

Andreas Golbs¹, Stefan Weber¹ und Petra Werner²

Innovative Speichertechnologie als Grundlage einer Neugestaltung der Energieversorgung im individuellen Wohnbereich

Der Beitrag beschreibt die Verfahrensweise und den bisher erreichten Stand bei der Entwicklung eines neuartigen Speichersystems. Schossig und Hausmann verweisen in einem Beitrag zur Wärme- und Kältespeicherung u.a. auf Chancen und Schwierigkeiten bei der Entwicklung chemischer Speichersysteme [1]. Wir präsentieren hier ein System für den individuellen Wohnbereich, das bereits unmittelbar vor der Markteinführung steht.

Unser Konzept basiert auf dem Nutzerverhalten des Endverbrauchers und den im individuellen Wohnbereich definierbaren Rahmenbedingungen. Dem Konzept liegen folgende Thesen zugrunde:

1. Die über solarthermische Lösungen gewonnene Energie deckt bei der Verfügbarkeit entsprechender Flächen im Einfamilienhaus in jedem Fall den Jahresenergiebedarf. Dabei verzeichnen wir selbst unter ungünstigen Bedingungen einen Überschuss im Zeitraum Mitte Februar bis Mitte November. Defizitär ist in jedem Fall der Zeitraum von Mitte November bis Mitte Februar.
2. Über Langzeitspeicher kann die Bereitstellung von Wärmeenergie für die Zeit, in der die Energiebilanz defizitär ist, gesichert werden.
3. Die technischen Probleme, die bisher die Entwicklung von Langzeitspeichern unter Nutzung der Anomalie von Salzen behindert haben, sind beschreibbar und lösbar.
4. Ein Speichersystem ist produzierbar.

Das Problem der Wärmeversorgung im individuellen Wohnbereich lässt sich über zwei verschiedene Ansätze lösen – entweder über das Mengengerüst bei ausschließlicher Betrachtung der anfallenden solaren Wärme oder über die innovative Speicherstrategie in ihrer Umsetzung als komplexe Steuerung mit dem Ziel der kombinierten Nutzung aller verfügbaren Energiepotentiale zum jeweiligen Zeitpunkt.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie mit einem für den Verbraucher bezahlbaren Speichersystem eine nahezu komplette Wärmeversorgung im individuellen Wohnbereich gesichert werden kann.

1 Rawema Countertrade Handelsgesellschaft mbH, Bautzen

2 BME Dr. Golbs & Partner GmbH, Bautzen

1. Grundlagen der Untersuchungen

Als Ausgangsbedingungen wurden festgelegt:

- Haus für 4 Personen, ca. 140m²;
- Haustypen im Bereich KfW 40 und KfW 70;
- Kollektorflächen bei 35 m², theoretischer Überschuss bei 2,6.

Damit konzentriert sich der Lösungsansatz im ersten Schritt auf eine Zielgruppe in der Mitte der Gesellschaft. Die Verfasser sind sich bewusst, dass in der praktischen Umsetzung verschiedene Modifikationen vorzunehmen sind. Die getroffenen Annahmen stellen keinen Idealfall dar. Abbildung 1 zeigt das Verhältnis von Heizbedarf und Kollektorertrag unter Berücksichtigung der genannten Bedingungen.

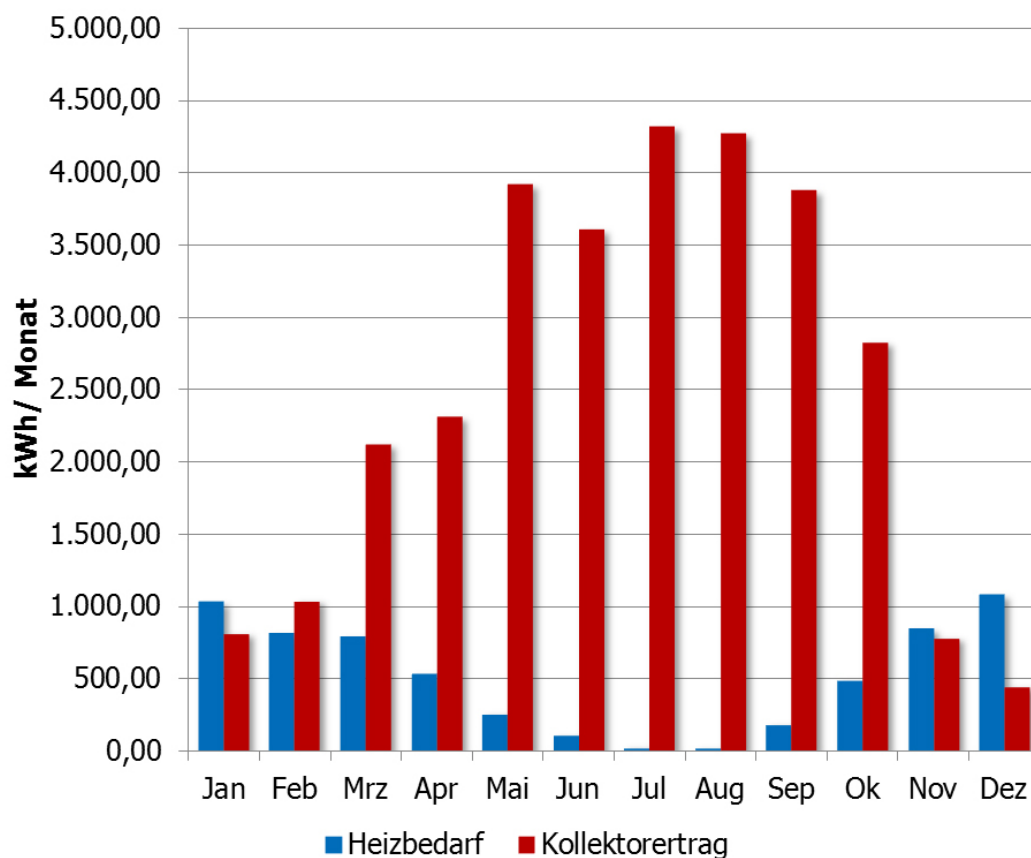


Abb. 1: Vergleich Ertrag und Verbrauch an Wärmeenergie KfW70

Deutlich wird, dass ein Speichersystem für Wärmeenergie folgenden Lösungsansätzen entsprechen muss:

- Speicher in Kombination sensibel (kurzfristig) – latent (langfristig),
- Sicherung der Bereitstellung über stabile Zyklen,
- Kompensation der relativ niedrigen Energiedichte durch den Einsatz einer komplexen Steuerung.

Bekannt ist, dass verschiedene Stoffkomplexe Wärmeenergie über lange Zeiträume speichern können. Betrachtet werden dabei insbesondere komplexe Salzverbindungen, die über die Ausnutzung der Anomalie des Salzes Wärmeenergie verlustfrei speichern.

2. Problemstellung

Aus der Vielzahl der verwendbaren Stoffe wird dasjenige Speichermedium ausgewählt, das die notwendigen Bedingungen sowohl für klassische als auch für innovative Heizungssysteme erfüllt. Es wird ein Speichermedium benötigt, das den für herkömmliche Heizsysteme notwendigen Temperaturbereich abdeckt, sowohl über hohe Langzeitstabilität als auch Zyklfestigkeit verfügt und eine hohe Auslösesicherheit garantiert. Das Speichermedium darf nicht giftig sein und im Phasendurchlauf keine großen Volumenänderungen aufweisen. Es muss in ausreichender Menge verfügbar und bezahlbar sein.

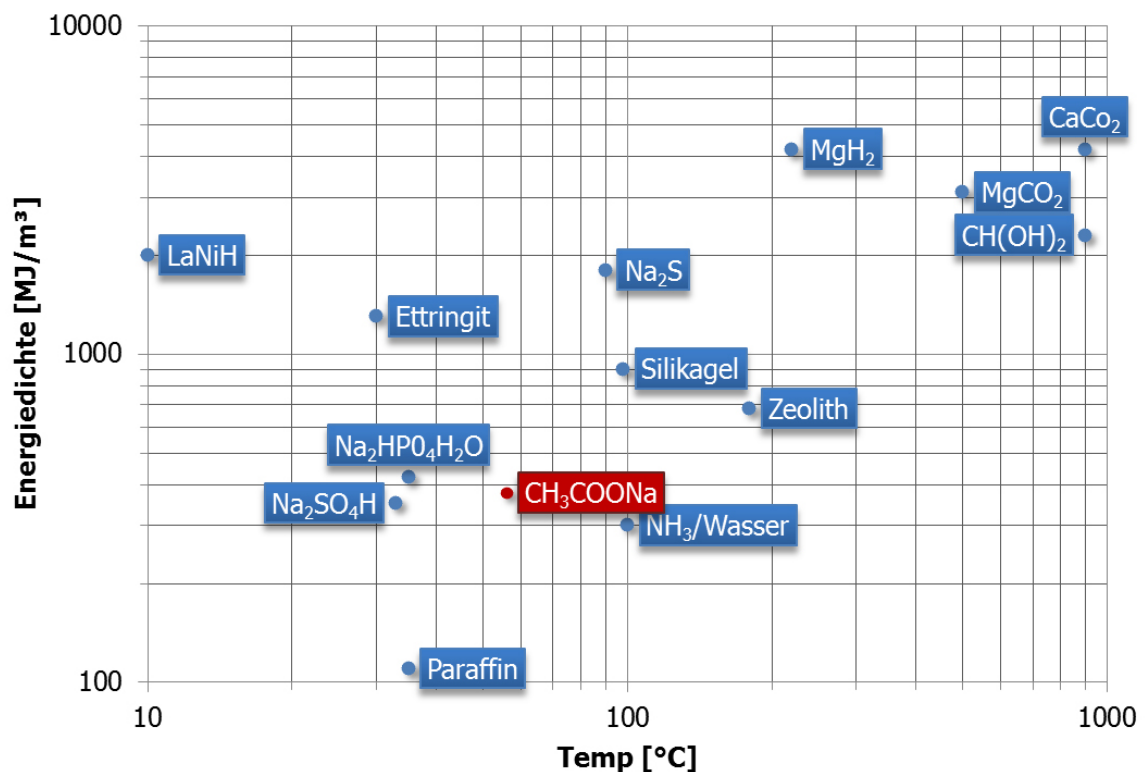


Abb. 2: Vergleich der verschiedenen Speichertechnologien (in Anlehnung an J. van Berkel, Entry Technology, in [2])

Im Vergleich derzeit verfügbarer Medien wurde Natriumacetat-Trihydrat ausgewählt. Alle bekannten technischen Anwendungen des ausgewählten Speichermediums zeigen, dass das Grundproblem in der Stabilisierung der Salzschmelze liegt. Die bisherigen Anwender arbeiten daher im Bereich des Phasenüberganges bei ca. 58 °C, ohne die Langzeitspeicherung in der unterkühlten Schmelze zu berücksichtigen.

Für ein neuartiges Speichersystem auf der Basis von Natriumacetat-Trihydrat sind damit drei grundsätzliche Fragestellungen zu klären.

2.1 Stabilität

Unter Stabilität verstehen wir das Verbleiben des Salzes in der Schmelze beim Absinken der Temperatur unter 58 °C nach dem Prozess des Aufschmelzens bei einer Temperatur von über 58 °C. Bei bisherigen Anwendungen kristallisiert die unterkühlte Salzschnmelze häufig spontan aus. Für das gesamte System ist dieses Problem als Basisproblem zu lösen. Nur dann ist die sogenannte sensible Wärme für den Anwender sofort nutzbar, während die latente Wärme erst bei Setzen eines entsprechenden Impulses und der damit initiierten Auslösung freigesetzt wird.

2.2 Energiefluss

Die Wärmeleitfähigkeit des eingesetzten Speichermediums – insbesondere in der kristallinen Form – ist vergleichsweise niedrig. Daraus resultieren Probleme beim Energieeintrag und der gezielten Energieentnahme. Der Energieeintrag im Sommer stellt sich relativ problemlos dar, weil die verfügbare Energiemenge und das erreichte Temperaturniveau moderner Solarthermiekollektoren im Sommer für ein Aufschmelzen entsprechender Salzmengen hinreichend ist. Das konzipierte Speichersystem muss jedoch zwingend auch die in der Übergangszeit und partiell im Winter anfallenden thermischen Überschüsse nutzen, d.h. ein Eintrag in den Speicher muss möglich sein.

Die Energieabgabe muss zwei Teilanforderungen bedienen. Das System muss so geclustert werden, dass die Energiebereitstellung in den Mengen möglich ist, die im Durchschnitt abgerufen werden. Gleichzeitig muss die Entnahme von Wärmeenergie in einem Temperaturbereich von 48-52 °C unter Last über einen relativ langen Zeitraum erfolgen.

2.3 Auslösesystematik

Das gezielte Abrufen der Energie für den Nutzer fordert zwingend eine sichere Auslösesystematik. Verschiedene Varianten bieten sich an. In der technischen Umsetzung wird die Variante präferiert, die stabil, sicher und kostengünstig einsetzbar ist.

3. Lösungsansätze

Die Arbeit an dem Speichersystem folgt weitgehend praktischen Gesichtspunkten. Die ingenieurtechnische Lösung hat Vorrang vor der wissenschaftlichen Begründung. Die Verfasser sind sich der Tatsache bewusst, dass einzelne Prozesse wissenschaftlich noch nicht hinreichend beschrieben sind. Die aufgezeigten Lösungen haben sich jedoch in einer Reihe singulärer Praxisversuche sowie Versuchsreihen bestätigt. Es werden Lösungen aufgezeigt, die in ihren Einzelkomponenten deutlich miteinander korrespondieren.

3.1 Stabilität

Langzeitstabilität und Zyklusstabilität hängen unmittelbar miteinander zusammen. Die Speicherkapazität bzw. die erreichte Energiedichte ist definitiv abhängig von möglichen Alterungsprozessen, die sich in Salzlösungen über Entmischungsvorgänge erklären.

Salzschnmelzen sind über die Zugabe von Wasser stabilisierbar. Je höher der Wasseranteil einer Salzschnmelze ist, desto geringer ist das Risiko der Spontanauslösung. Diese Art der Stabilisierung erfolgt zu Lasten der Energiedichte. Da die Anlage ohne Druck betrieben werden muss, verliert die Schmelze in ihren Zyklen Wasser. In unseren Versuchen haben wir erreicht, dass über ein ak-

tives Wassermanagement der Wasseranteil 1,5 % des Gesamtvolumens nicht überschreitet und das System dennoch stabil ist.

Zusätzlich wurde die Viskosität der unterkühlten Schmelze durch die Zugabe eines viskositätsverändernden Stoffes beeinflusst. Ein Absinken von Salzkristallen und damit das Entmischen der Schmelze werden deutlich erschwert. Die geometrische Gestaltung des Speichers, insbesondere die Anordnung der Wärmetauscherplatten, schafft Subräume, die gleichzeitig die Gefahr des Absinkens von Salzkristallen deutlich vermindern und die Kontaktflächen beim Wärmeein- und -ausstrag deutlich erhöhen. Der Kontakt mit dem freien Wasser bleibt auch nach der Auskristallisation erhalten. Damit ist das Stoffsystem beim Wiederaufschmelzen stabil.

Als unterstützende Maßnahme ist die Anlage so ausgelegt, das mindestens einmal im Jahr (Sommer) der peritektische Bereich von 78-82 °C überschritten wird. Damit erfolgt eine komplette Durchmischung des Stoffsystems. Wir sprechen von einer Rekonfiguration der Schmelze, die den Alterungsprozess über lange Zeiträume verhindert. Die Wärmetauscher sind so konfiguriert, dass ein vollständiges Aufschmelzen des Salzes möglich ist.

3.2 Energiefluss

Das Grundproblem liegt in der geringen Wärmeleitfähigkeit von Salzen. Versuche mit unterschiedlichen Beimischungen zur Erhöhung der Leitfähigkeit wurden abgebrochen, da diese gleichzeitig die Stabilität der Schmelze nachhaltig negativ beeinflussen. Die von uns präferierte Lösung des Problems besteht im Einsatz von Plattenwärmetauschern. Diese Systeme sind grundsätzlich bekannt. Die Anzahl der Platten und die Plattendicke wurden optimiert. Durch ein Verdrehen der Platten erfolgt eine gleichmäßige Erwärmung des gesamten Raumes. Zur Sicherung der angestrebten Vorlauftemperatur wurden im jetzigen System eine hohe Plattenanzahl, eine relativ geringe Plattendicke sowie eine spezielle Anordnung der durchlaufenden Rohre gewählt.

3.3 Auslösesystematik

Es existieren verschiedene Optionen, um unterkühlte Schmelzen zur Kristallisation anzuregen. Im Wesentlichen unterscheiden wir das Impfen mit Kristallen, das Setzen von mechanischen Impulsen, das Setzen von elektromagnetischen und Ultraschallimpulsen und das Abkühlen der Salzsichelze unter -12 °C.

Speziell für diesen Bereich wurde eine sehr pragmatische Lösung gesucht, die Systemsicherheit, Robustheit und Kostenaspekte in sich vereint. Der im System verwendete Auslösemechanismus setzt einen Impuls über ein Federzugsystem. In den Versuchsreihen wurde eine 100 %ige Auslösesicherheit erreicht.

Nach der Lösung der Einzelprobleme wurde ein Gesamtsystem konzipiert.

4. Ergebnis

Ergebnis der Entwicklung ist ein Latentwärmespeicher, der aus einer definierten Anzahl von Einzelelementen (ca. 30-70) besteht. Das Speichersystem wird unter Normalbedingungen betrieben. Insbesondere werden die Volumenänderungen ausgeglichen, so dass das System unter Normaldruck arbeitet. Das verwendete Speichermedium ist ungiftig. Die Größe der Einzelelemente wurde in Abhängigkeit von Beladezyklen – insbesondere im Winter – und Entladezyklen festgelegt.

Die Einzelelemente sind mit Plattenwärmetauschern ausgestattet und werden verschaltet. [3] Das System ist erweiterbar, d.h. Einzelelemente können bei Bedarf hinzugefügt werden. Tabelle 1 enthält die technischen Eckwerte der gewählten Elemente.

Masse Speicher (leer)	kg	17,5799
gesp. Energie (ohne Salz)	kWh	0,2733
Masse Speicher gefüllt	kg	117,5799
gesp. Energie (sensibel)	kWh	3,78
gesp. Energie (latent)	kWh	7,22
gesp. Energie	kWh	11,00
Energiedichte latent	kWh/m ³	68,70
Energiedichte total	kWh/m ³	104,75
spezifische gespeicherte latente Energie	kWh/kg	0,07
spezifische gespeicherte Energie (total)	kWh/kg	0,11

Tab. 1: Die technischen Eckdaten der gewählten Elemente

Das Schnittmodell zeigt den inneren Aufbau eines Einzelelements mit Wärmetauscher.



Abb. 3: Einzelelement mit Sicht auf den Wärmetauscher

Der gesamte Wärmespeicher hat einen relativ hohen Platzbedarf. Mit Bauingenieuren wurden unterschiedliche Nachrüstvarianten diskutiert. Eine mögliche Integration in die Terrasse eines Wohnhauses ist in Abbildung 4 vorgestellt.



Abb. 4: Clusterlatentwärmespeicher in die Terrasse eines Wohnhauses integriert

5. Mögliche Auswirkungen auf die Energieversorgung im individuellen Wohnbereich und das Gesamtsystem der Energieversorgung

In Nachrüstvarianten erreicht man bei Einbindung des Speichers und einer Solar-thermielösung in die herkömmliche Energieversorgung eines Einzelhauses je nach Dimensionierung der Solarthermieflächen und des Speichers eine bis zu 80 %ige Ablösung der am Markt üblichen Heizsysteme. Die klassische Brennstoffheizung dient dann lediglich der Versorgung in Zeiten, in denen die Energiebereitstellung über Sonnenenergie nicht ausreicht.

Bei notwendigen Reparaturen oder Ersatzinvestitionen insbesondere am Brenner kann dieser niedriger dimensioniert werden bzw. die Solarflächen können so erweitert werden, dass das System ohne klassische Heizung auskommt. Je nach Dimensionierung bedeutet die Investition dann wachsende Unabhängigkeit vom Angebot bzw. von sich extrem ändernden Preisen für fossile Brennstoffe.

Im Haus ergibt sich die Möglichkeit der Kopplung mit weiteren Komponenten. Das Überangebot an Wärmeenergie im Sommer sowie der Einsatz des Speichersystems bieten die Möglichkeit der Entwicklung eines völlig neuen Systems der Wohnraumklimatisierung. Eine entsprechende Lösung befindet sich in der Entwicklung.

Durch die Integration eines Wandlers besteht darüber hinaus die Möglichkeit der Speicherung überschüssiger Elektroenergie als Wärme, solange es keine effiziente Möglichkeit der Direktspeicherung gibt. Das betrifft insbesondere Elektroenergie aus Windkraftanlagen, die zum Teil dann anfällt, wenn die Abnahme durch Großverbraucher nicht gesichert ist. Hier bieten sich bei großflächiger Betrachtung volkswirtschaftliche Alternativen bzw. ergänzende Lösungen zu überregionalen Großnetzen an.

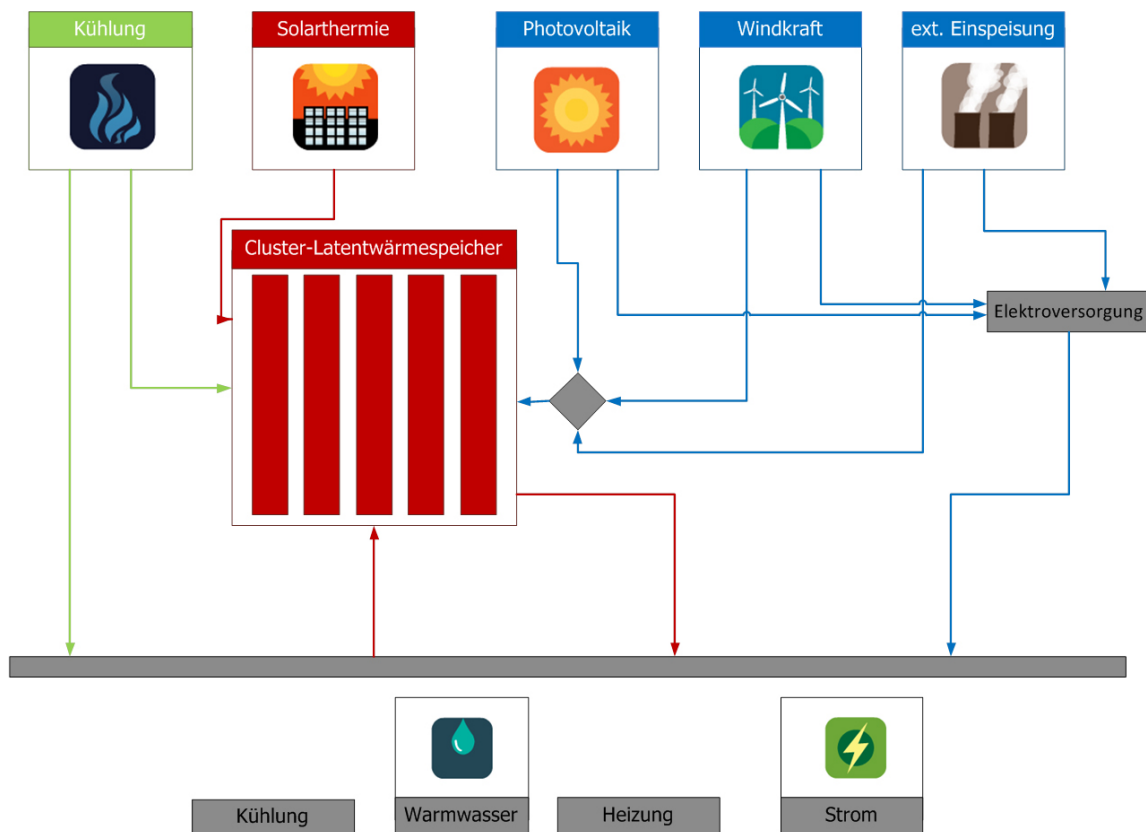


Abb. 5: Integration des Latentwärmespeichers

Erstmals besteht die Möglichkeit, tatsächlich autarke Lösungen für die Wärmeversorgung im individuellen Wohnbereich zu schaffen. Bei genauer Betrachtung wird eine immense Reduzierung von CO₂-Emissionen möglich. Durch die Ablösung der klassischen Brennstoffe werden Rohstoffreserven geschont und stehen der stofflichen Verarbeitung in der chemischen Industrie zur Verfügung.

Gleichzeitig schafft das System für den Nutzer einen deutlichen Überblick über den eigenen Energieverbrauch. Der Blick auf den Zählerstand wird abgelöst durch das Wissen um eigene Reserven. Die als „Energiewende“ bezeichnete grundsätzliche Veränderung des Nutzerverhaltens muss durch aktives Handeln der Menschen getragen werden. Allein der Zwang über Preisgestaltung und Restriktionen wird das Problem global nicht lösen. Die von uns vorgestellte Option im Energiemix befördert diese Entwicklung im Denken der Menschen.

Literatur

- [1] P. Schossig, Th. Haussmann: Wärme- und Kältespeicherung – Stand der Technik und Ausblicke, in: LIFIS ONLINE [11.04.11], www.leibniz-institut.de/archiv/schossig_11_04_11.pdf
- [2] A. Morhart, Alternativen zum Stahltank, in: Sonne, Wind & Wärme, 18/2008
- [3] EU-Patent angem.: EP 2273226

Anschrift der Autoren:

Dr. Andreas Golbs
Rawema Contertrade Handelsgesellschaft mbH
Humboldtstr. 25
D – 02625 Bautzen
www.rawema.com