

Kältespeicher – Überblick zum Stand der Technik

Thorsten Urbaneck, Ulrich Schirmer, Bernd Platzer
Technische Universität Chemnitz
Fakultät für Maschinenbau
Professur Technische Thermodynamik
09107 Chemnitz
Tel.: 0371/531-2463
Fax: 0371/531-2349
thorsten.urbaneck@mb.tu-chemnitz.de

Ulf Uhlig, Thomas Göschel, Dieter Zimmermann
Stadtwerke Chemnitz AG
Fernwärme/Fernkälte
Postfach 41 14 68
09030 Chemnitz
Tel.: 0371/525-4740
Fax: 0371/525-4745
ulf.uhlig@swc.de

Schlüsselwörter: thermische Energiespeicher, Kältespeicher

Zusammenfassung: Kältespeicher bieten viele Vorteile im energetischen, ökonomischen und ökologischen Bereich. Jedoch ist die Kältespeicherung für die Klimatisierung und Technikkühlung in Deutschland ein weniger populäres Thema. Dieser Artikel soll einen Beitrag leisten die geeigneten Speicherstoffe, die physikalischen Vorgänge und chemischen Reaktionen sowie die Speichertechniken im Überblick vorzustellen.

Dank: Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit unter dem Kennzeichen 0327357A gefördert. Besonderer Dank gilt auch dem Projektträger Jülich für die Unterstützung des Vorhabens. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

1 Einleitung

Die Kältespeichertechnik kann nicht im Rahmen eines derartigen Artikels umfassend beschrieben werden, weil viele verschiedene Komplexe ineinander greifen. Als Beispiele wären zu nennen:

- hohe Anzahl von potentiellen Speicherstoffen mit z.T. sehr speziellen Eigenschaften in Verbindung mit physikalischen Vorgängen und chemischen Reaktionen,
 - beabsichtigt (z.B. physikalisch, Nutzung des Phasenwechsels),
 - nicht beabsichtigt (z.B. chemisch, Korrosion),
- Kopplung zwischen System und Speicher,
- resultierende Konstruktionen mit Auswirkungen auf
 - die Effizienz,
 - die Betriebsweise,
 - die Kosten usw.

Des Weiteren stehen einige Exergiequellen zur Verfügung (z.B. Kältemaschinen, Zustand der Atmosphäre oder der oberflächennahen Erdschichten im Winter), die für die Speicherbeladung relevant sind. Als Exergiesenken - hier die Versorgungsaufgabe - sollen vorwiegend die Gebäudeklimatisierung und die Kühlung der technischen Gebäudeausrüstung betrachtet werden. Deswegen liegt der Schwerpunkt hier bei Speichern mit Temperaturen von -10 bis 20 °C.

2 Motivation zur Kältespeicherung

Wie auch bei den sog. Wärmespeichern sind die meisten Kältespeicher Kurzzeit-Speicher. Ohne auf die grundlegenden System-Speicher-Zusammenhänge einzugehen, werden folgende Vorteile genannt:

- energetisch,
 - Abbau der elektrischen Lastspitze in der Hochlastzeit tagsüber,
 - Reduktion der vorzuhaltenden elektrischen Anschluss- und Kältemaschinenleistung,
 - ggf. geringere vorzuhaltende Kraftwerksleistung¹,
 - Reduktion des Einkaufs von Strom in der Hochlastzeit (aus Sicht des Energieversorgungsunternehmens),
 - stärkere Verlagerung des Kältemaschinenbetriebes in die Nachtzeit (Speicherbelastung, abhängig vom Konzept),
 - Nutzung von preiswerten Nachtstromüberschüssen² (aus Sicht des Kunden),
 - wärmetechnisch günstigerer Nachtbetrieb der Kühltürme,
 - Betrieb der Kältemaschinen am Auslegungspunkt, bessere Wirkungs- und Nutzungsgrade³ (starke Reduktion des Teillastbetriebes), hohe Auslastung der Kältemaschinen,
 - in der Regel hohe Gesamteffizienz wegen der Kurzzeit-Speicherung mit geringen Verlusten,
- ökonomisch,
 - Investitionskosten: Systemlösung mit Speicher oftmals günstiger als der Einsatz von schwach ausgelasteten Kompressionskältemaschinen zur Spitzenlastdeckung,
 - verbrauchsgebundene Kosten: Nutzung der Differenz zwischen Hoch- und Niedertarifen,
- technisch,
 - sehr flexible Betriebsweisen der Systeme,
 - auch nachträglich nachrüstbar, u.U. modular,
 - in der Regel keine hohen Anforderungen an die Technik im Bestand,
 - viele Kleinspeichertypen international am Markt vorhanden, ideale Anpassung an das System möglich,
 - höhere Versorgungssicherheit in Zeiten ohne Spitzenlast⁴,
 - Speicher als z.B. hydraulische Weiche ideal für Systembetriebsweise.

¹ hohe energiewirtschaftliche Bedeutung, z.B. in Japan

² Kraftwerke müssen in der Regel auf einem Minimalniveau betrieben werden. Nachts ist der Absatz bzw. die Anwendung von Elektroenergie energetisch sinnvoll.

³ Beim Sinken der Speichertemperatur sinkt gleichzeitig die Leistungszahl der Kältemaschine. Das trifft besonders auf Eisspeicher zu. Eine Optimierung ist erforderlich. Die Speicherentwickler reagierten mit verschiedenen Eisspeicherkonstruktionen. Auf dem Markt sind deshalb viele verschiedene Eisspeichertypen bzw. Eisgeneratoren verfügbar.

⁴ Der Speicher kann die teilweise bis vollständige Versorgung über eine kurze Zeit übernehmen, z.B. Notversorgung.

3 Speicherphänomene und -stoffe

Im Folgenden werden die grundlegenden Phänomene (hier: Basis, Ursache für die Änderung der Enthalpie) für die Speicherung genannt und die entsprechenden Stoffe, die für eine Kältespeicherung infrage kommen, zugeordnet sowie bewertet.

Basis: Temperaturänderung

- siehe auch Tabelle 1
- Wasser (sehr viele positive Eigenschaften)
- Wasser-Gemische (Gefrierpunkt senkende Maßnahmen, sog. Sole, Inhibierung für Korrosionsschutz notwendig, technische Fluide einsetzen)
 - mit Salzen (z.B. NaCl, MgCl₂, CaCl₂)
 - mit organischen Substanzen (z.B. Methanol, Ethanol, Ethylenglykol, Propylenglykol, Glycerin)
- Erdreich, Aquifere, Baustoffe (z.B. Fundamente) usw. (Nutzung vorhandener, preiswerter Speichermassen)

Basis: reversibler Phasenwechsel

- vorwiegend flüssig-fest, siehe auch Tabelle 1
- Wassereis
- Parafine und Parafingemische
- Salzhydrate
- Polyethylenoxide
- Fettsäuren
- Gemische, z.B. Parafine und Salzhydrate
- Besonderheiten von PCM's⁵
 - Unterkühlungsneigung (z.B. Salzhydrate)
 - Neigung zur Entmischung (z.B. Salzhydrate)
 - Volumenänderung beim Phasenwechsel
 - schlechte Wärmeleitfähigkeit
 - Korrosionsneigung (z.B. Salzhydrate)

Basis: Adsorption und Desorption von Wasser

- Zeolithe (aufbereitete Aluminium-Silizium-Oxide)
- wesentlich höhere Energiedichten als PCM's
- Potential zur verlustarmen Langzeit-Speicherung

Sonstige Verfahren

- Trockeneis (Phasenwechsel fest-gasförmig)
- Flüssiggas (Phasenwechsel flüssig-gasförmig), sehr tiefe Temperaturen
- Kältemischungen (negative Lösungsenthalpien), Nutzung vorzugsweise am eutektischen Punkt
 - Wasser mit Salzen
 - Wassereis mit Salzen
 - Trockeneis mit organischen Stoffen

⁵ Phase Change Material (PCM): Phasenwechselmaterial

Tabelle 1: Übersicht zu Stoffen, deren Einsatz bei Kältespeichern, grundlegenden Eigenschaften, Temperaturbereich von ca. -10 bis 20 °C, stark vereinfacht

Stoff, Stoffgruppe	Basis		Bewertung								
	Temperaturänderung	Phasenwechsel	volumetrische Wärmekapazität [MJ/m³]	Schmelzenthalpie [kWh/m³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Schmelztemperatur [°C]	Physiologie, Umwelt, Explosionsgefährdung, Korrosivität	Eignung direkte Be- und Entladung	Kosten, geschätzt [€/kg]	Eignung kleine Speicher	Eignung große Speicher
Wasser	✓		4,2	82	0,57	0	✓	✓	0,002	✓	✓
Wasser-Gemische	✓					-10...0	(✓)	✓		✓	✓
Erdreich, Aquifere	✓		1,2...3,7		0,6 ... 2,5		✓	(✓)			✓
Wassereis		✓	1,87		2,25	0	✓			✓	✓
Schnee		✓			0,15 ... 1,1	0	✓				✓
Parafine, Parafingemische		✓	2,13	39...46	0,21 ... 0,26	-12...20	(✓)	(✓)	70...600	✓	
Salzhydrate, Salzhydratmischungen		✓		60...170		-10... 20	(✓)...☠ ☒		20...200	✓	
Polyethylenoxide ⁶		✓				-6... 20	(✓)		10...50		
Fettsäuren		✓		36...53		-11...17	(✓)...☠ ☠☠		20...7000	×	
Legende	✓	zutreffend					Die Angaben des Herstellers bzw. des Sicherheitsdatenblattes usw. müssen unbedingt beachtet werden.				
	(✓)	bedingt zutreffend									
	×	nicht zutreffend									
	☠	toxisch									
	☠☠	explosiv									
	☒	korrosiv									

Viele interessante Speichermöglichkeiten mit hohen Energiedichten auf der Basis von PCM's außer Wasser sind mit Nachteilen verbunden, die im Wesentlichen auf

- hohe Materialkosten,
- geringe Be- und Entladeleistungen wegen geringerer Wärmeleitfähigkeit der Speicherstoffe und notwendiger Trennung der Stoffe (Folgeaufwand für aufwändige Be- und Entladesysteme),
- schwieriges Handling (Dichtheit, Kompensation der Volumenänderung usw.)

zurückzuführen sind. Daraus resultieren folgende generelle Maßnahmen bei der Anwendung von PCM's bzw. der Speicherkonstruktion:

- Verkapselung: stofflicher Einschluss,
 - Mikroverkapselung,
 - Makroverkapselung,

⁶ Einsatz als Gefrierpunkt senkender Stoff bei Wasser

- Einsatz nichtmischbarer Fluide: direkte Be- und Entladung ohne Verkapselung,
- Einlagerung in poröse Strukturen: stoffliche Bindung,
- Gestaltung der Wärmeübertrager im Speicherraum: Verbesserung des inneren Wärmeübergangs,
 - „klassische“ Rippe-Rohr-Wärmeübertrager, z.B. nach Beckert,
 - fein strukturierte Wärmeübertrager, z.B. nach Freitag (Kapillarrohrmatten), nach Fukai (Kohlefaserbürsten),
 - Verwendung von Verkapselungsmaterialien und Einlagerungsstrukturen mit hoher Wärmeleitfähigkeit (z.B. poröse Metallschäume, nach Freitag, Graphit nach SGL Technologies),
 - Einsatz von Keimbildnern: Vermeidung der Unterkühlung.

4 Kältespeicher

Die folgende Aufzählung soll eine Systematik zu vorwiegend existierenden Kältespeichern bzw. typischen Konstruktionen oder aussichtsreichen Konzepten geben⁷. Der Speichereinsatz ist jedoch stark von den jeweiligen Randbedingungen abhängig (z.B. Klima, Versorgungssystem, Raum- und Bodenverhältnisse).

Tank-Speicher

- oft Kurzzeit-Speicherung
- Beladung
 - Kompressionskältemaschinen
 - Absorptionskältemaschinen
- Speicherstoff
 - Wasser
 - Soleinsatz zur Senkung des Gefrierpunktes von Wasser: Kapazitätsvergrößerung, Erhalt der thermischen Schichtungsfähigkeit unterhalb von 4 °C
- Konstruktionswerkstoffe der Speicherhülle
 - Stahl
 - glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)
 - Stahlbeton
- Erhöhung der effektiven Speicherkapazität
 - Soleinsatz (höhere Temperaturdifferenzen beim Speicherbetrieb)
 - **ohne** stoffliche Trennung zwischen kalter und warmer Zone: Verdrängungsspeicher, Vergrößerung der effektiven Speicherhöhe wegen der thermischen Schichtung
 - Gestaltung der Speicherform (schlanke Speicher)
 - Reihenschaltung von mehreren Speichern
 - Labyrinth-Einbau (Wände im Speicher)
 - **mit** stofflicher Trennung zwischen kalter und warmer Zone
 - Speicherumladensysteme
 - Einsatz von Membranen in Verdrängungsspeichern

Erdbecken-Speicher

- Speicherstoff
 - Wasser
 - Kurzzeit- bis Langzeit-Speicherung möglich
 - Deckenkonstruktionen

⁷ Kleine Kältespeicher, wie z.B. Transportkältespeicher für Spenderorgane, werden hier nicht weiter betrachtet.

- tragende Konstruktion (z.B. mit überspannenden Trägern)
- schwimmende Abdeckung
- Wandkonstruktionen
 - geböschtes Becken ohne tragende Konstruktionen
 - Beckenwände mit tragender Konstruktion
- ähnliche Maßnahmen zur Optimierung der Funktionsweise wie bei Wassertanks möglich
- Wasser-Schüttgut
 - Kurzzeit- bis Langzeit-Speicherung möglich
 - Schüttgut: Kies, Sand usw.
 - Deckenkonstruktionen: aufliegende Abdeckung
 - Wandkonstruktionen
 - geböschtes Becken ohne tragende Konstruktionen
 - Beckenwände mit tragender Konstruktion

Schnee-Speicher

- typische Langzeit-Speicherung
- Beladung
 - natürlicher Schnee (z.B. Winterräumdienst)
 - teilnatürlicher Schnee (z.B. Einsatz von Schneekanone)
- Konstruktion
 - Becken (vergleichbar mit Erdbecken-Speicher)
 - Abdeckung mit Holzschnitzeln oder ähnlichen Stoffen
 - geböschtes Becken mit oder ohne tragender Konstruktion
 - natürliche Gruben, Bergwerksstollen usw.

Speicher basierend auf geologischen Strukturen

- typische Langzeit-Speicherung
- Beladung
 - Nutzung des Winterklimas
 - geeignet für kombinierte Nutzung (Wärme- und Kältespeicher), Einsatz von Wärmepumpen mit reversibler Betriebsweise
- Speichertypen
 - Aquifer-Speicher
 - Erdsonden-Speicher
 - Kavernen-Speicher

Eisspeicher

- typische Kurzzeit-Speicherung
- Beladung: Kompressionskältemaschinen
- Speichertypen, -konzepte⁸
 - Ice-on-coil (vereiste Rohrschlange)
 - external melt, externe Schmelze, direkte Eisspeicher-Systeme
 - internal melt, interne Schmelze, indirekte Eisspeicher-Systeme

⁸ Bei den Eisspeichertechniken sind verschiedene Begriffe gebräuchlich. Die Einteilung im englischen und deutschen Sprachraum ist z.T. unterschiedlich und nicht systematisch. Die Begriffe in Klammern sind übersetzte Begriffe und nicht gebräuchlich.

- Sheet ice harvester (Schichteis-Erntemaschine), direkte Eisspeicher-Systeme, Silo-Eisspeichersysteme
- Encapsulated ice (gekapseltes Eis), Eiskugelsystem
- Ice Slurry (Eisbrei), Produktbezeichnungen: Cryosol[®], Binäreis[®], FLO-ICE[®], Maxim-ICE[®], VacuumICE[®]
- hybride Konzepte

Parafinspeicher

- Kurzzeit-Speicherung
- Konstruktionen
 - Stahlwanne mit Abdeckung und innen liegendem Wärmeübertrager (Rippe-Rohr), nach Beckert
 - makroverkapseltes Parafin in Tankspeichern

5 Quellen

- [1] Ahrens, W.: Latente Speicherung im Bereich der Kältetechnik. Fördergesellschaft Erneuerbare Energien e.V.: Energiespeicher, Glaubitz, 1998, Tagungsband, S. 14-37
- [2] Ahrens, W.: Latentkältespeicher. In: *ki Luft- und Kältetechnik* 9/1996, S. 398-402. - ISSN 0945-0459
- [3] Ahrens, W.; Eildermann, C.: Latentwärme-Speicherverfahren GALISOL*. *ki Klima-Kälte-Heizung* 11/1991, S. 472-476
- [4] Bakema, G.; Snijder, A. L.; Nordell, B.: *Underground Thermal Energy Storage, State of the art 1994*. IF Technology bv Arnhem (Netherlands), 1995. - ISBN 90-802769-1-x
- [5] Beckert, K.; Rosenfeld, K.: Kühlenergiespeicherung aus der Umgebungsluft mittels Phasenwechselmaterial (PCM) in Rippenrohrblöcken
- [6] Benner, M.; Hahne, E. (Editors): *Terrastock 2000, 8th International Conference on Thermal Energy Storage*. Stuttgart, 2000, Proceedings Vol. 1 and 2. - ISBN 3-9805274-1-7
- [7] Bitterlich, Walter: *Speicher für thermische Energie*. Düsseldorf: VDI-Verl., 1987. - ISBN 3-18-141006-3
- [8] Bühl, J.: *Langzeitwärmespeicherung mit einem neuartigen Speicherkonzept für solargestützte Nahwärmesysteme*. Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Thermo- und Fluidodynamik, 2000.
- [9] Cube, H. L. von (Hrsg.); u.a.: *Lehrbuch der Kältetechnik*. Karlsruhe: C. F. Mueller, 3. Aufl. Bd. 1,2 1981. - ISBN 3-7880-7136-2
- [10] Domański, R.; Jaworski, M.; Rebow, M. (Editors): „*Futurestock 2003*“ 9th International Conference on Thermal Energy Storage. Warschau (Polen), 2003, Proceedings. - ISBN 83-7207-435-6
- [11] Dress, H.; Zwicker, A.; Neumann: *Kühlanlagen*. Berlin: Verlag Technik, 1992. - ISBN 3-341-00935-3
- [12] Egolf, P. W.; u.a.: Stoffwerte von Flo-Ice. In: *ki Luft- und Kältetechnik*, 7/1996, S. 298-301. - ISSN 0945-0459
- [13] Egolf, P. W.; u.a.: Strömungsdynamik von Flo-Ice. In: *ki Luft- und Kältetechnik*, 9/1996, S. 389-392. - ISSN 0945-0459
- [14] Eichengrün, S.; Winter, E.: Zeolith/Wasser-Adsorptionskälteaggregate. *ki Luft- und Kältetechnik* 3/1994, S. 112-116. - ISSN 0945-0459
- [15] *Energiespeicher: Fortschritte und Betriebserfahrungen; Tagung Veitshöchheim, 5. und 6. November 2002 / VDI-Gesellschaft Energietechnik*. - ISBN 3-18-091734-2
- [16] Feuerhack, A.: *Analyse von Stoffen in Verbindung mit physikalischen Vorgängen und chemischen Reaktionen zur Kältespeicherung*. Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Professur Technische Thermodynamik: Urbaneck, T.; Schirmer, U.: Studienarbeit, 2005
- [17] Fieback, K.; Gutberlet, H.: Ein universelles Latentspeichermaterial - Paraffine in der Wärmetechnik. *Wärmetechnik* 7/1997
- [18] Fisch, N.; Bodmann, M.; Kühl, L.; Saße, C. Schnürer, H.: *BINE-Informationspaket Wärmespeicher*. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH (Hrsg.), 4., erw. u. völlig überarb. Aufl. Köln: TÜV-Verlag, Köln 2005. - ISBN 3-8249-0853-0
- [19] Fraunhofer Institut Umwelt-, Sicherheit- und Energietechnik UMSICHT: <http://www.umsicht.fraunhofer.de/>. 2005.
- [20] Freitag, T.: *Entwicklung eines Natriumacetat-Trihydrat-Latentwärmespeichers mit einem Wärmeübertrager aus Kunststoffmetallverbund-Kapillarrohr*. Chemnitz, Techn. Univ., Diss., 2005
- [21] Friedrich, U.: *Aquiferspeicher für das Reichtagsgebäude*. Projektinfo 13/03, BINE-Informationdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2003. - ISSN 0937-8367
- [22] Friedrich, U.: *Glasfaserverstärkte Kunststoffe für den Wärmespeicherbau*. Projektinfo 02/03, BINE-Informationdienst, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2003. - ISSN 0937-8367
- [23] Fukai, J.; Hamada, Y.; Morozumi, Y.; Miyatake, O.: Effect of carbon-fiber brushes on conductive heat transfer in phase change materials. In: *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45 (2002) S. 4781-4792.
- [24] Fukai, J.; Hamada, Y.; Morozumi, Y.; Miyatake, O.: Improvement of thermal characteristics of latent heat energy storage using carbon-fiber brushes: experiments and modeling. In: *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46 (2003) S. 4513-4525.
- [25] Ganter, E.: *Der Eisturm - maximale Kapazität auf kleinster Fläche*. *ki Luft- und Kältetechnik* 04/1995. - ISSN 0945-0459
- [26] Giebe, R.: *Ein Kies/Wasser-Wärmespeicher in Praxis und Theorie*. Fakultät Energietechnik, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart, Diss., 1989.
- [27] Glausch, R.: *Neue PCM-Materialien und Keimbildner*. In: *Tagungsunterlagen ZAE-Symposium 2004, Garching, März 2004*.

- [28] He, B.: High-Capacity Cool Thermal Energy Storage for Peak Saving. Diss. Department of Chemical Engineering and Technology, KTH Stockholm, 2004. - ISBN 91-7283-751-9
- [29] Hilligweg, A.; Hofmann, P.: Kennzahlgestützte Dimensionierung von Eisspeicheranlagen. In: *ki Luft- und Kältetechnik* 9/1999, S. 450-453. - ISSN 0945-0459
- [30] Hornberger, M.: Solar unterstützte Heizung und Kühlung von Gebäuden. Forschungsberichte des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins Nr. 47, Fakultät Energietechnik, Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik, Universität Stuttgart, Diss., 1989.
- [31] Jahns, E.: Mikroverkapselte PCM: Herstellung, Eigenschaften, Anwendungsgebiete. BASF AG Forschung Dispersionen, In: Tagungsunterlagen ZAE-Symposium 2004, Garching, März 2004.
- [32] Jungnickel, H.; Agsten, R.; Kraus, W. E.: Grundlagen der Kältetechnik. 3., stark bearb. Aufl. Berlin: Verl. Technik, 1990. - ISBN 3-341-00806-3
- [33] Knoblich, K.; Sanner, B. (Hrsg.): High Temperature Underground Thermal Energy Storage, State-of-the-art and Prospects. Sanner, B. (Editor), Giessener geologische Schriften Nr. 67. - ISSN 0340-0654
- [34] Knoblich, K.; Sanner, B. (Hrsg.): High Temperature Underground Thermal Energy Storage, State-of-the-art and Prospects. Sanner, B. (Editor): Giessener geologische Schriften Nr. 67, 1999. - ISSN 0340-0654
- [35] Kübler, Rainer: Wärmespeicher: ein Informationspaket. Rainer Kübler; Norbert Fisch. Hrsg.: Fachinformationszentrum Karlsruhe, Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH. - 3., erw. u. völlig überarb. Aufl. Köln: Verl. TÜV Rheinland, 1998. - ISBN 3-8249-0442-X
- [36] Lindner, F.: Latentwärmespeicher Teil I: Physikalisch-technische Grundlagen. *BWK* 36 (1984), S. 323-326.
- [37] Maier-Laxhuber, P.; Schmidt, R.; Becky, A.; Wörz, R.: Die Anwendung der Zeolith/Wasser-Technologie zur Bierkühlung. *ki Luft- und Kältetechnik* 8/2002. - ISSN 0945-0459
- [38] Mangold, D.; Benner, M.; Schmidt, T.: Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme, Profinfo I/01, BINE Informationsdienst. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), 2000. - ISSN 1436-2066
- [39] Mehling, H.: Latentwärmespeicher. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), 2002. - ISSN 1610-8302
- [40] Mehling, H.: Latentwärmespeicherung: „Neue Materialien und Materialkonzepte“. In: Milow, B.; Stadermann, G. (Hrsg.): Workshop Wärmespeicherung. Tagungsunterlagen Köln, 2001.
- [41] Nilius, A.: GFK-Langzeitwärmespeicherkonzept; Weiterentwicklung zum GFK-Speicher „Neuer Technologie“. Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Thermo- und Fluidodynamik, 2001.
- [42] Novem (Hrsg.): Optimization of Cool Thermal Storage and Distribution. Netherlands Agency for Energy and the Environment, Sittard (Netherlands), 2002. - ISBN 90 5748 025 5
- [43] Öttinger, O.: PCM/Graphitverbund-Produkte für Hochleistungswärmespeicher. SGL TECHNOLOGIES GmbH Meitingen, In: Tagungsunterlagen ZAE-Symposium 2004, Garching, März 2004.
- [44] Paksoy, H. Ö. (Ed.): Annex 14 Cooling in All Climates with Thermal Energy Storage, General State-of-The-Art Report, Subtask 1. Cukurova University Adana (Turkey), 2003
- [45] Paul, J.: Binäris - Anwendungserfahrungen in der Supermarktkälte. In: *ki Luft- und Kältetechnik*, 5/1997, S. 209-213. - ISSN 0945-0459
- [46] Paul, J.: Wasser als Kältemittel. In: *ki Luft- und Kältetechnik* 5/1994, S. 223-227. - ISSN 0945-0459
- [47] Paul, J.: Auslegung von Kälteanlagen mit Binäris (FLO-ICE) als Kühlmittel. In: *ki Luft- und Kältetechnik*, 2/1996, S. 63-68. - ISSN 0945-0459
- [48] Reineck, K.-H., Lichtenfels, A.: High performance concrete hot-water tanks for the seasonal storage of solar energy. In: Benner, M.; Hahne, E. (Editors): Terrastock 2000, 8th International Conference on Thermal Energy Storage. Stuttgart, 2000, Proceedings Vol. 1, S. 263-266. - ISBN 3-9805274-1-7
- [49] Reineck, K.-H., Lichtenfels, A.; Greiner, S.: Hochfester und ultrahochfester Beton für Heißwasser-Wärmespeicher. *BetonWerk International*, Heft 2, April 2004, S. 66-80.
- [50] Saisonale Wärmespeicher im Aquifer: Chancen und Risiken für die Umwelt; Symposium am 19.10.1993, Stuttgart / Forschungs- und Entwicklungsinstitut für Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft sowie Abfallwirtschaft e.V. Stuttgart, München: Oldenbourg, 1994. - ISBN 3-486-26119-3
- [51] Sanner, B.; u.a.: Saisonale Kältespeicherung im Erdreich. Abschlußbericht zum BMBF-Projekt 0329297A Giessener Geologische Schriften Nr. 59. Lenz-Verlag, Gießen, 1996
- [52] Satzger, P.; Eska, B.; Ziegler, F.: Matrix-Heat-Exchanger for a Latent-Heat Cold-Store. In: Megastock 7th International Conference on Thermal Energy Storage, Proc. Vol. 1, Sapporo (Japan), 1997
- [53] Schmid, W.: Hybrid-Eisspeicher für Prozeßkühlverfahren und Fernkälteanlagen. In: *ki Luft- und Kältetechnik*, 9/1998, S. 428-431
- [54] Schroffs, S.: Eisspeicher zur Gebäudeklimatisierung. Fachinformationszentrum Karlsruhe, 1995. - ISSN 093767
- [55] Schwarz, J.: Sorptionstechnik - Alternative zu den Alternativen. *Luft- und Kältetechnik* 3/1993. S.128-132.
- [56] Schwarz, J.: Transportkühlung von Lebensmitteln mit Wasser/Zeolith-Adsorptionssystemen. *ki Luft- und Kältetechnik* 11/1994, S. 536-540. - ISSN 0945-0459
- [57] Skogsberg, K.: Seasonal Snow Storage for Cooling Application. Lulea University of Technology (Sweden), Diss. 2001. - ISSN 1402-1757
- [58] Tamme, R.: Latentwärmespeicher, Teil II: Verfahrenstechnik und Speichermedien. *BWK* 36 (1984), S. 463-465.
- [59] Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik: einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik / hrsg. von Ernst-Rudolf Schramek München; Wien: Oldenbourg, 1972. - ISSN 0936-4080