

DIN 2384

ICS 01.040.27; 27.010

Einsprüche bis 2019-12-30

Entwurf**Thermische Energiespeicher –
Terminologie, Anforderungen, Kenngrößen, Prüfgrundlagen**

Thermal energy storage –
Terminology, requirements, parameters, test principles

Stockage d'énergie thermique –
Terminologie, exigences, paramètres, bases d'essai

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-08-30 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nard@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 44 Seiten

DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD)

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
3.1 Physikalische Grundbegriffe	5
3.2 Allgemeine Begriffe	6
3.3 Einteilung von thermischen Speichern	7
3.3.1 Einteilung nach der Speichertechnologie	7
3.3.2 Einteilung nach der Einsatzcharakteristik	8
3.4 Beladen und Entladen thermischer Speicher	9
3.5 Speicherverluste	11
3.6 Energiedichte	11
3.7 Speichereffizienz	12
4 Sensible Speicher	12
4.1 Beschreibung	12
4.1.1 Physikalisches Speicherprinzip	12
4.1.2 Typische Speichermedien	13
4.1.3 Be- und Entladeszenarien	15
4.2 Anforderungen	16
4.2.1 Temperaturbereiche	16
4.2.2 Wärmehalt des Speichers	17
4.2.3 Speicherleistung	18
4.2.4 Speicherverluste	19
5 Latente Speicher	23
5.1 Beschreibung	23
5.1.1 Physikalisches Speicherprinzip	23
5.1.2 Typische Speichermedien	24
5.1.3 Be- und Entladeszenarien	25
5.2 Anforderungen	25
5.2.1 Temperaturbereiche	25
5.2.2 Wärmehalt des Speichers	26
5.2.3 Speicherleistung	27
5.2.4 Speicherverluste	28
6 Sorptive und Thermochemische Speicher	29
6.1 Beschreibung	29
6.1.1 Speicherprinzip	29
6.1.2 Typische Speichermedien	30
6.1.3 Be- und Entladeszenarien	30
6.2 Anforderungen	31
6.2.1 Temperaturbereiche	31
6.2.2 Wärmehalt des Speichers	31
6.2.3 Speicherleistung	31
6.2.4 Speicherverluste	32
7 Sicherheitstechnische Aspekte	32
7.1 Sensibler Speicher	32
7.2 Latente Speicher	35
7.3 Sorptive und thermochemische Speicher	37
8 Grundlagen zur Bestimmung der Kenngrößen	37
8.1 Allgemeines	37
8.2 Versuchsaufbau zur Bestimmung ausgewählter Kenngrößen thermischer Energiespeicher	38

8.3	Berechnung der Kenngrößen thermischer Energiespeicher	39
9	Umwelt- und Hygieneaspekte	42
	Literaturhinweise	44

Bilder

Bild 1	— Typische Speichertechnologien und -materialien	7
Bild 2	— Grafische Veranschaulichung eines stationären thermischen Speichers	8
Bild 3	— Grafische Veranschaulichung eines quasistationären thermischen Speichers	8
Bild 4	— Grafische Veranschaulichung eines mobilen thermischen Speichers	9
Bild 5	— Grafische Veranschaulichung des direkten und indirekten Beladens eines sensiblen thermischen Speichers mit flüssigem Speichermedium	16
Bild 6	— Grafische Veranschaulichung des Beladens (links) und Entladens (rechts) eines PCM-LV-Speichers	25
Bild 7	— Versuchsaufbau zur Messung typischer Kenngrößen eines thermischen Speichers sowie typischer Temperaturverlauf beim Beladen eines sensiblen thermischen Speichers . . .	38

Tabellen

Tabelle 1	— Eigenschaften typischer sensibler Speichermedien	14
Tabelle 2	— Eigenschaften typischer Stoffgruppen von PCM-SL	24
Tabelle 3	— Typische Stoffgruppen für sorptive Speicher zu Vergleichszwecken	30
Tabelle 4	— Typische Stoffgruppen für thermochemische Speicher zu Vergleichszwecken	30
Tabelle 5	— Gefahren und Schutzmaßnahmen für sensible thermische Speicher mit flüssigen Speichermedien	33
Tabelle 6	— Gefahren und Schutzmaßnahmen für latente thermische Speicher	35
Tabelle 7	— Typische Messwerttabelle	39

Vorwort

Dieses Dokument wurde vom DIN-Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD), Arbeitsausschuss NA 082-00-20 AA „Thermische Energiespeicher für gewerbliche bzw. industrielle Anwendungen“ erarbeitet.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Begriffe, Kenngrößen und Anforderungen für thermische Energiespeicher in Form von sensiblen, latenten und sorptiven Speichersystemen fest.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term/>

— DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1 Physikalische Grundbegriffe

3.1.1

Innere Energie

Summe der kinetischen Energien der Teilchen eines Stoffes bzw. eines Stoffgemisches

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Definition eines Absolutwertes bedarf es eines energetischen Bezugszustandes.

3.1.2

Bindungsenergie

Anziehungskräfte zwischen den Bestandteilen eines gebundenen Systems in Form von Sorptions- oder Reaktionsenthalpie

3.1.3

Bezugszustand

Parameterset thermischer und energetischer Zustandsgrößen

3.1.4

Wärme

nicht an einen Stoffstrom gebundener thermischer Energietransport aufgrund von Temperaturdifferenzen

3.1.5

Thermische Leistung

je Zeiteinheit über die Systemgrenze eines thermischen Speichers transportierte Wärme oder innere Energie

3.1.6

Exergie

Anteil der Energie, der in mechanische Arbeit umwandelbar ist („Arbeitsvermögen“)

3.1.7

Phasenwechsel

Wechsel des Aggregatzustandes (fest, flüssig, gasförmig) des Materials

3.1.8

Endotherme Zustandsänderung

Zustandsänderung unter Wärmezufuhr

3.1.9

Exotherme Zustandsänderung

Zustandsänderung unter Wärmefreisetzung

3.1.10

Absorption

Einlagern einer gasförmigen Komponente (Absorbat) in eine flüssige Komponente (Absorbent)

3.1.11

Adsorption

Anlagern einer gasförmigen Komponente (Adsorbat) an die Oberfläche einer festen Komponente (Adsorbent)

3.1.12

Desorption

Trennen von Absorbat und Absorbent bzw. Adsorbat und Adsorbent als Umkehrprozess der Absorption bzw. Adsorption

3.2 Allgemeine Begriffe

3.2.1

Speicher

System zur Bevorratung, Lagerung und Aufbewahrung von Materie, Energie oder Informationen

3.2.2

Bereitschaft

Bevorratung von Energie in einem Zeitraum zwischen Belade- und Entladevorgängen eines Speichers

3.2.3

Speicherzyklus (Speicherprozess)

Prozess, der die Teilprozesse Einspeichern (Laden), Bereitschaft und Ausspeichern (Entladen) umfasst

3.2.4

Speichersystem

Speicher inklusive aller zum Beladen, für die Bereitschaft und zum Entladen notwendigen Teilsysteme, die in ihrer Funktion direkt oder anteilig dem Speicher zuzuordnen sind

3.2.5

Energiespeicher

System zur Bevorratung, Lagerung und Aufbewahrung von mechanischer, elektrischer, thermischer oder stofflich gebundener Energie, dessen Hauptfunktion die Energiespeicherung ist.

3.2.6

Thermischer Energiespeicher

System zur Speicherung von thermischer Energie in Form von innerer Energie eines Stoffes bzw. Stoffgemisches oder in Form von physikalischer bzw. chemischer Bindungsenergie

3.2.7

Speichermedium

Stoff bzw. Stoffgemisch, dessen Hauptfunktion die Speicherung von Wärme in Form von innerer bzw. Bindungsenergie ist

3.2.8

Wärmeträger

Stoff bzw. Stoffgemisch, dessen Hauptfunktion der Transport von Wärme in Form von innerer Energie ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Chemische Energieträger sind ausgeschlossen (Wärmefreisetzung durch Verbrennung)

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Stoffgemisch schließt die Mischung unterschiedlicher Stoffe und die Mischung unterschiedlicher Aggregatzustände ein. Reine Stoffe können auch Gemische zweier Aggregatzustände sein.

Anmerkung 3 zum Begriff: Bei direkt beladenen Absorptions-Wärmespeichern kann der Wärmeträger auch Wärme in Form von Bindungsenergie transportieren.

3.3 Einteilung von thermischen Speichern

3.3.1 Einteilung nach der Speichertechnologie

Die Abbildung zeigt eine Auswahl typischer Speichertechnologien und -materialien.

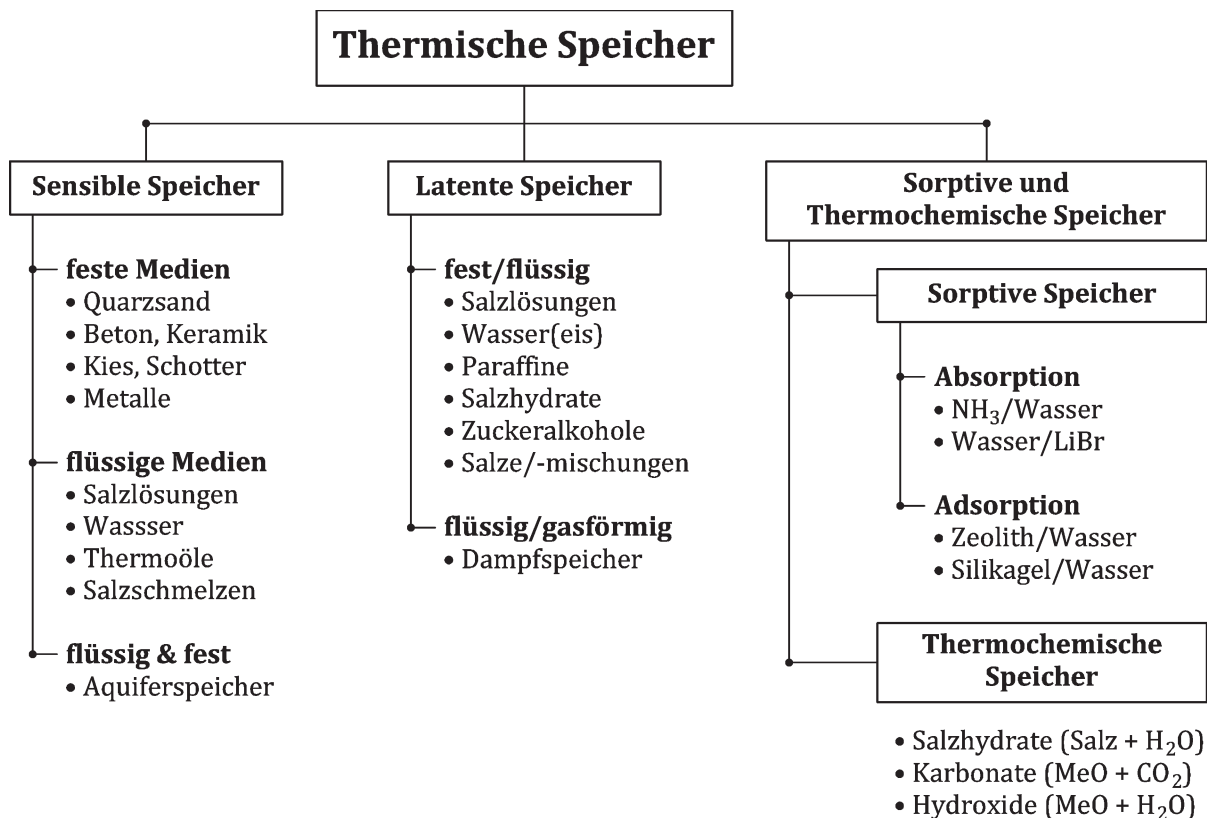


Bild 1 — Typische Speichertechnologien und -materialien

3.3.1.1

Sensibler Speicher

System, in dem Wärme in Form von innerer Energie eines Stoffes bzw. Stoffgemisches gespeichert wird und dabei eine Temperaturänderung auftritt (sensible Wärme)

3.3.1.2

Latenter Speicher

System, in dem Wärme in Form von innerer Energie eines Stoffes bzw. Stoffgemisches gespeichert wird und ein Phasenwechsel auftritt

3.3.1.3

Sorptiver Speicher

System, in dem Wärme in Form von Bindungsenergie zweier Stoffe gespeichert wird, ohne dass eine chemische Reaktion stattfindet

3.3.1.4

Thermochemischer Speicher

System, in dem Wärme in Form von Bindungsenergie zweier Stoffe gespeichert wird, wobei eine chemische Reaktion stattfindet

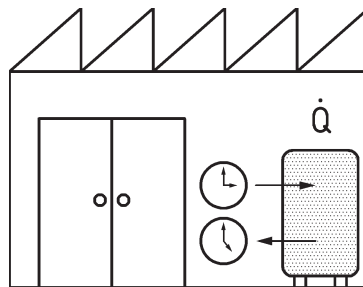
3.3.2 Einteilung nach der Einsatzcharakteristik

Die Bilder 2 bis 4 veranschaulichen die nachfolgend definierte Einteilung thermischer Energiespeicher nach deren Einsatzcharakteristik.

3.3.2.1

Stationärer Speicher

Speicher, bei dem Beladen, Bereitschaft und Entladen in einem ortsfesten System erfolgen



Legende

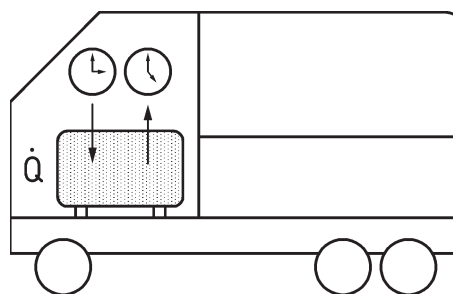
$\dot{Q}$ Speicherleistung

Bild 2 — Grafische Veranschaulichung eines stationären thermischen Speichers

3.3.2.2

Quasistationärer Speicher

Speicher, bei dem Beladen, Bereitschaft und Entladen in einem übergeordneten, ortsveränderlichen System erfolgen



Legende

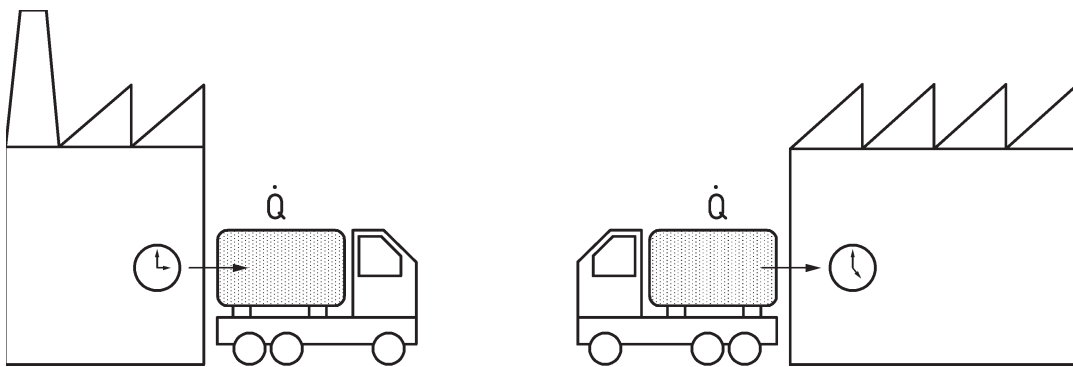
$\dot{Q}$ Speicherleistung

Bild 3 — Grafische Veranschaulichung eines quasistationären thermischen Speichers

3.3.2.3

Mobiler Speicher

Speicher, bei dem Beladen und Entladen in räumlich getrennten aber ortsfesten Systemen (Standorten) erfolgen



Legende

$\dot{Q}$ Speicherleistung

Bild 4 — Grafische Veranschaulichung eines mobilen thermischen Speichers

3.3.2.4

Pufferspeicher

thermischer Energiespeicher zum Ausgleich einer unterschiedlichen Be- und Entladeleistung

3.3.2.5

Kombispeicher

thermischer Energiespeicher in Kombination mit einer weiteren Funktion (z. B. Trinkwasserspeicher)

3.3.2.6

Hybridspeicher

thermischer Energiespeicher basierend auf der Kombination unterschiedlicher thermischer Speichertechnologien (sensibel mit flüssigem Speichermedium und latent [PCM-SL]) oder unterschiedlicher Speichermedien einer Speichertechnologie (sensibel mit flüssigem und festem Speichermedium)

3.3.2.7

Schichtenspeicher

sensibler thermischer Energiespeicher mit flüssigem Speichermedium, in dem sich durch temperaturbedingte Dichteunterschiede eine Temperaturschichtung einstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ziel eines Schichtenspeichers ist die Zufuhr bzw. Entnahme von thermischer Energie mit unterschiedlichen Temperaturniveaus.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Schichtenspeichern wird der Wärmeträger mit Hilfe einer Beladebaugruppe bei Erhalt der thermischen Schichtung in die jeweils passende Temperaturschicht des Speichers eingespeist. Im Gegensatz dazu erfolgt beim Schichtladespeicher beim Beladen die Zufuhr des Speichermediums mit der jeweiligen Vorlauftemperatur im oberen Bereich. Damit erfolgt eine vertikale Verschiebung der Temperaturschichtung. Das Entladen kann systemabhängig durch Entnahme des Speichermediums aus unterschiedlichen Temperaturschichten erfolgen.

3.4 Beladen und Entladen thermischer Speicher

3.4.1

Beladen (Einspeichern)

Prozess, bei dem einem Wärmespeicher Energie zugeführt oder aus einem Kältespeicher Energie abgeführt wird

3.4.2

Entladen (Ausspeichern)

Prozess, bei dem aus einem Wärmespeicher Energie abgeführt oder einem Kältespeicher Energie zugeführt wird

3.4.3

Kombiniertes Be- und Entladen

Prozess, bei dem das Be- und Entladen eines thermischen Speichers zeitgleich stattfindet

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei gleicher Be- und Entladeleistung erreicht der Speicher den Grenzfall des stationären Betriebes.

3.4.4

Direktes Be- bzw. Entladen

Energiezufuhr bzw. Energieentnahme durch Zufuhr oder Entnahme des Speichermediums

Anmerkung 1 zum Begriff: Alternativ zu obiger Definition kann unter einem direkt beladenen Wärmespeicher ein Speicher verstanden werden, der über eine interne Wärmequelle verfügt, die Wärme aus einer anderen Energieform erzeugt (z. B. Gasbrenner, elektrischer Widerstandsheizter).

3.4.5

Indirektes Be- bzw. Entladen

Energiezufuhr bzw. Energieentnahme durch Zufuhr oder Entnahme von Wärme

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Wärmezufuhr kann über einen Wärmeübertrager bzw. elektrischen Widerstandsheizter erfolgen, die Wärmeabfuhr nur über einen Wärmeübertrager.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Schüttung einzelner Wärmespeicherkapseln wird als Wärmeübertrager betrachtet (Reaktorgeometrie).

Anmerkung 3 zum Begriff: In besonderen Fällen kann direktes und indirektes Beladen zeitgleich stattfinden (z. B. bei Hybridspeichern).

3.4.6

Be- und Entladezustand für sensible und latente Speicher

Zustand, in dem das Speichermedium eine durch die speziellen Einsatzbedingungen definierte maximale Temperatur (Beladezustand) oder eine minimale Temperatur (Entladezustand) erreicht hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Obige Definition beschreibt die vollständige Be- und Entladung. In der Praxis treten auch Teilbelade- und Teilentladezustände auf.

3.4.7

Be- und Entladezustand für sorptive Speicher

Zustand, in dem die Stoffe in einem System getrennt (Beladezustand) oder verbunden (Entladezustand) sind

3.4.8

Be- bzw. Entladeleistung

Energiemenge, die während des Beladens bzw. Entladens pro Zeiteinheit übertragen wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Beim indirekten Be- bzw. Entladen hängt die Be- bzw. Entladeleistung vom Quotienten aus dem Betrag der Temperaturdifferenz zwischen Speichermedium und Wärmeträger und dem Wärmedurchgangswiderstand ab.

Anmerkung 2 zum Begriff: Beim direkten Be- bzw. Entladen hängt die Be- bzw. Entladeleistung vom Massestrom und der inneren Energie des zugeführten bzw. entnommenen Speichermediums ab.

3.4.9

Momentanleistung

Be- bzw. Entladeleistung, die zu einem bestimmten Zeitpunkt auftritt

3.4.10

Maximalleistung

Maximalwert der Momentanleistung zwischen Beginn und Ende des Be- bzw. Entladevorganges

3.4.11

Mittlere Leistung

Energiemenge die während des Be- bzw. Entladens übertragen wird bezogen auf die Be- bzw. Entladezeit

3.4.12

Gravimetrische bzw. spezifische Leistungsdichte

Be- bzw. Entladeleistung bezogen auf die Masse des Speichersystems

3.4.13

Volumetrische Leistungsdichte

Be- bzw. Entladeleistung bezogen auf das Volumen aller Einzelkomponenten des Speichersystems

3.4.14

Be- bzw. Entladezeit

Zeit für das Be- bzw. Entladen eines Speichers zwischen Be- und Entladezustand

3.4.15

Grädigkeit

minimal auftretende Temperaturdifferenz in einem Wärmeübertrager während des indirekten Be- bzw. Entladens eines Speichers

3.5 Speicherverluste

3.5.1

Bereitschaftsverluste

Energie, die während der Bereitschaft über die Bilanzgrenze eines Speichersystems transportiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei Warmwasserspeichern, die als sog. Schichtenspeicher betrieben werden, können zusätzlich Verluste durch interne Temperatúrausgleichsvorgänge auftreten.

3.5.2

Be- und Entladeverluste

Energie, die während des Be- und Entladens über die Bilanzgrenze eines Speichersystems transportiert wird und nicht mehr zur Nutzung zur Verfügung steht

3.6.

Wärmeinhalt des Speichers

speicherbare Wärmemenge zwischen Be- und Entladezustand

3.6 Energiedichte

3.7.1

Gravimetrische bzw. spezifische Energiedichte

Wärmeinhalt des Speichers bezogen auf die Masse des Speichersystems

3.7.2

Volumetrische Energiedichte

Wärmeinhalt des Speichers bezogen auf das Volumen aller Einzelkomponenten des Speichersystems

3.8

Speicherkapazität

Wärmeinhalt des Speichers bezogen auf ein Kelvin Temperaturdifferenz

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Speicherkapazität kann nur bei sensiblen Wärmespeichern definiert werden, da bei latenten und sorptiven Speichern Wärme auch ohne Temperaturänderung aufgenommen bzw. abgegeben werden kann.

3.7 Speichereffizienz

3.9.1

Energetischer Wirkungsgrad

Quotient aus der beim Entladen abgeführten Wärmemenge bezogen auf die beim Beladen zugeführte Energiemenge inklusive der benötigten Hilfsenergie

3.9.2

Exergetischer Wirkungsgrad

Quotient aus der beim Entladen abgeführten Exergie bezogen auf die beim Beladen zugeführte Exergie inklusive der Exergie der Hilfssysteme

BEISPIEL zu 3.9.1 und 3.9.2: Ein Warmwasserspeicher wird mit 10 kWh Heizwärme bei einer mittleren Temperatur von 90 °C beladen. Während des Stillstandes gehen 2 kWh Wärme an die Umgebung verloren. Beim Entladen bis zum Ausgangszustand wird Nutzwärme mit einer mittleren Temperatur von 70 °C entnommen. Der gesamte Speichervorgang benötigt 100 Wh Hilfsenergie (Strom), die Umgebungstemperatur beträgt 20 °C.

Energetischer Wirkungsgrad des Speichervorgangs:

$$\eta_{\text{energetisch}} = \frac{\text{Nutzwärme}}{\text{Heizwärme} + \text{Hilfsenergie}} = \frac{(10 - 2) \text{ kWh}}{10 \text{ kWh} + 0,1 \text{ kWh}} = 79,2 \%$$

Exergetischer Wirkungsgrad des Speichervorgangs:

$$\eta_{\text{exergetisch}} = \frac{\text{Exergie der Nutzwärme}}{\text{Exergie der Heizwärme} + \text{Hilfsexergie}} = \frac{1,166 \text{ kWh}}{1,927 \text{ kWh} + 0,1 \text{ kWh}} = 57,5 \%$$

mit (Temperaturen in Kelvin)

$$\text{Exergie der Wärme} = \text{Wärme} \left(1 - \frac{\text{Umgebungstemperatur}}{\text{Temperatur der Wärme}}\right)$$

3.9.3

Jahresnutzungsgrad

während eines Jahres genutzte Wärmemenge bezogen auf die in diesem Zeitraum maximal nutzbare Wärmemenge

3.10

Zyklusstabilität/Zyklusfestigkeit

Anzahl von Speicherzyklen für die die zugesicherten Speichereigenschaften gewährleistet werden

4 Sensible Speicher

4.1 Beschreibung

4.1.1 Physikalisches Speicherprinzip

Sensible thermische Speicher speichern Wärme in Form von innerer Energie ohne dass dabei ein Phasenwechsel auftritt. Dabei wird die Wärmekapazität eines flüssigen oder festen Speichermediums in Kombination mit einer Temperaturdifferenz genutzt.

Die speicherbare thermische Energiemenge wird allgemein berechnet aus:

$$Q = \frac{1}{3600} \rho_{Sp} V_{Sp} c_{p,Sp} \Delta T_{Sp} \quad (1)$$

Dabei ist

- $Q \dots$ speicherbare thermische Energiemenge [in kWh];
- $\rho_{Sp} \dots$ Dichte des Speichermediums [in kg/m³];
- $V_{Sp} \dots$ Volumen des Speichermediums [in m³];
- $c_{p,Sp} \dots$ spezifische Wärmekapazität des Speichermediums [in kJ/(kg K)];
- $\Delta T_{Sp} \dots$ Temperaturdifferenz des Speichermediums [in K].

Die energetische Mitteltemperatur eines sensiblen thermischen Speichers wird berechnet aus einer energetischen (kalorischen) Mittelwertbildung über alle Volumenelemente des Speichers.

$$T_m = \frac{\sum (\rho V c_p T)_i}{\sum (\rho V c_p)_i} \quad (2)$$

Dabei ist

- $T_m \dots$ energetische Mitteltemperatur [in K];
- $i \dots$ Zähler über alle n Volumenelemente des Speichers ($i = 1 \dots n$);
- $\rho_i \dots$ Dichte des Volumenelementes i [in kg/m³];
- $V_i \dots$ Volumen des Volumenelementes i [in m³];
- $c_{p,i} \dots$ spezifische Wärmekapazität des Volumenelementes i [in kJ/(kg K)];
- $T_i \dots$ Temperaturdifferenz des Volumenelementes i [in K].

Die Einteilung des Speichers in Volumenelemente (Speichermedium und Behälterstruktur) obliegt dem Anwender, je feiner die Diskretisierung desto genauer das erzielte Ergebnis.

Die Sonderbauform eines thermischen Pufferspeichers dient der Entkopplung unterschiedlicher Be- und Entladeleistungen in erster Linie durch Bevorraten von thermischer Energie. Ist der Pufferspeicher ohne innenliegende Wärmeübertrager ausgestattet, d. h. das Wärmeträgermedium kann durch alle Ein- und Auslässe strömen, kann der Pufferspeicher auch die Funktion einer hydraulischen Weiche übernehmen.

4.1.2 Typische Speichermedien

Typische flüssige Speichermedien sind: Wasser, Wasser-Frostschutzmittel-Gemische und Thermoöle. Für ausgewählte Anwendungen werden auch Salz- bzw. Metallschmelzen eingesetzt. Typische feste Speichermedien sind: Wassereis, Metalle, Beton, Gestein, Untergrund, Keramik.

Tabelle 1 vermittelt zu Vergleichszwecken einen Überblick bezüglich der Stoffeigenschaften beispielhafter typischer sensibler Speichermedien.

Tabelle 1 — Eigenschaften typischer sensibler Speichermedien

Stoffgruppen	ρ^a in kg/m ³	c_p^b in kJ/(kg K)	λ^c in W/(m K)		$\rho \, c_p^d$ in kWh/(m ³ K)
			Bereich	Rechenwert	
Lockergesteine					
Kies/Steine, trocken	1 800 - 2 200		0,3 - 0,9	0,4	0,36 - 0,44
Kies/Steine, wassergesättigt	1 900 - 2 300		2,0 - 3,0	2,4	0,61 - 0,78
Sand, trocken	1 800 - 2 200		0,4 - 0,9	0,4	0,36 - 0,44
Sand, wassergesättigt	1 900 - 2 300		1,6 - 2,5	1,8	0,61 - 0,72
Sedimentäre Festgesteine					
Sandstein	2 200 - 2 700		1,9 - 4,6	2,8	0,50 - 0,72
Kalkstein	2 400 - 2 700		2,0 - 3,9	2,7	0,58 - 0,67
Dolomitstein	2 400 - 2 700		3,0 - 5,0	3,5	0,58 - 0,67
Magmatische Festgesteine					
Basalt	2 600 - 3 200		1,3 - 2,3	1,7	0,64 - 0,72
Granit	2 400 - 3 000		2,1 - 4,1	3,2	0,58 - 0,83
Metamorphe Festgesteine					
Marmor	2 500 - 2 800		2,1 - 3,1	2,5	0,56
Quarzit	2 500 - 2 700		5,0 - 6,0	5,5	0,58
Gneis	2 400 - 2 700		1,9 - 4,0	2,9	0,50
Keramik					
Tonerdeporzellan	2 300		1,2 - 2,5		0,47 - 0,58
Cordierit dicht	2 100		1,2 - 2,5		0,47 - 0,69
Mullit	2 800		6,0 - 15,0		0,67 - 0,81
Thermoöle					
BP Transcal N (100/300 °C)	820/690		0,13/0,11		0,51/0,82
Shell Thermia B (100/300 °C)	810/670		0,13/0,11		0,49/0,55
Mobiltherm (100/300 °C)	820/710		0,13/0,12		0,55/0,59
Metalle					
Aluminium	2 700	0,90	209		0,67