



THERMISCHE ENERGIESPEICHER

THERMISCHE ENERGIESPEICHER ZUR EFFIZIENTEN NUTZUNG ERNEUERBARER ENERGIEN/ ÜBERSCHUSSWÄRME UND IHRE UMSETZUNG IN THÜRINGEN

Studie

Die Studie wurde durch in.RET Institut für Regenerative Energietechnik im Dezember 2009 umgesetzt [1].

Basics

Thermische Energiespeicher

Aufgabe eines thermischen Energiespeichers ist es, ein vorhandenes Energieangebot mit einem Energiebedarf zu koppeln, wenn beide zeitlich nicht deckungsgleich sind. Ein thermischer Speicher ermöglicht es,

- regenerative Energiequellen nutzbar zu machen, die starken tageszeitlichen und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen,
- Lastspitzen beim Energiebedarf zu vermeiden bzw. auszugleichen und damit Energie rationeller einzusetzen,
- die Versorgungssicherheit zu erhöhen bzw. zu gewährleisten,
- durch eine Erhöhung der Laufzeiten die Effizienz von Wärmeerzeugern durch Reduzierung der Abkühlverluste zu steigern und die Schadstoffemissionen beim häufigen Takten zu senken.

Grundlagen thermischer Speicherung

Thermische Speicher sind in folgende Kriterien klassifizierbar:

- nach dem Nutztemperaturniveau in Nieder-, Mittel- und Hochtemperaturspeicher,
- nach der Dauer der Energiespeicherung in Kurz- oder Langzeit-Wärmespeicher sowie
- nach dem thermodynamischen Prinzip der Speicherung in **sensible, Latentwärme** und **thermochemische Speicher**.

Aus den derzeitigen Anwendungsbereichen resultieren aktuell zwei Entwicklungsrichtungen. Zum einen werden für Heiz- und Kältekreise sowie zur Trinkwassererwärmung druckbehaftete Pufferspeicher mit Volumen bis rund 5 m³ benötigt. Die saisonale Speicherung von Solarenergie erfordert großvolumige Speicher von 10 m³ (Einfamilienhaus) bis über 10.000 m³ in Nahwärmenetzen. Die zur Zeit größte geplante Pilotanlage für die solare Nahwärmeversorgung ist ein Speicher auf Basis von Erdsonden. Diese wird in Neckarsulm gebaut und hat ein Speichervolumen von 63.300 m³ bei einer Kollektorfläche von 5.470 m² [2].

Die Zielrichtung der Weiterentwicklung von Kurzzeitspeichern liegt deutlich bei der Reduktion der Herstellkosten, aber auch bei der Verbesserung der Dämmeigenschaften. Vor allem bei drucklosen Pufferspeichern im Volumenbereich von 2 bis 20 m³ stehen neue Konzepte kurz vor der Marktreife, so die Produkte der Fa. FSAVE, Kassel [3]. Im Bereich der Isolierung wird mit Superisolationsmaterialien experimentiert, die eine effektive Wärmeleitfähigkeit unterhalb der von ruhender Luft erreichen.

[1] *Thermische Speichertechnologien zur effizienten Nutzung Erneuerbarer Energien/Überschusswärme und ihre Umsetzung in Thüringen* / Thomas Schabbach; Viktor Wesselak; Pascal Steiner. - Nordhausen : Fachhochschule Nordhausen, Inst. für Regenerative Energietechnik, 2010. - Auftraggeber: Landesentwicklungsgesellschaft Thüringen mbH

[2] Schmidt, T., Mangold, D.: *Status of Solar Thermal Seasonal Storage in Germany, Effstock 2009, Stockholm, 14-17.6, 2009*

[3] FSAVE Solartechnik GmbH, Weserstr. 9, 34125 Kassel. Internetauftritt unter www.fsava.de, Abruf vom 01.12.2009

Die beobachtbaren Weiterentwicklungen bei Langzeitwärmespeichern konzentrieren sich zunehmend auf die bautechnische Ausführung der Anlagen. Die Speicher sind zukünftig nicht nur kostengünstiger, sondern auch betriebssicherer und effizienter zu gestalten. Je größer das Speichervolumen wird, desto unbedeutender sind die Wärmeverluste über die Speicherhülle, die Optimierung der Wärmedämmung ist damit von geringerer Priorität. Da der Bedarf eher an großen Wärmespeichern mit Volumina im Bereich von 500 bis 10000 m³ besteht, stellt vor allem die kostenmäßige und statische Optimierung des Wandaufbaus eine besondere Herausforderung dar [4]. Grundsätzlich gilt es, die Investitionskosten und damit die „Wärmegestehungskosten“ in EUR/kWh durch Forschung und Entwicklung zu verringern [2].

Sensible Speicher

Bei der sensiblen Speicherung wird die als Wärmestrom W zugeführte Energie über die Aufrechterhaltung eines Temperaturunterschiedes ΔT zwischen Speichermedium und Umgebung „fühlbar“ gespeichert. Die als thermische innere Energie gespeicherte Energiemenge ist abhängig von der spezifischen Wärmekapazität c und der Masse m des Speicherstoffes sowie der Temperaturdifferenz, in der die Speicherung realisierbar ist. Aufgrund des Temperaturunterschiedes ΔT zwischen Speichermedium und Umgebung sind Außendämmungen am Speicher zwingend notwendig. Da die Wärmeverluste proportional zur Oberfläche des Speichermediums sind, die gespeicherte Energiemenge jedoch proportional zum Volumen ist, steigt die Effizienz bei größeren Speichervolumina.

Das Speichermedium ist so zu wählen, dass innerhalb der angestrebten Be- und Entladetemperaturen kein Aggregatzustandswechsel stattfindet. Wärmespeicher können aufgrund ihrer Größe in Kurzzeit- und Langzeitspeicher unterschieden werden.

Bewertung des Forschungsstandes zu sensiblen Speichern

Die sensible Wärmespeicherung ist bis zum heutigen Tag das am tiefgründigsten erforschte thermische Speicherverfahren, das vielfältig eingesetzt wird. Dabei reichen die Möglichkeiten vom dezentralen Einsatz in Wohnungen bis zu zentralen Speichersystemen für Einzelgebäude und ganze Wohngebiete.

Latentwärmespeicher

Im Unterschied zur sensiblen thermischen Energie ist bei Latentwärmespeichern oder PCM (phase change materials) die gespeicherte Energie „verborgen“ und als Temperaturerhöhung nicht fühlbar, da die Energieeinlagerung nicht mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist. Bei den PCM wird die gespeicherte Energie über eine Änderung des Aggregatzustandes des Materials freigesetzt. Im Falle eines Phasenübergangs fest-flüssig entspricht die latente Wärme der Schmelz- oder Kristallisationswärme des Speichermediums.

Der Phasenübergang flüssig-gasförmig zeigt zwar bei den meisten Stoffen eine wesentlich höhere spezifische Verdampfungs-/Kondensationsenthalpie, ist aber aufgrund der starken Veränderung der Dichte (bei Wasser-/Wasserdampf etwa mit dem Faktor 1000) technisch nur schwer beherrschbar.

Bewertung des Forschungsstandes zu Latentwärmespeichern

In den letzten Jahren gab es zahlreiche Untersuchungen zur Entwicklung und Verbesserung von Latentwärmespeichermaterialien auf Basis von Paraffinen und Salzhydraten. Vor allem die Erforschung mikroverkapselter PCM war ein entscheidender Schritt für die Entwicklung kommerzieller Produkte. Salzhydrate besitzen gegenüber Paraffinen eine höhere Dichte und daher eine höhere volumenbezogene Energiedichte, lassen sich jedoch bis zum heutigen Zeitpunkt nicht in Mikrokapseln einbinden. Die Verarbeitung erfolgt z. T. in Folienbeuteln oder Makrokapseln aus Kunststoff. Salzhydrate besitzen zudem eine höhere Schmelzenthalpie als Paraffine und sind nicht entflammbar. Aus diesem Grund sind Forschungen auf diesem Gebiet von hohem Interesse.

[4] Ochs, F., Heidemann, W., Müller-Steinhagen, H., Weiterentwicklung der Erdbecken-Wärmespeichertechnologie, Statusseminar „Thermische Energiespeicherung“, Freiburg, 2.-3.11.2006, Tagungsband, 37-47, 2006

Bewertung des Forschungsstandes zu Latentwärmespeichern (Fortsetzung)

Für beide genannten Klassen von PCM gilt, dass die Materialkosten weiter gesenkt und die effektiven Energiedichten gleichzeitig erhöht werden müssen. Weiterhin sind die Probleme mit Unterkühlung und Phasenseparation zu lösen, um diese für die Praxis einsetzbar zu machen. Beide Stoffklassen besitzen eine geringe Wärmeleitfähigkeit, die für eine effiziente Anwendung nicht förderlich ist, zudem ist in Feststoffen grundsätzlich der konvektive Wärmetransportweg ausgeschlossen. Daher müssen die Wärmeübertrager zur Be- und Entladung von PCM weit größer als bei sensiblen flüssigen Speichermedien wie Wasser dimensioniert werden. Einen Ausweg bietet die Entwicklung von Verbundmaterialien zur Kombination der Wärmetransport- und der Wärmespeichereigenschaften.

Die Entwicklung von PCM für den Hochtemperaturbereich befindet sich noch in der Versuchs- und Testphase. Durch den geplanten Ausbau solarthermischer Kraftwerke (Stichwort DESERTEC-Initiative) wird diesen Produkten zukünftig eine große Chance gegeben werden. Weiterhin ist es mit ihnen möglich, dezentrale Abwärme aus der Industrie oder von Kondensationskraftwerken mobil zu nutzen.

Die Entwicklung von PCS (phase change slurries) ermöglicht durch die gesteigerte Wärmekapazität des Fluids eine Herabsetzung der Speichervolumina. Ionische Flüssigkeiten als Wärmeträgerfluide erscheinen aufgrund des hohen Preises zum jetzigen Zeitpunkt nicht als großtechnisch einsetzbar. Pufferspeicher für eine Effizienzsteigerung von Heizungs- und Klimatisierungssystemen in Gebäuden sind sowohl mit Paraffinen als auch Salzhydraten bereits kommerziell erhältlich. Aufgrund der hohen Kosten, u. a. auch durch die größer dimensionierten Wärmeübertrager, aufgrund der fehlenden Langzeiterfahrungen und aufgrund des großen Bruttovolumens stellen herkömmliche sensible Warmwasserspeicher nach wie vor die bessere Wahl dar. Die Nutzung mikroverkapselter Paraffine in der Baustoffindustrie ist bereits heute Stand der Technik. Sie werden in Materialien zur passiven Temperaturkompensation von Räumen eingesetzt und können wie herkömmliche Baustoffe verarbeitet werden. Da durch diesen Zusatz die Brandklasse des Produktes gesteigert wird und die Materialkosten sich erhöhen, muss die Zukunft zeigen, welchen Erfolg diese Produkte haben werden. Die aktive Wärmespeicherung mittels PCM-Bauteilen und -Produkte, die durch Kaltwasser und -luft zur Kristallisation gebracht werden, befinden sich gerade auf dem Weg von einzelnen Pilotprojekten zur Marktreife. Ob dieser Weg wirtschaftlich sein wird, ist zum heutigen Zeitpunkt nicht feststellbar.

Thermochemische Speicher

Die Wärmespeicherart mit der theoretisch höchsten Wärmespeicherdichte bilden die thermochemischen Wärmespeicher, die die Wärme reaktiv als chemische innere Energie einbinden. Grundsätzlich sind alle reversiblen chemischen Reaktionen geeignet, bei denen eine hohe Reaktionsenthalpie freigesetzt bzw. gebunden wird. Da der Reaktionsablauf im Bereich des erforderlichen Nutztemperaturniveaus (im Niedertemperaturbereich 10 °C bis 100 °C) erfolgen muss, schränkt sich die Zahl der möglichen Reaktion/Stoffpaare aber erheblich ein. Zudem sollen die chemischen Reaktionspartner ungiftig sein und eine gute Wärmeübertragung ermöglichen. Als besonders geeignet gelten Dissoziationsreaktionen, bei denen die Differenz der Molzahlen der Edukte und Produkte besonders groß ist und damit die Entropie stark zunimmt. Als ebenfalls sehr geeignet stellen sich heterogene Verdampfungsreaktionen dar, da auch hier durch den Phasenwechsel eines Reaktionspartners zu Dampf/Gas eine hohe Entropieänderung erreicht wird.

Bewertung des Forschungsstandes zu Thermochemischen Speichern

Die thermochemische Wärmespeicherung bietet die theoretisch höchste Wärmespeicherdichte der unterschiedlichen Speicherformen und zudem die Möglichkeit einer nahezu verlustfreien Energiespeicherung bei Getrenntlagerung der energiereichen Reaktionspartner. Jedoch befinden sich Materialentwicklung und Systemintegration noch im Anfangs- bzw. Laborstadium. Es konnten v. a. mit Zeolith und Silikagel einige wenige Pilotprojekte und Versuchsspeicher realisiert werden, wobei die theoretisch möglichen Speicherdichten nicht erreicht wurden.

Der derzeitige Forschungsstand konzentriert sich auf die Entwicklung leistungsfähiger, preiswerter und zyklenstabiler Materialien. Aufgrund der schlechten Wärmeleitung der bisher untersuchten Materialien müssen neue Konzepte für Wärmetauscher bzw. Speicher entwickelt werden, um die entstandenen Sorptionswärmen möglichst schnell abzuführen. Da bei dieser Speicherform die verfahrenstechnische Einbindung in die Gebäudetechnik ebenfalls sehr aufwändig ist, besteht hier ein sehr hoher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Eine Reihe Thüringer Unternehmen und Forschungseinrichtungen – im Folgenden zusammenfassend als Akteure bezeichnet – beschäftigen sich in unterschiedlicher Tiefe und Anwendungsnähe mit thermischen Energiespeichern. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Thüringer Akteure, die sich direkt mit thermischen Energiespeichern oder indirekt mit der Erzeugung oder Zulieferung von Halbzeugen befassen bzw. das Potenzial dazu besitzen. Die einzelnen Akteure lassen sich zunächst in die drei Speicherbereiche sensible Speicher, Latentwärmespeicher und thermochemische Speicher unterteilen. Während bei den gewerblichen Akteuren meist eine Spezialisierung auf einen Speichertyp erkennbar ist, decken die forschungsseitigen Akteure meist mehrere Speichertypen ab. Übersichtsartig erfolgt daher eine getrennte Betrachtung.

Der Bereich der salzbasierten Speichermaterialien wurde gemäß der Aufgabenstellung dieser Studie separat behandelt. Auf Grund der geologischen Gegebenheiten in Thüringen ist weniger die Salzgewinnung als vielmehr die Salzverfügbarkeit und -weiterverarbeitung von Relevanz.

Schließlich besitzt Thüringen im Bereich des Apparate- und Behälterbaus eine Reihe von Akteuren, die benötigte Kernkompetenzen im Speicherbau besitzen. Abschließend wurde auf der Ebene der Netzwerke untersucht, die sich mit dem Thema der thermischen Speichertechnologien beschäftigen (könnten). Auf die Aufnahme der zahlreichen Planungs- und Ingenieurbüros, die im Bereich der thermischen Energiespeicher – insbesondere im Heizungsbau für Ein- und Mehrfamilienhäuser – tätig sind, wurde verzichtet, da sich daraus allein kein signifikantes Alleinstellungsmerkmal für Thüringen ableiten lässt.

Nachfolgend eine Übersicht der Thüringer Akteure in den Bereichen:

- Sensible Speicher (SENS),
- Latentwärmespeicher außer Salz (PCM),
- thermochemische Speicher außer Salz (TCH) und
- Salzgewinnung, -verarbeitung und -anwendung (SALZ)

| Thermische Energiespeicher | SENS | PCM | TCH | SALZ |
|--|------|-----|-----|------|
| Forschungseinrichtungen | | | | |
| Hermisdorfer Institut für Technische Keramik e. V. | | | ■ | |
| Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoffforschung e. V. | | ■ | | |
| Unternehmen | | | | |
| Apparate- & Behältertechnik Heldrungen GmbH | ■ | | | |
| Apparatebau Nordhausen GmbH | ■ | | | |
| ASBIT Chemie Salz | | | | ■ |
| CWK Chemiewerk Bad Köstritz | | | ■ | |
| DEUSA-International GmbH | | | | ■ |
| K-UTEC AG | | ■ | ■ | ■ |
| OPTIMA-Haustechnik GmbH | ■ | | | |
| PowerTank GmbH | | ■ | | |
| Reha-TEC GmbH | ■ | | | |
| Saline Stadtilm GmbH | | | | ■ |
| Thüsolar GmbH | ■ | | | |
| Va-Q-Tec | ■ | ■ | | |
| Verbundwerkstoff- und Kunststoffanwendungstechnik GmbH | ■ | | | |
| Hochschulen | | | | |
| Bauhaus Universität Weimar | | | ■ | ■ |
| Fachhochschule Nordhausen | ■ | | | |
| Technische Universität Ilmenau | ■ | ■ | ■ | |

Im Bereich thermische Energiespeicher existieren in Thüringen zurzeit keine Netzwerke, diese könnten aber mittelfristig nach Ansicht der Firma K-UTEC in den Bereichen *Herstellung und Vermarktung von Wärmespeichermaterialien aus Salzhydraten* aufgebaut werden. Laut K-UTEC könnten die Netzwerks- bzw. Verbundteilnehmer wie folgt dargestellt sein.

- Für den Bereich Herstellung und Vermarktung von Wärmespeichermaterialien aus Salzhydraten wären dies z. B. K-UTEC, DEUSA und Saline Stadttilm.
- Im Sektor Herstellung von Wärmespeichern und Bauteilen für industrielle Speicherherstellung kommen z. B. Thermotech GmbH Artern (Wärmetauscher), Verbundwerkstoff- und Kunststoffanwendungstechnik Schönbrunn (Gfk Behälterbau) und der Apparatebau Nordhausen GmbH (Montage) im Zusammenwirken mit anderen Thüringer Akteuren in Betracht.
- Bezüglich der Entwicklung und Fertigung von mobilen Wärmespeichern für automotiv Anwendungen sind laut der Fa. K-UTEC die Akteure TU Ilmenau, K-UTEC (Entwicklung und Prototypen), Thermotech Artern u. a. Partner (Kleinserienfertigung) sowie die Thüringer Automobilzulieferer (Serienfertigung) in Betracht zu ziehen.

Neben oben genannten Netzwerk- bzw. Kooperationsvorschlägen existiert bereits die Projektgruppe Netzwerk Aktiv-Energiearchitektur. Inhalt und Anliegen der Netzwerkgruppe sind spezifische Fragestellungen zu den Themen Saisonalwärmespeicherung und die Energieversorgung zwischen Energieverbraucher und Energieerzeuger. Hauptthemen sind:

- Gewinnung von Strom und Wärme,
- Nutzung saisonaler Wärmespeicher und
- das Managen und Verkaufen von Energie.

Netzwerk Aktiv-Energiearchitektur

Das Netzwerk Aktiv-Energiearchitektur [5] will die verschiedenen Lösungsansätze zur Optimierung der Wärmespeicherung und -nutzung zusammenführen, Menschen und Technologien zusammenbringen für ein zukunftsfähiges Gesamtkonzept zur signifikanten Senkung des Energieverbrauches in Wohn- und Industriebauten sorgen.

Die verschiedenen Lösungsansätze, welche im Netzwerk zusammengebracht werden sollen sind:

- technische Lösungen zur solaren Wärme- und Stromerzeugung,
- die energetische Gebäudeprojektierung,
- sowie die Nutzung lokaler und funktionaler Gegebenheiten zur Optimierung der Energiespeicherung und -nutzung.

Das Netzwerk ist eine Plattform zum Informationsaustausch von Wissenschaftlern, Technikern, Architekten, künftigen Anwendern sowie bestehender Netzwerke für Konzepte zu erneuerbaren Energien. Das Ziel der Zusammenarbeit ist die Entwicklung neuer Konzepte der Energiebewirtschaftung. Die Netzwerkmitglieder sind Planer, Architekten, Wohnungsbaugesellschaften und Bauträger.

Das Netzwerkmanagement sieht weiteren Forschungsbedarf und wünscht sich bei der Kooperation mit Universitäten und Fachhochschulen eine unkomplizierte und zügige Zusammenarbeit.

[5] <http://www.forum-energiearchitektur.de>

Anlagentechnische Entwicklungspotenziale

- **Sensible Speicher** gelten technologisch als vollkommen ausgereift und verfügen über einen sehr breiten Anwendungsbereich. Die bei der Beladung des sensiblen Speichers erfolgende Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebung führt zu nicht vermeidbaren Energieverlusten, die aber durch weitere Anstrengungen zur Optimierung der Dämmung reduziert werden können. Als größte technische Herausforderung wird die **Senkung der Herstellkosten** angesehen, sowohl bei Kurzzeit- wie auch bei Saisonal speichern.
- **Latentwärmespeicher** (PCM-Speicher) haben gegenüber den sensiblen Speichern den theoretischen Vorteil der höheren Speicherdichte. Zudem kann die Energie auf konstantem Temperaturniveau im Bereich der gewünschten Nutztemperatur zugeführt bzw. entnommen werden. Die Wertung des Forschungsstands zeigt jedoch, dass noch große Anstrengungen erforderlich sind, diese Speichertechnologie praxistauglich zu machen. Bislang sind sensible Speicher trotz ihrer prinzipiellen Nachteile gegenüber PCM-Speicher i.d.R. noch immer erheblich günstiger und dabei nahezu wartungsfrei. Die Zeitstandsfestigkeit ist das zweite Kernproblem der PCMTechnologie. Das Ziel einer **Lebensdauer von 20 Jahren im Gebäudesektor und von 30 und mehr Jahren im Energiesektor erfordert** einen noch hohen Entwicklungsaufwand.
- **Thermochemische Speicher** bieten die theoretisch höchste Wärmespeicherdichte und zudem die Möglichkeit einer nahezu verlustfreien Energiespeicherung bei Getrenntlagerung der energiereichen Reaktionspartner. Die Materialentwicklung befindet sich jedoch noch im Anfangs- bzw. Laborstadium. Lediglich die Anwendung der auf adsorptiven Reaktionsmechanismen beruhenden Feststoffe Zeolith und Silikagel mit dem Reaktionspartner Wasserdampf wird von einigen Vertretern der Heizungstechnikindustrie mit hohem Ressourceneinsatz vorangetrieben. Gleich mehrere Produkte mit Zeolith befinden sich im Prototypstadium oder in Feldtests. Allerdings wird nicht der thermochemische Speichereffekt der Adsorptionspartner genutzt, sondern deren Eignung zur Wärmetransformation. Durch Adsorption des Wasserdampfes kann bei niedrigen Temperaturen und geringen Drücken Umgebungswärme in das Heizsystem eingespeist werden, zur Desorption werden die hohen Verbrennungstemperaturen eines Gasbrenners genutzt. Damit arbeiten diese Zeolith-Heizgeräte als gasunterstützte Wärmepumpen. Die **Nutzung thermochemischer Energiespeicher in Großserie liegt noch in weiter Ferne.**

Die nach Ansicht der Autoren wahrscheinlichsten Entwicklungslinien der Anlagentechnologien in den einzelnen Anwendungsbereichen sollen nachfolgend aufzeigen, welche Entwicklungsanstrengungen und welche Produkte voraussichtlich in Zukunft benötigt werden. Damit sollen den Thüringer Akteuren Informationen an die Hand gegeben werden, welche Investitionen und technische Entwicklungen zukunftsfähig sein könnten.

Entwicklungsrichtungen

a) Anlagentechnik

Eine Reduktion der CO₂-Emissionen im Wärmebereich kann durch die folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Verringerung des flächenspezifischen Heizwärmebedarfs,
- Erhöhung der Energieeffizienz und
- Ausbau der Regenerativen Energien.

Die Verringerung des flächenspezifischen Heizwärmebedarfs kann einerseits durch die energetische Modernisierung des Wohn- und Gewerbegebäudebestands erreicht werden, andererseits werden durch die kontinuierliche Anpassung der Energieeinsparverordnung (EnEV) Mindeststandards für Neubauten festgeschrieben, die sich am aktuellen Stand der Technik orientieren. Bei allen Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum Ausbau der Regenerativen Energien sind **thermische Speicher von großer Bedeutung.**

b) Industrie und Gewerbe

Die **Nutzung industrieller Abwärme** stellt prinzipiell ein großes Anwendungs- und Entwicklungspotenzial für thermische Speicher dar. Abwärme fällt bei industriellen Prozessen meist auf einem hohem Temperaturniveau und in großen Mengen an, z. B. in der metallverarbeitenden Industrie oder bei Trocknungs- und Klimatisierungsanlagen. Aufgrund des hohen Kostendrucks durch seit Jahren steigende Energiepreise ist davon auszugehen, dass Industrie und Gewerbe selbst nach geeigneten Wärmesenken innerhalb der Prozessführung suchen oder zumindest Raumheizung und Trinkwassererwärmung in den Betriebsgebäuden durch die Abwärmenutzung unterstützen. Im Freistaat Thüringen wären geeignete Speichermaterialien vorhanden und auch das erforderliche Know-how, um solche mobilen Speichersysteme zu entwickeln.

Als **industrielle Wärmequellen für Überschusswärme** kämen vorrangig in Betracht:

- Abwärme des Stahlwerkes Maxhütte Unterwellenborn,
- Abwärme des Zementwerkes Deuna,
- Abwärme von Müllverbrennungsanlagen, z. B. Suhl, und
- Abwärme der energetischen Grubengasnutzung der ehemaligen Kaligrube Volkenroda in Menteroda.

c) Automotive

Der Verkehrssektor trägt zu einem wesentlichen Anteil zum Endenergieverbrauch bei, daher ergibt sich hier grundsätzlich ein erhebliches Einsparpotenzial. Thermische Speicher können dabei aber nur in einem sehr bescheidenen Maß eingesetzt werden, um einen Teil der Abwärme der Verbrennungsmotoren noch sinnvoll zu nutzen. Zur Weiterverwendung der Abwärme von Verbrennungsmotoren wurde u.a. von der Fa. KUTEC in Sondershausen das Forschungsprojekt "Latentwärmespeicher für Nutzfahrzeuge" durchgeführt. Die Autoren kommen zum Ergebnis, dass die Motorabwärme in Latentwärmespeichern zwischengespeichert und zur Fahrerkabinebeheizung, Batteriewärmung oder zur Verbesserung des Kaltstartverhaltens von Nutzfahrzeugen verwendet werden könnte. Während die kurzzeitige Erwärmung des Motors (Kaltstart) hohe thermische Leistungen erfordert, arbeitet die Fahrerkabinebeheizung auf einem geringen Leistungsniveau, wodurch sich die Entladezeit des Speichers verlängert. Die Studie belegt, dass **Salzhydrate als PCM-Materialien prinzipiell** für diesen Einsatzzweck **geeignet** sind.

d) Einsatzmöglichkeiten für Salze

Für die Verwendung eines Stoffes als **Latentwärmespeichermaterial** (PCM) gelten verschiedene Auswahlkriterien, die nachfolgend beschrieben sind. Der Schmelzpunkt eines PCM muss im geforderten Arbeitsbereich liegen; er sollte eine möglichst hohe spezifische Schmelzenthalpie haben, damit je Masseinheit des Speicherstoffes eine möglichst große Wärmemenge gespeichert wird; die Dichte sollte möglichst hoch sein, dadurch steigt das auf das Volumen bezogene Speichervermögen gegenüber Stoffen mit niedrigerer Dichte; die spezifische Wärmekapazität sollte ebenfalls hoch sein, da auch bei PCM ein Teil der Wärme sensibel durch Temperaturerhöhung gespeichert wird. Die Wärmeleitfähigkeit von PCM sollte hoch sein, damit die Be- und Entladung bei geringen Temperaturdifferenzen mit hoher Leistung möglich ist; der Stoff sollte ein kongruentes Schmelzverhalten haben und ohne feste Zwischenphasen direkt aus dem festen Zustand in die homogene Schmelze übergehen, da es ansonsten im Verlaufe eines oder mehrerer Zyklen zu Entmischungen und einer Abnahme der Wärmespeicherkapazität kommen würde. Die Volumenänderung beim Phasenwechsel sollte gering sein, damit es nicht zum Zersprengen des Speicherraumes kommen kann, das PCM-Material sollte nicht zu hartnäckigen Unterkühlungen neigen, es sollte chemisch bei dem geforderten Temperaturniveau stabil sein und es sollte keine nahe beieinander liegenden Schmelz- und Siedepunkte haben, damit es nicht zur Verdampfung bei einer Überhitzung über den Schmelzpunkt hinaus kommen kann.

d) Einsatzmöglichkeiten für Salze (Fortsetzung)

Das PCM-Material sollte zudem nicht korrosiv auf die verwendeten Konstruktionsmaterialien wirken, es muss gesundheitlich unbedenklich und nicht toxisch sein, ebenso nicht entflammbar oder explosiv. Hinzu kommen ökonomische Kriterien, wie Verfügbarkeit in großen Mengen, möglichst niedrigerer Preis, Umweltverträglichkeit, Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit nach Erreichen der Nutzungsdauer des Wärmespeichers.

Aus dieser Fülle von Anforderungen geht hervor, dass **für verschiedene Temperaturbereiche verschiedene Speicherstoffe bzw. Speicherstoffmischungen notwendig** sind und dass nur relativ wenige Stoffe als Latentspeichermaterial in Betracht kommen. In der Regel sind Kompromisse hinsichtlich der chemischen, kalorischen, ökonomischen und ökologischen Eigenschaften erforderlich. Es besteht noch immer Entwicklungsbedarf.

Bewertung und Empfehlung

Die Thüringer Solarwirtschaft und die Landesregierung haben im Jahr 2007 eine Solarinitiative gestartet, um Thüringen zu einem zentralen europäischen Standort für die Photovoltaikbranche zu machen. Dabei wurden durch eine geeignete Standortpolitik und flankierende Maßnahmen wie z. B. der Fachkräftesicherung und der Clusterbildung erhebliche Erfolge erzielt. Heute deckt Thüringen die gesamte Wertschöpfungskette im Bereich der Photovoltaik ab. Im Rahmen der 2009 erfolgten Fortschreibung der Thüringer Solarinitiative sollen insbesondere

- die Zulieferstrukturen gestärkt,
- die Anwendung der Solartechnik in Thüringen forciert und
- die Solarforschung ausgebaut werden.

Die Thüringer Solarinitiative sollte den **stark wachsenden Massenmarkt der solaren Wärmeerzeugung** im Sinne einer technologischen Diversifizierung mit berücksichtigen. Dabei ist die Frage der **Wärmespeicherung als Schlüsseltechnologie** anzusehen.

Zusammenfassung und Bewertung der Studienergebnisse

Im Bereich der Wärmespeicherung für Raumheizung und Trinkwassererwärmung entsteht derzeit in Europa ein großer, dynamisch wachsender Markt. Die Deckung der zu erwartenden Nachfrage wird nur mit einer deutlichen Ausweitung der Produktionskapazitäten im Bereich von Solarkollektoren und thermischer Speicher sicherzustellen sein. Die in diesem Bereich derzeit am weitesten entwickelte Technologie stellen die sensiblen Speicher dar. Der Markt wird hier von industriellen Standardprodukten dominiert und steht unter einem erheblichen Kostendruck. Neben der zweifelsohne wünschenswerten Ansiedlung solcher industrieller Produktionsbetriebe in Thüringen sollten vor allem die vorhandenen Ansätze im Zulieferbereich gestärkt werden. Insbesondere im Bereich der Werkstoffentwicklung und der Wärmeisolation wird von den Autoren hier das größte technologische Entwicklungspotenzial gesehen.

Alternativen zu den sensiblen Speichern stellen Latentspeicher dar, deren Markteinführung erst am Anfang steht. Hier bestehen im Bereich der Zeitstandsfestigkeit und der Wirtschaftlichkeit noch enorme technologische Herausforderungen. Thermochemische Speicher sind am weitesten von einer Markteinführung entfernt. Hier ist noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu konstatieren, für den eine Reihe Thüringer Forschungseinrichtungen hervorragende Passfähigkeit aufweisen.

Im Bereich der Wärmespeicherung für saisonale Speicher und solarthermische Kraftwerke treiben bundesweite Förderprogramme oder internationale Initiativen die technologische Entwicklung voran. Auf Grund des hohen Entwicklungsaufwands jedes einzelnen Projekts bieten sich hier gute Ansatzpunkte für Thüringer Forschungseinrichtungen und KMU. Dies betrifft insbesondere den Salzspeicher, in dem neben den PCM-Speichern auf Salzhydratbasis verstärkt auch sensible Salzspeicher zum Einsatz kommen. Die Nutzung industrieller Abwärme und damit die Steigerung der Energieeffizienz ist ein wichtiger Baustein für eine nachhaltige Energieversorgung. Allerdings sind die damit verbundenen ingenieurtechnischen Fragestellungen einzelfallspezifisch und eignen sich daher nur bedingt für eine gezielte Standortentwicklung Thüringens im Energiebereich.

Diese Aufgabe stellt jedoch ein wichtiges Handlungsfeld dar, das beispielsweise durch die geplante Thüringer Energie- und Greentech-Agentur (ThEGA) abgedeckt werden könnte. Die Nutzung industrieller Abwärme zu Heizzwecken mittels eines mobilen Wärmetransports mit großvolumigen transportablen Speichereinheiten spielt nach Ansicht der Autoren nur eine untergeordnete Rolle. Einerseits sind die zur Verfügung stehenden Wärmequellen und -senken überschaubar, andererseits wäre zunächst über eine Energie- und Klimabilanz die Tragfähigkeit eines solchen Konzepts zu belegen.

Die Autoren halten auf Grund der Aussagen der befragten Akteure **spezielle Förderinstrumente für eine gezielte Standortentwicklung** mit thermischen Energiespeichern als technologischer Plattform für **notwendig**:

Einerseits sind im Bereich der thermochemischen Speicher eine Vielzahl von Fragestellungen noch im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt, so dass sich hier nur schwer ein Partner für die industrielle Verwertung finden lässt. Damit bleiben den Akteuren die meisten Landesprogramme verschlossen.

Andererseits stehen gerade kleine und mittlere Unternehmen vor erheblichen Problemen, nach einer erfolgreichen (und in der Regel auch geförderten) Prototypenentwicklung den Entwicklungsaufwand für ein praxistaugliches Serienprodukt technologisch und finanziell zu stemmen. Hier wäre eine Ausweitung der Landesförderung beispielsweise durch Forschungsschecks auch auf die Serienentwicklung und auf Feldtestuntersuchungen hilfreich. Die technologische Heterogenität und räumliche Divergenz der Thüringer Akteure im Bereich der thermischen Energiespeicher lässt zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine Netzworlbildung aller Akteure als verfrüht erscheinen. Jedoch beinhaltet die Arbeit der universitären und außeruniversitären Thüringer Forschungseinrichtungen eine Reihe von Alleinstellungsmerkmalen.

Die Autoren schlagen daher zunächst eine vom Auftraggeber moderierte Vernetzung der in der Studie genannten Akteure vor, mit dem Ziel, der Thüringer Solarinitiative ergänzend auch eine solarthermische Kontur zu geben.

Impressum

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben. Alle Angaben auf Basis der erwähnten Studie sowie der zitierten Quellen.

Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

Rückfragen oder Anregungen an:

LEG Thüringen mbH
Abteilung Akquisition, Technologie und internationale Kontakte
Bereich Technologiemanagement

Mainzerhofstr. 12
99084 Erfurt

Tel. 0361 5603 450

Fax. 0361 5603 328

E-Mail: Technologiemanagement@leg-thueringen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung. Beleg erbeten.

LEG Thüringen mbH, Erfurt, April 2010