

Andreas Hauer | Stefan Hiebler | Manfred Reuß

Wärmespeicher

5., vollständig überarbeitete Auflage



Fraunhofer IRB  Verlag

 **BINE**
Informationsdienst

BINE-Fachbuch

Andreas Hauer, Stefan Hiebler, Manfred Reuß

Wärmespeicher

BINE-Fachbuch

Wärmespeicher

5., vollständig überarbeitete Auflage

Andreas Hauer
Stefan Hiebler
Manfred Reuß

Herausgeber

 **FIZ Karlsruhe**
Leibniz-Institut für
Informationsinfrastruktur

Fraunhofer IRB  **Verlag**

 **BINE**
Informationsdienst

BINE Informationsdienst berichtet über Themen der Energieforschung: Neue Materialien, Systeme und Komponenten, innovative Konzepte und Methoden. BINE-Leser werden so über Erfahrungen und Lerneffekte beim Einsatz neuer Technologien in der Praxis informiert. Denn erstklassige Informationen sind die Grundlage für richtungsweisende Entscheidungen, sei es bei der Planung energetisch optimierter Gebäude, der Effizienzsteigerung industrieller Prozesse oder bei der Integration erneuerbarer Energien in bestehende Systeme.

BINE Informationsdienst ist ein Service von FIZ Karlsruhe und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Für weitere Fragen steht Ihnen zur Verfügung:

Dr. Franz Meyer (Redaktion)

BINE Informationsdienst, FIZ Karlsruhe, Büro Bonn

Kaiserstraße 185–197, 53113 Bonn

Tel. +49 2 28 923 79-0, E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de, www.bine.info

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-8366-4 | ISBN (E-Book): 978-3-8167-8751-8

Layout: Dietmar Zimmermann | Umschlaggestaltung: Martin Kjer | Herstellung: Tim Oliver Pohl

Satz: Mediendesign Späth GmbH, Birenbach | Druck: Gulde Druck GmbH & Co. KG, Tübingen

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Titelfoto: Mobiler Sorptionsspeicher

(Quelle: Andreas Krönauer, ZAE Bayern)

© FIZ Karlsruhe, 2013

Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 970-2500

Telefax +49 7 11 970-2508

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Hinweis zu den Abbildungen: Soweit nachfolgend keine anderen Quellen genannt werden, stammen die Abbildungen von den Autoren.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Einleitung / Motivation	11
1.1 Wozu braucht man Energiespeicher?	11
1.1.1 Angebot und Nachfrage	11
1.1.2 Zeitliche Abweichung von Bereitstellung und Bedarf	12
1.2 Wie kann Energie gespeichert werden?	13
1.2.1 Elektrische/elektro-chemische Energiespeicher	14
1.2.2 Mechanische Speicher	14
1.2.3 Chemische Energiespeicher	15
1.2.4 Thermischer Energiespeicher	15
1.2.5 Möglichkeiten durch Umwandlung der Energien	16
1.2.6 Vergleich der Energiespeichertechnologien	16
2 Charakteristische Größen eines thermischen Energiespeichers	19
2.1 Prolog: Was ist thermische Energie? (Physik der Wärme)	19
2.2 Sensibel – Latent – Thermochemisch	22
2.3 Speicherkapazität	24
2.4 Lade- und Entladeleistung	24
2.5 Nutzungsgrad	25
2.6 Speicherzyklen	25
3 Aufbau eines Speichers und Integration in ein Energiesystem	27
3.1 Vom Speichermaterial zum Speichersystem	27
3.1.1 Material	27
3.1.2 Komponente	28
3.1.3 System	28
3.1.4 Zusammenspiel der Ebenen	29
3.2 Kosten und wirtschaftliche Betrachtung	29
4 Speicherklassifikation	33
4.1 Was soll der Speicher in der Anwendung leisten?	33
4.1.1 Klassifikation nach Einsatzbereich	33
4.1.2 Klassifikation nach Temperaturniveau	34
4.1.3 Klassifikation nach Speicherkapazität, thermischer Leistung und Speicherdauer	35
4.2 Das physikalische Speicherprinzip	35
4.2.1 Spezifische Wärmekapazität	36
4.2.2 Schmelzwärme	36

4.2.3	Reaktionsenthalpie	38
4.3	Autarke – nicht-autarke thermische Speicher	40
4.3.1	Thermodynamische Betrachtung nicht-autarker Speicherprozesse	42
4.4	Empirische Regeln zur Abschätzung der Speicherkapazität	44
4.4.1	Sensible Wärmespeicherung	44
4.4.2	Latente Wärmespeicherung	47
4.5	Typische Speichermaterialien	48
4.5.1	Sensible Speichermaterialien	48
4.5.2	Latentwärmespeichermaterialien	50
4.5.3	Thermochemische Speichermaterialien	56
4.6	Speicherdesign: Technische Bauformen	58
4.7	Dämmmaterialien	65
4.7.1	Allgemeines	65
4.7.2	Konventionelle Speicherdämmung	67
4.7.3	Vakuumdämmung und Vakuumsuperisolation (VSI)	69
5	Thermische Energiespeicher in der Anwendung	71
5.1	Sensible Speichersysteme	71
5.1.1	Saisonale Speicherung solarer Wärme	71
5.1.2	Superisolierter Speicher	80
5.2	Latentwärmespeichersysteme	85
5.2.1	Passive Kühlung mit PCM	85
5.2.2	Latentwärmespeicher zur Rückkühlung einer Absorptionskältemaschine	90
5.2.3	PCM-Slurries	96
5.3	Thermochemische Speichersysteme	102
5.3.1	Mobiler Adsorptionsspeicher zur Nutzung industrieller Abwärme	102
5.3.2	Kälte speichern und Klimatisieren mit Salzlösungen	110
5.3.3	Adsorptionsspeicher in einem Geschirrspüler	119
6	Stand der Forschung und Entwicklung	125
7	Nachwort	133
7.1	Mit thermischen Energiespeichern ist es wie mit Handschuhen	133
7.2	Thermische Energiespeicher können die Welt retten	134
8	Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis	137
8.1	Zitierte Literatur	137
8.2	Abbildungsverzeichnis	141

9	Forschungsvorhaben der Bundesregierung	143
9.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben	143
9.2	Forschungsberichte	145
10	Weiterführende Literatur	147
10.1	BINE Informationsdienst	149
11	Autoren	151

Vorwort

Wärmespeicher begegnen uns überall in der Natur, ohne dass wir sie bewusst als solche wahrnehmen. Dabei können sie von existenzieller Bedeutung für uns sein. Die Speicherkapazität der Weltmeere verhindert zum Beispiel Extremtemperaturen und trägt damit zu einem lebensfreundlichen Klima auf der Erde bei.

Jeden Tag nutzen wir technische Wärme- und Kältespeicher. Die ständige Verfügbarkeit von warmem Wasser aus dem Wasserspeicher der Heizung ist für uns ebenso selbstverständlich, wie die Behaglichkeit, die aus der thermischen Trägheit der Gebäude in Kombination mit der Wärmedämmung resultiert. Auch wenn uns das Speicherprinzip unkompliziert erscheint, ist schon ein einfacher Solarspeicher heute ein exakt auf seine Aufgabe abgestimmtes, hochentwickeltes technisches System.

Wärmespeicher ermöglichen es, das Wärmeangebot im Zeitverlauf und in der Leistung dem Bedarf anzupassen. Erst durch Wärmespeicher lassen sich viele Energiequellen wie Sonnenenergie oder industrielle Abwärme effizient nutzen. Auch im Bereich der Versorgungssicherheit und beim Wärmetransport spielen sie eine wichtige Rolle. Mit dem Beschluss der Bundesregierung zum Umbau der Energieversorgung in Deutschland ergeben sich neue Aufgaben für Wärme- und Kältespeicher, so etwa zum Lastausgleich in elektrischen Netzen.

Die 5. Auflage des BINE Fachbuchs »Wärmespeicher« wurde mit neuen Schwerpunkten vollständig überarbeitet und trägt den Ergebnissen der aktuellen Forschung Rechnung. Es führt in die physikalischen Grundlagen ein, erläutert die charakteristischen Kenngrößen thermischer Speicher und stellt die Bandbreite verfügbarer Wärmespeicher vor. Diese reicht von kleinen Kurzzeitspeichern in Geschirrspülern bis hin zu saisonalen Wärmespeichern, die Siedlungen ganzjährig mit Wärme versorgen. Kältespeicher für die Klimatisierung werden ebenso vorgestellt wie Hochtemperaturspeichern für die Industrie. Im Fokus stehen insbesondere neue Technologien, wie zum Beispiel verschiedene Phasenwechselmaterialien oder Sorptionsspeicher.

FIZ Karlsruhe
BINE Informationsdienst

