

Andreas Hauer | Stefan Hiebler | Manfred Reuß

# Wärmespeicher

5., vollständig überarbeitete Auflage



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 richtungweisende 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 92379-0, E-Mail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de), [www.bine.info](http://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](http://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 9 70-25 00

Telefax +49 7 11 9 70-25 08

[irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

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

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	9
<b>1 Einleitung / Motivation</b> .....	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
<b>2 Charakteristische Größen eines thermischen Energiespeichers</b> .....	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
<b>3 Aufbau eines Speichers und Integration in ein Energiesystem</b> .....	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
<b>4 Speicherklassifikation</b> .....	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
<b>5</b>	<b>Thermische Energiespeicher in der Anwendung</b> . . . . .	<b>71</b>
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
<b>6</b>	<b>Stand der Forschung und Entwicklung</b> . . . . .	<b>125</b>
<b>7</b>	<b>Nachwort</b> . . . . .	<b>133</b>
7.1	Mit thermischen Energiespeichern ist es wie mit Handschuhen . . . . .	133
7.2	Thermische Energiespeicher können die Welt retten . . . . .	134
<b>8</b>	<b>Zitierte Literatur und Abbildungsverzeichnis</b> . . . . .	<b>137</b>
8.1	Zitierte Literatur . . . . .	137
8.2	Abbildungsverzeichnis . . . . .	141

---

<b>9</b>	<b>Forschungsvorhaben der Bundesregierung</b> .....	143
9.1	Laufende und kürzlich abgeschlossene Forschungsvorhaben .....	143
9.2	Forschungsberichte .....	145
<b>10</b>	<b>Weiterführende Literatur</b> .....	147
10.1	BINE Informationsdienst .....	149
<b>11</b>	<b>Autoren</b> .....	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

