

DIN EN 12977-3



ICS 27.160; 91.140.10; 91.140.65

Einsprüche bis 2016-09-22
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12977-3:2012-06

Entwurf

**Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile –
Kundenspezifisch gefertigte Anlagen –
Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen;
Deutsche und Englische Fassung FprEN 12977-3:2016**

Thermal solar systems and components –

Custom built systems –

Part 3: Performance test methods for solar water heater stores;

German and English version FprEN 12977-3:2016

Installations solaires thermiques et leurs composants –

Installations assemblées à façon –

Partie 3: Caractérisation des performances des dispositifs de stockage pour des installations de chauffage solaires;

Version allemande et anglaise FprEN 12977-3:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-07-22 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 des 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 nhrs@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 Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs), 10772 Berlin, Burggrafenstr. 6, 10787 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 104 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 12977-3:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat von EL0T (Griechenland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 041-01-56 AA „Solaranlagen (SpA CEN/TC 312 und ISO/TC 180)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS) verantwortlich.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der FprEN 12977-3 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12977-3:2012-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm wurde an das Mandat M/534 angepasst und Anhänge ZA, ZB und ZC erstellt;
- b) Streichung der Anmerkung zu Begriff 3.17;
- c) Streichung von Begriff 3.31;
- d) Anpassung der Tabellen zu Volumenströmen und Speicher-Eintrittstemperaturen unter 6.3.2.4;
- e) Erstellung von Abschnitt 9 zu Ermittlung von Speicherparametern durch „Up- und Downscaling“ und Streichung des entsprechenden Anhangs;
- f) redaktionelle Überarbeitung der Norm.

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen

Installations solaires thermiques et leurs composants — Installations assemblées à façon — Partie 3 : Caractérisation des performances des dispositifs de stockage pour des installations de chauffage solaires

Thermal solar systems and components — Custom built systems — Part 3: Performance test methods for solar water heater stores

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: Einstufiges Annahmeverfahren
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.8f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole und Abkürzungen	10
5 Einteilung der Speicher	11
6 Prüfung von Speichern im Labor	12
6.1 Anforderungen an den Prüfstand	12
6.1.1 Allgemeines	12
6.1.2 Messgrößen und Messverfahren	15
6.2 Installation des Speichers	16
6.2.1 Montage	16
6.2.2 Verbindung	17
6.3 Prüf- und Bewertungsverfahren	17
6.3.1 Allgemeines	17
6.3.2 Prüfabläufe	19
6.3.3 Aufbereitung der Prüfungsdaten	29
7 Speicherprüfung in Kombination mit einer Anlagenprüfung nach ISO 9459-5	31
8 Speicherprüfung nach EN 12897	31
9 Ermittlung von Speicherparametern durch „Up- und Downscaling“	31
9.1 Allgemeines	31
9.2 Anforderungen	32
9.3 Ermittlung der Speicherparameter	32
9.3.1 Wärmekapazität des Speichers	32
9.3.2 Höhe des Speichers	32
9.3.3 Ermittlung der Wärmeverlustrate	32
9.3.4 Relative Höhen der Anschlüsse und Temperaturfühler	33
9.3.5 Wärmeübertrager	33
9.3.6 Kennwert, der den Abbau der thermischen Schichtung während des Stand-by beschreibt	33
9.3.7 Parameter, der die Beschaffenheit der Temperaturschichtung während der direkten Entladung beschreibt	33
10 Prüfbericht	33
10.1 Allgemeines	33
10.2 Beschreibung des Speichers	33
10.3 Prüfergebnisse	35
10.4 Kennwerte für die Simulation	36
Anhang A (normativ) Benchmarktests für das Speichermodell	37
A.1 Allgemeines	37
A.2 Temperatur des Speichers im Stand-by	37
A.3 Wärmeübertragung vom Wärmeübertrager zum Speicher	37
Anhang B (normativ) Verifizierung der Ergebnisse der Speicherprüfung	39

B.1	Allgemeines	39
B.2	Prüfabläufe zur Verifizierung der Prüfergebnisse.....	39
B.2.1	Allgemeines	39
B.2.2	Verifizierungsabläufe aus Messungen am Speicherprüfstand	39
B.2.3	Während einer Gesamtanlagenprüfung nach ISO 9459-5 durchgeführte Prüfabläufe	46
B.3	Verifizierungsverfahren	46
B.3.1	Allgemeines	46
B.3.2	Fehler der übertragenen Energiemengen.....	46
B.3.3	Fehler der übertragenen Leistung	47
Anhang C (normativ) Benchmarktest für die Parameteridentifikation.....		48
Anhang D (informativ) Anforderungen an das numerische Speichermodell.....		49
D.1	Allgemeines	49
D.2	Annahmen	49
D.3	Berechnung der Energiebilanz.....	49
Anhang E (informativ) Ermittlung des Warmwasserkomforts		51
Literaturhinweise.....		52

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (FprEN 12977-3:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zum einstufigen Annahmeverfahren vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12977-3:2012 ersetzen.

Diese Europäische Norm wurde im Rahmen des Mandates M/534 „Normungsauftrag an die europäischen Normungsorganisationen gemäß Artikel 10(1) der Verordnung (EU) Nr. 1025/2012 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Unterstützung der Anwendung der Verordnung (EU) Nr. 814/2013 vom 2. August 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Warmwasserbereitern und Warmwasserspeichern sowie der Delegierten Verordnung (EU) Nr. 812/2013 der Kommission vom 18. Februar 2013 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Energieeffizienzkennzeichnung von Warmwasserbereitern, Warmwasserspeichern und Verbundanlagen aus Warmwasserbereitern und Solareinrichtungen“, das dem CEN von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde, erarbeitet.

EN 12977 besteht derzeit aus folgenden Teilen:

- Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen an Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und solare Kombianlagen;
- Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 2: Prüfverfahren für solarbetriebene Warmwasserbereiter und Kombinationssysteme;
- Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 3: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen;
- Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 4: Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern für Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung (Kombispeicher);
- Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kundenspezifisch gefertigte Anlagen — Teil 5: Leistungsprüfung von Regelungssystemen.

Einleitung

Die in dieser Europäischen Norm beschriebenen Prüfverfahren für Warmwasserspeicher von thermischen Solaranlagen werden zur Ermittlung der thermischen Leistungsfähigkeit von kleinen kundenspezifisch gefertigten Solaranlagen nach FprEN 12977-1:2016 benötigt.

Mit dem in dieser Europäischen Norm beschriebenen Prüfverfahren werden alle Kennwerte ermittelt, die benötigt werden, um das thermische Verhalten eines Warmwasserspeichers in einer kleinen kundenspezifisch gefertigten thermischen Solaranlage zu simulieren.

Alternativ kann das in EN 12897 genormte Verfahren zur Bestimmung von Kennwerten des Warmwasserspeichers, wie z. B. Wärmekapazität und Wärmeverlustrate, angewendet werden.

ANMERKUNG 1 Die bereits bestehenden Prüfverfahren für Warmwasserspeicher von herkömmlichen Heizungsanlagen sind für thermische Solaranlagen nicht ausreichend. Dies liegt daran, dass die Leistung thermischer Solaranlagen in viel höherem Maße vom thermischen Verhalten des Warmwasserspeichers (Schichtung, Wärmeverluste) abhängt, als die Leistung herkömmlicher Anlagen. Folglich ist dieses separate Dokument für die Leistungsermittlung von Warmwasserspeichern solarer Heizungsanlagen notwendig.

ANMERKUNG 2 Zusätzliche Informationen über die beschriebenen Verfahren zur Leistungsprüfung von Warmwasserspeichern können [1] in den Literaturhinweisen entnommen werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Prüfverfahren für die Beschreibung der Leistung von Warmwasserspeichern (im Folgenden Speicher genannt) fest, die zur Verwendung in kleinen kundenspezifisch gefertigten Solaranlagen nach FprEN 12977-1:2016 bestimmt sind.

Die nach dem vorliegenden Dokument geprüften Speicher werden häufig in solaren Warmwasseranlagen verwendet. Jedoch kann auch die thermische Leistung aller anderen Wärmespeicher, bei denen Wasser als Speichermedium zum Einsatz kommt, nach den in diesem Dokument festgelegten Prüfverfahren bewertet werden.

Dieses Dokument gilt für Speicher mit einem Nennvolumen zwischen 50 l und 3 000 l.

Dieses Dokument gilt nicht für Kombispeicher. Die Verfahren zur Leistungsprüfung von Solar-Kombispeichern sind in FprEN 12977-4:2016 festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Auf die folgenden Dokumente wird in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes normativ verwiesen, so dass sie für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich sind. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12828, *Heizungsanlagen in Gebäuden — Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen*

EN 12897, *Wasserversorgung — Bestimmung für mittelbar beheizte, unbelüftete (geschlossene) Speicher-Wassererwärmer*

EN ISO 9488:1999, *Solarenergie — Vokabular (ISO 9488:1999)*

ISO 9459-5, *Solar heating — Domestic water heating systems — Part 5: System performance characterization by means of whole-system tests and computer simulation*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 9488:1999 und die folgenden Begriffe.

3.1

Umgebungstemperatur

Mittelwert der Temperatur der Luft, die den Speicher umgibt

3.2

Beladung

Wärmezufuhr in den Speicher, wobei die zugeführte Wärme von einer Wärmequelle stammt

3.3

Beladeanschluss

Anschluss, der zum Beladen des Speichers verwendet wird

3.4

Kombispeicher

Speicher, der sowohl zur Warmwasserbereitung als auch für die Raumheizung verwendet wird

3.5

Konditionierung

Erzeugung einer einheitlichen Temperatur im gesamten Speicher dadurch, dass dieser mit $\tilde{\vartheta}_{D,i} = 20\text{ °C}$ so lange entladen wird, bis sich ein stationärer Zustand eingestellt hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Ziel der Konditionierung am Anfang einer Prüfphase ist es, einen genau festgelegten Anfangszustand bereitzustellen, d. h. eine einheitliche Temperatur im gesamten Speicher.

3.6

konstante Beladeleistung, $\tilde{P}_c$

Beladeleistung (Wärmeleistung), die erreicht ist, wenn der Mittelwert $\tilde{P}_c$ des während des Zeitraums von 0,5 bezogenen Beladevolumens innerhalb von $\tilde{P}_c \pm \tilde{P}_c \times 0,1$ ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Symbol „~“ über bestimmten Werten zeigt an, dass es sich hier um einen Mittelwert handelt.

3.7

Temperatur am Kollektoreintritt, $\tilde{\vartheta}_{x,i}$

Temperatur, die während der Beladung ($x = C$) oder Entladung ($x = D$) erreicht ist, wenn der Mittelwert $\tilde{\vartheta}_{x,i}$ des während des Zeitraums von 0,5 bezogenen Be-/Entladevolumens (siehe 3.34) innerhalb von $(\tilde{\vartheta}_{x,i} \pm 1)\text{ °C}$ ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Symbol „~“ über bestimmten Werten zeigt an, dass es sich hier um einen Mittelwert handelt.

3.8

konstanter Volumenstrom, $\tilde{V}$

Durchfluss, der erreicht ist, wenn der Mittelwert $\tilde{V}$ des während des Zeitraums von 0,5 bezogenen Be-/Entladevolumens (siehe 3.34) innerhalb von $\tilde{V} \pm \tilde{V} \times 0,1$ ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Symbol „~“ über bestimmten Werten zeigt an, dass es sich hier um einen Mittelwert handelt.

3.9

Totvolumen/Totkapazität

das Volumen bzw. die Kapazität des Speichers, welche(s) nur durch Wärmeleitung erwärmt wird (z. B. unterhalb eines Wärmeübertragers)

3.10

direkte Beladung/Entladung

Zu- bzw. Abfuhr von thermischer Energie (Wärme) in den bzw. aus dem Speicher, wobei das Fluid im Speicher direkt ausgetauscht wird

3.11

Entladung

durch eine Wärmelast hervorgerufene Reduzierung der Wärmemenge im Speicher

3.12

Entladeanschluss

Rohrverbindung, die zum Entladen des Speichers verwendet wird

3.13

Anschlusspaar

ein aus Eintritt und dem entsprechenden Austritt gebildetes Paar von Anschlüssen, das zur direkten Beladung bzw. Entladung des Speichers dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Häufig wird der Speicher über geschlossene oder offene Kreise be- und entladen, die mit dem Speicher über Anschlusspaare verbunden sind.

3.14

effektives Volumen/effektive Kapazität

Volumen bzw. Kapazität, welche(s) zur Wärmespeicherung beiträgt, wenn der Speicher in der üblichen Weise betrieben wird

3.15

elektrische (Zusatz-)Wärmequelle

elektrische Widerstandsheizung (Heizstab), die sich im Speicher befindet

3.16

externe Zusatzwärmequelle

Zusätzliche Wärmequelle, die sich außerhalb des Speichers befindet. Die Wärme wird dem Speicher direkt oder indirekt über einen Beladekreis zugeführt. Die externe Zusatzwärmequelle wird nicht als Bestandteil des zu prüfenden Speichers betrachtet.

3.17

Wärmeverlustrate, $(UA)_{s,a}$

Wärmeverlust des gesamten Speichers im Stand-by, bezogen auf 1 K Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Temperatur im Speicher und der Umgebungstemperatur

3.18

Wärmeübertragungsvermögen

beschreibt die Wärmeleistung (Wärmestrom), die je K Temperaturdifferenz übertragen wird

3.19

eingetauchter Wärmeübertrager

Wärmeübertrager, der vollständig vom Fluid innerhalb des Speichers umgeben ist

3.20

indirekte Beladung/Entladung

dem Speicher über einen Wärmeübertrager thermische Energie zuführen bzw. aus dem Speicher abführen

3.21

Wärmelast

aus dem Speicher bei Entladung abgeführte Wärme. Die Wärmelast wird berechnet als Produkt aus der Masse, der spezifischen Wärmekapazität und der Temperaturerhöhung des Wassers beim Durchströmen der solaren Wassererwärmungsanlage.

3.22

Mantelwärmeübertrager

Wärmeübertrager, der am Speicher so angebracht ist, dass er einen Ringspalt zwischen dem Fluid im Speicher und der Umgebung bildet

3.23

gemessene Wärmemenge, $Q_{x,m}$

zeitliches Integral der über eine oder mehrere Prüfphasen gemessenen Wärmeleistung, wobei Zeiträume, während denen zu Beginn des Prüfablaufs der Speicher konditioniert wird, bei der Integration nicht berücksichtigt werden

3.24

gemessene Wärmeleistung, $P_{x,m}$

Wärmeleistung, die auf der Basis des gemessenen Volumenstromes sowie der gemessenen Eintritts- und Austrittstemperaturen berechnet wird

3.25

gemessene Wärmekapazität des Speichers

die zwischen zwei bei verschiedenen Temperaturen herrschenden stationären Zuständen gemessene Differenz der Wärmemenge im Speicher, dividiert durch die zwischen diesen beiden stationären Zuständen auftretende Temperaturdifferenz

3.26

durchmischt

Zustand, in welchem die örtliche Temperatur im Speicher keine Funktion seiner Höhe ist

3.27

Modellparameter

Kennwert (Parameter), der für die Quantifizierung eines physikalischen Effektes verwendet wird, wobei dieser physikalische Effekt in einem mathematischen Rechenmodell in einer Art berücksichtigt wird, die nicht die realen Vorgänge widerspiegelt; ebenso können mehrere physikalische Effekte im verwendeten Rechenmodell zusammengefasst und durch einen Modellparameter beschrieben werden (z. B. eine Kennzahl für die Temperaturschichtung)

3.28

Nennvolumenstrom, $\dot{V}_n$

Nennvolumen des gesamten Speichers geteilt durch 1 h

3.29

Nennheizleistung, P_n

Nennvolumen des gesamten Speichers multipliziert mit 10 W/l

3.30

Nennvolumen, V_n

Flüssigkeitsvolumen des Speichers; wie in FprEN 12977-1:2016 beschrieben ermittelt

3.32

berechnete Wärmemenge, Q_{xp}

zeitliches Integral der über eine oder mehrere Prüfphasen berechneten Wärmeleistung, wobei Zeiträume, während denen zu Beginn des Prüfablaufs der Speicher konditioniert wird, bei der Integration nicht berücksichtigt werden

3.33

berechnete Wärmeleistung, P_{xp}

Wärmeleistung, die auf der Basis des gemessenen Volumenstromes sowie der gemessenen Eintrittstemperatur und der berechneten Austrittstemperatur berechnet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Austrittstemperatur wird durch numerische Simulationsrechnungen berechnet.

3.34

bezogenes Belade- bzw. Entladevolumen

zeitliches Integral des Volumenstroms während der Beladung bzw. Entladung dividiert durch das Volumen des Speichers

3.35

Stand-by

Betriebszustand, in welchem dem Speicher vorsätzlich keine Wärme zugeführt oder entnommen wird

3.36

Stand-by-Wärmeverlustrate, $(UA)_{sb,s,a}$

Wärmeverlustrate des Speichers, wenn dieser in Bereitschaft steht, also nicht beladen oder entladen wird

3.37

stationärer Zustand

Betriebszustand, bei dem bei Beladung oder Entladung während des 0,5 bezogenen Belade- bzw. Entladevolumens (siehe 3.34) die Standardabweichung zwischen der Eintrittstemperatur in den Speicher und der Austrittstemperatur aus dem Speicher beim Belade- bzw. Entladekreis kleiner als 0,1 K ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Werden Speicher entladen, die eine isotherme Temperaturverteilung aufweisen, kann die Temperaturdifferenz zwischen der Eintritts- und Austrittstemperatur des Entladekreises während der Entladung des ersten Speichervolumens konstant sein und erst anschließend rapide absinken. Dieser während der Entladung des ersten Speichervolumens auftretende Zustand wird nicht als stationärer Zustand betrachtet.

3.38

Speichertemperatur

Temperatur des Speichermediums

3.39

geschichtet

Zustand, bei dem eine thermische Schichtung innerhalb des Speichers vorhanden ist

3.40

geschichtete Beladung

Erhaltung oder Vergrößerung der Temperaturschichtung im Speicher während der Beladung

3.41

Schichtbeladeeinrichtung

Einrichtung, die eine geschichtete Beladung von Speichern ermöglicht. Übliche Schichtbeladeeinrichtungen sind z. B. Konvektionskamine bzw. Rohre mit Radialöffnungen

3.42

theoretische Wärmekapazität des Speichers

Summe über alle Wärmekapazitäten $m_i \times c_{p,i}$ des gesamten Speichers (Flüssigkeit, Material des Speichers, Wärmeübertrager), die in die Wärmespeicherung involviert sind

3.43

Temperaturschichtung

Zustand, in dem die örtliche Speichertemperatur eine Funktion der vertikalen Speicherhöhe ist und die Temperatur vom Deckel zum Boden hin abnimmt

3.44

Übertragungszeit, $t_{x,f}$

Zeitspanne, während der Wärme durch die Anschlüsse für die Beladung ($x = C$) oder Entladung ($x = D$) übertragen wird. Die Übertragungszeit kann für eine oder mehrere Prüfphasen ermittelt werden. Nicht berücksichtigt werden hierbei Zeitspannen, während denen zu Beginn der Prüfphase der Speicher konditioniert wird

4 Symbole und Abkürzungen

C_s	Wärmekapazität (thermische Kapazität) des gesamten Speichers, in J/K
c_p	spezifische Wärmekapazität, in J/(kg K)
P_n	Nennheizleistung, in W
$P_{x,m}$	gemessene Wärmeleistung, die über den Beladekreis ($x = C$) oder Entladekreis ($x = D$) übertragen wird, in W

$P_{x,p}$	berechnete Wärmeleistung, die über den Beladekreis ($x = C$) oder Entladekreis ($x = D$) übertragen wird, in W
$Q_{x,m}$	gemessene Wärmemenge, die über den Beladekreis ($x = C$) oder Entladekreis ($x = D$) übertragen wird, in W
$Q_{x,p}$	berechnete Wärmemenge, die über den Beladekreis ($x = C$) oder Entladekreis ($x = D$) übertragen wird, in W
t_{st}	Zeit, die benötigt wird, um einen stationären Zustand zu erreichen, in s
$t_{x,f}$	Übertragungszeit bei der Beladung ($x = C$) oder Entladung ($x = D$), in s
$(UA)_{hx,s}$	Wärmeübertragungsvermögen zwischen Wärmeübertrager und Speicher, in W/K
$(UA)_{s,a}$	Wärmeverlustrate des Speichers, in W/K
$(UA)_{sb,s,a}$	Stand-by-Wärmeverlustrate des Speichers, in W/K
V_n	Nennvolumen des Speichers, in l
$\dot{V}_n$	Nennvolumenstrom, in l/h
$\tilde{V}_x$	konstanter Volumenstrom im Beladekreis ($x = C$) oder Entladekreis ($x = D$), in l/h
$\Delta \vartheta_m$	mittlere logarithmische Temperaturdifferenz, in K
ϑ_a	Umgebungstemperatur, in °C
ϑ_s	Speichertemperatur, in °C
$\vartheta_{x,i}$	Eintrittstemperatur des Beladekreises ($x = C$) oder Entladekreises ($x = D$), in °C
$\tilde{\vartheta}_{x,i}$	konstante Eintrittstemperatur des Beladekreises ($x = C$) oder Entladekreises ($x = D$), in °C
$\vartheta_{x,o}$	Austrittstemperatur des Beladekreises ($x = C$) oder Entladekreises ($x = D$), in °C
$\varepsilon_{x,P}$	relativer Fehler der mittleren übertragenen Wärmeleistung während der Beladung ($x = C$) oder Entladung ($x = D$), in %
$\varepsilon_{x,Q}$	relativer Fehler der übertragenen Wärmemenge während der Beladung ($x = C$) oder Entladung ($x = D$), in %
ρ	Dichte, in kg/m ³

5 Einteilung der Speicher

Warmwasserspeicher werden nach der Art und Weise ihrer Beladung und Entladung klassifiziert. Wie in Tabelle 1 dargestellt, werden fünf Gruppen unterschieden.

Tabelle 1 — Einteilung der Speicher in Gruppen

Gruppe	Beladeverfahren	Entladeverfahren
1	direkt	direkt
2	indirekt	direkt
3	direkt	indirekt
4	indirekt	indirekt
5	Speicher, die sich keiner der Gruppen 1 bis 4 zuordnen lassen	

ANMERKUNG Alle Speicher können mit einem oder mehreren elektrischen Zusatzheizelement(en) ausgerüstet sein.

6 Prüfung von Speichern im Labor

6.1 Anforderungen an den Prüfstand

6.1.1 Allgemeines

Der Warmwasserspeicher ist getrennt von der gesamten Solaranlage auf einem Speicherprüfstand zu prüfen.

Der Aufbau des Prüfstands richtet sich nach der in Abschnitt 5 angegebenen Einteilung der Warmwasserspeicher.

Ein repräsentatives Beispiel für den hydraulischen Aufbau eines Prüfstands ist in Bild 1 und Bild 2 dargestellt.

Die Kreisläufe sind dazu bestimmt, den Beladekreis und den Entladekreis der Solaranlage nachzubilden und Volumenströme mit einer konstanten oder gut regelbaren Temperatur bereitzustellen. Der vollständige Prüfstand besteht aus einem Beladekreis und einem Entladekreis.

ANMERKUNG 1 Wenn der Speicher über mehr als eine Möglichkeit zur Beladung und Entladung verfügt (z. B. zwei Wärmeübertrager), dann werden diese separat geprüft.

Der Prüfstand muss sich in einem klimatisierten Raum befinden, in dem sich die Raumtemperatur von 20 °C während der Prüfung um nicht mehr als ± 2 K verändern sollte.

Beide Kreisläufe müssen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Der Volumenstrom muss einstellbar und innerhalb eines Bereiches von ± 5 % stabil sein;
- die Betriebstemperatur muss zwischen 10 °C und 90 °C liegen;

ANMERKUNG 2 Eine typische Heizleistung des Beladekreises beträgt etwa 15 kW.

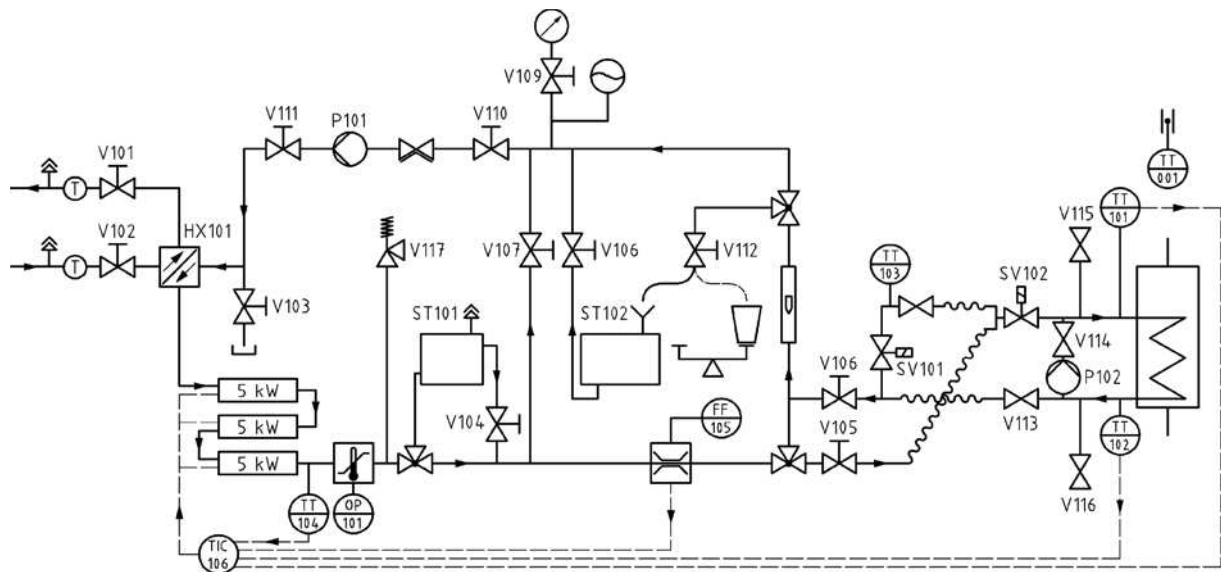
- die Kühlleistung des Entladekreises muss bei einer Flüssigkeitstemperatur von 20 °C mindestens 25 kW betragen;

ANMERKUNG 3 Eine typische Heizleistung des Entladekreises beträgt etwa 25 kW.

Wenn aus dem Netz Wasser mit einem konstanten Druck und einer konstanten Temperatur unterhalb von 20 °C verfügbar ist, sollte der Entladekreis so ausgeführt sein, dass er für die Entladung des Speichers als geschlossener Kreislauf oder über das Wassernetz als offener Kreislauf betrieben werden kann.

- die Erwärmungsrate des Beladekreises muss mindestens 3 K/min betragen, wenn kein Speicher angeschlossen ist;
- die für eine elektrische Zusatzwärmequelle verfügbare elektrische Leistung muss mindestens 6,0 kW betragen.

Die elektrische Leistung der Pumpe (P101) sollte so gewählt werden, dass die durch diese Pumpe (101) hervorgerufene Temperaturerhöhung entweder kleiner als 0,6 K/h ist, wenn der Beladekreis „kurzgeschlossen“ ist und bei Raumtemperatur betrieben wird („kurzgeschlossen“ bedeutet, dass kein Speicher angeschlossen ist und SV102, V113, V115 und V116 geschlossen sind; siehe Bild 1), oder es sollte eine zusätzliche Kühlungseinrichtung im Kreis mit integriert werden.



Legende

FF Durchflussmessgerät	SV Magnetventil
HX Wärmeübertrager	TT Temperaturfühler
OP Temperaturbegrenzung	TIC Temperaturanzeige und -regelung
P Pumpe	V Ventil
ST Speicher (der Prüfstelle)	

Bild 1 — Beladekreis des Speicherprüfstands

Im Beladekreis (siehe Bild 1) wird Wasser als Wärmeträger mittels der Pumpe (P101) durch den Kühler (HX101) und die temperaturgeregelten Heizer (TIC106) gepumpt. Um verbleibende Regelabweichungen auszugleichen, wird ein Pufferspeicher (ST101) verwendet. Durch den Bypass (V107) kann der Volumenstrom durch den Speicher geregelt und ein kontinuierlich hoher Volumenstrom durch den Heizkreis sichergestellt werden, was zu einem guten Regelverhalten führt. Um eine plötzliche Erhöhung der Eintrittstemperatur in den Speicher vorzubereiten, kann über das Magnetventil (SV101) das Wärmeträgerfluid am Speicher vorbeigeleitet werden.

Die Temperaturfühler sind nahe am Eintritt (TT101) und am Austritt (TT102) des Speichers angebracht; die Verbindung zum Speicher erfolgt über wärmedämmte Schläuche.

Der Beladekreis kann sowohl geschlossen, unter Druck (Auslegungsdruck 2,5 bar, Membran-Druckausdehnungsgefäß und Überdruckventil (V109)) sowie offen (Ventil (V108) geöffnet) betrieben werden, wobei der Speicher (ST102) als Ausdehnungsgefäß dient. Durch Wiegen der durch das Ventil (V112) fließenden Wassermenge ist eine Kalibrierung des eingebauten Durchflussmessgerätes (FF105) möglich. Die gesamte Anlage ist mit den üblichen Sicherheitseinrichtungen, wie z. B. einem Überdruckventil (V117) und einer Temperaturbegrenzungseinrichtung (OP101) ausgestattet.

Der Entladekreis (siehe Bild 2) ist ähnlich aufgebaut. Er enthält zwei Kühler – (HX201) und (HX202) – und ein temperaturgeregeltes Heizelement (TIC206) mit einer Wärmeleistung von 5 kW. Der Entladekreis kann entweder als geschlossener Kreislauf oder über das Wassernetz als offener Kreislauf betrieben werden. Beim Betrieb als offener Kreislauf wird das Wasser über die Sicherheitseinrichtungen (V201) zugeführt und fließt dann durch die Kühler, die Heizstrecke und das Durchflussmessgerät (FF205) in den Speicher. Das warme Wasser aus dem Speicher fließt über das Magnetventil (SV201) und das Ventil (V210) in den Abfluss. Das Ventil (V212) ist geschlossen.

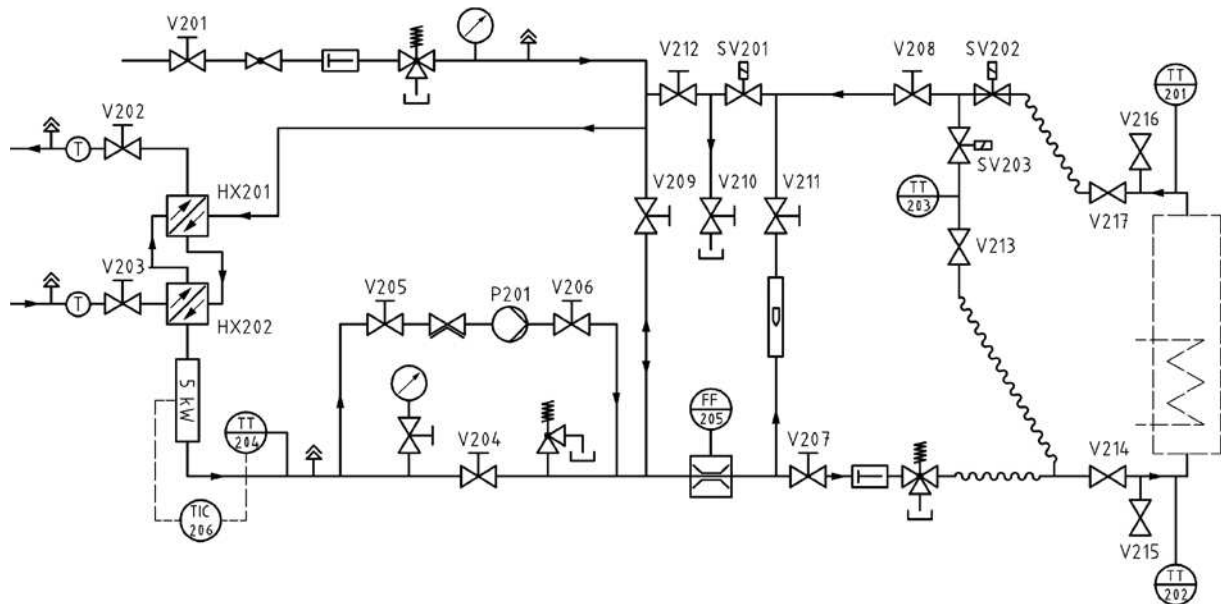
Für die Erwärmung des Wassers wird empfohlen, den Volumenstrom durch die Heizstrecke mit der Pumpe (P201) zu erhöhen, um so das Regelverhalten zu verbessern; der zusätzlich geförderte Volumenstrom wird durch den Bypass (V209) zurückgeführt.

Während des Betriebs als geschlossener Kreis bleiben das Ventil der Sicherheitsgruppe und das Abflussventil (V210) geschlossen, das Ventil (V212) ist geöffnet und das Wasser wird mittels der Pumpe (P201) gefördert.

Für die regelmäßige Überprüfung der Messgenauigkeit wird empfohlen, einen Referenzheizer in den Prüfstand einzubauen. Anstelle eines Speichers ist dieser Referenzheizer an den Prüfstand angeschlossen. Der Referenzheizer ist mit einer elektrischen Heizeinrichtung ausgerüstet.

ANMERKUNG 4 Für weitere Informationen über die Verwendung von Referenzheizern siehe [2] und [3] in den Literaturhinweisen.

Das Wärmeträgerfluid, das für die Prüfungen verwendet wird, kann Wasser oder ein vom Hersteller empfohlenes Fluid sein. Die spezifische Wärmekapazität und die Dichte der verwendeten Flüssigkeit müssen im Bereich der bei der Prüfung auftretenden Temperaturen auf 1 % bekannt sein.



Legende

FF Durchflussmessgerät

TT Temperaturfühler

HX Wärmeübertrager

TIC Temperaturanzeige und -regelung

P Pumpe

V Ventil

SV Magnetventil

Bild 2 — Entladekreis des Speicherprüfstands

6.1.2 Messgrößen und Messverfahren

Die in Tabelle 2 aufgeführten Größen sind mit der angegebenen Genauigkeit zu messen.

Tabelle 2 — Messgrößen

Messgrößen	Messgerät (siehe Bilder 1 und 2)	Messunsicher- heit
Volumenstrom, $\dot{V}_C$, im Beladekreis zwischen 0,05 m ³ /h und 1 m ³ /h	FF105	2,0 %
Volumenstrom, $\dot{V}_D$, im Entladekreis zwischen 0,05 m ³ /h und 1 m ³ /h	FF205	2,0 %
Temperatur, $\vartheta_{C,i}$, der Flüssigkeit im Beladekreis am Speichereintritt	TT101	0,1 K
Temperatur, $\vartheta_{C,o}$, der Flüssigkeit im Beladekreis am Speicheraustritt	TT102	0,1 K
Temperaturdifferenz der Flüssigkeit im Beladekreis, $\Delta\vartheta_C$, zwischen Speichereintritt und Speicheraustritt	TT101 und TT102	0,05 K
Temperatur, $\vartheta_{D,i}$, der Flüssigkeit im Entladekreis am	TT201	0,1 K

Messgrößen	Messgerät (siehe Bilder 1 und 2)	Messunsicherheit
Speichereintritt		
Temperatur, $\vartheta_{D,o}$, der Flüssigkeit im Entladekreis am Speicheraustritt	TT202	0,1 K
Temperaturdifferenz der Flüssigkeit im Entladekreis, $\Delta\vartheta_D$, zwischen Speichereintritt und Speicheraustritt	TT201 und TT202	0,05 K
Umgebungstemperatur ϑ_a	TT001	0,1 K
Elektrische Leistung, $\dot{Q}_{el}$, (Zusatzwärmequelle)	–	2 %

ANMERKUNG Mit modernen, gut aufeinander abgestimmten und kalibrierten Messfühlern können Messunsicherheiten in der Temperaturdifferenz der Flüssigkeit im Be- und Entladekreis zwischen Speichereintritt und Speicheraustritt im Bereich von 0,02 K erreicht werden. Folglich können kleine Temperaturdifferenzen mit geringen Messunsicherheiten gemessen werden.

Die relevanten Größen sind mindestens alle 10 s zu messen, und die aufgezeichneten Messdaten sind als Mittelwerte aus maximal drei Messwerten zu bilden.

Die Zeitkonstante der Temperaturfühler muss kleiner als 10 s sein (d. h. 90 % der Temperaturänderung werden von dem in das Wärmeträgerfluid eingetauchten Temperaturfühler innerhalb von 10 s nach einer plötzlichen Änderung der Flüssigkeitstemperatur registriert).

Vor jeder Prüfung eines Speichers sollte eine Nullmessung durchgeführt werden, bei der die Flüssigkeit im Beladekreis bzw. im Entladekreis durch den kurzgeschlossenen Beladekreis bzw. Entladekreis gepumpt wird. „Kurzgeschlossen“ bedeutet, dass bei dem entsprechenden Kreis die Anschlüsse für den Eintritt und den Austritt direkt miteinander verbunden sind (empfohlen: Volumenstrom etwa 0,6 m³/h, Temperaturen 20 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C). Falls die gemessene Temperaturdifferenz außerhalb der zulässigen Unsicherheit von 0,05 K liegt, müssen die Temperaturfühler kalibriert werden.

Für die Nullmessung kann auch ein Referenzheizer verwendet werden.

6.2 Installation des Speichers

6.2.1 Montage

Der Speicher ist nach den Anweisungen des Herstellers an den Prüfstand anzuschließen.

Die Temperaturfühler zur Messung der Ein- und Austrittstemperatur des für die Beladung und Entladung des Speichers verwendeten Fluids sind so nahe wie möglich, mindestens jedoch in einem Abstand von 200 mm, an den Eintritts- und Austrittsanschlüssen des Speichers anzubringen. Der Einbau der Temperaturfühler in den Rohrleitungen ist nach anerkannten Verfahren der Temperaturmessung auszuführen.

Wenn mehr als ein Paar von Eintritts- oder Austrittsanschlüssen zum Beladen und/oder Entladen vorhanden sind, darf (zur gleichen Zeit) immer nur ein Paar an den Prüfstand angeschlossen werden, während das (die) andere(n) geschlossen sein muss (müssen).

Die Rohrleitungen zwischen dem Speicher und den Temperaturfühlern müssen nach EN 12828 wärmegeämmt sein.

6.2.2 Verbindung

Die Art und Weise, wie die Speichereinheit an den Prüfstand anzuschließen ist, hängt vom Ziel der durchzuführenden thermischen Prüfungen ab. Detaillierte Hinweise sind in den Abschnitten angegeben, in denen die thermischen Prüfungen beschrieben sind.

Die Anschlüsse am Speicher, so wie er vom Hersteller geliefert wird, werden als die thermische Grenze zwischen dem Speicher und dem Prüfstand betrachtet.

Die Magnetventile sind so nah wie möglich an den Eintritt- und Austrittsanschlüssen des Speichers anzuordnen.

Anschlüsse des Speichers, die nicht zum Belade- oder Entladekreis des Prüfstandes führen, müssen geschlossen sein, und nicht angeschlossene Wärmeübertrager sind mit Wasser zu füllen. Alle geschlossenen Anschlüsse müssen in derselben Weise wie der Speicher wärmegeklämt sein.

Da sich das Fluid in den geschlossenen Wärmeübertrager mit steigender Temperatur ausdehnt, ist hier ein Überdruckventil anzubringen.

Die Leistung einer thermischen Solaranlage hängt von der jeweiligen Installation und den tatsächlichen Randbedingungen ab. Im Hinblick auf die Wärmeverluste des Speichers können neben einer mangelhaften Wärmedämmung auch schlecht konstruierte Anschlüsse die Wärmeverlustrate des Speichers aufgrund innerhalb des Rohrs auftretender natürlicher Konvektion erhöhen. Um dies zu vermeiden, sollten die Anschlüsse der Rohre so konstruiert sein, dass es in den Rohren nicht zu natürlicher Konvektion kommt. Dies lässt sich z. B. erreichen, wenn das Rohr unmittelbar nach dem Austritt aus dem Speicher abwärts geführt oder indem ein Siphon verwendet wird.

6.3 Prüf- und Bewertungsverfahren

6.3.1 Allgemeines

Das Ziel der in diesem Dokument festgelegten Speicherprüfungen ist es, Kennwerte zu ermitteln, die zur detaillierten Beschreibung des thermischen Verhaltens von Warmwasserspeichern benötigt werden. Hierzu ist ein mathematisches Rechenmodell für den Speicher (Speichermodell) erforderlich. Die grundlegenden Anforderungen an geeignete Modelle sind in Anhang A und Anhang D festgelegt.

Die folgenden Kennwerte müssen für die Simulation eines Speichers einer thermischen Solaranlage bekannt sein:

a) Wasserraum:

- Höhe;
- effektives Volumen bzw. effektive Wärmekapazität;
- Höhe der Anschlüsse für den Eintritt und Austritt;
- Wärmeverlustrate des gesamten Speichers;
- falls die Wärmedämmung für unterschiedliche Höhen des Speichers variiert, sollte die Verteilung der Wärmeverlustrate für unterschiedliche Bereiche des Speichers bestimmt werden;
- ein Kennwert, der den Abbau der thermischen Schichtung während des Stand-by beschreibt;

ANMERKUNG 1 Eine Möglichkeit, diesen Effekt in einem Speichermodell zu beschreiben, ist die Verwendung einer vertikalen Wärmeleitung. In diesem Fall ist der entsprechende Kennwert eine effektive vertikale Wärmeleitfähigkeit.

- ein Kennwert, der die Beschaffenheit der thermischen Schichtung während der direkten Entladung beschreibt;

ANMERKUNG 2 Ein zusätzlicher Kennwert kann verwendet werden, um den Einfluss unterschiedlicher Entnahmевolumenströme auf die thermische Schichtung im Speicher zu beschreiben, falls dieser Effekt maßgeblich ist.

- Positionen der Temperaturfühler (z. B. die Fühler für den Kollektorkreis und die Steuerung der Zusatzheizung).

b) Wärmeübertrager:

- Höhe der Anschlüsse für den Eintritt und Austritt;
- Volumen;
- Wärmeübertragungsvermögen als Funktion von Temperatur und Massenstrom (sofern der Massenstrom veränderlich ist);
- Informationen über die Fähigkeit zur geschichteten Beladung;

ANMERKUNG 3 Die Fähigkeit zur geschichteten Beladung kann anhand der Bauart des Wärmeübertragers sowie anhand des zeitlichen Verlaufs der Ein- und Austrittstemperaturen des Wärmeübertragers ermittelt werden.

- Wärmeverlustrate vom Wärmeübertrager zur Umgebung (nur erforderlich bei Mantelwärmetauschern und externen Wärmeübertrager).

c) elektrische Zusatzwärmequelle:

- Position im Speicher;
- axiale Ausrichtung des Heizelements (horizontal oder vertikal). Ist die Zusatzheizung vertikal eingebaut, so ist auch ihre Länge erforderlich;
- Wirkungsgrad, der den Anteil der elektrischen Leistung widerspiegelt, der in eine Wärmeleistung umgewandelt und dem Speicherinhalt zugeführt wird.

ANMERKUNG 4 Schlecht konstruierte elektrische Zusatzwärmequellen können große Wärmeverluste während des Betriebs zur Folge haben. In diesem Fall ist die der Wärmequelle zugeführte elektrische Leistung nicht gleich dem Wärmestrom, der an den Speicherinhalt abgegeben wird.

Die folgenden Abschnitte beschreiben Möglichkeiten zur Ermittlung der aufgeführten Kennwerte. Hierzu werden bestimmte Prüfabläufe benötigt. Die mit Buchstaben gekennzeichneten Prüfabläufe (z. B. PRÜFUNG A) können in Phasen unterteilt werden, die mit einer Zahl bezeichnet sind (z. B. A1-Konditionierung). Zwischen dem Ende einer Phase und dem Anfang der nächsten Phase darf sich der Speicher für maximal 10 min im Stand-by befinden. Während dieser Stand-by-Zeit ist nur die Umgebungstemperatur zu messen und aufzuzeichnen.

ANMERKUNG 5 Ein wesentlicher Punkt der beschriebenen Verfahren ist, dass Messungen innerhalb des Speichers vermieden werden.

ANMERKUNG 6 Die Ermittlung sämtlicher oben aufgeführter Speicherkennwerte ist nur nach dem in 6.3.3 beschriebenen Verfahren möglich. Einige der Kennwerte können jedoch auch nach dem in 6.3.2 beschriebenen Verfahren ermittelt werden.

6.3.2 Prüfabläufe

6.3.2.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt sind die für die unterschiedlichen Gruppen von Speichern verwendeten thermischen Prüfungen beschrieben und die Bedingungen, unter denen die Speicher zu prüfen sind angegeben. Ein Überblick über die Prüfabläufe zur Ermittlung der unterschiedlichen Speicherkennwerte ist in Tabelle 3 enthalten.

Tabelle 3 — Überblick über die Prüfabläufe

Zweck der Prüfung	Prüfung	Abschnitt
Ermittlung des Speichervolumens, des Wärmeübertragungsvermögens des untersten Wärmeübertragers und der Temperaturschichtung während der Entladung	Prüfung C: Gruppe 1 Gruppe 2 Gruppe 3 Gruppe 4	6.3.2.2.2 6.3.2.2.3 6.3.2.2.4 6.3.2.2.5
Ermittlung der Temperaturschichtung während der Entladung mit einem „hohen“ Volumenstrom	Prüfung S	6.3.2.3
Ermittlung der Stand-by-Wärmeverlustrate des gesamten Speichers)	Prüfung L: Gruppe 1 Gruppe 2 Gruppe 3 Gruppe 4	6.3.2.4.2 6.3.2.4.3 6.3.2.4.4 6.3.2.4.5
Ermittlung des Wärmeübertragungsvermögens und der Position des/der Nachheizkreis-Wärmeübertrager(s)	Prüfung NiA für Speicher mit Zusatz Wärmeübertrager(n)	6.3.2.5
Ermittlung der Position und Länge der elektrischen Zusatzwärmequelle(n)	Prüfung EiA für Speicher mit elektrischer (elektrischen) Heizquelle(n)	6.3.2.6
Ermittlung des Abbaus der Temperaturschichtung im Stand-by	Prüfung NiA und Prüfung NiB für Gruppen 1 und 3 Prüfung NiA und Prüfung NiB für Gruppen 2 und 4 Prüfung EiA und Prüfung EiB nur für Speicher mit elektrischen Zusatzwärmequellen	6.3.2.7.2 6.3.2.5 6.3.2.7.3 6.3.2.6 6.3.2.7.4

Die genauen vertikalen Positionen der oberen Anschlüsse des Wärmeübertragers, oberhalb derer der Speicher durchmischt beladen wird, haben nur einen geringen Einfluss auf das thermische Verhalten des Speichers. Daher brauchen diese vertikalen Positionen nicht mittels Parameteridentifikation bestimmt zu werden. Es wird empfohlen, die entsprechenden Positionen zu messen oder anhand der technischen Zeichnung des Speichers zu ermitteln.

Folgendes gilt für alle Prüfungen zur Ermittlung des Wärmeübertragungsvermögens der Wärmeübertrager:

Die zur Ermittlung des (temperaturabhängigen) Wärmeübertragungsvermögens der Wärmeübertrager angegebenen Volumenströme durch den Wärmeübertrager sowie die Heizleistungen sind Empfehlungen. Andere Durchflüsse und Heizleistungen dürfen verwendet werden, wenn diese den tatsächlichen

Betriebsbedingungen besser entsprechen oder in den Herstellerangaben vorgegeben sind. Dies ist jedoch im Prüfbericht anzugeben.

ANMERKUNG Das Wärmeübertragungsvermögen eingetauchter Wärmeübertrager nimmt mit der mittleren örtlichen Temperatur (die Zähigkeit des Wassers nimmt ab), der übertragenen Heizleistung und dem Massenstrom durch den Wärmeübertrager zu. Daher sind unterschiedliche Ergebnisse für unterschiedliche Betriebsbedingungen zu erwarten.

6.3.2.2 Ermittlung des Speichervolumens, des Wärmeübertragungsvermögens des untersten Wärmeübertragers und der Temperaturschichtung während der Entladung (Prüfung C)

6.3.2.2.1 Allgemeines

Das Speichervolumen, das mit dem nachfolgend beschriebenen Prüfverfahren ermittelt wird, ist das effektiv nutzbare Speichervolumen.

Das Wärmeübertragungsvermögen der Wärmeübertrager bezieht sich auf im Speicher eingebaute Wärmeübertrager.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Beladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Beladekreis des Prüfstands zu verbinden.

6.3.2.2.2 Gruppe 1

Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung des effektiven Speichervolumens und der Temperaturschichtung während der Entladung mit einem relativ „geringen“ Volumenstrom.

Prüfung C (Gruppe 1):

- Prüfphase C1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase C2: Beladung, bis $\vartheta_{C,o} = 55\text{ °C}$;
- Prüfphase C3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 4 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung C (Gruppe 1)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
C1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
C2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
C3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.2.3 Gruppe 2

Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung des effektiven Speichervolumens, des Wärmeübertragungsvermögens des Belade-Wärmeübertragers und der Temperaturschichtung während der Entladung mit einem relativ „geringen“ Volumenstrom.

Prüfung C (Gruppe 2):

- Prüfphase C1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase C2: Beladung bei konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 1,0 \times P_n$ bis $\vartheta_{C,o} = 60\text{ °C}$;
- Prüfphase C3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 5 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung C (Gruppe 2)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
C1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
C2	Beladung	$1,2 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
C3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.2.4 Gruppe 3

Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung des effektiven Speichervolumens und des Wärmeübertragungsvermögens des Entlade-Wärmeübertragers bei einem relativ „geringen“ Volumenstrom.

Die Temperaturschichtung während der Entladung kann selbstverständlich nur beurteilt werden, wenn der Speicher geschichtet entladen wird.

Prüfung C (Gruppe 3):

- Prüfphase C1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase C2: Beladung, bis $\vartheta_{C,o} = 55\text{ °C}$;
- Prüfphase C3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 6 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung C (Gruppe 3)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
C1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
C2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
C3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.2.5 Gruppe 4

Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung des effektiven Speichervolumens und des Wärmeübertragungsvermögens der Belade- und Entlade-Wärmeübertrager.

Die Temperaturschichtung während der Entladung kann selbstverständlich nur beurteilt werden, wenn der Speicher geschichtet entladen wird.

Prüfung C (Gruppe 4):

- Prüfphase C1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase C2: Beladung bei konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 1,0 \times P_n$ bis $\vartheta_{C,o} = 60\text{ °C}$;
- Prüfphase C3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 7 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung C (Gruppe 4)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
C1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
C2	Beladung	$1,2 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
C3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.3 Ermittlung der Temperaturschichtung während der Entladung mit einem „hohen“ Volumenstrom (PRÜFUNG S)

Bei einigen Speichern der Gruppen 1 und 2 kann die Temperaturschichtung während der Entladung und/oder das Entnahmeprofil (aufgetragen über der Anzahl der entnommenen Speichervolumina) vom Entnahmevolumenstrom abhängen. Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung der Temperaturschichtung während einer Entladung mit einem „hohen“ Volumenstrom.

Prüfung S ist nur durchzuführen, wenn mit Prüfung C festgestellt wurde, dass der Speicher geschichtet entladen wird.

Prüfung S: Nach der in 6.3.2.2 beschriebenen Prüfung C, jedoch mit einem Entladevolumenstrom von $\tilde{V}_D = \dot{V}_n$, aber nicht weniger als 600 l/h.

6.3.2.4 Ermittlung der Stand-by-Wärmeverlustrate des gesamten Speichers (PRÜFUNG L)

6.3.2.4.1 Allgemeines

Das Ziel dieser Prüfung ist die Ermittlung der Wärmeverlustrate des gesamten Speichers im Stand-by. Unter Berücksichtigung der Anmerkung 2 in 6.3.2 sind die gleichen Betriebsbedingungen für den Wärmeübertrager wie in Prüfung C zu verwenden.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Beladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Beladekreis des Prüfstands zu verbinden.

6.3.2.4.2 Gruppe 1

Prüfung L:

- Prüfphase L1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase L2: Beladung, bis $\vartheta_{C,o} = 55\text{ °C}$;
- Prüfphase L3: Stand-by in der Regel 48 h. Die Dauer der Stand-by-Zeit sollte so gewählt werden, dass der Speicher ungefähr 40 % bis 60 % der gespeicherten Energie während des Stand-by abgeben;
- Prüfphase L4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 8 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung L (Gruppe 1)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
L1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
L2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
L3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
L4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.4.3 Gruppe 2

Prüfung L:

- Prüfphase L1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase L2: Beladung bei konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 1,0 \times P_n$ bis $\vartheta_{C,o} = 60\text{ °C}$;
- Prüfphase L3: Stand-by in der Regel 48 h. Die Dauer der Stand-by-Zeit sollte so gewählt werden, dass der Speicher ungefähr 40 % bis 60 % der gespeicherten Energie während des Stand-by abgeben;
- Prüfphase L4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 9 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung L (Gruppe 2)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
L1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
L2	Beladung	$1,2 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
L3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
L4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.4.4 Gruppe 3

Prüfung L:

- Prüfphase L1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase L2: Beladung, bis $\vartheta_{C,o} = 55$ °C;
- Prüfphase L3: Stand-by in der Regel 48 h. Die Dauer der Stand-by-Zeit sollte so gewählt werden, dass der Speicher ungefähr 40 % bis 60 % der gespeicherten Energie während des Stand-by abgeben;
- Prüfphase L4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 10 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung L (Gruppe 3)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
L1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
L2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
L3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
L4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.4.5 Gruppe 4

Prüfung L:

- Prüfphase L1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase L2: Beladung bei konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 1,0 \times P_n$ bis $\vartheta_{C,o} = 60$ °C;
- Prüfphase L3: Stand-by in der Regel 48 h. Die Dauer der Stand-by-Zeit sollte so gewählt werden, dass der Speicher ungefähr 40 % bis 60 % der gespeicherten Energie während des Stand-by abgeben;
- Prüfphase L4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 11 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung L (Gruppe 4)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
L1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
L2	Beladung	$1,2 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
L3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
L4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.5 Ermittlung des Wärmeübertragungsvermögens und der Position des/der Nachheizkreis-Wärmeübertrager(s) (Prüfung NiA)

ANMERKUNG 1 Falls mehr als ein zusätzlicher Wärmeaustauscher vorhanden ist, bezeichnet i die Nummer des Wärmeaustauschers.

ANMERKUNG 2 Die genaue Position des oberen Anschlusses des (Nachheizkreis-) Wärmeübertragers ist dann von Bedeutung, wenn sie sich in der Nähe des Deckels befindet und eine Temperatschichtung im Speicher bewirkt. Mit dem im Folgenden beschriebenen Prüfverfahren kann die Position nur in diesem Fall bestimmt werden.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse des Nachheizkreis-Wärmeaustauschers, dessen Wärmeübertragungsvermögen zu ermitteln ist, sind mit dem Beladekreis des Prüfstands nach den Herstellerangaben zu verbinden.

Prüfung NiA:

- Prüfphase NiA1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase NiA2: Beladung bei konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 2,0 \times P_n$ bis die Temperatur am Fühler für die Nachheizung 60 °C entspricht;
- Prüfphase NiA3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 12 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung NiA (Gruppe 2 oder 4)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
NiA1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
NiA2	Beladung	$1,0 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
NiA3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.6 Ermittlung der Position(en) und Länge(n) der elektrischen Wärmequelle(n) (Prüfung EiA)

Die Ermittlung der (vertikalen) Position(en) der elektrischen Wärmequelle(n) ist nur erforderlich, wenn diese horizontal eingebaut ist/sind.

Die Länge (als ein Modellparameter) der elektrischen Wärmequelle(n) ist zu ermitteln, wenn diese vertikal im Deckel des Speichers eingebaut ist/sind.

Diese Prüfung ist nur für Speicher mit elektrischen Wärmequellen durchzuführen.

ANMERKUNG Falls mehr als eine elektrische Wärmequelle vorhanden ist, bezeichnet i die Nummer der Wärmequelle.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse für die Beladung sind zu verschließen, und alle Belade-Wärmeübertrager sind mit Wasser zu füllen. Die verschlossenen Anschlüsse müssen nach EN 12828 wärmedämmend sein.

Prüfung EiA:

- Prüfphase EiA1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase EiA2: Beladung mit der elektrischen Nennleistung (nach den Herstellerangaben), bis der Heizstab durch den Thermostat ausgeschaltet wird ($\vartheta_{\text{set}} = 60\text{ °C}$);
- Prüfphase EiA3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 13 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung EiA

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
EiA1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
EiA2	Beladung	0	–	–	0	–	–
EiA3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.7 Ermittlung des Abbaus der Temperaturschichtung im Stand-by

6.3.2.7.1 Allgemeines

Ein Kennwert zur Beschreibung des Abbaus der Temperaturschichtung im Stand-by ist nur zu ermitteln, wenn eine Schichtung beim üblichen Betrieb auftritt (z. B. kann dieser Kennwert für einen Speicher der Gruppe 4, der durchmischt be- und entladen wird, nicht ermittelt werden).

Um diesen Kennwert zu bestimmen, wird der obere Teil (Bereitschaftsteil) des Speichers zweimal auf die gleiche Weise be- und entladen. Das erste Mal erfolgt die Entladung sofort nach der Beladung, das zweite Mal ist dazwischen eine Stand-by-Periode von 48 h integriert. Die Ermittlung des Kennwertes, der den Abbau der

Temperaturschichtung im Stand-by beschreibt, basiert auf dem „Vergleich“ der beiden Entnahmeprofile durch Parameter-Identifikation.

6.3.2.7.2 Gruppe 1 und Gruppe 3 (Prüfung NA und Prüfung NB)

Die Prüfung von Speichern der Gruppe 3 ist nur erforderlich, wenn diese eine geschichtete Entladung ermöglichen.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Beladung des Bereitschaftsteils oder des gesamten Speichers ermöglichen, sind mit dem Beladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Prüfung NA:

- Prüfphase NA1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase NA2: Beladung, bis Integral des Volumenstroms $\dot{V}_C = 0,5 \times V_n$;
- Prüfphase NA3: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 14 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung NA (Gruppen 1 und 3)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
NA1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
NA2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
NA3	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

Prüfung NB:

- Prüfphase NB1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase NB2: Beladung, bis Integral des Volumenstroms $\dot{V}_C = 0,5 \times V_n$;
- Prüfphase NB3: 48 h Stand-by;
- Prüfphase NB4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 15 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung NB (Gruppen 1 und 3)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
NB1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
NB2	Beladung	$0,5 \times \dot{V}_n$	60,0	variabel	0	–	–
NB3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
NB4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.7.3 Gruppe 2 und Gruppe 4 (Prüfung NB)

Die Prüfung von Speichern der Gruppe 4 ist nur erforderlich, wenn diese eine geschichtete Entladung ermöglichen.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Der Wärmeübertrager, der eine Beladung des Bereitschaftsteils ermöglicht, ist mit dem Beladekreis des Prüfstands zu verbinden.

ANMERKUNG Prüfung NiA wurde bereits nach 6.3.2.5 durchgeführt.

Prüfung NB:

- Prüfphase NB1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase NB2: Beladung mit konstanter Beladeleistung $\tilde{P}_C = 2,0 \times P_n$ bis die Temperatur am Fühler für die Nachheizung 60 °C beträgt;
- Prüfphase NB3: 48 h Stand-by;
- Prüfphase NB4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 16 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung NB (Gruppen 2 und 4)

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
NB1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
NB2	Beladung	$1,0 \times \dot{V}_n$	variabel	variabel	0	–	–
NB3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
NB4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.2.7.4 Speicher mit elektrischen Wärmequellen

Diese Prüfung ist nur durchzuführen, wenn eine elektrische Zusatzwärmequelle vorhanden ist.

Der Speicher ist nach 6.2 an den Prüfstand anzuschließen.

Die Anschlüsse, die eine vollständige Entladung des Speichers ermöglichen, sind mit dem Entladekreis des Prüfstands zu verbinden.

Die Anschlüsse für die Beladung sind zu verschließen, und alle Belade-Wärmeübertrager sind mit Wasser zu füllen. Die geschlossenen Anschlüsse müssen in derselben Weise wie der Speicher wärmegeämmt sein.

Prüfung EB:

- Prüfphase EB1: Konditionierung, bis ein stationärer Zustand erreicht ist;
- Prüfphase EB2: Beladung mit der elektrischen Nennleistung (nach den Herstellerangaben);
- Prüfphase EB3: 48 h Stand-by;
- Prüfphase EB4: Entladung bis ein stationärer Zustand erreicht ist.

Tabelle 17 — Volumenströme und Speicher-Eintrittstemperaturen für Prüfung EB

Prüfphase	Vorgang	Beladekreis			Entladekreis		
		$\tilde{V}_C$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{C,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{C,o}$ °C	$\tilde{V}_D$ l/h	$\tilde{\vartheta}_{D,i}$ °C	$\tilde{\vartheta}_{D,o}$ °C
EB1	Konditionierung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel
EB2	Beladung	0	–	–	0	–	–
EB3	Stand-by	0	–	–	0	–	–
EB4	Entladung	0	–	–	$0,5 \times \dot{V}_n$	20,0	variabel

6.3.3 Aufbereitung der Prüfungsdaten

6.3.3.1 Allgemeines

Wenn alle erforderlichen Prüfungen, wie in 6.3.2 beschrieben, durchgeführt sind, sind die Speicherkennwerte zu ermitteln; hierzu sind ein numerisches Speichermodell, das die in Anhang D festgelegten Anforderungen erfüllt, und ein geeigneter Parameteridentifikationsalgorithmus, der die in Anhang C festgelegten Anforderungen erfüllt, zu verwenden.

Wird das Speichermodell zum ersten Mal auf eine bestimmte Speicherauslegung (z. B. Speicher mit einer Vorrichtung zur Temperaturschichtung, die nach dem Thermosiphon-Prinzip funktioniert) angewendet, so muss die Verifizierung der Ergebnisse der Speicherprüfung nach Anhang B erfolgen.

Das Speichermodell muss die in Anhang A angegebenen Anforderungen an die Benchmarktests erfüllen.

Für die Parameteridentifikation können die Messdaten komprimiert und/oder in konstante Zeitschritte umgerechnet werden. In beiden Fällen müssen die Datensätze die Mittelwerte über den entsprechenden Zeitschritt wiedergeben. Während der Beladung und Entladung sollte das Messintervall 3 min nicht überschreiten. Während der Stand-by-Phase darf das Messintervall 15 min betragen.

Für die Parameteridentifikation (fit) sind die gemessenen Werte der Speichereintrittstemperaturen, der Umgebungstemperatur, der Volumenströme und der Leistung der elektrischen Wärmequelle(n) als Eingangsgrößen zu verwenden. Da am Anfang jeder Prüfung der Speicher immer auf 20 °C konditioniert ist, wird keine Zeit zum Einschwingen (skip time) benötigt. Daher müssen die zur Parameteridentifikation verwendeten Daten mit der zweiten Testphase beginnen und ist $\vartheta_s = 20$ °C als Initialisierungstemperatur für das Speichermodell zu verwenden.

6.3.3.2 Ermittlung aller Speicherparameter (mit Ausnahme der vertikalen Position der Temperaturfühler)

Alle durch Parameteridentifikation zu ermittelnden Kennwerte sind im Rahmen eines Parameteridentifikationsprozesses festzustellen. Diese Anforderung ist für die Ermittlung der vertikalen Positionen der Temperaturfühler nicht relevant.

Für alle Zeitschritte ist während der Parameteridentifikation für jeden Anschluss 'x' ($x = C$ für Beladung und $x = D$ für Entladung) der Absolutwert der Differenz zwischen der gemessenen und der berechneten übertragenen Wärmeleistung wie Gleichung (1) zu bestimmen:

$$\Delta P_x = |P_{x,p} - P_{x,m}| \quad (1)$$

wobei die berechnete übertragene Wärmeleistung, $P_{x,p}$, und die gemessene Wärmeleistung, $P_{x,m}$, nach Gleichungen (2) und (3) zu bestimmen sind:

$$P_{x,p} = \bar{\rho} \times \bar{c}_p \times \dot{V} \times (\vartheta_{x,i} - \vartheta_{x,o,p}) \quad (2)$$

$$P_{x,m} = \bar{\rho} \times \bar{c}_p \times \dot{V} \times (\vartheta_{x,i} - \vartheta_{x,o,m}) \quad (3)$$

Die Funktion $f(t)$, die für die Ermittlung der Speicherparameter (mit Ausnahme der vertikalen Position der Temperaturfühler) zu minimieren ist, ist das Integral über die Summe aller absoluten Differenzen der Wärmeleistung berechnet mit Gleichung (4):

$$f(t) = \int_t \sum_x \Delta P_x dt \quad (4)$$

6.3.3.3 Ermittlung der vertikalen Position der Temperaturfühler

Wurden alle Parameter des Speichers (mit Ausnahme der vertikalen Position der Temperaturfühler) nach 6.3.3.2 ermittelt, so muss die Bestimmung der vertikalen Position der Temperaturfühler bzw. deren Lage wie in diesem Abschnitt beschrieben ermittelt werden. Zur Beschreibung des thermischen Verhaltens des Speichers mit Hilfe des numerischen Modells sind die nach 6.3.3.2 ermittelten Parameter zu verwenden.

Für jeden Zeitschritt während der Parameteridentifikation für jeden Temperaturfühler 'z' ist der Absolutwert der Differenz zwischen der gemessenen Temperatur am Ort des Temperaturfühlers, $\vartheta_{z,m}$, und der berechneten Temperatur am Ort des Temperaturfühlers, $\vartheta_{z,p}$, wie Gleichung (5) zu bestimmen:

$$\Delta \vartheta_z = |\vartheta_{z,m} - \vartheta_{z,p}| \quad (5)$$

Die Funktion $f(t)$, die für die Ermittlung der vertikalen Position des Temperaturfühlers zu minimieren ist, ist das Integral über die Summe aller absoluten Temperaturdifferenzen für den Temperaturfühler 'z' wie in der Gleichung (6) angegeben: