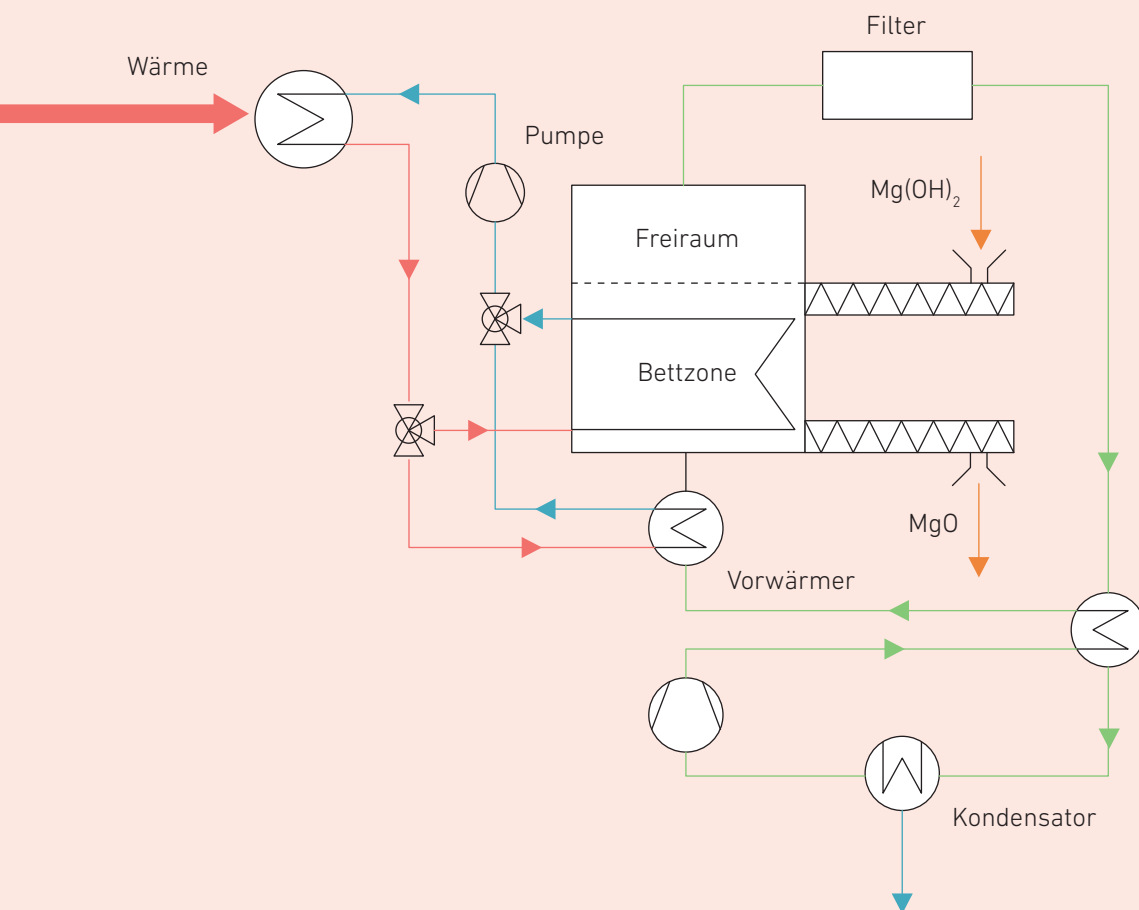
Aus diesem Grunde werden im Zuge des Projektes umfangreiche Untersuchungen zur Materialentwicklung durchgeführt. Die folgende Abbildung 7 zeigt die im Rahmen der Zusammenarbeit entwickelte Laboranlage zur Durchführung von Materialtests. Es handelt sich um eine stationäre Wirbelschicht, mit welcher im Batch-Versuch Tests zur Dehydratisierung sowie zur Re-Hydratisierung durchgeführt werden können.

Ziel der Untersuchungen ist die Schaffung Materialien, welche für die thermo-chemische Energiespeicherung bestmöglich geeignet sind. Das bedeutet:

- hohe Speicherdichte,
- keine negative Materialveränderung mit steigender Zyklenzahl,
- niedrigst mögliche Kosten für Speichermaterial und Reaktoren.

Schema einer Dehydratationsanlage für thermochemisches Energiespeichermaterial

ABBILDUNG 6

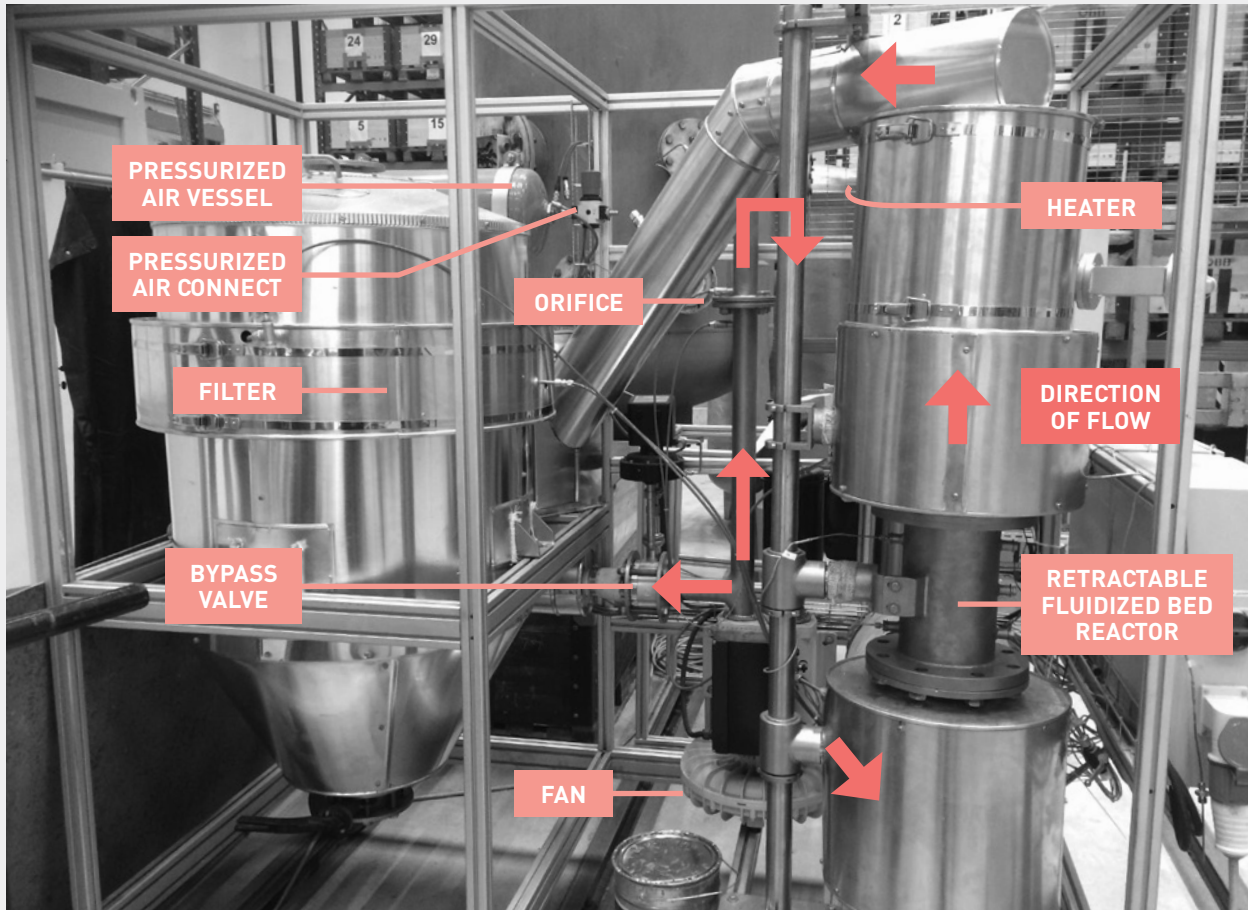


„Ein thermischer Speicher ist mehr als nur das Speichermaterial. Seine Stärken spielt ein Speicher vor allem durch geeignete Integration in das Energiesystem sowie eine auf die Anwendung abgestimmte Steuerung und Regelung aus.“

PROJEKTLLEITER WIM VAN HELDEN

Schema eines Wirbelschichtreaktors zur Durchführung von Materialtests

ABBILDUNG 7



Erythritol, auch nach 100 Zyklen noch immer stabil

ABBILDUNG 8



Erythritol ist auch
nach 100 Zyklen
noch immer stabil

Entwicklungslinie E

Thermische Speicher auf Basis von Phasenwechselmaterialien (PCMs) können in einem engen Temperaturbereich Wärme mit hoher Energiedichte einspeichern. Das Potenzial von organischen Materialien zur Speicherung von Wärme im Temperaturbereich von 100 bis 250°C ist bis jetzt noch nicht ausreichend untersucht worden. Diese Speichertemperaturen sind vor allem für Industrieanlagen interessant, in denen Druckwasser, Dampf oder Thermalöl genutzt wird.

Ausgangspunkt für die Entwicklungsaktivitäten sind sogenannten Zuckeralkohole (zB. Abbildung 8), eine Klasse von organischen Materialien, die sich durch besonders hohe Schmelzenergien auszeichnen und weitere wichtige Anforderungen an Speichermaterialien bereits erfüllen: sie werden bereits in großem Stil hergestellt, sind kostengünstig und sicher in der Handhabung. Bei diesen Materialien geht es vor allem darum, die Wärmeleitfähigkeit zu erhöhen (um die Leistung des Speichers zu steigern) und die Langzeitstabilität zu untersuchen.

Zudem wird aber auch versucht, mit den Methoden der organischen Chemie vollkommen neue PCMs zu synthetisieren. Als Anhaltspunkt dient hier eine Datenbank mit den Schmelzeigenschaften von mehreren 1000 organischen Stoffen. Mit diesen Informationen gelingt es, viele neue PCMs herzustellen, die bisher nicht bekannt waren und sehr hohe Energiedichten im geforderten Temperaturbereich aufweisen. Eine intensive thermophysikalische Charakterisierung der Stoffe wird auch zeigen, wie gut diese neuen Materialien für den Einsatz in Wärmespeichern geeignet sind.

Für die aussichtsreichsten Speichermaterialien werden industrielle Produktionsrouten gesucht, damit diese Stoffe kostengünstig im großtechnischen Maßstab hergestellt werden können. **Das beste organische Phasenwechselmaterial wird noch im Projekt mit diesen Methoden produziert und in einem Testspeicher vermessen, um zu demonstrieren, dass organische Materialien alle Eigenschaften besitzen, die Wärmespeicher für industrielle Anwendungen haben müssen: hohe Energiedichte und Wärmeleitfähigkeit bei guter Langzeitstabilität und geringen Kosten.**

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

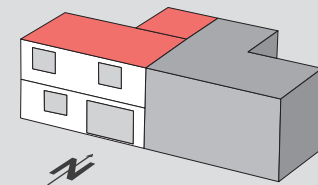
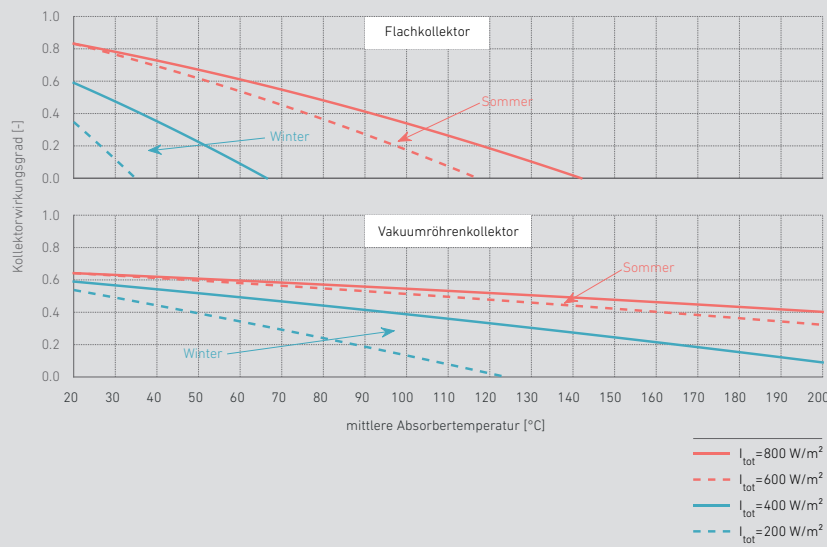
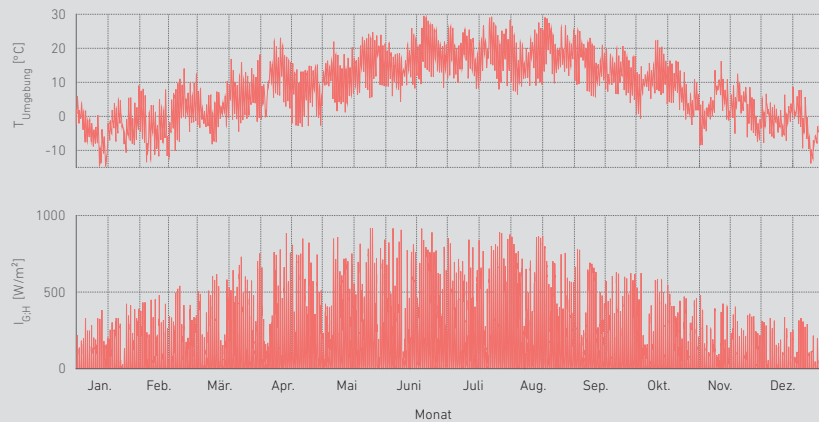
- Das Projekt zeigt viele Aspekte des Einsatzes von thermischen Energiespeichern in unterschiedlichen Einsatzgebieten.
- Unterschiedliche Branchen (Gebäudetechnik, Mobile Anwendungen, Industrielle Prozesse) lernen voneinander, entwickeln gemeinsam Speichermaterialien und
- nutzen anwendungsübergreifend Simulationswerkzeuge und Regelungskonzepte.





→ **Projektleitung:** ROLAND. H. PAWELKE
 FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH

ABBILDUNG 1



links oben: Berücksichtigte Umgebungstemperatur und Globalstrahlung im Jahresverlauf
 links: Kennlinien des thermischen Wirkungsgrades der herangezogenen Solarthermie-Kollektoren (für den Sommerfall wurde $T_{Umgebung} = 20^\circ\text{C}$, den Winterfall $T_{Umgebung} = -3^\circ\text{C}$ berücksichtigt)
 oben: isometrische 3D-Ansicht der Doppelhaushälfte

MH4HEATSTORAGE

MH4HeatStorage Metallhydrid-Technologien für verlustfreie übersaisonale Wärmespeicherung

Ausgangssituation, Motivation und Innovation

Laut Statistik Austria entfielen im Jahr 2015 etwa 28 % des energetischen Endverbrauches (EEV) Österreichs auf den Bereich „Raumheizung, Klimaanlage und Warmwasser“. Mit Bezug auf den EU Klima- und Energiepakt 2020 hat sich Österreich verpflichtet, den Anteil an erneuerbarer Energie im nationalen Energiemix bis zum Jahr 2020 auf 34 % zu erhöhen (von 32,8 % im Jahr 2015 nach BMLFUW, 2017). Die Wärmegewinnung aus Solarthermie trug im Jahr 2015 nur 2,0 % zur Deckung des erneuerbaren Endenergieverbrauchs in Österreich bei, wobei diese zur Brauchwassererwärmung und Raumheizung in Wohn- und Servicegebäuden eingesetzt wurde. Die im Jahr 2015 neu installierten solarthermischen Anlagen unterschieden sich zu 59 % in reine Brauchwasseranlagen und zu 41 % in Kombianlagen für die Bereitstellung von Raumwärme und Brauchwasser (BMLFUW, 2017). Für eine Erhöhung des Anteils der Solarthermie zur der Deckung des energetischen Endenergieverbrauchs in Österreich ist die Entwicklung verbesserter Speicherkonzepte zielführend. Vor allem sind in diesem Zusammenhang Technologien, die es erlauben, die solare Wärme des Sommers für den Winter verlustfrei zu speichern, besonders interessant. Im Gegensatz zu sensiblen bzw. Latent-Wärmespeichern bieten reversible thermochemische Wärmespeicher den Vorteil, die Wärme als Reaktionswärme und damit im Grunde unbegrenzt lange speichern zu können. Dies erfordert eine reversible chemische Reaktion bzw. ein thermodynamisches Gleichgewichtssystem wie es zum Beispiel Wasserstoff mit geeigneten metallischen

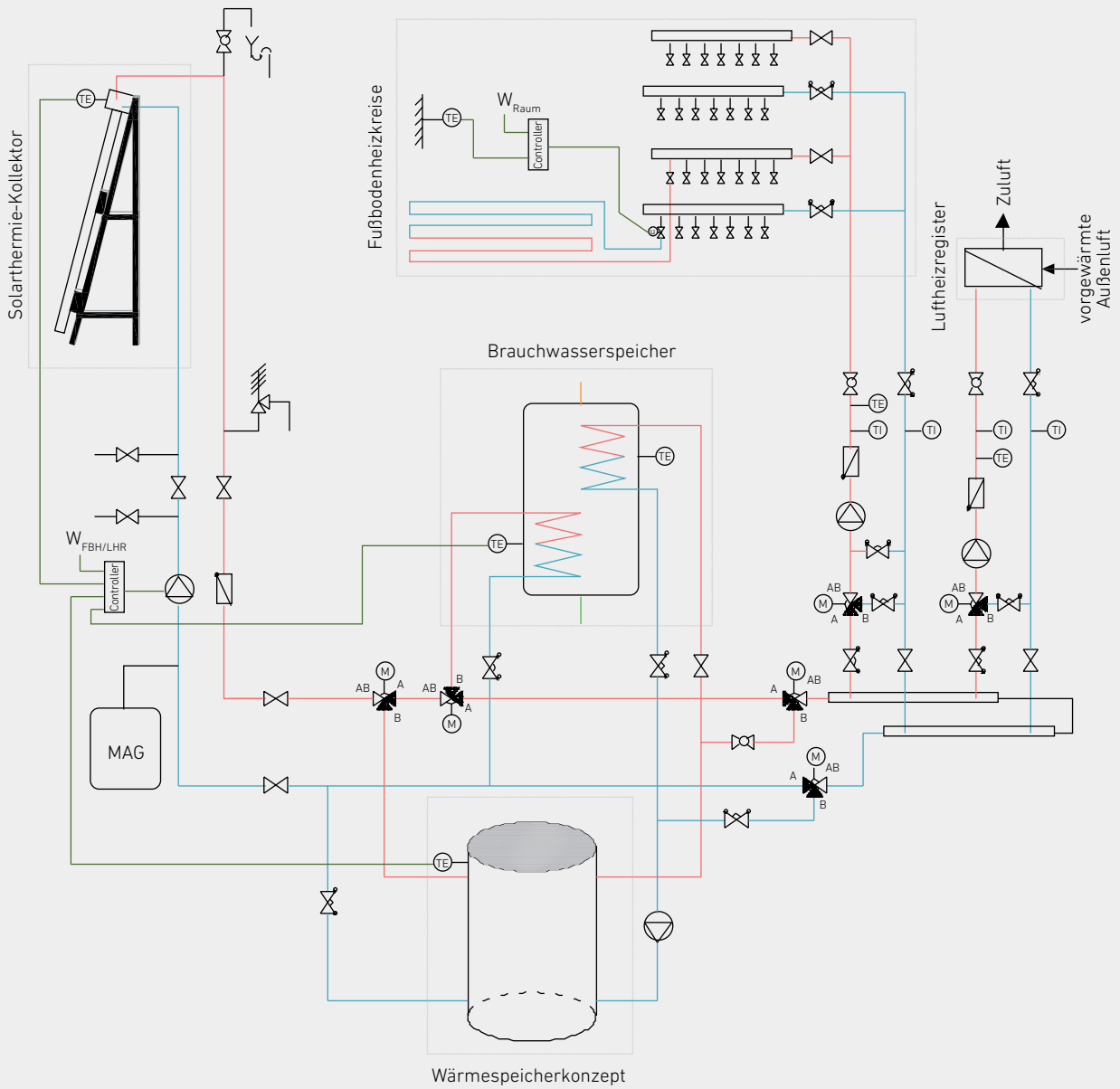
Verbindungen oder Kompositen zu bilden vermag. Thermodynamisch besitzt ein solches zwei Phasen Gas-Absorber Gleichgewichtssystem nur einen Freiheitsgrad, was bedeutet, dass entweder Druck oder Temperatur frei gewählt werden können; die andere Größe stellt sich entsprechend den thermodynamischen Eigenschaften des Absorbers ein: Abhängig vom H_2 -Fixiervermögen des metallischen Reaktanden wird bei einem bestimmten Druck Wasserstoff aus der Gasphase unter Bildung eines sogenannten Metallhydrides gebunden, wobei Wärme freisetzt wird. Der so gebundene Wasserstoff kann später aus dem Metallhydrid wieder ausgetrieben werden, indem man den Druck über dem Metallhydrid verringert, wobei sich das Metallhydrid zu einem neuen Gleichgewichtszustand abkühlt. Umgekehrt kann auch einfach die Temperatur des Metallhydrides erhöht werden, was zu einem Druckanstieg über dem Metallhydrid führt. Diese Sorptionsprozesse lassen sich in einem geschlossenen System im Prinzip unbegrenzt oft wiederholen und für bestimmte Metallhydride wurden Tausende von Zyklen bereits demonstriert (Sandrock, 1997).

Ziel des Projekts

Im Rahmen der 1. Ausschreibung des Energieforschungsprogrammes e!MISSION wurde sondiert, wie eine Nutzung von Metallhydriden als thermochemische Langzeit – Wärmespeicher in Kombination mit solarthermischen Anlagen für Privathaushalte möglich ist. Primäres Ziel war eine erste grobe Abschätzung der technischen und wirtschaftlichen

Schematische Gesamtdarstellung der vereinfachten, hydraulischen Anlage

ABBILDUNG 2



Rahmenbedingungen bzw. Erfordernisse einer solchen Technologie. Da es derzeit keine wesentliche H₂-Infrastruktur gibt, wurde ein autarkes Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept, im Grunde eine Metallhydrid-Wärmepumpe, betrachtet. Die detaillierte Konstruktionsplanung eines Wärmespeicherkonzepts bzw. der Bau eines Prototyps und dessen experimentelle Demonstration waren hingegen deklarierte NICHT-Ziele.

Methodische Vorgehensweise

Zu Beginn wurde der Wärmespeicherbedarf eines Referenzgebäudes anhand einer dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation ermittelt. Als Modellfall wurde ein 4-Personen Haushalt in einer Doppelhaushälfte mit solarthermischer Anlage gewählt. Darauf basierend wurde unter Berücksichtigung unterschiedlicher Dämmstandards, Kollektortypen, Aperturflächen und Ausrichtungen das energetische Defizit hinsichtlich Wärmebereitstellung für Raumwärme und Brauchwasser über ein Jahr simulationstechnisch ermittelt. Auf Basis der energetischen Unterdeckung einer optimierten Konfiguration wurde unter Berücksichtigung von Betriebsparametern (Vorlauftemperaturen, Nutzerverhalten, etc.) ein Wärmespeicherkonzept auf Metallhydrid-Basis mit definierter Masse und Kinetik entwickelt und numerisch untersucht. Jeder einzelne Schritt im Arbeitsablauf durchlief dabei mehrere Optimierungsiterationen. Auf Grundlage der so erhaltenen Rahmenbedingungen konnte eine erste Schätzung des anlagen-, kosten- und sicherheitstechnischen Aufwandes vorgenommen werden.

Randbedingungen

Als Referenzgebäude wurde eine Doppelhaushälfte herangezogen, welche in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist; als Standort wurde Graz/Steiermark gewählt. Gemäß den klimatischen Randbedingungen (Meteonorm Klimadatenatz (TRNSYS, 2012) – typisches mittleres Klima) betragen die minimale Umgebungstemperatur ca. -15°C und die maximale

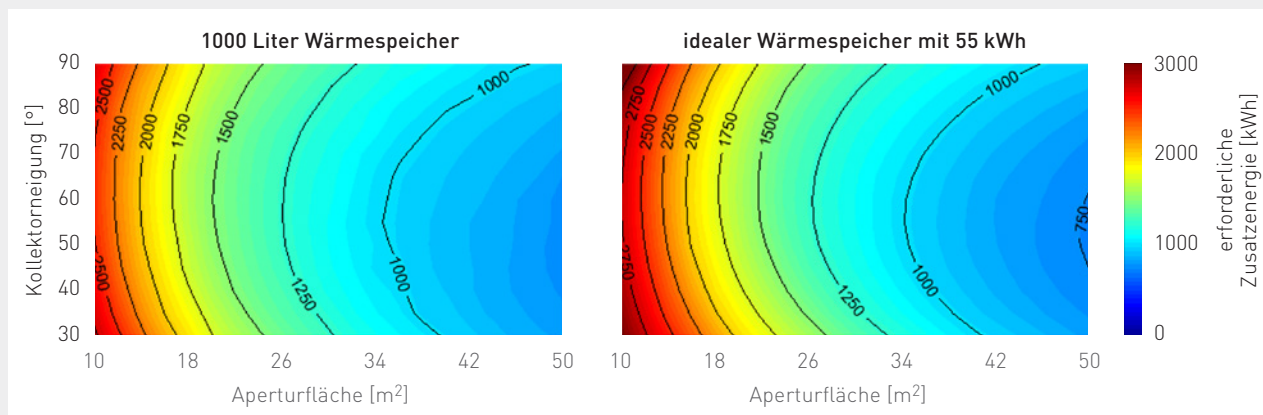
Umgebungstemperatur ca. 30°C. In den Sommermonaten weist die Globalstrahlung Spitzenwerte zwischen 700 und 920 W/m² auf. Anhand des Klimadatenatzes wurde für das Referenzgebäude die Wärmezufuhr durch solare Einstrahlung sowie die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste über den Jahresverlauf simulationstechnisch ermittelt. Die Deckung der energetischen Differenz erfolgte über eine solarthermische Anlage, deren Kollektorfeld aus Flach- oder Vakuumröhrenkollektoren bestehen kann. Die Kennlinien des thermischen Wirkungsgrades der verwendeten Kollektoren bei verschiedenen Strahlungsintensitäten und Umgebungstemperaturen sind ebenfalls in Abbildung 1 ersichtlich.

Die hydraulische Einbindung der solarthermischen Anlage in die Gesamtanlage bestehend aus Wärmeabgabesystem (Fußbodenheizkreise), Luftheizregister (Lüftungsanlage), Brauchwasserspeicher, hydraulischen Schaltungen und einem optionalen Wärmespeicher, ist in Abbildung 2 dargestellt. Mit der gewählten Anlagenhydraulik sind unterschiedliche Betriebsweisen der Gesamtanlage möglich. Es wurde dabei zwischen folgenden Betriebsweisen unterschieden:

- Direktnutzung und/oder Speicherbeladung des Wärmespeichers,
- Direktnutzung für Wärmeabgabesysteme und Luftheizregister; Brauchwasserbereitung mittels Wärmespeicher und
- vollständige Wärmeversorgung mittels Wärmespeicher.

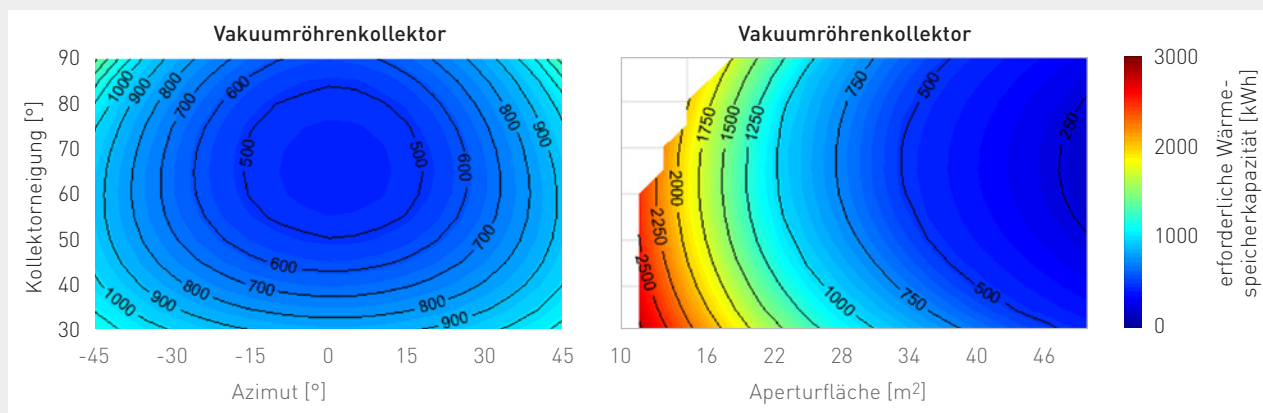
Die entsprechende Umschaltung der Betriebsweisen erfolgte durch Vergleich der Kollektoraustrittstemperatur mit dem benötigten Temperaturniveau am entsprechenden Verbraucher (Brauchwasserbereitung oder Wärmeversorgung für das Luftheizregister bzw. die Fußbodenheizung), oder bei Überschuss bzw. wenn kein Wärmebedarf gegeben ist, durch Vergleich der Kollektoraustrittstemperatur mit der Temperatur im Wärmespeicher.

ABBILDUNG 3



Vergleich der Simulationsergebnisse hinsichtlich der erforderlichen Zusatzenergie bei Berücksichtigung eines 1000 Liter Wärmespeichers (links) und bei Verwendung des Modellansatzes eines idealen Wärmespeichers mit 55 kWh Wärmespeicherkapazität (rechts)

ABBILDUNG 4



Auswirkung der Kollektorneigung und der Ausrichtung des Vakuumröhrenkollektorfeldes auf die erforderliche Wärmespeicherkapazität bei einer Aperturfläche von 36 m² (links) sowie die Auswirkung der Kollektorneigung und der Aperturfläche des Vakuumröhrenkollektorfeldes auf die erforderliche Wärmespeicherkapazität bei einem Azimut von 0° (rechts).

Ergebnisse

Identifizierung der benötigten Wärmespeichergröße und Einflussgrößen für eine autarke Wärmebereitstellung

Zur Ermittlung der benötigten Wärmespeichergröße wurden umfangreiche dynamische Gebäude- und Anlagensimulationen in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einflussgrößen (zB. Dämmstandard des Gebäudes, Kollektortype, Aperturfläche, Ausrichtung und Neigung des Kollektorfeldes) durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass das Simulationsmodell durch Verwendung eines dynamischen Lastprofils maßgeblich vereinfacht werden konnte, was die Simulationszeiten um mehr als 90 % verkürzte (bei gleichbleibender Genauigkeit). Weiters wurde der Modellansatz eines idealen Wärmespeichers durch Vergleichssimulationen des Gesamtsystems mit einem sensiblen Wärmespeicher für das Referenzgebäude mit aktuellen Dämmstandards ($\text{HWB} \approx 22 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) positiv validiert (siehe Abbildung 3). In Anbetracht dessen wurde der Modellansatz des idealen Wärmespeichers zur Ermittlung der Wärmespeichergröße für eine autarke Wärmebereitstellung herangezogen.

Die benötigte Wärmespeichergröße bei der Verwendung von Vakuumröhrenkollektoren zeigt Abbildung 4. In der linken Grafik ist dabei die erforderliche Wärmespeicherkapazität in Abhängigkeit der Kollektorneigung und der Ausrichtung (Azimut) des Kollektorfeldes (36 m^2 Aperturfläche) dargestellt. Die erforderliche Wärmespeicherkapazität in Abhängigkeit der Kollektorneigung und Aperturfläche (Ausrichtung Süd) ist hingegen in der rechten Grafik der Abbildung 4 ersichtlich. Weiße Bereiche lassen darauf schließen, dass der Jahresertrag der solarthermischen Anlage nicht ausreicht, um den notwendigen Wärmespeicher vollständig zu beladen.

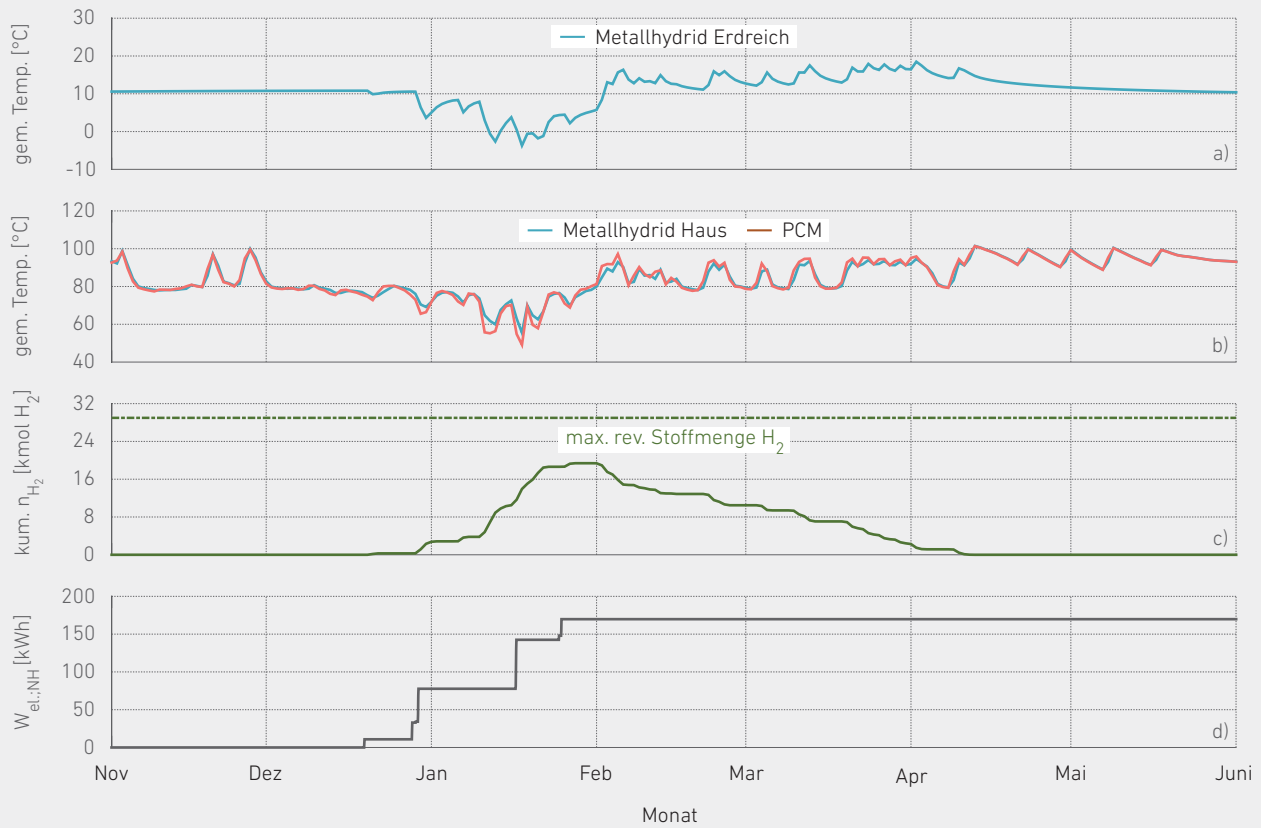
Unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren auf die Wärmespeichergröße (Dämmstandard, Kollektortyp,

Aperturfläche, Ausrichtung usw.) wurde die Kollektorfläche dahingehend festgelegt, dass diese auch im Herbst und im Frühjahr noch einen substantiellen Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfes leisten kann. Der nach einigen Iterationen konvergente Betrachtungsfall für das Referenzgebäude umfasst eine Kombination von aktuellem Dämmstandard des Gebäudes, Vakuumröhrenkollektoren mit einer Aperturfläche von 36 m^2 und einen Wärmespeicher mit ca. 470 kWh Wärmespeicherkapazität.

Festlegung eines Wärmespeicherkonzepts auf Metallhydridbasis inkl. der Metallhydrid-Materialauswahl sowie der Einbindung in die hydraulische Anlage

Das Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept wurde basierend auf die im vorigen Absatz angeführte Konfiguration zur autarken Wärmebereitstellung entworfen. Das Problem wurde dabei ergebnisoffen initial nur unter dem technologischen Aspekt betrachtet. Aufgrund der autarken Konzeption muss das Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept tatsächlich zwei Metallhydrid-Speicher umfassen, einen für die Zwischenspeicherung des Wasserstoffes im Erdreich über den Sommer, den anderen für die Wärmebereitstellung im Winter. Das Erdreich dient dabei, wie bei einer Wärmepumpe, als Wärmequelle bzw. -senke. Die Wahl der Metallhydride wird durch anlagenseitige Erfordernisse und klimatischen Rahmenbedingungen bedingt, dabei gibt es für beide Subspeichersysteme eine kinetische und eine thermodynamische Dimension. Erstere muss den Anforderungen des Nutzungsprofils entsprechen, letztere bedingt die jeweiligen Eigenschaften des Metallhydrids für das Subsystem und damit die anzusetzende Speichergröße. Die temperaturseitigen Rahmenbedingungen des Systems sind ca. 10°C Erdreichtemperatur und ca. 100°C im Sommer durch den Vakuumröhrenkollektor erzielbare und regelungstechnisch begrenzte Temperatur. Die Zieltemperatur für die Wärmebereitstellung

ABBILDUNG 5



Temperaturverlauf des Metallhydrids im Erdreich (a), des Metallhydrids und PCM im Gebäude (b), sowie die kumulierte Stoffmenge (c) und der elektrische Energiebedarf der Nachheizung (d); Masse $NaAlH_4 = 2600$ kg, $TPCM_{max} = 100^\circ C$, mit Regeneration und gleitender Betriebsweise

im Gebäude liegt bei ca. 70-80°C. Die Stabilitäten der beiden Metallhydridmaterialien müssen derart gewählt werden, dass die Gleichgewichtsdrücke bei den angesetzten Temperaturen die komplementäre Sorptionsreaktion im anderen Metallhydrid erlauben. Aus der Vielzahl von verfügbaren Metallhydrid-Materialien wurde aufgrund der vorgegebenen Temperaturniveaus für das Metallhydrid im Gebäude Natriumalanat (NaAlH_4) und für das Metallhydrid im Erdreich ein relativ instabiles Ti-basiertes AB_2 -System ($\text{TiMn}_{1,2}\text{Fe}_{0,37}$) herangezogen, allerdings befindet man sich mit den (für die beiden Metallhydride) vergleichsweise niedrig angesetzten Temperaturen im kinetischen Grenzbereich. Die Kinetik von Metallhydriden lässt sich durch den Einsatz von Katalysatoren und eine Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit (zB. durch den Zuschlag von Graphit) verbessern. In Kombination mit dem angesetzten Nutzerverhalten zeigte sich, dass ein reines Metallhydridwärmespeichersystem im Gebäude nicht schnell genug die Wärme im Spitzenlastfall der winterlichen Morgenstunden bereitstellen kann. Um ein Temperaturniveau im Metallhydrid von ungefähr 70-80°C gewährleisten zu können, wurde das Wärmespeicherkonzept in weiterer Folge mit einem Phasenwechselmaterial (Acetamid als PCM, Schmelzbereich zwischen 70 und 80°C), welches das Metallhydrid im Gebäude umschließt, erweitert. Dieses PCM dient als Lastausgleichsspeicher für den Spitzenlastfall und kann später über den Tag durch eine Kombination von Solarthermie und/oder Metallhydridreaktionswärme wieder beladen werden. Die Wärmeübertragung vom PCM zum hydraulischen System der Heizungsanlage erfolgt über ein internes Heizregister. Die Zugabe von Graphit erhöht die Wärmeleitfähigkeit des Acetamids, wodurch sich die kurzzeitige Be- und Entladeleistung im PCM verbessert. Angesichts der Projektzielsetzung wurde das Masseverhältnis zwischen PCM und Metallhydrid auf 1:1 festgelegt. Abschließend wurde die Möglichkeit einer elektrischen Nachheizung im PCM berücksichtigt.

Simulationstechnische Untersuchung des Gesamtsystems

Das Simulationsmodell des Gesamtsystems beschreibt das dynamisch-thermische Verhalten zwischen dem Wärmebedarf des Gebäudes (Raumwärme, Lüftung, Warmwasser), der Wärmebereitstellung über die Solaranlage und der Wärmespeicherung über das Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept. Neben den Auswirkungen unterschiedlicher Speichermassen der Metallhydride (NaAlH_4 und $\text{TiMn}_{1,2}\text{Fe}_{0,37}$) mit deren Auswirkung auf die elektrische Zusatzenergie und somit den solaren Deckungsgrad der solarthermischen Anlage, standen unterschiedliche Regelstrategien und Betriebsweisen im Fokus der Untersuchungen. Die Abbildung 5 zeigt die Auswirkungen der „fixen“ Prioritätsvorgabe (Aktivierung der Regeneration des Erdreiches – welches das $\text{TiMn}_{1,2}\text{Fe}_{0,37}$ umgibt – bei Unterschreitung der Erdreichtemperatur von 0°C in unmittelbarer Nähe zum Metallhydrid und einer Schalthysterese von 5°C) auf das energetische Verhalten des Speichersystems. Dabei diente als Basis für die Bewertung das Speichersystem mit einer Masse von 2600 kg NaAlH_4 ; 2600 kg PCM-Material sowie 7800 kg von $\text{TiMn}_{1,2}\text{Fe}_{0,37}$ im Erdreich mit Regeneration und gleitender Betriebsweise der Wärmeabgabesysteme. Erstarrungs- und Schmelzvorgänge von dem im Erdreich enthaltenen Wasser wurden bei diesen Untersuchungen nicht berücksichtigt. Wie in Abbildung 5d, zu erkennen ist, werden lediglich ca. 160 kWh elektrische Energie für die Nachheizung benötigt. In anbetracht der Anlagenkonfiguration ergibt sich für den gewählten Klimadatensatz und der festgelegten Bedarfsprofile (Anwesenheit, Warmwasserverbrauch, Sollwerte der Raumlufttemperatur) ein solarer Deckungsgrad für die Raum- und Brauchwassererwärmung von mehr als 97%.



„Die Philosophie hinter irreversiblen Systemen ist vollkommen verschieden von der, die reversible, nachhaltige Systeme erfordern. Dies wurde einmal mehr während dieses Projektes deutlich, welches zeigte, dass ein Metallhydrid-Wärmespeicherkonzept aufgrund der vielfältigen Wechselwirkungen weitaus komplexer und umfangreicher als herkömmliche gebäudetechnische Anlagen ausfällt. Eine grobe Kostenschätzung ergab zudem, dass eine solche autarke Metallhydrid-Wärmepumpentechnologie zum gegenwärtigen Zeitpunkt unwirtschaftlich ist. Dies ist aber insofern unproblematisch und ein valides Ergebnis, als dass die Definition eines möglichst guten Startpunktes Ziel des Projektes war und die Hauptkosten- und Komplexitätstreiber im System identifiziert wurden, womit die Grundlage für die Optimierung des Modells gelegt ist.“

PROJEKTLEITER ROLAND H. PAWELKE



Literatur

BMLFUW (2017): Erneuerbare Energie in Zahlen 2016 – Entwicklung in Österreich - Datenbasis 2015, Informationsbroschüre, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Stubenring 1, 1010 Wien, bmlfuw.gv.at, aufgerufen unter: <https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:3e027851-5e6a-476b-98a4-108aa2e17bf4/Erneuerbare%20Energie%20in%20Zahlen%202016%20auf%20datenbasis%202015.pdf>

Sandrock G. (1997): State-of-the-art Review of Hydrogen Storage in Reversible Metal Hydrides for Military Fuel Cell Applications, Department of the Navy, Office of Naval Research, NTIS Report # AD-A328073/2INZ

TRNSYS (2012): “A transient system simulation program”, TRNSYS Version v17.01.0016, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison

Conclusio

Die numerischen Untersuchungen des Gesamtsystems haben die Wechselwirkungen der solarthermischen Anlage mit Variation der Beladungstemperatur, Größe des Wärmespeichers und Regelstrategie aufgezeigt. Die Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass ein Wärmespeicherkonzept auf Metallhydridbasis im Prinzip funktionstauglich ist, aufgrund der eher eingeschränkten Reaktionskinetik (vergleichsweise niedrige Erdreichtemperaturen im Winter) fällt dieses Metallhydrid-Speicherkonzept weitaus komplexer und umfangreicher (Platzbedarf, Sicherheitsanforderungen) als herkömmliche gebäudetechnische Anlagen aus. Die Auswertung der Ergebnisse führte zur Erkenntnis, dass es in Anbetracht der Wechselwirkung essentiell ist, eine Abstimmung aller Systemkomponenten – wie zB. Speichermaterialien (Materialpaarungen), Speichermassen und Regelstrategie – vorzunehmen.

Hier besteht ein nicht zu unterschätzendes Optimierungspotenzial. Eine grobe Kostenschätzung ergab zudem, dass aufgrund der aktuellen Materialpreise der herangezogenen Niedertemperatur-Metallhydride und deren benötigten Massen ein darauf basierendes Wärmespeicherkonzept zum gegenwärtigen Zeitpunkt unwirtschaftlich ist.

Es erscheint sinnvoll, anhand der Projektergebnisse das Problem in einem ergänzenden Projekt zu betrachten, sowie die Kosten- und Komplexitätstreiber entweder zu optimieren oder besser, zu ersetzen.

Ferner wäre grundsätzlich zu prüfen, ob sich für diese technologische Fragestellung auf Grundlage der Projektergebnisse nicht für den Betrachtungsfall einer H₂-Infrastruktur andere Antworten ergeben, die möglicherweise effizienter ausfallen.

> Autoren: Klanatsky P., Pawelke R. H. und Inschlag F.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Erhöhung der erneuerbaren und nachhaltigen Energieversorgung durch innovative und verlustfreie Speicherkonzepte.
- Verbesserung des Verständnisses der Wechselwirkungen zwischen Gebäude, solarthermischer Anlage, Brauchwassererwärmung und Wärmespeicher.
- Eine erste Abschätzung des technologischen Potenzials der Nutzung von Metallhydriden mit hoher Speicherkapazität zur verlustfreien Speicherung von Wärme.

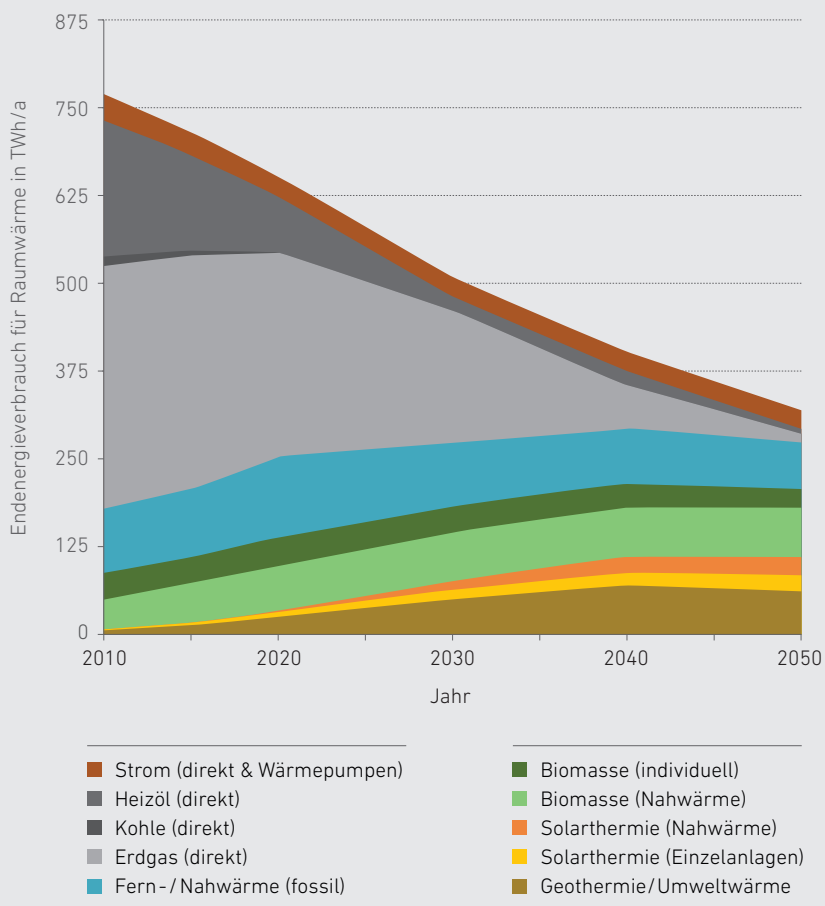




Projektleitung: BERNHARD ZETTL
FH OÖ F&E GmbH/Forschungsgruppe ASIC

Entwicklung der Raumwärme 2010 - 2050 in Deutschland (Sternner, et al., 2014)

ABBILDUNG 1



Offene Sorptionstechnik für Langzeit-Wärmespeicher

Energiespeicher für die Wärmeversorgung stehen deutlich weniger im Fokus der öffentlichen Aufmerksamkeit als Speicher im Stromsektor obwohl beide Sektoren einen ausgeprägten Speicherbedarf aufweisen. Das mag daran liegen dass auch heute schon fast jeder Haushalt einen Wärmepuffer besitzt unabhängig davon mit welchem Heizsystem die Wärmeversorgung erfolgt.

Warum Wärme speichern?

Im Zuge der Energiewende wird sich der Bedarf an Wärmespeicherung in Gebäuden verändern: neben der Pufferung für Raumwärme und Warmwasser wird die Bevorratung von Energie (Wärme und Strom) aus dezentraler Erzeugung eine wichtige Rolle einnehmen. Obwohl zu erwarten ist, dass der Bedarf für Raumwärme aufgrund verbesserter Gebäudestandards langfristig sinken wird, ist der Wärmespeicherbedarf stark ansteigend. Wie *Abbildung 1* zeigt, muss der Bedarf an Raumwärme ggü. dem Jahr 2010 auf die Hälfte sinken (350 TWh/a entsprechen 1,26 EJ/a in D) um die Ziele der Energiewende zu erreichen (Sternier, et al., 2014). Eine andere Studie (*Abbildung 2*) sieht den Bedarf an solarer Energiebereitstellung (und entsprechender Speicherung) in der EU auf 2 EJ/a für Raumwärme und auf 6 EJ/a für Warmwasser ansteigen um das Ziel einer 85 % CO₂-Reduktion europaweit zu erreichen (IEA, 2013). Der steigende Speicherbedarf resultiert aus der Tatsache, dass erneuerbare Energiequellen einerseits stark fluktuierende

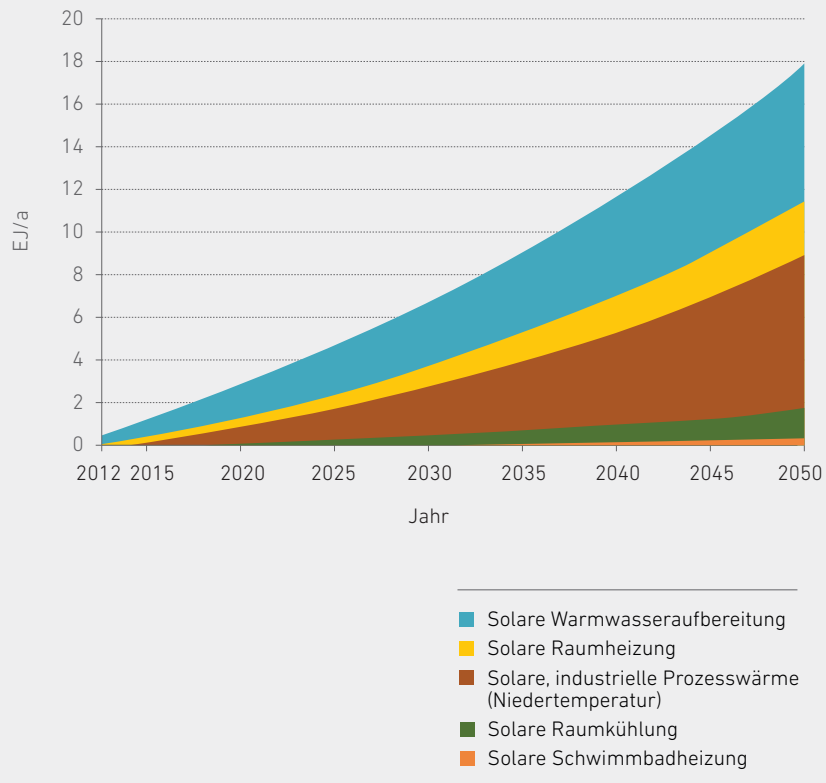
Erzeugungsprofile aufweisen und zusätzlich eine starke Variation des Jahresganges von solarer Energiequellen und Wärmebedarf besteht.

In den letzten Jahren wurde bei der Errichtung von Solaranlagen ein starker Trend weg von solarthermischen Anlagen hin zu Photovoltaik-Anlagen verzeichnet. Durch die Weiterentwicklung der Technologie konnte eine starke Verbilligung der PV-Module erreicht werden und die sog. Netzparität, der Punkt an dem die Gestehungskosten unter den Netz-Bezugskosten liegen, wurde, auch für kleine PV-Anlagen, bereits in der Vergangenheit erreicht. Die steigende Zahl an PV-Anlagen führt bereits teilweise zu einem Energie-Überschuss in den Stromversorgungsnetzen, weshalb die Errichtung von dezentralen Batteriespeichern zur Netzentlastung und Eigenverbrauchserhöhung zu befürworten ist. Da jedoch die Batteriespeicher aufgrund ihrer Kosten auf unabsehbar lange Zeit nicht für die Bereitstellung von Wärme in Gebäuden verwendet werden können, ist es sinnvoll neben den Stromspeichern auch weiterhin Wasser-Wärmepuffer zu verwenden (Power-to-Heat) und für die Langzeit-speicherung neue, möglichst verlustlose Speichertechnologien zu entwickeln.

Wärmespeicherung kann mit deutlich einfacheren technischen Konzepten erfolgen als elektrische Energiespeicherung und die verwendeten Materialien sind, auch bei Anwendung von thermochemischen Speichertechnologien, um ein vielfaches preisgünstiger.

Roadmap-Vision der IEA zum Aufkommen von erneuerbarer Wärme aus Solaranlagen und Wärmespeichern (IEA, 2013)

ABBILDUNG 2



Thermochemische Wärmespeicher

Der Einsatz von Energiespeichern zum Zweck der Bevorratung ist wesentlich von den dabei auftretenden Verlusten abhängig. Bei sogenannten verlustlosen Speichern treten im Wesentlichen nur Umwandlungsverluste auf (Abbildung 3, Input-Output). Die reine Konservierung des Speicherinhaltes ist mit keinen (oder nur geringen) Verlusten verbunden. Im Gegensatz dazu haben klassische Wärmespeicher (wie zB. Wasserspeicher) eher geringe Verluste beim Be- und Entladen (einige %), aber einen exponentiellen Abfall der gespeicherten Energie über die Zeit. Die Verringerung der Verluste ist ab einem gewissen Grad der Wärmedämmung nur mehr durch Erhöhung des Volumens und mit einer möglichst kugelförmigen Behälteroberfläche möglich.

Thermochemische Prozesse, also die reversible Trennung und Zusammenführung zweier Stoffe, bieten eine verlustlose Speicheroption, so wie Pumpwasserspeicher oder andere stoffliche Speicher, da der nutzbare Wärmeinhalt in ein Reaktionspotenzial zweier Stoffe umgewandelt wird. Solange die Stoffe getrennt bleiben ist der Speicher geladen.

Die Anwendung des thermochemischen Speicherprinzips hängt wesentlich von den Bedingungen des Reaktionsgleichgewichtes und der umsetzbaren Reaktionsenthalpie des verwendeten Stoff-Paares ab.

Die Bedingungen sind im Wesentlichen die Temperatur und der Umgebungsdruck, d.h. bei Reaktionen mit Gasen (zB. Wasserdampf) sind neben der Temperatur die Konzentration der Gasmoleküle in der Umgebung des Zeolith (Partialdruck, Dampfdruck) und die Kondensationstemperatur für die Materialbeladung wichtig (Abbildung 4, oben). Bei hoher Konzentration und geringer Temperatur verschiebt sich die Reaktion in Richtung des Produktes (Speicher entladen), bei geringer Konzentration und hohen Temperaturen in Richtung der Edukte (Speicher beladen).

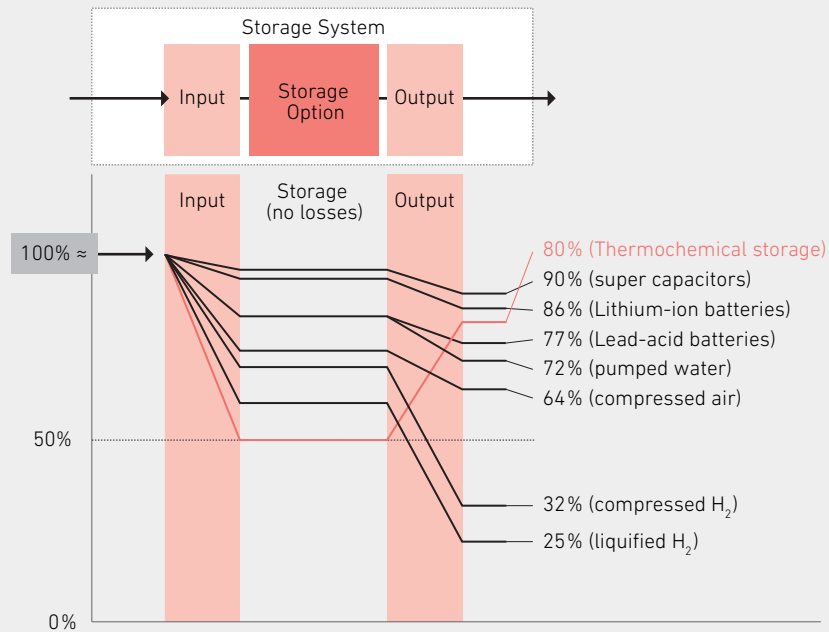
Für die technische Versuchsführung stehen im Allgemeinen nicht der gesamte theoretische Feuchtebereich zur Verfügung, die minimale Feuchte des Zeolith kann durch die maximal zur Verfügung stehende Desorptions-Temperatur oder -Zeit limitiert werden, andererseits wird die maximale Feuchte erst nach sehr langer Adsorptionsdauer (bei sehr geringer technisch nutzbarer Wärmeabgabe des Reaktors) erreicht. Der Adsorptionsvorgang wird daher meist nach der zweiten Phase (Abbildung 4, unten), nach Bildung des Monolayers, unterbrochen. Für die Materialauswahl (Adsorptionsmittel und Adsorptiv) ist auch das geometrische Verhältnis der Porengröße und Molekülgröße des aufgenommenen Gases zu beachten. Im dargestellten Fall (Zeolith 4A und Wasser) beträgt die Porengröße 0,4 Nanometer während die Abmessung des Gasmoleküls etwa 0,1 Nanometer beträgt.

„Um die Energiewende zu schaffen werden für alle Sektoren sowohl Strom- und als auch Wärmespeicher benötigt, ganz besonders Langzeitspeicher für Gebäude und Hochtemperatur-Pufferspeicher für die Industrie. Sorptionsspeicher sind dafür ein vielversprechender Technologieansatz.“ PROJEKTLEITER BERNHARD ZETTL



Effizienz von verschiedenen verlustlosen Speichern im Vergleich

ABBILDUNG 3



Literatur

Bernhard Zettl, Gerald Englmaier, Gerald Steinmaurer. 2014. Development of a revolving drum reactor for open-sorption heat. Applied Thermal Engineering. 2014, Bd. 70, S. 42-49.

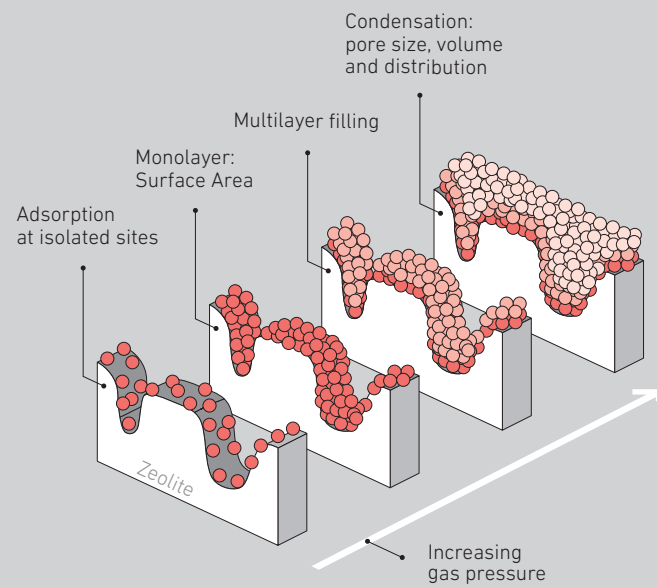
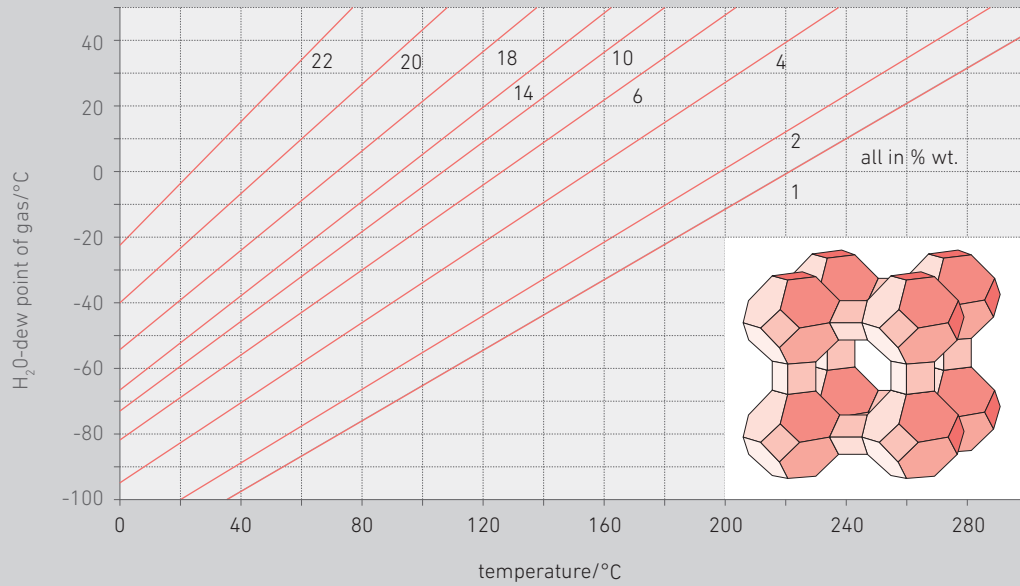
IEA. 2013. Technology roadmap: solar heating and cooling 2050.

Paris: IEA – International Energy Agency, 2013.

Sterner, Michael und Stadler, Ingo. 2014. Energiespeicher, Bedarf-Technologien-Integration. Berlin: Springer, 2014.

**Isosteren (Materialfeuchte in %) und Gitterstruktur des Materials Zeolith 4A (oben),
Adsorptionsphänomene bei zunehmendem äußeren Dampfdruck (unten)**
(Quelle: Herstellerangabe-CWK)

ABBILDUNG 4



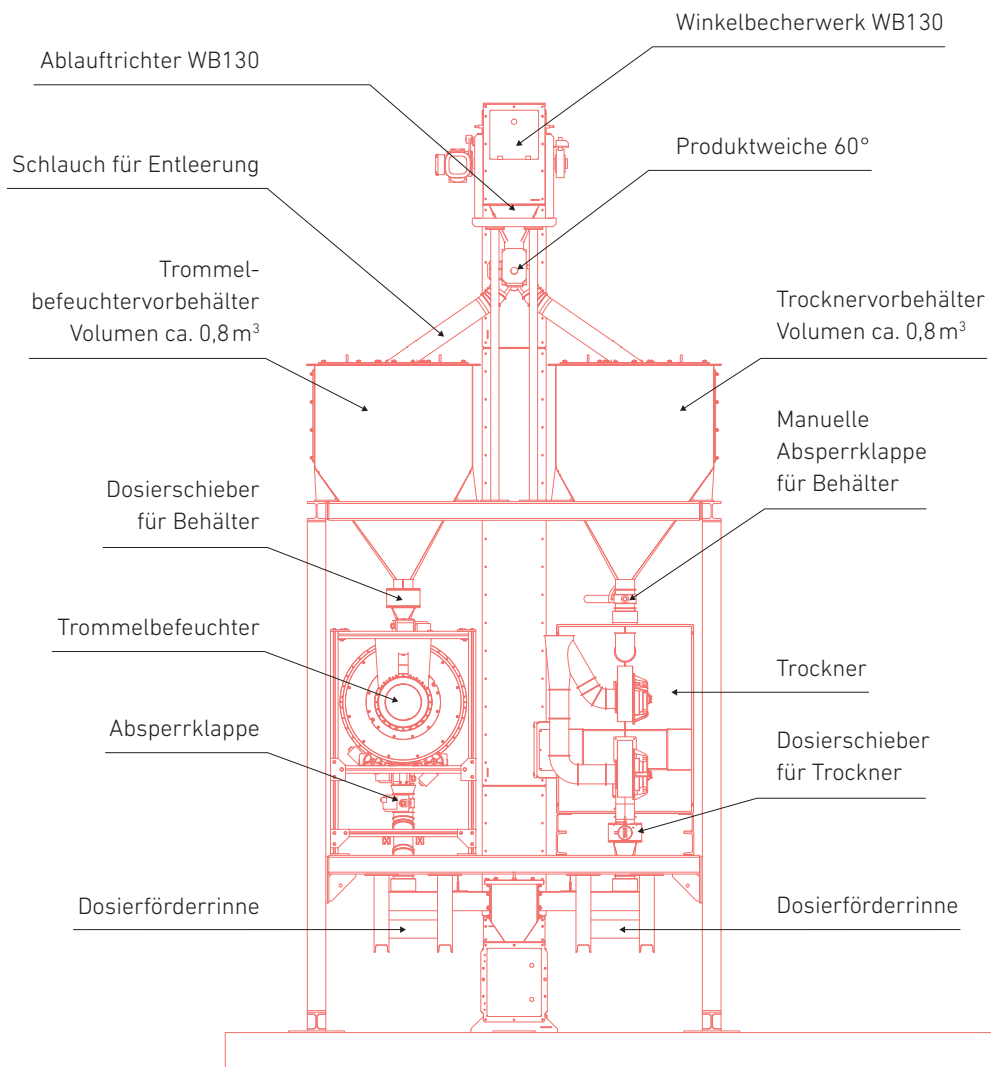
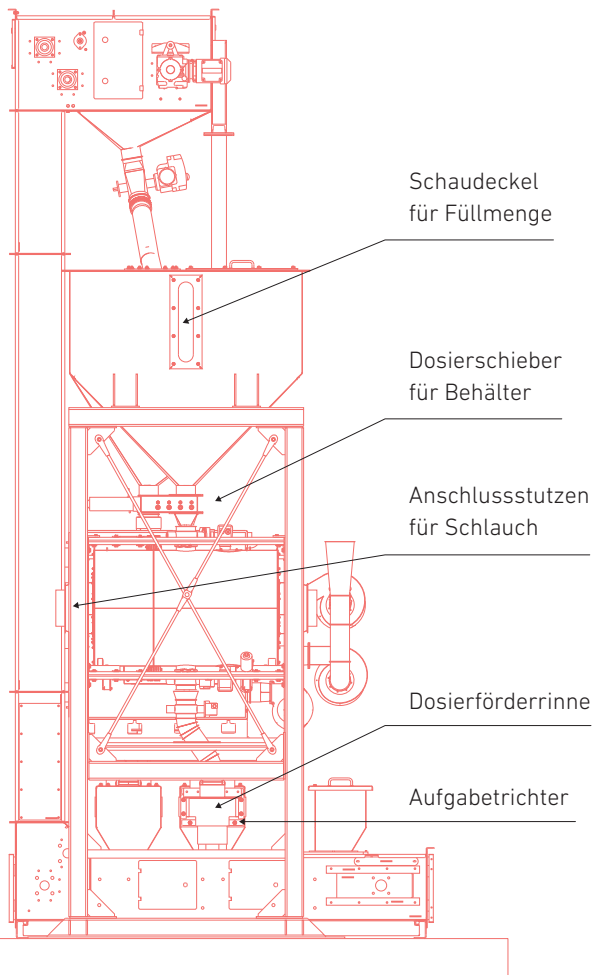
Funktionsmodell OFFSORE- Offene Sorption mit bewegtem Reaktionsbett

ABBILDUNG 5



Offene Sorptionsreaktionen für Gebäudeanwendungen

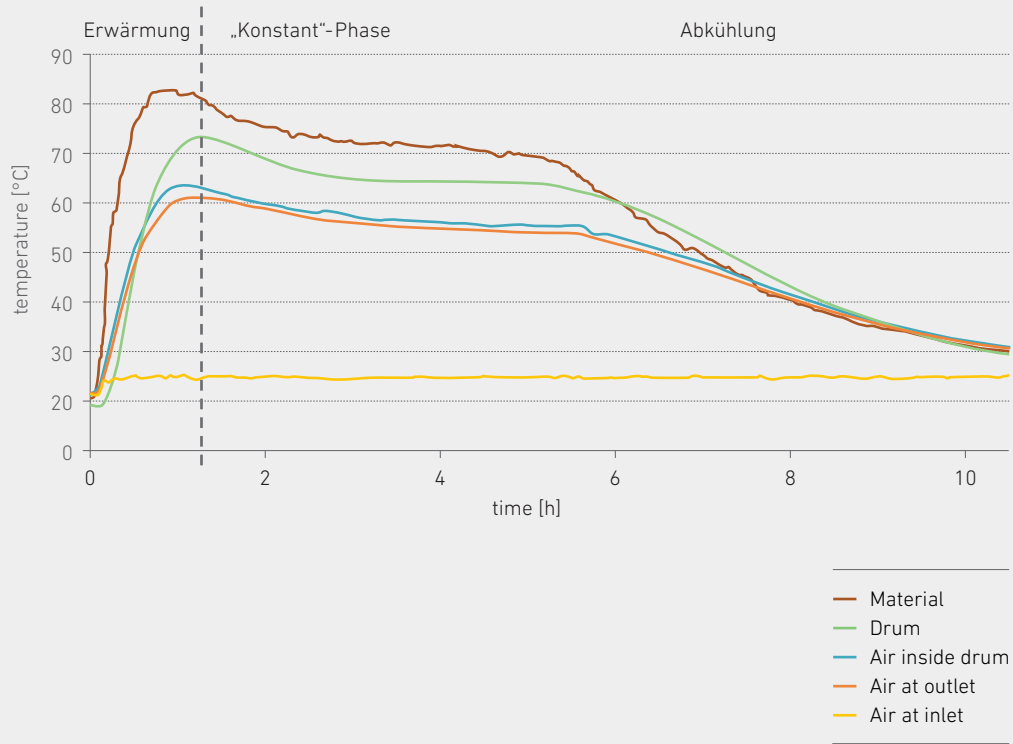
Die Realisierung von Langzeitspeichern zur Gebäudeheizung besteht durch die Vorstellung, dass Wärme aus Solaranlagen im Sommer gespeichert und im Winter verwendet werden kann um den Bedarf an Raumwärme und Warmwasser zu decken. Dazu können zB. große Schichtwasserspeicher im Inneren der Gebäude platziert werden, der mögliche solare Deckungsanteil liegt je nach Dimensionierung des Systems bei 50 - 90 %. Der entscheidende Punkt dabei ist die Frage ob es gelingt die auftretenden Wärmeverluste soweit zu reduzieren, dass die geforderte Speicherdauer und ein ausgeglichener Wärmehaushalt im Gebäude realisierbar sind.

Alternativ dazu, könnten thermochemische Speichertechnologien (in Kombination mit Wasserspeichern) die Aufgabe der Langzeitbevorratung übernehmen. Der Vorteil liegt in der unbegrenzten Speicherdauer und in der höheren Energiespeicherdichte des Verfahrens, problematisch sind die vergleichsweise hohe technische Komplexität sowie die (noch) zu lange energetisch und wirtschaftliche Amortisationsdauer der Technologie.

Die Anwendung von Sorptionstechnik im Gebäudebereich wird national und international von einigen Forschungsgruppen vorangetrieben. Eine Übersicht der Tätigkeiten (Projekte und Forschungseinrichtungen) findet sich im kürzlich abgeschlossenen IEA Task42 (task42.iea-shc.org). Durch die unterschiedlichen Einflussmöglichkeiten auf die Sorptionsreaktion bieten sich unterschiedlich Reaktionsführungen an: Offene/geschlossene Verfahren, bewegtes und ruhendes Reaktionsbett. Jedes der Verfahren hat spezifische Vor- und Nachteile, die wichtigsten Punkte sind in Tabelle 1 angeführt.

Freisetzung von Adsorptionswärme in der rotierenden Wärmetrommel

ABBILDUNG 6



Konzepte mit festen Adsorptionsmittel und ihre Vor- und Nachteile

TABELLE 1

Geschlossene Adsorption	Offene Adsorption	
Ruhendes Reaktionsbett	Ruhendes Reaktionsbett	Bewegtes Reaktionsbett
Einfache Verfahrenstechnik Geringere Desorptionstemperatur	Hohe Wärmeleistung Einfache Verfahrenstechnik	Hohe Wärmeleistung Geringe Antriebsleistung (elektrisch) Getrennte Ad- und De-Sorptionsbehälter möglich Einsatz von salzhaltigen Sorbenten möglich
Großer Aufwand für Behälter- und Wärmetauscher-Bau	Höhere Desorptionstemperatur	Komplexe Verfahrenstechnik für Materialtransport

Das Konzept der offenen Adsorption bietet den Vorteil, dass der Adsorptions- und Desorptions-Reaktor für die jeweiligen Reaktionsbedingungen optimiert werden können und so hohe Leistungsdichten und gute Materialausnutzung möglich ist, allerdings auch eine komplexe Transportmechanik um das Material möglichst ohne Abrieb zu bewegen.

Das Projekt OFFSORE hat das Ziel einen Funktions-Prototyp des Sorptionspeichers zu realisieren, an dem der automatisierte Transport und Materialdosierung demonstriert werden kann und alle Komponenten für einen kompletten Speicherzyklus vorhanden sind.

Die vier wesentlichen Baugruppen sind:

- Wärmetrommel
(Abbildung 5, rotierender Trommel-Reaktor zur Adsorption)
- Trockner (Abbildung 5, luftdurchströmter Dächer-Trockner als Desorptions-Reaktor)
- Materialtransport und Container
(Abbildung 5, Taschenförderer und Edelstahlbehälter)
- Heißluft-Kollektoren (Wärmequelle für Desorption im Sommer und Verdunster im Winter)

Die Konzeption der Wärmetrommel wurde bereits in einem Vorprojekt (Bernhard Zettl, 2014) durchgeführt: für die Freisetzung von Adsorptionswärme wird eine bestimmte Menge von Zeolith (150 kg) über ansteuerbare Schieber in die Trommel eingefüllt, die daraufhin in Rotation versetzt (ca. 1 U/min) und mit Luft durchströmt wird. Die Feuchte der Luft wird aufgenommen und Adsorptionswärme freigesetzt. In Abbildung 6 sind Temperaturkurven aus dem Entwicklungsprojekt der Wärmetrommel abgebildet. Zu Beginn, während der ersten Phase, lagern sich die Wassermoleküle an den bevorzugten Stellen im Zeolithgitter (Position der Kationen) an, die Folge ist ein schneller Anstieg der Temperatur aufgrund der relativ hohen freigesetzten Bindungsenthalpien. Anschließend kommt es zu einer mehrere Stunden andauernden Phase relativ gleichförmiger Feuchteaufnahme (Monolayer-Bildung). Während der Abkühlphase kann die sensible Wärme des Materials noch weitgehend genutzt werden, das Abschaltkriterium ist durch die minimale notwendige Temperaturerhöhung definiert und beträgt für Heizanwendungen ca. 5-10 K. Die freigesetzte Wärmeleistung wird durch den Luftstrom bestimmt, typische gemessene Werte waren: 140 m³ pro Stunde, 900 Pa Druckabfall, 100 W elektrische Lüfterleistung, 1000 W thermische Leistung.

Composite-Materialien (Klinoptilolith, Salze und Binder) hergestellt mittels Intensivmischer und Tellergranulation und verschiedenen Bindemittelanteilen

ABBILDUNG 7



Die auftretende Lufttemperatur am Ausgang wird im Wesentlichen durch die Feuchte am Eintritt bestimmt: Je höher die Feuchte desto höher der Temperatursprung, wobei die in Abbildung 6 gezeigten Ergebnisse mit 16 g/kg Eingangs-Luftfeuchte erzielt wurden. In Anbetracht der üblicherweise in der winterlichen Umgebung auftretenden Feuchte von 4-6 g/kg ergibt sich die Notwendigkeit für eine Befeuchtung der Umgebungsluft bzw. eine Erhöhung der Luft-Enthalpie durch Erwärmung plus Befeuchtung auf ca. 35-40 kJ/kg. Diese Aufgabe kann durch einen Vakuum-Solarkollektor relativ gut geleistet werden. Bei geeigneter Dimensionierung der Solaranlage kann erfahrungsgemäß eine Temperaturerhöhung im Solarmedium von ca. 10 K pro 100 W/m² Einstrahlung erreicht werden.

Der Trocknungs-ofen wird mit kontinuierlichem Materialdurchfluss betrieben, die Auslegung für OFFSORE erfolgte für den Bereich 2...20 kg/h und etwa 2 h Desorptionszeit. Die höchsten Temperaturen treten im unteren Teil des Ofens auf (Auslegung auf 250°C). Das Material wird nach dem Prinzip der sog. Dächertrockner (für Getreide) direkt von der Luft durchströmt, Zonenheizung sorgt für einen ansteigenden Temperaturverlauf.

Der Materialtransport zum Container wurde mittels eines sog. Taschenförderer realisiert, der das Material schonend bewegt, möglichst ohne Abrieb zu erzeugen. Ein weiterer Grund für die Verwendung ist die Möglichkeit der leichteren Wartung des Förderers im Fall einer Blockade. Diese Gefahr besteht bei Verwendung

von salzhaltigen Materialien, da diese, wenn sie durch einen Funktionsfehler zu stark befeuchtet werden, zur Verklumpung neigen.

Neben dem Test von zeolithartigen Materialien sollen auch salzprägnierte granulare Körner als Speicher-material getestet werden, da diese Materialklasse aufgrund ihres Vorkommens und Herstellung geringere Kosten und Primärenergiebedarf aufweist. Da dieses Forschungsthema bisher in Österreich nur sehr wenig vertreten ist wurden teilweise eigene Binder- und Granuliersversuche unternommen. Für einen Test unter verfahrenstechnisch relevanten Bedingungen sind allerdings Materialmengen im Bereich 150-300 kg notwendig. Abbildung 7 zeigt Materialproben unterschiedlicher Komposition (Binder-Typ und -Anteil, sowie Salzmischungen) die mit einem Granulierteller hergestellt wurden. Die Materialentwicklung ist nicht Gegenstand des Projektes aber auf diese Anwendung abgestimmt.

Um das System zur Marktreife zu entwickeln ist es notwendig sowohl Kosten (Speicher-material und Prozesstechnik) wie auch Betriebssicherheit (Material-abrieb, Wartungsintervalle) und die ökologische Bilanz (Primärenergieanteil zu eingesparter Energie) in einen konkurrenzfähigen Bereich zu bringen. Ein thermischer Langzeitspeicher steht im Wettbewerb mit Wärmepumpen und muss, um marktfähig zu sein, eine vergleichbare Kostenbilanz (Anschaffung plus laufende Kosten über den Lebenszyklus) aufweisen. Obwohl die Amortisationszeit aufgrund der geringen Zyklenzahl (1-1,5 Zyklen pro Jahr) sehr lange Zeiträume umfassen wird erscheint es aus jetziger Sicht nicht unrealistisch dieses Entwicklungsziel mittelfristig zu erreichen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Wärmespeicher in Haushalten aber auch im industriellen Einsatz sind ein essentieller Bestandteil für zukünftige Energieszenarien.
- Mittels thermochemischer Wärmespeicher können Solarerträge langfristig gespeichert werden. Für die Marktreife ist noch weiter Technologie- und Materialentwicklung nötig.
- Offene Sorptionsspeicher sind im Prinzip für Gebäudeanwendungen sinnvoll und geeignet, die Demonstration für Materialtransport und ausreichende Feuchte im Winter steht allerdings noch aus.





Begleitforschung Solarthermie - Solare Großanlagen

Projektnummer	B179115
Koordinator	AEE Intec - Institut für Nachhaltige Technologien
Projektleitung	Christian Fink: c.fink@aee.at
Partner	AIT Austrian Institute of Technology, FH Oberösterreich
Förderprogramm	Solarthermie - Solare Großanlagen
Dauer	2010 - laufend



Solare Prozesswärme für die AVL List GmbH

Projektnummer	B368386
Koordinator	Solar.nahwaerme.at
Projektleitung	Robert Söll: office@solarnahwaerme.at
Partner	AVL List, Steiermark
Förderprogramm	Solarthermische Großanlagen
Dauer	2014 - laufend
Budget	450.000 €



SolPol-4/5: Solarthermal Systems based on Polymeric Materials: Novel Pumped/Non-Pumped Collector-Systems

Projektnummer	840732
Koordinator	Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Polymerwerkstoffe und Prüfung
Projektleitung	R.W. Lang, reinhold.lang@jku.at , G.M. Wallner, gernot.wallner@jku.at
Partner	AGRU GmbH, ALANOD GmbH, APC Advanced Polymer Compounds, AEE Intec, Borealis AG, Calus GmbH, Gabriel-Chemie GmbH, GREENoneTEC GmbH, Greiner Technology & Innovation GmbH, Kunstuniversität Linz, Univ. Innsbruck, Lenzing Plastics GmbH, Sunlumo Technology GmbH
Förderprogramm	e!Mission, 1. Ausschreibung
Dauer	05.2014 - 04.2018
Budget	6.600.000 €



TES4SET: Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Technology

Projektnummer	845020
Koordinator	AEE INTEC - Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE Institut für Nachhaltige Technologien
Projektleitung	Wim van Helden: w.vanhelden@aec.at
Partner	TU Graz, FH OÖ, AIT, TU Wien, Südzucker AG, AMMAG GmbH, GREENoneTEC GmbH, S.O.L.I.D. GmbH, Liebherr Transportations Systems GmbH, STM Schweißtechnik Meitz, i2m GmbH, TB Dr. Walter Somitsch, Odörfer Haustechnik GmbH, qpunkt GmbH, RHI AG, VIRTUAL VEHICLE Research Center
Förderprogramm	Energieforschung (e!MISSION)
Dauer	01.10.2014 - 30.09.2018
Budget	4.269.268 €



MH4HeatStorage: Metallhydrid-Technologien für verlustfreie übersaisonale Wärmespeicherung

Projektnummer	848793
Koordinator	FOTEC Forschungs- und Technologietransfer GmbH
Projektleitung	Roland. H. Pawelke: pawelke@fotec.at
Partner	Forschung Burgenland GmbH
Förderprogramm	Energieforschung (e!MISSION)
Dauer	01.10.2015 - 31.03.2017
Budget	248.416 €



Offene Sorptionstechnik für Langzeit-Wärmespeicher

Projektnummer	853609
Koordinator	FH OÖ F&E GmbH/Forschungsgruppe ASIC
Projektleitung	Bernhard Zettl: bernhard.zettl@fh-wels.at
Partner	AIT – Austrian Institute of Technology GmbH, ECOTHERM Austria GmbH, HAITHERM Industrieofenbau und Wärmebehandlung GmbH, IFK-Schüttgut-Technik GmbH, ITW-Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Univ. Stuttgart, SOLAR.LAUS
Förderprogramm	Energieforschung, 2. Ausschreibung
Dauer	04.2016 - 09.2018
Budget	799.013 €

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90, Fax: (+43 1) 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiter-
nutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angineering.net

Druck

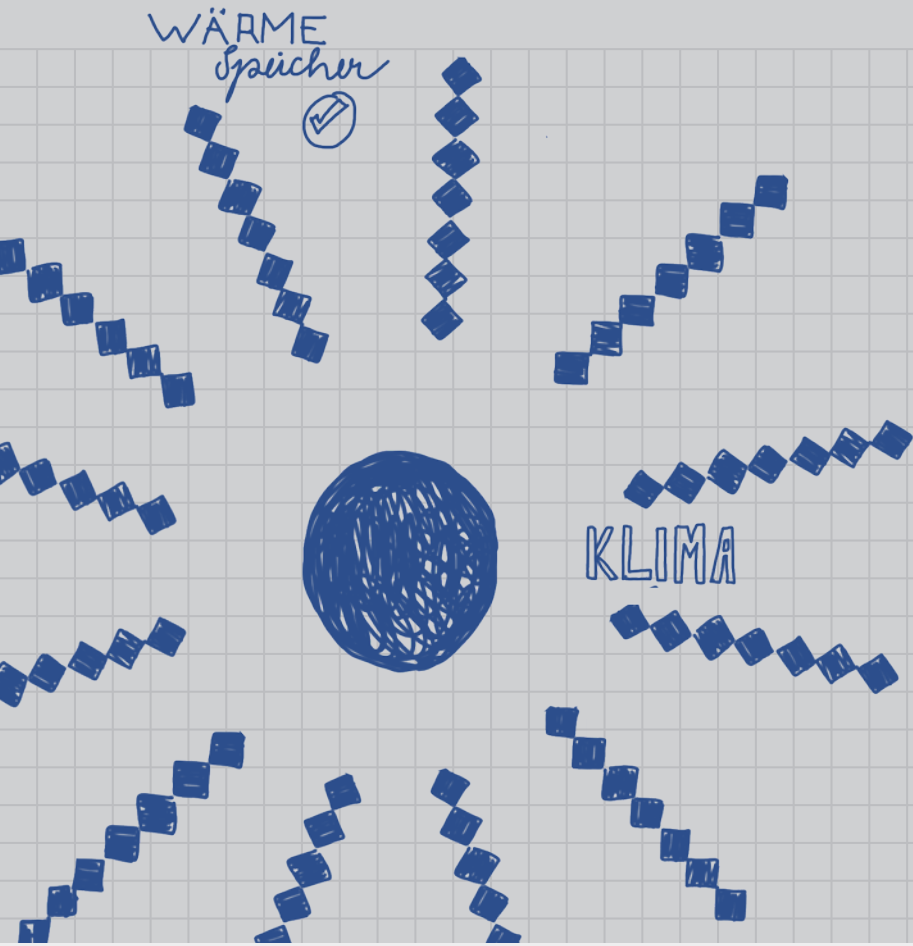
Druckerei Janetschek GmbH. Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Verlags- und Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





In Kooperation mit:



FFG



Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie



Tempera
Speicher VORT