

Metallschaum-Latentspeicher für die Klimatisierung von Räumen



Dr.-Ing. Karsten Hackeschmidt.
Institut für Luft- und Kältetechnik ILK gGmbH Dresden



Dipl. Ing. Ronny Mai.

Kurzfassung

Latentspeicher sind ideal geeignet für die Speicherung von Wärme oder Kälte in kompakten Volumina. Mit deren Einbindung in Klimatisierungssysteme für Räume erschließt sich ein erhebliches Einsparpotenzial für den Verbrauch der immer teurer werdenden Primärenergie. Diese Einsparpotenziale summieren sich in der Schaffung von Voraussetzungen für leistungsmäßig geringer dimensionierte Klimakomponenten, für ein optimiertes Regelregime durch die Ausnutzung von Tag-Nacht-Bedingungen und für einen ressourcen-

schonenden Anlagenbetrieb im Bereich maximaler Wirkungsgrade.

Nun gilt es, diese gegebenen Potenziale auch technisch und wirtschaftlich vernünftig in der Praxis zu nutzen. Heute müssen in der Regel für jede Anwendung „Sonderlösungen“ bewertet und konzipiert werden, sodass diesem Anspruch nur in wenigen Fällen Rechnung getragen werden kann. Begründet ist dies auch in den nachteiligen Eigenschaften der Phasenwechselmaterialien (PCM) selbst. Dadurch bestimmen diese die Gesamtkonstruktion, die

Dimensionierung und das Betriebsverhalten eines Latentspeichers. Es besteht hier die Notwendigkeit, neue Konstruktionskonzepte auf Basis allgemein gültiger Qualitäts- und Designkriterien zu entwickeln, um den Nutzungsgrad von Latentspeichern im Bereich der Klimatechnik technisch und wirtschaftlich erheblich zu verbessern.

Latentspeicher – Aufbau und Potenziale

Latentspeicher besitzen gegenüber den sensiblen Speichern (z. B. Wasserspeicher) den Vorteil, dass sie in einem definierten Volumen erheblich mehr Speicherpotenzial für Wärme oder Kälte besitzen. Begründet ist dies in der Möglichkeit, einen Phasenwechsel des PCM bei nahezu konstantem Temperaturniveau als Speicherpotenzial zu nutzen. Latentspeicher sind in ihrem Aufbau relativ einfach. Sie bestehen aus dem Phasenwechselmaterial (PCM), einem Wärmeübertrager, dem Gehäuse mit Isolation und der Sensorik zur Regelung und Steuerung der Betriebsparameter (s. Bild 1).

Das Phasenwechselmaterial (PCM) bestimmt mit seinen Eigenschaften die Anwendungsbereiche für den und letztlich auch die erforderliche Größe des Latentspeichers in der konkreten Anwendung. In Bild 2 wird deutlich, dass für die klimatechnische Anwendung im Wesentlichen nur Wasser, Paraffine und Gas-hydrate infrage kommen. Der Wärmeübertrager definiert dagegen in seinem Aufbau und seiner Wirkungsweise den Nutzungsgrad des Speicherpotenzials.

Diese Sachverhalte bestimmen die Einsatzmöglichkeiten in einem Projekt bereits in der Planungsphase immer wieder neu. Zumeist gewinnen heute noch die Argumente, die gegen den Latentspeicher sprechen. Das sind die Investitionskosten, die ungenügende Markverfügbarkeit geeigneter Leistungsgrößen und die zumeist nicht vorliegenden Erfahrungswerte aus bereits in Betrieb befindlichen Systemen. Wenn es gelingt, Latentspeicher-Konstruktionen nach praktischen und allgemeingültigen Krite-

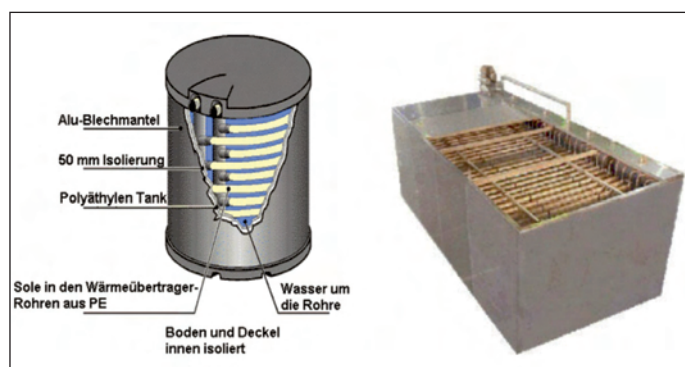


Bild 1: Aufbau Latentspeicher; links Prinzip der Fa. Calmac.

(Quelle: www.gfkk.de); rechts Fa. Buko (www.buko-international.com)

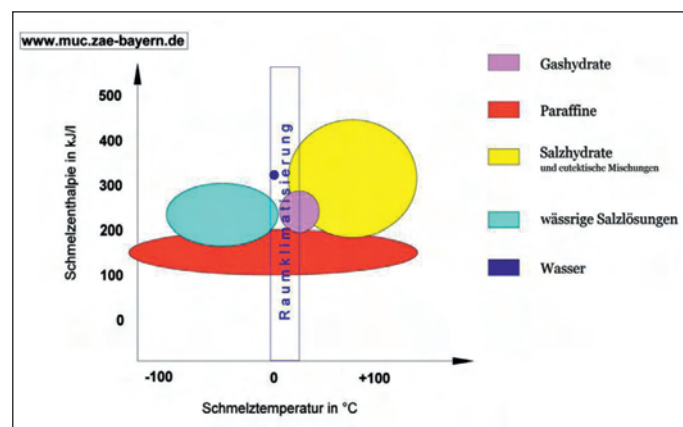


Bild 2: Markt gängige Phasenwechselmaterialien und ihre Temperaturbereiche für die Anwendung.

(Quelle: www.muc.zae-bayern.de)

rien umzusetzen, kann deren Marktfähigkeit erheblich erhöht werden. Die erfolgreiche Umsetzung dieser Zielstellung bedingt eine neue Lösungsstrategie, die zum einen nicht mehr durch die nachteiligen Eigenschaften des PCM bestimmt ist und zum anderen sicherstellen, gegebene betriebsbedingte Rahmenbedingungen von klimatechnischen Anlagen wirtschaftlich günstig zu nutzen.

Marktchancen für Latentspeicher

Die Marktverfügbarkeit verschiedener PCM ist heute erheblich besser geworden. Die Entwicklungen an den Phasenwechselmaterialien sind inzwischen soweit vorangeschritten, dass die Alterungsbeständigkeit und Entmischung von Teilkomponenten mit der Nutzungsdauer keine nachteiligen Qualitätsmerkmale mehr darstellen. Hinsichtlich der Preise sind alle erdölabhängigen PCM (z. B. Paraffine) dem langfristig eher steigenden Niveau unterworfen. Wasser bzw. Eis ist die preiswertere Alternative. Für den Grad der Marktfähigkeit von Latentspeichern sind letztlich die Eigenschaften der PCM verantwortlich. Das sind deren schlechte Wärmeleiteigenschaften, die mögliche Materialunverträglichkeit mit anderen Stoffen (z. B. Metalle) und die sogenannte Phasenwechselcharakteristik. Letztere ist dadurch gekennzeichnet, dass der Phasenwechsel immer an der wirksamen Wärmeübertragerfläche beginnt. Je dicker die PCM-Schicht an der Wärmeübertragerfläche aufbaut, umso höher wird der Energieaufwand für die vollständige Aktivierung des Phasenwechsels im Restvolumen.

Die durch die „nachteiligen Eigenschaften“ des PCM aufgezwungene Konstruktionsphilosophie für Latentspeicher ist mit dem Prinzip „von

innen nach außen“ definierbar. Der Wärmeübertrager muss sich in seiner Dimensionierung und seinem Aufbau den PCM-Eigenschaften unterordnen. Dadurch können die Marktanforderungen wie Preis, Flexibilität, Kompaktheit und variable Geometrien für den Latentspeicher in der konkreten Anwendung nur schlecht erfüllt werden.

Aus Sicht des Marktes müssen solche Anforderungen wie

- die Ausnutzung eines vorhandenen Bauraumes,
 - die Anwendung allgemein reproduzierbarer Herstellungstechnologien,
 - die Verwendung marktgängiger Halbzeuge und Materialien,
 - ein geringer Wartungsaufwand,
 - der maximale Nutzungsgrad des Speichervermögens und
 - der wirtschaftliche Betrieb eines solchen Systems
- erfüllt werden. Letztlich erfordert das eine Änderung der Konstruktionsphilosophie hin

zum Prinzip „von außen nach innen“ bei dem die nachteiligen Eigenschaften des PCM keine Rolle mehr spielen.

Der wirtschaftliche Aspekt lässt sich am folgenden Beispiel verdeutlichen. Der für einen Betriebszustand optimal ausgelegte Kaltwassersatz muss mit der Integration von Eisspeichern gemäß Bild 3 zwei Betriebszustände bedienen können. Zum einen werden negative Soletemperaturen für das Beladen des Speichers benötigt (ca. -7°C) und zum anderen sind positive Soletemperaturen (i.d.R. 7°C) im Klimatisierungsbetrieb notwendig. Bekannterweise fällt die Leistungszahl (EER) eines Kaltwassersatzes mit abnehmender Verdampfungstemperatur.

So kann eine Erhöhung der Ladetemperatur von -7°C auf -3°C die jährlichen Betriebskosten für die Eisspeicherbe-
ladung um ca. 12% reduzie-
ren, da die Leistungszahl dann
um ca. 9% höher liegt (s. Dia-
gramm in Bild 4). In der prak-

tischen Umsetzung erfordert dies aber neue konstruktive Lösungen für die Latentspeicher.

Neue konstruktive Lösungen für Latentspeicher

Die am Markt verfügbaren (Eis-)Latentspeicher verfügen entweder über ein Rohrbündel- (z. B. Fa. Calmac) oder einen Plattenwärmeübertrager (z. B. Fa. Fafco). An deren Oberflächen beginnt der Phasenübergang des Wassers bzw. des Eises. Die Volumina zwischen den Rohren oder Platten müssen klein sein, damit die schlechten Wärmeleiteigenschaften des PCM technisch nicht wirksam werden.

Aus diesen Sachverhalten heraus können konstruktive Parameter für die Bewertung von Latentspeichern abgeleitet werden. Z.B. definiert sich das sogenannte thermische Geometrieverhältnis aus dem Quotienten zwischen dem Volumen, welches vom PCM eingenommen wird und der effektiven Wärmeübertragungsfläche. Es wird hier mit dem

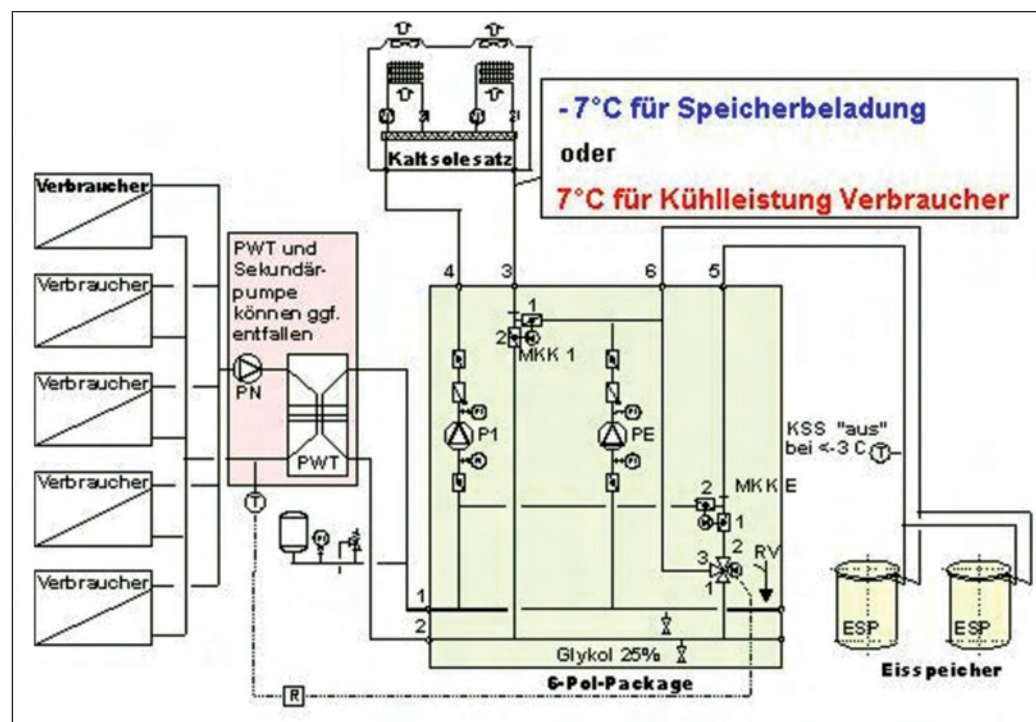


Bild 3: Klimaanlage mit Eisspeichersystem.

(Quelle: www.qfkk.de)

Faktor 1000/m dimensionslos gemacht. In den traditionellen Konstruktionen beträgt dieses Verhältnis ca. 20 bis 25. Je größer dieses Verhältnis, umso höher ist die spezifische Speicherkapazität eines Latentspeichers, welches genutzt werden kann. Die aktuellen Erfahrungen zeigen, dass Werte bis 50 im Tag-Nacht-Betriebszyklus eines Speichers realistisch sind. Kürzere Zyklen verlangen größere effektive Wärmeübertragerflächen, was eine Reduzierung des thermischen Geometrieverhältnisses zur Folge hat.

Die Idee für die Umsetzung neuer, einfacher und allgemeingültiger Latentspeicher-Konstruktionen hat zwei we-

sentliche Inhalte. Zum einen wird ein offenporiger Metallschaum (z. B. Aluminium) als Wärmeübertrager eingesetzt, der zugleich die Trägerstruktur für das PCM bildet. Zum anderen wird eine ausreichend gut wärmeleitende feste Verbindung zwischen der Metallschaumstruktur und der wirksamen Wärmeübertragerfläche geschaffen. Als effektive Wärmeübertragerfläche gilt diejenige, die vom Trägerfluid umströmt wird.

Dadurch werden folgende wesentliche Effekte erzielt:

- Die nutzbare Wärmeleitfähigkeit des PCM wird erheblich erhöht (s. Tabelle 1).
- Die Wirkung einer ungünstigen Phasenwechselcha-

rakteristik ist praktisch beseitigt.

- Es können beliebige Formen und Geometrien für den Wärmeübertrager konstruiert werden.
- Es sind größere thermische Geometrieverhältnisse umsetzbar.
- Es sind die Voraussetzungen für allgemeingültige Design- und Qualitätskriterien in der Technik und Wirtschaftlichkeit geschaffen. Deren Umsetzung kann für die mobile und stationäre Anwendung gleichermaßen erfolgen (keine Sonderlösungen mehr!).
- Die Voraussetzungen für neue und günstigere Herstellungsverfahren für die Latentspeicher sind geschaffen.

Auf Basis der beschriebenen Rahmenbedingungen und Konstruktionsgrundsätze sind für die stationäre und mobile Anwendung neue Latentspeicher entwickelt und als Prototypen aufgebaut worden. Latentspeicher für die stationäre Anwendung bedienen Gebäude Räume während die für die mobile Anwendung die Temperaturen in Fahrgasträumen und in Fahrerkabinen beeinflussen.

In Bild 5 sind die neuen Speichermodule mit Metallschaum-Wärmeübertrager für die stationäre Anwendung abgebildet. In der linken Abbildung wird das Modul an der Oberfläche mit Luft beaufschlagt (Wärmetransport von außen nach innen) während in der rechten Abbildung für flüssige Trägerfluide der Wärmetransport von innen nach außen erfolgt. Diese Module können mit dem Paraffin RT21 oder Wasser gefüllt werden. Der Metallschaum wird von der Fa. mpore GmbH Dresden hergestellt (www.m-pore.de).

Auf Basis der entwickelten Produktionsschritte und -abläufe können praktisch beliebig große Latentspeicher aufgebaut werden. Ein weiteres Beispiel dafür ist der Latentspeicher für die mobile Anwendung (s. Bild 6). Ein solcher Speicher wird verwendet, um die Fahrgastzelle eines Lkws zu temperieren, ohne dass der Dieselmotor in Betrieb ist. Das PCM ist Wasser. Vergleichsausführungen in der Serienfertigung haben poröse Graphitplatten, die mit Wasser gefüllt sind und mit einer Aluminiumfolie ummantelt werden. Diese Elemente werden zwischen die Flachroherelemente gepresst.

Leistungspotenzial der Metallschaum-Latentspeicher

Durch den Einsatz offenporiger Metallschäume als Wärmeübertrager und Trä-

Tabelle 1: Wärmeleitwerte ausgewählter Stoffe ohne und in Metallschaumstruktur.			
Material	Wärmeleitfähigkeit in W/(m K)		Verbesserungsfaktor
	Ohne MS	Mit MS	
Luft	ca. 0,024	bis zu 5,8	ca. 242
Wasser	ca. 0,57	bis zu 6,9	ca. 12
Eis	ca. 2,20	bis zu 7,4	ca. 3
Paraffin RT6, flüssig	ca. 0,20	bis zu 6,5	ca. 33
Paraffin RT6, fest	ca. 0,20	bis zu 7,0	ca. 35

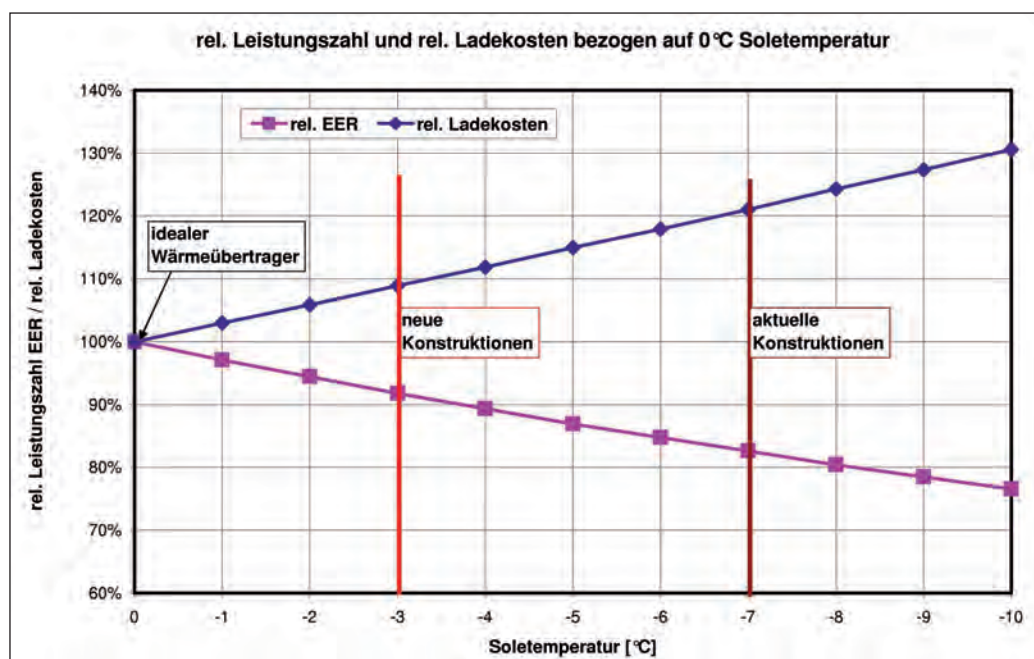
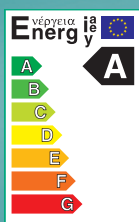


Bild 4: Betriebskosten für die Eisspeicherbeladung in Abhängigkeit der Soletemperatur.

Für die gewerbliche Nutzung.
Intelligente Bussteuerung.
Einsatzbereich von -10 bis +110 °C.
Bis zu 80 % Stromeinsparung.*
Hocheffizient.



**Baureihenergänzung
für das Objektgeschäft**
Jetzt 7 neue Typen!

*Im Vergleich zu unregulierten Heizungspumpen.

Hocheffizienzpumpe Wilo-Stratos.

Die Wilo-Stratos ist die weltweit erste Hocheffizienzpumpe für Heizung, Kälte, Klima. Dank ihrer wegweisenden ECM-Technologie lassen sich mit ihr im Vergleich zu Standardpumpen bis zu 80 % Strom einsparen. Das gilt für Heizungssysteme ebenso wie für Klima- und Kältesysteme. Zusammen mit ihrer intelligenten Bussteuerung macht sie das zur idealen Lösung für die Gebäudeautomation. Genial? Wir nennen das Pumpen Intelligenz.



www.wilo.de

WILO
Pumpen Intelligenz.

germaterial für das PCM in Latentspeichern kann die Leistungsfähigkeit solcher Systeme erheblich gesteigert werden. Im Vergleich zu den aktuellen Lösungen dokumentiert sich das in der Erhöhung der volumenbezogenen spezifischen Speicherkapazität. Für die vorgestellten Lösungsansätze können thermische Geometrieverhältnisse von ca. 40 konstruktiv umgesetzt werden. Die traditionellen Lösungen erreichen Werte bis 25.

Ein weiteres wesentliches Kriterium ist die feste Verbindung zwischen der effektiv wirksamen Wärmeübertragungsfläche und dem offenporigen Metallschaum. Eine hervorragend technisch umsetzbare Lösung ist die Klebeverbindung mittels eines gut wärmeleitenden Spezialklebstoffes. Dieser Sachverhalt ist die Voraussetzung dafür, dass das Aufwand-Nutzen-Verhältnis zum Be- bzw. Entladen eines solchen Speichers verbessert

werden kann. Praktisch kann z. B. damit eine günstigere Leistungszahl eines Kaltwassersatzes für das Beladen eines Eisspeichers genutzt werden.

Die erhebliche Verbesserung der Leistungscharakteristik eines Metallschaum-Latentspeichers gegenüber der traditionellen Lösungen mit ummantelten Graphitkissen verdeutlicht das Diagramm in Bild 7. Hierbei handelt es sich um die Temperaturverläufe

beim sogenannten Nachtkühlen. Der Latentspeicher soll in der Fahrerkabine im Schlafbereich ausreichend lange verträgliche Temperaturen unter sommerlichen Nachtbedingungen garantieren. Der Metallschaum-Latentspeicher schafft dies immer noch nach 8 Stunden Betriebszeit, während die Vergleichssysteme bereits nach 2,5 bzw. 4 Stunden die maximale Leistung erreicht haben. Alle drei Speicher haben die gleichen

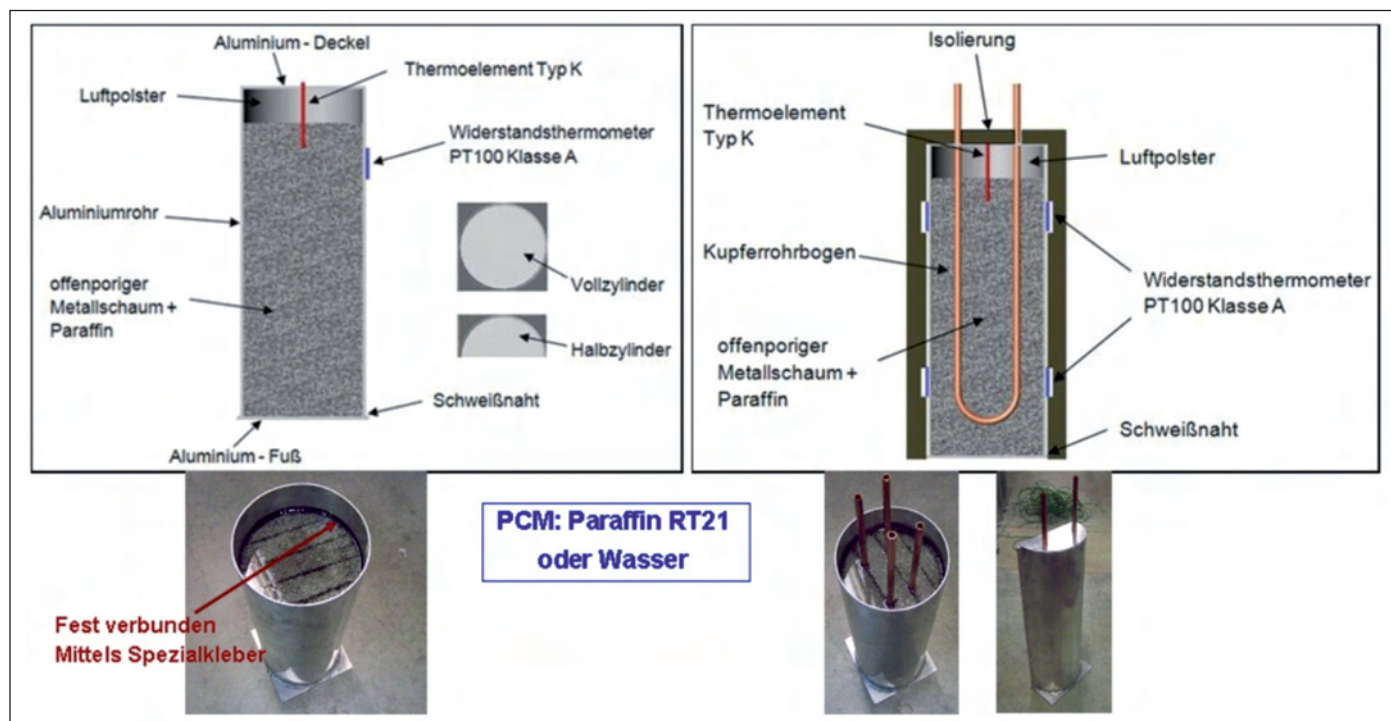


Bild 5: Latentspeichermodule mit Metallschaum-Wärmeübertrager für die stationäre Anwendung (links: für Luft als Trägerfluid; rechts: für flüssige Trägerfluide).



Bild 6: Latentspeicher mit Metallschaum-Wärmeübertrager (links) für die mobile Anwendung; PCM: Wasser.

(Quelle: webasto AG)



Wir gratulieren zur Jubiläumsausgabe! caverion GmbH – Perfekte Technik für Ihr Gebäude

Wir planen und realisieren haustechnische Anlagen in Druckereien ebenso wie in Verwaltungsgebäuden, Industrieanlagen, Kliniken, Messen, Flughäfen, Kultureinrichtungen und Sportstätten.

Ob Kundendienst oder Anlagenbau, Kleinauftrag oder technischer Generalunternehmer, wenn es um ganzheitliche Lösungen für technologisch komplexe Anlagen und Gebäude geht, haben Sie mit caverion GmbH immer den richtigen Partner in Ihrer Nähe. Profitieren Sie von unserer Kompetenz.

Perfekte Technik für Ihr Gebäude

caverion GmbH | Roßbachstraße 38 | 70499 Stuttgart | Telefon +49. 711. 6334-0 | Fax +49. 711. 6334-1133
info@caverion.com | www.caverion.com

geometrischen Außenabmessungen.

Hinweis

Das dieser Veröffentlichung zugrundeliegende Vorhaben ist mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft unter dem Förderkennzeichen 0327336D gefördert worden.

Das Kooperationsvorhaben der Partner webasto AG Stockdorf, m.pore GmbH Dresden und ILK Dresden gGmbH hatte den Titel „Untersuchungen zum Einsatz offener Metallschäume in Latentspeichern zur Klimatisierung von Räumen“.

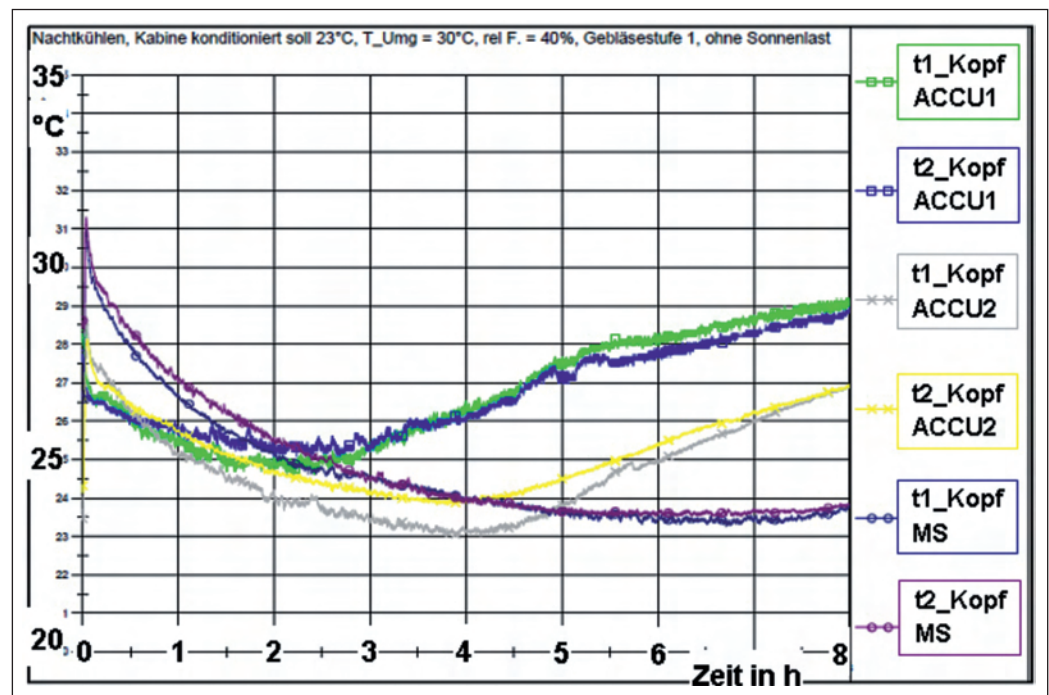


Bild 7: Temperaturverläufe im Bereich der Schlafkabine eines Lkws beim nächtlichen Kühlen mit Latentspeicher. (Quelle: webasto AG)