

DIN EN ISO 9806



ICS 27.160

Ersatz für
DIN EN 12975-2:2006-06

**Solarenergie –
Thermische Sonnenkollektoren –
Prüfverfahren (ISO 9806:2013);
Deutsche Fassung EN ISO 9806:2013**

Solar energy –
Solar thermal collectors –
Test methods (ISO 9806:2013);
German version EN ISO 9806:2013

Énergie solaire –
Capteurs thermiques solaires –
Méthodes d'essai (ISO 9806:2013);
Version allemande EN ISO 9806:2013

Gesamtumfang 130 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9806:2013) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT (Griechenland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 041-01-56 AA „Solaranlagen (SpA CEN/TC 312 und ISO/TC 180)“ im Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS).

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12975-2:2006-06 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Titel geändert;
- b) die Norm redaktionell überarbeitet;
- c) Aufbau und Gestaltung der Begriffe vollständig überarbeitet;
- d) der gesamte Anwendungsbereich wurde neu formuliert und umfasst nun
 - Prüfverfahren für die Bewertung der Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Fluidkollektoren;
 - Prüfverfahren für die Beschreibung von Fluidkollektoren hinsichtlich ihrer Wärmeleistung, d. h. der Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Fluidkollektoren im stationären Zustand und unter quasi-dynamischen Bedingungen und der Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Luftkollektoren (mit offenem und geschlossenem Kreislauf);
 - Hybridkollektoren, die Wärme und Strom erzeugen. Sie deckt jedoch keine die elektrische Sicherheit betreffenden Eigenschaften oder sonstige besondere Eigenschaften ab, die sich auf die Stromerzeugung beziehen;
 - Kollektoren, die externe Stromquellen für den Normalbetrieb und/oder sicherheitsrelevante Zwecke nutzen;
- e) die gesamte Norm wurde technisch überarbeitet, konsolidiert und inhaltlich auf Konsistenz geprüft.

Frühere Ausgaben

DIN 4757-3: 1980-11
DIN 4757-4: 1982-07
DIN V 4757-3: 1995-11
DIN V 4757-4: 1995-11
DIN EN 12975-2: 2002-12, 2006-06

Deutsche Fassung

Solarenergie —
Thermische Sonnenkollektoren —
Prüfverfahren (ISO 9806:2013)

Solar energy —
Solar thermal collectors —
Test methods (ISO 9806:2013)

Énergie solaire —
Capteurs thermiques solaires —
Méthodes d'essai (ISO 9806:2013)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. September 2013 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	5
Einleitung.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	9
5 Allgemeines	14
5.1 Übersicht über die Prüfungen — Abfolge der Prüfungen	14
5.2 Besondere Aspekte von Kollektoren, bei denen externe Energiequellen und aktive oder passive Maßnahmen für den Normalbetrieb und den Selbstschutz zum Einsatz kommen.....	15
6 Innendruckprüfungen für Wärmeträgerkanäle	15
6.1 Anorganische Wärmeträgerkanäle	15
6.2 Wärmeträgerkanäle aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)	16
6.3 Prüfeinrichtung und Durchführung	16
6.4 Ergebnisse.....	17
7 Dichtheitsprüfung (nur bei Luftkollektoren mit geschlossenem Kreislauf)	17
7.1 Zweck	17
7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	17
7.3 Prüfbedingungen	18
7.4 Ergebnisse.....	18
8 Bruch- oder Druckprüfung (nur bei Luftkollektoren)	18
8.1 Zweck	18
8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	18
8.3 Prüfbedingungen	20
8.4 Ergebnisse und ihre Darstellung	20
9 Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit	20
9.1 Zweck	20
9.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	20
9.3 Prüfbedingungen	21
9.4 Ergebnisse.....	22
10 Norm-Stillstandstemperatur von Fluidkollektoren.....	22
10.1 Allgemeines	22
10.2 Messung und Extrapolation der Norm-Stillstandstemperatur	23
10.3 Bestimmung der Norm-Stillstandstemperatur anhand von Wirkungsgradparametern	23
10.4 Ergebnisse.....	24
11 Freilandbewitterungsprüfung und Vorbewitterung.....	24
11.1 Zweck	24
11.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	24
11.3 Prüfbedingungen	25
11.4 Ergebnisse.....	26
12 Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel	26
12.1 Zweck	26
12.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	26
12.3 Prüfbedingungen	26
12.4 Ergebnisse.....	27
13 Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel	27

13.1	Zweck.....	27
13.2	Prüfeinrichtung und Durchführung	27
13.3	Prüfbedingungen	27
13.4	Ergebnisse	28
14	Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser	28
14.1	Zweck.....	28
14.2	Prüfeinrichtung und Durchführung	28
14.3	Prüfbedingungen	29
14.4	Ergebnisse	31
15	Frostbeständigkeitsprüfung.....	31
15.1	Zweck.....	31
15.2	Prüfeinrichtung und Durchführung	31
15.3	Prüfbedingungen	32
15.4	Ergebnisse	32
16	Mechanische Belastungsprüfung mit Über- oder Unterdruck.....	32
16.1	Zweck.....	32
16.2	Prüfeinrichtung und Durchführung	32
16.3	Prüfbedingungen	33
16.4	Ergebnisse	33
17	Schlagfestigkeitsprüfung	34
17.1	Zweck.....	34
17.2	Prüfverfahren	34
17.3	Auftreffbereich	34
17.4	Verfahren 1: Schlagfestigkeitsprüfung mit Eiskugeln.....	35
17.5	Verfahren 2: Schlagfestigkeitsprüfung mit Stahlkugeln	36
17.6	Ergebnisse	36
18	Endkontrolle (in Verbindung mit den Abschnitten 5 bis 17).....	36
19	Prüfbericht (in Verbindung mit den Abschnitten 5 bis 18).....	37
20	Leistungsprüfung von Fluidkollektoren.....	37
20.1	Allgemeines	37
20.2	Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators	37
21	Montage und Standort des Kollektors	38
21.1	Allgemeines	38
21.2	Kollektorrahmen	39
21.3	Neigungswinkel	40
21.4	Kollektorausrichtung bei Aufstellung im Freien	40
21.5	Abschattung der direkten Sonnenstrahlung	40
21.6	Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung.....	40
21.7	Thermische Bestrahlungsstärke.....	41
21.8	Luftgeschwindigkeit in der Umgebung	41
22	Messgeräteausrüstung	42
22.1	Messung der Sonnenstrahlung.....	42
22.2	Wärmestahlungsmessung	43
22.3	Temperaturmessungen.....	45
22.4	Messung der Durchflussgeschwindigkeit	47
22.5	Messung der Luftgeschwindigkeit in der Umgebung.....	48
22.6	Abgelaufene Zeit.....	50
22.7	Druckmessung.....	50
22.8	Feuchtemessung	50
22.9	Brutto-Kollektorfläche.....	50
22.10	Flüssigkeitsinhalt im Kollektor	51
23	Prüfaufbau	51
23.1	Fluidkollektoren	51

23.2	Luftkollektoren	55
24	Verfahren für die Leistungsprüfung	57
24.1	Allgemeines	57
24.2	Prüfstand	57
24.3	Vorbehandlung des Kollektors.....	58
24.4	Prüfbedingungen	58
24.5	Prüfverfahren	60
24.6	Messungen	62
24.7	Prüfdauer	64
24.8	Darstellung der Prüfergebnisse	68
25	Berechnung der Kollektorparameter	69
25.1	Fluidkollektoren	69
25.2	Luftkollektoren unter stationären Bedingungen	72
26	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	73
26.1	Messung der effektiven Wärmekapazität (gesonderte Messung).....	73
26.2	Messung der effektiven Wärmekapazität (quasi-dynamisches Verfahren)	76
26.3	Rechenverfahren.....	76
26.4	Bestimmung der Zeitkonstante des Kollektors (optional).....	77
27	Bestimmung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors	79
27.1	Modellierung.....	79
27.2	Prüfverfahren	83
27.3	Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors für den Kollektor	84
28	Bestimmung des Druckabfalls über einem (Fluid-)Kollektor (optional)	85
28.1	Allgemeines	85
28.2	Prüfaufbau	85
28.3	Vorbehandlung des Kollektors.....	86
28.4	Prüfverfahren	86
28.5	Messungen	86
28.6	Durch Armaturen verursachter Druckabfall.....	87
28.7	Prüfbedingungen	87
28.8	Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	87
28.9	Druckabfall bei Luftkollektoren	87
	Anhang A (normativ) Prüfberichte	89
	Anhang B (informativ) Mathematische Modelle für Fluidkollektoren.....	114
	Anhang C (normativ) Eigenschaften von Wasser	119
	Anhang D (informativ) Allgemeine Leitlinien zur Abschätzung der Unsicherheit bei der Prüfung des Wirkungsgrades von Sonnenkollektoren	122
	Anhang E (informativ) Messung der geschwindigkeitsgewichteten mittleren Temperatur.....	126
	Literaturhinweise	128

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 9806:2013) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2014, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2014 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 12975-2:2006, EN ISO 9806-1:1994, EN ISO 9806-2:1995, EN ISO 9806-3:1995.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 9806:2013 wurde vom CEN als EN ISO 9806:2013 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Diese Internationale Norm legt Verfahren für die Prüfung von Fluidkollektoren hinsichtlich Leistungsverhalten, Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit und Sicherheit unter genau festgelegten und wiederholbaren Bedingungen fest. Sie enthält Leistungsprüfverfahren zur Durchführung im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung und der Einwirkung von natürlichem oder simuliertem Wind und zur Durchführung in Innenräumen unter simulierten Sonneneinstrahlungs- und Windbedingungen. Die Prüfungen im Freien können entweder im stationären Zustand oder als Ganztagsmessungen unter veränderlichen Witterungsbedingungen durchgeführt werden.

Die nach dieser Internationalen Norm geprüften Kollektoren repräsentieren ein breites Anwendungsspektrum, das von z. B. nachgeführten konzentrierenden Kollektoren für die thermische Energieerzeugung und Prozesswärme über abgedeckte Flachkollektoren und Vakuum-Röhrenkollektoren für die Brauchwasserbereitung und Raumheizung bis hin zu unabgedeckten Kollektoren für die Beheizung von Schwimmbecken oder sonstige Nutzungen im Niedertemperaturbereich reichen. In den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm wurden auch die Luftkollektoren aufgenommen. Ebenso werden nun auch Kollektoren betrachtet, die externe Energiequellen für den Normalbetrieb und/oder sicherheitsrelevante Zwecke (wie z. B. für den Schutz vor Überhitzung, Umweltgefährdungen usw.) nutzen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Prüfverfahren für die Bewertung der Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit von Fluidkollektoren fest.

Außerdem enthält diese Internationale Norm Prüfverfahren für die Beschreibung von Fluidkollektoren hinsichtlich ihrer Wärmeleistung, d. h. der Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Fluidkollektoren im stationären Zustand und unter quasi-dynamischen Bedingungen und der Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Luftkollektoren (mit offenem und geschlossenem Kreislauf).

Diese Internationale Norm gilt auch für Hybridkollektoren, die Wärme und Strom erzeugen. Sie deckt jedoch keine die elektrische Sicherheit betreffenden Eigenschaften oder sonstige besondere Eigenschaften ab, die sich auf die Stromerzeugung beziehen.

Diese Internationale Norm gilt auch für Kollektoren, die externe Stromquellen für den Normalbetrieb und/oder sicherheitsrelevante Zwecke nutzen.

Diese Internationale Norm ist nicht auf Kollektoren anwendbar, bei denen der Wärmespeicher ein integraler Bestandteil des Kollektors ist, sodass sich der Prozess im Kollektor nicht vom Prozess der Wärmespeicherung trennen lässt, wie dies erforderlich sein kann, um beispielsweise Messungen in Bezug auf diese beiden Prozesse durchzuführen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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).

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO 9060, *Solar energy — Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation*

ISO 9488, *Solar energy — Vocabulary*

ASTM E330-02 *Standard test method for structural performance of exterior windows, doors, skylights and curtain walls by uniform static air pressure difference*

EN 779, *Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik — Bestimmung der Filterleistung*

EN 13142, *Lüftung von Gebäuden — Bauteile/Produkte für die Lüftung von Wohnungen — Geforderte und frei wählbare Leistungskenngrößen*

EN 13779, *Lüftung von Nichtwohngebäuden — Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme*

VDI 4670, *Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen*

3 Begriffe

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

3.1

Einfallswinkel in Längsrichtung

Winkel zwischen dem Normal der Kollektorebene und der in die Längsebene projizierten direkt einfallenden Sonnenstrahlung

Anmerkung 1 zum Begriff: Nicht anwendbar bei Kollektoren mit Punktfokussierung und zentralen Empfängern.

3.2

Längsebene

Ebene, die durch das Normal der Kollektorebene und die Konzentratorachse, oder im Falle flacher zweiachsiger Geometrien, durch die größte Symmetrieachse definiert ist

3.3

Betriebshöchsttemperatur

Höchsttemperatur, die im Normalbetrieb des Kollektors oder der Anlage erreicht wird und die in der Regel vom Hersteller angegeben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: konzentrierender Kollektor

3.4

Modul

kleinste Einheit, die als Solarenergiesammeleinrichtung dienen kann

3.5

strömungsloser Zustand

Zustand, der eintritt, wenn die Wärmeträgerflüssigkeit aufgrund einer Abschaltung oder Störung des Systems nicht durch das Kollektorfeld fließt und der Kollektor derselben solaren Einstrahlung ausgesetzt ist wie unter normalen Betriebsbedingungen

3.6

optische Achse

Symmetrieachse, die in Kollektoren mit Linienfokussierung senkrecht zur Brennpunktlinie und zur Kollektorebene verläuft

3.7

Ausgasen

Prozess, bei dem ein Feststoff unter der Einwirkung von erhöhten Temperaturen und/oder verringertem Druck Gase freisetzt

3.8

Spitzenwirkungsgrad

Wirkungsgrad des Kollektors bei einer Temperaturdifferenz ($\vartheta_m - \vartheta_a = 0$) basierend auf senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung und entweder hemisphärischer oder direkter Bestrahlungsstärke

3.9

Spitzenleistung

vom Kollektor bei einer Temperaturdifferenz ($\vartheta_m - \vartheta_a = 0$) abgegebene Leistung basierend auf senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung und entweder hemisphärischer Bestrahlungsstärke oder bestimmten Kombinationen von direkter und diffuser Bestrahlungsstärke

3.10

passiv

Betriebsbedingung, bei der kein Eingriff durch Mensch oder Maschine erforderlich ist, damit der Betrieb wie vorgesehen läuft

Anmerkung 1 zum Begriff: konzentrierender Kollektor

3.11

Reflektor oder reflektierende Oberfläche

Oberfläche, die hauptsächlich dazu dient, Strahlungsenergie zu reflektieren {konzentrierender Kollektor}

Anmerkung 1 zum Begriff: konzentrierender Kollektor

Anmerkung 2 zum Begriff: Er bzw. sie enthält gegebenenfalls auch den optionalen Rekonzentrator.

3.12

simuliertes Dach

Tragwerk, das aus Baustoffen einer Qualität besteht, wie sie üblicherweise für Dächer von der Dachkonstruktion bis zur Dachdeckung verwendet wird

3.13

transversaler Einfallswinkel

Winkel zwischen dem Kollektor, dem Kollektorebenen-Normal und dem in die Querebene projizierten einfallenden Sonnenstrahl

Anmerkung 1 zum Begriff: Nicht anwendbar bei Kollektoren mit Punktfokussierung und zentralen Empfängern.

3.14

Querebene

Ebene, die durch das Kollektorebenen-Normal und die senkrecht zur Konzentratorachse verlaufende Gerade oder, im Falle flacher zweiachsiger Geometrien, durch die kürzeste Symmetrieachse definiert ist

3.15

Auslöse- oder Sicherheitsaktivierungstemperatur

Temperaturwert, bei dem die Sicherheitssteuereinrichtungen für den ausfallsicheren Betriebszustand aktiviert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: konzentrierender Kollektor

4 Symbole und Abkürzungen

A_G	Brutto-Kollektorfläche	m^2
AM	optische Luftmasse	—
a_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$	$W/(m^2 \cdot K)$
a_2	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K^2)$
B	„Position der Erde“ in ihrem Jahreslauf um die Sonne herum (0° bis 360°)	Grad
b_u	Kollektorwirkungsgradfaktor (windabhängig)	s/m
b_0	Konstante zur Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors	
b_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$	$W/(m^2 \cdot K)$
b_2	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$Ws/(m^3 \cdot K)$
C	effektive Wärmekapazität des Kollektors	J/K
C_R	Konzentrationsverhältnis	—
c_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$	$W/(m^2 \cdot K)$
c_2	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$W/(m^2 \cdot K^2)$
c_3	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$J/(m^3 \cdot K)$
c_4	von der Himmelstemperatur abhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	—
c_5	effektive Wärmekapazität	$J/(m^2 \cdot K)$
c_6	von der Windgeschwindigkeit abhängiger Konversionsfaktor	s/m

c_f	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers	J/(kg·K)
$C_{f,i}$	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers am Kollektoreintritt	J/(kg·K)
$C_{f,e}$	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers am Kollektorausritt	J/(kg·K)
$C_{f,a}$	spezifische Wärmekapazität der Umgebungsluft	J/(kg·K)
D	Datum	JJMMTT
E	Formel für die zeitliche Korrektur des exzentrischen Pfades der Erde um die Sonne	min
E_L	langwellige Einstrahlung ($\lambda < 3 \mu\text{m}$)	W/m ²
E_β	langwellige Einstrahlung auf eine geneigte Oberfläche im Freien	W/m ²
E_s	langwellige Einstrahlung	W/m ²
F	Strahlungssichtfaktor	
F'	Kollektorwirkungsgradfaktor	
G	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke	W/m ²
G''	Nettobestrahlungsstärke	W/m ²
G_b	direkte solare Bestrahlungsstärke	W/m ²
G_d	diffuse solare Bestrahlungsstärke	W/m ²
H	hemisphärische Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene	MJ/m ²
$h_{f,a}$	Enthalpie des Luft/Wasserdampf-Gemischs der Umgebungsluft	J/kg
$h_{f,e}$	Enthalpie des Luft/Wasserdampf-Gemischs am Austritt des Luftkollektors	J/kg
$h_{f,i}$	Enthalpie des Luft/Wasserdampf-Gemischs am Eintritt des Luftkollektors	J/kg
h_L	Enthalpie des austretenden Luft/Wasserdampf-Gemischs	J/kg
$K_{\text{hem}}(\theta_L, \theta_T)$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor	—
$K_b(\theta_L, \theta_T)$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für direkte Strahlung	—
$K_{\theta_{L,\text{coll}}}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor entlang der Kollektorrohre oder -reflektoren	—
$K_{\theta_{T,\text{coll}}}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor im rechten Winkel zu den Kollektorrohren oder -reflektoren	—
K_d	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung	—
m	thermisch aktive Kollektormasse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom der Wärmeträgerflüssigkeit	kg/s
$\dot{m}_{\text{min}}$	Mindestmassenstrom in der Leistungsprüfung	kg/h
$\dot{m}_{\text{max}}$	maximaler Massenstrom in der Leistungsprüfung	kg/h
$\dot{m}_{\text{pe}}$	Luftmassenstrom (in Strömungsrichtung) dahinter	kg/s

$\dot{m}_{pi}$	Luftmassenstrom (in Strömungsrichtung) davor	kg/h
$\dot{m}_{pl}$	Leckage-Luftmassenstrom	kg/h
$p_{f,e}$	statischer Druck des Wärmeträgers (Luft) am Austritt des Sonnenkollektors	Pa
$p_{f,i}$	statischer Druck des Wärmeträgers (Luft) am Eintritt des Sonnenkollektors	Pa
P_{abs}	Absolutdruck der Umgebungsluft	Pa
$\dot{Q}$	Nutzwärmeleistung des Kollektors	W
$\dot{Q}_{peak}$	vom Kollektormodul bei senkrechtem Einfall, $G = 1\,000\text{ W/m}^2$ und $\vartheta_m - \vartheta_a = 0\text{ K}$ abgegebene Leistung	W
$\dot{Q}_t$	mittlere im Verlauf eines Zeitschritts abgegebene Leistung	W
$\dot{Q}/A_G$	spezifische Nutzenergie des Kollektors	W/m ²
Q_{modul}	Nutzenergie des Kollektors, jährlicher Energiegewinn	kWh je Modul
$\dot{Q}_L$	Verlustwärmeleistung des Kollektors	W
R_D	Gaskonstante für Wasserdampf	461,4 J/(kg·K)
rH_{amb}	(relative) Feuchte der Umgebungsluft	%
rH_e	(relative) Feuchte des Wärmeträgers (Luft) am Austritt des Sonnenkollektors	%
rH_i	(relative) Feuchte des Wärmeträgers (Luft) am Eintritt des Sonnenkollektors	%
R_L	Gaskonstante für Luft	287,1 J/(kg·K)
T	absolute Temperatur	K
T_m^*	reduzierte Temperaturdifferenz $(= (\vartheta_m - \vartheta_a)/G)$	(m ² K)/W
$\vartheta_{m,max}$	vom Hersteller angegebene Betriebshöchsttemperatur	°C
T_s	atmosphärische oder äquivalente Himmelsstrahlungstemperatur	K
t	Zeit	s
U	gemessener Gesamt-Wärmeverlustkoeffizient eines Kollektors in Bezug auf T_m^*	W/(m ² K)
U_L	Gesamt-Wärmeverlustkoeffizient eines Kollektors bei einheitlicher Absorbertemperatur ϑ_m	W/(m ² K)
u	Umgebungsluftgeschwindigkeit	m/s
V_f	Wärmeträgerinhalt des Kollektors	m ³
$\dot{V}_p$	Volumenstrom	m ³ /s
$\dot{V}_{p,e}$	Volumenstrom am Austritt des Sonnenkollektors	m ³ /s

$\dot{V}_{p,i}$	Volumenstrom am Eintritt des Sonnenkollektors	m ³ /s
$\dot{V}_{p,L}$	Leckagevolumenstrom	m ³ /s
$X_{W,a}$	Wassergehalt der Umgebungsluft	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
$X_{W,e}$	Wassergehalt am Austritt des Sonnenkollektors	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
$X_{W,i}$	Wassergehalt am Eintritt des Sonnenkollektors	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
α	solarer Absorptionsgrad	%
α_s	solarer Höhenwinkel	Grad
β	Neigungswinkel einer Ebene zur Horizontalen	Grad
γ	Azimutwinkel des Kollektors (0 = Süden, nach Osten negativ)	Grad
γ_s	solarer Azimutwinkel (0 = Süden, nach Osten negativ)	Grad
Δp	Druckdifferenz zwischen Wärmeträgereintritt und -austritt	Pa
Δt	Zeitintervall	s
ΔT	Temperaturunterschied zwischen Wärmeträgeraustritt und -eintritt ($\vartheta_e - \vartheta_{in}$)	K
δ	solare Deklination	Grad
ε	hemisphärischer Emissionsgrad	%
η	Kollektorwirkungsgrad in Bezug auf T_m^*	—
η_b	Kollektorwirkungsgrad in Bezug auf T_m^* , basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G_b	—
η_{hem}	Kollektorwirkungsgrad in Bezug auf T_m^* , basierend auf der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G	—
$\eta_{0,b}$	Spitzenwirkungsgrad des Kollektors (η_b bei $T_m^* = 0$), in Bezug auf T_m^* , basierend auf der direkten Bestrahlungsstärke G_b	—
$\eta_{0,hem}$	Spitzenwirkungsgrad des Kollektors (η_{hem} bei $T_m^* = 0$), in Bezug auf T_m^* , basierend auf der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G	—
$\eta_{max,0m/s}$	höchster Kollektorwirkungsgrad (bei 0 m/s und festgelegtem Massenstrom)	—
η_m	Kollektorwirkungsgrad in Bezug auf $\eta_{max,0m/s}$	—
θ	Einfallswinkel	Grad
$\theta_{T,def}$	Bezugswinkel in T -Richtung für die Bestimmung von IAM. Üblicherweise = 0	Grad
$\theta_{L,def}$	Bezugswinkel in L -Richtung für die Bestimmung von IAM. Üblicherweise = 0	Grad

θ_Z	solarer Zenitwinkel ($= 90 - \theta_H$)	Grad
$\theta_{ }$ oder θ_L	Einfallswinkel in Längsrichtung	Grad
$\theta_{\perp}$ oder θ_T	Einfallswinkel in Querrichtung	Grad
ϑ_a	Temperatur der Umgebungsluft	°C
ϑ_{dp}	atmosphärische Taupunkttemperatur	°C
ϑ_e	Temperatur am Kollektorausstritt	°C
ϑ_{in}	Temperatur am Kollektoreintritt	°C
ϑ_m	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	°C
ϑ_{max_op}	Betriebshöchsttemperatur	°C
ϑ_s	atmosphärische oder Himmelstemperatur	°C
ϑ_{stg}	Norm-Stillstandstemperatur	°C
$\vartheta_{trigger}$	Temperatur für die Auslösung der Sicherheitseinrichtung	°C
$\vartheta_{m,th}$	volumenstromgewichtetes Temperaturmittel	°C
$\vartheta_{max,start}$	höchste Starttemperatur	°C
$\vartheta_{mp,e}$	Flüssigkeitstemperatur am nachgeschalteten Luftmassenmesser	°C
$\vartheta_{mp,i}$	Flüssigkeitstemperatur am vorgeschalteten Luftmassenmesser	°C
λ	Wellenlänge	μm
ρ	Dichte des Wärmeträgers	kg/m^3
ρ_l	Luftdichte	kg/m^3
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$
τ_c	Kollektorzeitkonstante(n)	
τ	Durchlassgrad	
$(\tau\alpha)$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt	—
Φ	geographische Breite des Kollektors und des Ortes der Klimadaten	Grad
ω	Sonnenstundenwinkel	Grad

ANMERKUNG 1 Zur Bezeichnung der solaren Bestrahlungsstärke wird im Bereich der Solarenergie anstelle des für die Bestrahlungsstärke üblichen Symbols E bevorzugt das Symbol G verwendet.

ANMERKUNG 2 In der Grundlagenliteratur wird C häufig mit $(mC)_e$ bezeichnet (siehe auch Abschnitt 26).

ANMERKUNG 3 Für weitere Informationen zu den Wärmeleistungskoeffizienten (-parametern) c_1 bis c_6 siehe B.1.

ANMERKUNG 4 Kollektoren, die nicht für die Erzeugung von Dampf oder überhitztem Wasser vorgesehen sind, haben eine Betriebshöchsttemperatur $\vartheta_{m,max} \leq 110$ °C.

5 Allgemeines

5.1 Übersicht über die Prüfungen — Abfolge der Prüfungen

Bei einigen Eignungsprüfungen (Tabelle 1) kann es erforderlich sein, einen Teil des Kollektors zu verändern, z. B. durch Bohren eines Loches in die Rückseite des Kollektors, um einen Temperaturfühler am Absorber anbringen zu können. In diesen Fällen sollte besonders darauf geachtet werden, dass eventuell hervorgerufene Schäden die Ergebnisse der nachfolgenden Eignungsprüfungen nicht beeinträchtigen, z. B. durch eindringendes Wasser in einen zuvor regendichten Kollektor.

Tabelle 1 — Liste der Prüfungen

Abschnitt	Prüfung
6	Innendruckprüfung für Wärmeträgerkanäle ^{f g}
7	Dichtheitsprüfung ^h
8	Bruch- und Druckprüfung ^h
9	Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit ^{a b}
11	Freilandbewitterungsprüfung ^b
12	Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel ^c
13	Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel ^c
14	Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser ^{d h}
15	Frostbeständigkeitsprüfung ^{e h}
16	Mechanische Belastungsprüfung ^h
17	Schlagfestigkeitsprüfung ⁱ
20	Wärmeleistungsprüfung ^j
28	Druckabfallmessung ^{h l}
18	Endkontrolle ^k

^a Bei organischen Absorbern muss die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit vor der Innendruckprüfung erfolgen, um die für die Innendruckprüfung erforderliche Norm-Stillstandtemperatur des Kollektors zu bestimmen.

^b Die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit und die Freilandbewitterungsprüfung müssen am selben Kollektor durchgeführt werden.

^c Die beiden Prüfungen mit schnellem äußeren und inneren Temperaturwechsel dürfen mit der Freilandbewitterungsprüfung oder der Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit kombiniert werden

^d Die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser ist nur bei abgedeckten Kollektoren vorzunehmen.

^e Die Frostbeständigkeitsprüfung ist nur bei Kollektoren durchzuführen, die als frostbeständig bezeichnet werden.

^f Ist nur bei Fluidkollektoren anwendbar.

^g Bei Wärmeträgerkanälen aus organischen Materialien ist vor der Prüfung eine vollständige Freilandbewitterung erforderlich, siehe Abschnitt 11.

^h Vor der Prüfung ist eine Vorbewitterung oder eine vollständige Freilandbewitterung erforderlich, siehe Abschnitt 11.

ⁱ Bei Polymerabdeckung ist vor der Prüfung eine Vorbewitterung oder eine vollständige Freilandbewitterung erforderlich, siehe Abschnitt 11.

^j Vor der Leistungsprüfung von Wärmeübertragungsrohrkollektoren ist eine vollständige Freilandbewitterung erforderlich.

^k Die Endkontrolle ist bei allen Kollektoren durchzuführen.

^l Nur bei Luftheizkollektoren verbindlich gefordert.

5.2 Besondere Aspekte von Kollektoren, bei denen externe Energiequellen und aktive oder passive Maßnahmen für den Normalbetrieb und den Selbstschutz zum Einsatz kommen

Kollektoren sind so zu prüfen, dass sie in der Lage sind, ihre Leistung und ihre Fähigkeit zum Selbstschutz vor üblichen Ausfällen, die durch die während ihrer Lebensdauer im Normalbetrieb möglichen Bedingungen verursacht werden können, in geeigneter Weise nachzuweisen.

Der Kollektor ist (sofern erforderlich) zusammenzubauen, und seine Bauelemente müssen den Festlegungen des Herstellers entsprechend betrieben werden. Falls der Kollektor über aktive Anlagenteile verfügt, die im Normalbetrieb funktionstüchtig sein müssen, sind diese Anlagenteile während der Prüfung in Betrieb zu halten. Die Nachführungseinrichtung ist, sofern vorgesehen, vom Kollektorhersteller zur Verfügung zu stellen und muss während der Prüfung betrieben werden. Konzentrierende Kollektoren, deren Konstruktion einen mit einem Kühlmittel oder einem anderen für den Wärmeaustausch geeigneten Fluid gefüllten und werkmäßig abgedichteten Behälter vorsieht, sind mit diesem Kühlmittel bzw. Fluid zu prüfen.

Die Schutzsysteme können aktiv sein, wie z.B. im Falle von Stellgliedern, Motoren und anderen Betriebsmitteln, oder auch passiv, wie im Falle von auf Wärme reagierenden Werkstoffen oder anderen konstruktiv vorgesehenen Einrichtungen. Der Hersteller muss die Eigenschaften der Einrichtungen zum Schutz der Anlage eindeutig festlegen und er muss angeben, ob für den Betrieb dieser Einrichtung(en) eine externe Energiequelle erforderlich ist oder nicht.

Der Kollektor kann eine Kombination von aktiven und passiven Steuerungselementen aufweisen, und in diesem Fall ist die Prüffolge so zu wählen, dass sich der geeignete Betrieb der aktiven und passiven Anlagenteile unter den Bedingungen des Normalbetriebs überprüfen lässt.

6 Innendruckprüfungen für Wärmeträgerkanäle

6.1 Anorganische Wärmeträgerkanäle

6.1.1 Zweck

Die Wärmeträgerkanäle müssen einer Druckprüfung unterzogen werden, um einschätzen zu können, in welchem Maße sie den im Betrieb auftretenden Drücken standhalten können.

6.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem hydraulischen Druckgeber (elektrische Pumpe oder Handpumpe), einem Sicherheitsventil, einem Belüftungsventil und einem Druckmessgerät mit einer Standardunsicherheit von besser als 5 %. Das Belüftungsventil muss verwendet werden, um die Wärmeträgerkanäle vor der Druckbeaufschlagung zu entlüften. Die anorganischen Wärmeträgerkanäle sind mit auf Raumtemperatur gehaltenem Wasser zu füllen und für die Prüfdauer dem Prüfdruck auszusetzen. Dieser Druck muss aufrechterhalten bleiben, während die Wärmeträgerkanäle auf Ausbauchung, Verwindung oder Risse untersucht werden.

6.1.3 Prüfbedingungen

Die Druckprüfung von anorganischen Wärmeträgerkanälen ist bei einer Umgebungstemperatur im Bereich von 5 °C bis 40 °C unter Lichtschutz durchzuführen. Der Prüfdruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten höchsten Kollektorbetriebsdrucks betragen. Der Prüfdruck muss für eine Dauer von 15 min (innerhalb von ± 5 %) aufrechterhalten werden.

6.2 Wärmeträgerkanäle aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)

6.2.1 Zweck

Die Wärmeträgerkanäle müssen einer Druckprüfung unterzogen werden, um einschätzen zu können, in welchem Maße sie den Drücken standhalten können, denen sie im Betrieb bei erhöhter Temperatur ausgesetzt sein können. Die Prüfungen sind bei erhöhten Temperaturen durchzuführen, weil die Druckfestigkeit eines organischen Wärmeträgerkanals bei Erhöhung seiner Temperatur nachteilig beeinflusst werden kann.

6.3 Prüfeinrichtung und Durchführung

6.3.1 Allgemeines

Die Prüfeinrichtung besteht aus einem hydraulischen oder pneumatischen Druckgeber und einer Vorrichtung zum Aufheizen der Wärmeträgerkanäle auf die geforderte Prüftemperatur.

Die in 6.3.4 festgelegten Prüfbedingungen müssen vor der Prüfung für eine Dauer von mindestens 30 min und während der gesamten Prüfdauer aufrechterhalten werden.

Der Druck in den Wärmeträgerkanälen ist in Stufen wie in 6.3.4 festgelegt zu erhöhen. Wenn möglich sollte der Druck während der Untersuchung der Wärmeträgerkanäle gehalten werden.

Aus Sicherheitsgründen muss der Kollektor in ein transparentes Gehäuse eingeschlossen sein, um bei einem explosionsartigen Ausfall während dieser Prüfung das Personal zu schützen.

Es muss eines der in 6.3.2 und 6.3.3 beschriebenen Verfahren gewählt werden.

6.3.2 Organische Wärmeträgerkanäle — Hydraulikdruckprüfung bei hohen Temperaturen

Die Wärmeträgerkanäle dürfen an einen Kreislauf angeschlossen werden, in dem ein erwärmter Wärmeträger fließt. Danach werden die Wärmeträgerkanäle und der Kreislauf mit Druck beaufschlagt. Die Wärmeträgerkanäle dürfen nach einem der folgenden Verfahren erwärmt werden:

- a) Eintauchen der Wärmeträgerkanäle in ein beheiztes Wasserbad und Druckprüfung. Die Zuleitung für den unter Druck stehenden Wärmeträger zum Absorber muss mit einem Sicherheitsventil, einem Belüftungsventil (falls gefordert) und einem Druckmessgerät ausgerüstet sein, dessen Standardunsicherheit besser als 5 % ist;
- b) Anschließen einer Heizvorrichtung an den Flüssigkeitskreislauf (das Fluid muss flüssig sein);
- c) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator;
- d) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung.

Es sollten Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um das Personal bei einem explosionsartigen Ausfall während der Prüfung vor heißem Fluid zu schützen.

6.3.3 Organische Wärmeträgerkanäle — pneumatische Druckprüfung bei hoher Temperatur

Die Wärmeträgerkanäle dürfen unter Verwendung von Druckluft druckgeprüft werden, wobei sie nach einem der beiden folgenden Verfahren zu erhitzen sind:

- a) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator;
- b) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung.

Die Druckluftzuleitung zu den Wärmeträgerkanälen muss mit einem Sicherheitsventil und einem Druckmessgerät ausgestattet sein, dessen Standardunsicherheit besser als 5 % ist.

6.3.4 Prüfbedingungen

Die Prüftemperatur muss die vom Hersteller festgelegte Betriebshöchsttemperatur oder die Norm-Stillstandstemperatur sein, je nachdem, welches der höhere Wert ist, siehe Abschnitt 10. Der Prüfdruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten höchsten Kollektorbetriebsdrucks betragen. Bei Wärmeträgerkanälen aus organischen Werkstoffen muss der Druck in (etwa fünf) gleichmäßigen Schritten bis zum Erreichen des Prüfdrucks erhöht werden, wobei jeder Zwischendruck jeweils 5 min lang zu halten ist. Anschließend muss der Prüfdruck für eine Dauer von mindestens 1 h gehalten werden.

6.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Undichtigkeiten¹⁾, Ausbauchung und Verwindung untersucht werden. Von einer Undichtigkeit kann ausgegangen werden, wenn der Druckverlust $\Delta P > 5 \%$ des Prüfdrucks oder als 17 kPa ist, je nachdem, welches der größere Wert ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind zusammen mit den angewendeten Druck- und Temperaturwerten sowie der Prüfdauer im Prüfbericht anzugeben.

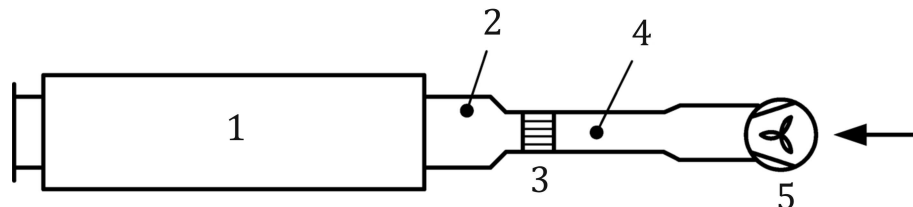
7 Dichtheitsprüfung (nur bei Luftkollektoren mit geschlossenem Kreislauf)

7.1 Zweck

Diese Prüfung dient dazu, den Volumenstrom der aus Undichtigkeiten des Luftkollektors austretenden Luft, d. h. seinen Leckagevolumenstrom, zu quantifizieren. Bei einigen Kollektorausführungen ist die Dichtheitsprüfung nicht anwendbar, so z. B. bei Kollektoren mit offenem Kreislauf.

7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Für die Dichtheitsprüfung kann ein zur Volumenstrombestimmung geeignetes Durchflussmessgerät verwendet werden, wie es z. B. in Bild 1 — Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung für die Bestimmung der Luftdichtheit von Luftkollektoren zu sehen ist. Alle Leckagevolumenströme, die aus anderen Quellen als dem Prüfgegenstand stammen, sind zu quantifizieren und von dem für den Kollektor erhaltenen Ergebnis zu subtrahieren.



Legende

- 1 Solarluftherhitzer
- 2 Druckmessgerät
- 3 Durchflussmessgerät
- 4 Temperaturfühler
- 5 Lüfter

Bild 1 — Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung für die Bestimmung der Luftdichtheit von Luftkollektoren

¹⁾ Bei den Luftkollektoren gelten Undichtigkeiten nicht als Problem. Der Leckagevolumenstrom ist nach Abschnitt 7 zu bestimmen.

Der Kollektor ist so zu installieren, dass sein Luftaustritt abgedichtet und sein Eintritt an ein Messgerät zur Bestimmung des Luftvolumenstroms sowie an einen Lüfter mit einstellbarer Drehzahl angeschlossen ist. Die Druckdifferenz zwischen Eintritt und Umgebung ist mithilfe eines Druckdifferenzmessers zu messen. Die Prüfung selbst besteht aus zwei Teilen, einer Überdruck- und einer Unterdruck-Dichtheitsprüfung. Die Prüfung ist unter Beaufschlagung mit Überdruck bzw. Unterdruck durchzuführen. Die Standardunsicherheit muss für die Messung des Luftvolumenstroms besser als $\pm 2 \%$ und für die Druckdifferenzmessung besser als $\pm 10 \text{ Pa}$ sein.

7.3 Prüfbedingungen

Die Prüfung ist bei Umgebungstemperatur und ohne Bestrahlung durchzuführen. Die Umgebungstemperatur sollte während der Prüfung um nicht mehr als $\pm 5 \%$ schwanken. Es sind jeweils mindestens vier verschiedene Überdrücke und vier verschiedene Unterdrücke anzulegen. Der maximale Innendruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten maximalen Betriebsdrucks betragen. Der Druck ist in (etwa fünf) gleichmäßigen Schritten bis auf den maximalen Prüfdruck zu erhöhen. Die Prüfdauern der einzelnen Schritte müssen jeweils mindestens 10 min betragen.

Im Falle organischer Wärmeträgerkanäle wird empfohlen, die Prüfung bei der vom Hersteller festgelegten Betriebshöchsttemperatur oder bei der Norm-Stillstandtemperatur zu wiederholen, je nachdem, welches der höhere Wert ist.

7.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.4 entsprechend angegeben werden.

8 Bruch- oder Druckprüfung (nur bei Luftkollektoren)

8.1 Zweck

Diese Prüfung dient dazu, festzustellen, ob die betreffenden Luftkollektoren in der Lage sind, den Drücken standzuhalten, die sich für die Luftleitungssysteme, in die sie eingebaut werden, erwarten lassen.

8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

8.2.1 Allgemeines

Die Prüfeinrichtung muss aus einem pneumatischen Druckgeber, einer Einrichtung zur Druckmessung und einer Einrichtung zur Messung des Luftmassenstroms aus dem Kollektor bestehen. Im Falle von Kollektoren, bei denen organische Werkstoffe (Kunststoffe oder Elastomere) in direkten Kontakt mit dem Arbeitsfluid kommen, müssen die Prüfungen bei erhöhten Temperaturen durchgeführt werden, wofür eine Einrichtung zur Erwärmung des Absorbers auf die geforderte Prüftemperatur erforderlich ist.

Danach sollte der gesamte Kollektor nach einem der folgenden Verfahren erwärmt werden:

- a) Anschließen einer Heizvorrichtung an den Flüssigkeitskreislauf und Durchleiten von heißer Luft durch den Kollektor, bevor der Kollektoraustritt verschlossen wird;
- b) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator;
- c) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung.

Es müssen geeignete Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um das Personal bei einem explosionsartigen Ausfall während der Prüfung zu schützen.

Es kann im Wesentlichen die gleiche Einrichtung verwendet werden wie für die Dichtheitsprüfung, und die Messgenauigkeit muss dieselben Anforderungen erfüllen (siehe 7.2).

8.2.2 Kollektoren mit geschlossenem Kreislauf

Der Kollektor ist in gleicher Weise wie für die Dichtheitsprüfung zu montieren (siehe 7.2). Die für die Durchführung von Prüfungen mit gleichmäßiger Belastung eingebrachte Seitenwandöffnung ist dicht zu verschließen.

Die Prüfung ist nach folgendem Verfahren durchzuführen:

- a) Der Druckmesser ist in den Anschluss für den Kollektoraustritt einzubauen, und der Eintrittsanschluss ist durch den Durchflussmesser und den Druckregler für die Luftzufuhr anzuschließen.
- b) Es ist sicherzustellen, dass die Luftzufuhr für den vorgesehenen Über- oder Unterdruckmesser geeignet ist.
- c) Der Druckregler ist auf Umgebungsdruck einzustellen und der Druckablesewert bei Nullstellung ist zu notieren.
- d) Falls die Prüfung bei einer anderen Temperatur als der Umgebungstemperatur durchgeführt wird, muss der Kollektor nach einem der in 8.2.1 angegebenen Verfahren erwärmt werden.
- e) Die Luftzufuhr ist einzuschalten, und das Regelventil ist zu öffnen, bis ein Manometerdruck vom 1,5fachen des vom Hersteller festgelegten Betriebshöchstdrucks des Kollektors (Über- und/oder Unterdruck) erreicht ist, und dieser ist 10 min lang zu halten.
- f) Der Kollektor ist zu untersuchen, und sämtliche Anzeichen von strukturellem Schaden sind im Prüfbericht anzugeben.
- g) Die Anzeige des Durchflussmessers ist zu protokollieren.
- h) Der Druck ist wieder auf Atmosphärendruck zu senken bzw. zu erhöhen.
- i) Der Endablesewert des Manometers ist zu protokollieren.

8.2.3 Kollektoren

Die Prüfung ist nach folgendem Verfahren durchzuführen:

- a) Die Austrittsöffnung des Kollektors ist an ein geeignetes Entlüftungssystem anzuschließen. An der Austrittsöffnung des Kollektors ist eine Druckmessstelle vorzusehen, um den Druck am Kollektoraustritt in Bezug auf den atmosphärischen Druck zu messen. Die Druckmessstelle ist wie in Bild 8 — Beispiel für einen offenen Prüfkreislauf in 23.2.3 dargestellt zu positionieren.
- b) Es ist sicherzustellen, dass die Luftzufuhr für den geforderten Volumenstrom geeignet ist.
- c) Falls die Prüfung bei einer anderen Temperatur als der Umgebungstemperatur durchgeführt wird, muss der Kollektor nach einem der in 8.2.1 angegebenen Verfahren erwärmt werden.
- d) Der Druckablesewert bei Nullstellung ist zu notieren, wobei keine Luft durch den Kollektor fließen darf.
- e) Die Luftzufuhr ist einzuschalten und zu steigern, bis ein Volumenstrom vom 1,5fachen des vom Hersteller festgelegten Höchstwertes erreicht ist, und dieser ist für eine Dauer von mindestens 15 s zu halten. Der Kollektor ist in der für die normale Nutzung vorgesehenen Konfiguration zu prüfen, wobei Luft von atmosphärischem Druck in den Kollektor eingeleitet wird.
- f) Der Luftstrom ist für eine Dauer von mindestens 10 min aufrechtzuerhalten. Am Ende dieser Dauer von 10 min ist der Kollektor unter Beibehaltung des Luftvolumenstroms zu untersuchen, und sämtliche Anzeichen von Verwindung oder Zusammenbruch sind im Prüfbericht anzugeben.
- g) Der Luftvolumenstrom ist auf null zu stellen.
- h) Der Endablesewert des Manometers ist zu protokollieren.
- i) Der Kollektor ist auf Zusammenbruch, Verwindung und dauerhafte Verschiebung von Kollektorbauteilen zu untersuchen.

8.3 Prüfbedingungen

8.3.1 Temperatur

Kollektoren, bei denen organische Werkstoffe (Kunststoffe oder Elastomere) in direkten Kontakt mit dem Arbeitsfluid kommen, sind unter den folgenden Bedingungen und bei der höchsten Temperatur zu prüfen, die der Absorber erreicht:

- a) vom Hersteller des Sonnenkollektors empfohlener Mindestwert des Luftvolumenstroms;
- b) $1\,000\text{ W/m}^2$; und
- c) Temperatur der Umgebungsluft: 30 °C .

Alle anderen Luftkollektoren sind bei Umgebungstemperatur zu prüfen.

8.4 Ergebnisse und ihre Darstellung

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.5 entsprechend angegeben werden.

9 Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit

9.1 Zweck

Diese Prüfung dient dazu, schnell zu beurteilen, ob ein Kollektor hohen Temperaturen und Bestrahlungsstärken standhalten kann, ohne dass Ausfälle wie z.B. Glasbruch, Bruch der Kunststoffabdeckung, Schmelzen des Kunststoffabsorbers, durch Ausgasen von Kollektormaterial verursachte nennenswerte Niederschläge auf der Kollektorabdeckung oder sonstige Wirkungen auftreten, die zu einer Verschlechterung im Hinblick auf Leistung, Lebensdauer, Sicherheit oder Erscheinungsbild des Kollektors führen könnten.

Bei Sonnenkollektoren für direkte Heizungsanwendungen sollten die Anforderungen an Bauteile für die Be- und Entlüftung nach EN 13779 und EN 13142 berücksichtigt werden.

9.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Prüfung des Kollektors muss im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator durchgeführt werden.

Die Charakteristik des für die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit verwendeten Sonnenstrahlungssimulators muss der des für die Prüfung des Wirkungsgrades von Fluidkollektoren verwendeten Simulators entsprechen.

Der Kollektor ist im Freien aufzustellen oder in einen Sonnenstrahlungssimulator einzubauen. Fluidkollektoren dürfen nicht mit Flüssigkeit gefüllt sein. Im Fall von Fluidkollektoren müssen alle Kollektoranschlüsse bis auf einen verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden.

Am Absorber muss ein Temperaturfühler angebracht sein, damit seine Temperatur während der Prüfung überwacht werden kann. Der Temperaturfühler muss in der heißesten Region des Absorbers angebracht sein. Diese Position muss zusammen mit den Ergebnissen im Prüfbericht angegeben werden. Bei Flüssigkeitsflachkollektoren kann davon ausgegangen werden, dass sich die heißeste Region auf 2/3 der Absorberhöhe und bei der Hälfte der Absorberbreite befindet. Der Temperaturfühler muss sicher befestigt sein, damit ein guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss gegen die Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

Im Falle von Kollektoren, bei denen externe Energiequellen und aktive oder passive Maßnahmen für den Normalbetrieb und den Selbstschutz zum Einsatz kommen, muss die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit im Rahmen der Freilandbewitterung durchgeführt werden. Falls Steuerungselemente vorgesehen sind, um sowohl einen Zustand ohne jeden Durchfluss als auch einen Zustand erhöhter Temperatur, jeweils in Übereinstimmung mit den Herstelleranweisungen, zu erzeugen, muss der Kollektor nach dem in 28.3

beschriebenen Verfahren mit der Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt und bestimmungsgemäß betrieben werden. Bei einwandfreier Funktionsweise sollte er nicht in der Lage sein, Stillstandsbedingungen zu erreichen. In diesem Falle müssen die Steuerungselemente überprüft werden und muss der Kollektor nahe an der vom Hersteller festgelegten Betriebshöchsttemperatur (unterhalb der Auslösetemperatur des Steuerungssystems) arbeiten. Im Prüfbericht müssen die Festlegungen für den Volumenstrom, die Flüssigkeitstemperatur und die Dauer des Durchflusses angegeben werden.

Bei der Prüfung von Kollektoren, die sich nicht für eine Messung der Norm-Stillstandtemperatur am Absorber eignen, wie z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren, sollte der Temperaturfühler an einer geeigneten Stelle im Kollektor angebracht werden, und diese Stelle sollte in Verbindung mit den Prüfergebnissen eindeutig angegeben werden.

In einigen Fällen, wie z. B. bei Vakuum-Kollektoren, kann das Anbringen eines Temperaturfühlers am Absorber schwierig sein. In solchen Fällen kann die Prüfstelle, anstatt einen Temperaturfühler anzubringen, den Absorber teilweise mit einer geeigneten Flüssigkeit füllen, abdichten und entweder die Flüssigkeitstemperatur direkt oder aber den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aufgrund des genormten Dampfdruck/Temperatur-Verhältnisses der Flüssigkeit bekannt sein. Alternativ darf die Absorbertemperatur eines Wärmeübertragungsrohr-Röhrenkollektors vernünftigerweise durch Anbringen eines Temperaturfühlers am Kondenser während der Montage gemessen werden.

Es wird empfohlen, die Bestimmung der Norm-Stillstandtemperatur in Verbindung mit der Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit durchzuführen.

Bei Luftkollektoren muss der für die Messung der höchsten Starttemperatur verwendete Massenstrom der gleiche sein wie der kleinste bei der Prüfung des thermischen Wirkungsgrades des Kollektors angewendete Massenstrom.

Die Prüfung ist nach Erreichen stationärer Bedingungen über eine Dauer von mindestens 1 h durchzuführen (der stationäre Zustand gilt als erreicht, sobald sich die Absorbertemperatur um nicht mehr als ± 5 K ändert), und der Kollektor ist anschließend nach Abschnitt 18 auf Anzeichen von Beschädigungen zu untersuchen.

9.3 Prüfbedingungen

Für alle Klimaklassen (siehe Tabelle 4) sind entweder die in Tabelle 2 angegebenen Referenzbedingungen oder solche Bedingungen anzuwenden, die nach Abschnitt 10 zur Norm-Stillstandtemperatur oder einer höheren Kollektortemperatur führen.

Tabelle 2 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit

Klimaparameter	Wert für alle Klimaklassen
Hemisphärische solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, G , in W/m^2	$> 1\,000$
Temperatur der Umgebungsluft, ϑ_a , in $^{\circ}\text{C}$	20 bis 40
Geschwindigkeit der Umgebungsluft, in m/s	< 1

Bei der Prüfung von unabgedeckten Kollektoren ohne rückseitige Dämmung muss der Kollektor auf einer dunklen Fläche (mit $\alpha > 80\%$) montiert werden, um möglichst ungünstige Bedingungen in Bezug auf die Höchsttemperatur zu erreichen.

9.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Qualitätsminderung, Schrumpfen, Ausgasen und Verwindung untersucht werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind nach A.6 zusammen mit den während der Prüfung aufgezeichneten Durchschnittswerten der (natürlichen oder simulierten) solaren Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, der Temperatur und Geschwindigkeit der Umgebungsluft sowie der Temperatur des Absorbers (und des Drucks der im Absorber verwendeten geeigneten Wärmeträgerflüssigkeit, sofern dieses Verfahren angewendet wurde) zu protokollieren. Steuerungsfunktionen, die überprüft wurden, sind zu beschreiben und zusammen mit den Prüfergebnissen im Prüfbericht anzugeben.

Bei Luftkollektoren muss die höchste Anfangstemperatur am Kollektorausstritt gemessen und im Prüfbericht angegeben werden.

10 Norm-Stillstandtemperatur von Fluidkollektoren

10.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält Verfahren für die Bestimmung der Norm-Stillstandtemperatur eines Kollektors, d. h. der Temperatur eines Kollektors in Phasen starker Sonnenstrahlung und hoher Umgebungstemperaturen, in denen dem Kollektor keine Nutzwärme entnommen wird. Diese Verfahren dienen zur Überprüfung, ob die auf dem Kollektortypschild und im Installationshandbuch angegebene Norm-Stillstandtemperatur höher ist als die ermittelte Norm-Stillstandtemperatur.

Der Hersteller sollte die Norm-Stillstandtemperatur mit einer auf 10° aufgerundeten Auflösung angeben.

Die Norm-Stillstandtemperatur sollte für eine ausgewählte solare Bestrahlungsstärke G_s und eine ausgewählte Umgebungstemperatur ϑ_{as} bestimmt werden.

Die ermittelte Norm-Stillstandtemperatur wird bei den folgenden Prüfungen verwendet:

- Innendruckprüfung von Kollektoren mit organischen Absorbern (siehe 6.2);
- Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit mit einem Kreislauf, in dem ein heißes Fluid fließt (siehe 9.2).

Für die Bestimmung der Norm-Stillstandtemperatur anderer Arten von Kollektoren sind andere Verfahren geeigneter, die in Tabelle 3 übersichtsartig zusammengestellt sind.

Tabelle 3 — Übersicht über die Verfahren zur Bestimmung der Norm-Stillstandtemperatur

Kollektortyp		10.2	10.3
Flachkollektor	Anorganischer Absorber	X	X
	Organischer Absorber	X	X
Vakuum-Röhrenkollektor	Wärmeübertragungsrohr	X	X
	Direkter Ablauf	X	X

Bei Kollektoren mit organischen Absorbern ist die Innendruckprüfung bei Norm-Stillstandtemperatur durchzuführen.

10.2 Messung und Extrapolation der Norm-Stillstandstemperatur

Die Norm-Stillstandstemperatur ϑ_{stg} wird für die gewählten Werte der solaren Bestrahlungsstärke G_{s} und der Umgebungstemperatur ϑ_{as} durch Extrapolation aus den folgenden unter stationären Bedingungen gemessenen Werten errechnet:

- (natürliche oder simulierte) solare Bestrahlungsstärke G_{m} in der Kollektorebene;
- Lufttemperatur in der Umgebung ϑ_{am} ;
- Absorbertemperatur ϑ_{sm} ,

während der Kollektor unter stationären Bedingungen der verfügbaren solaren Bestrahlungsstärke und Umgebungstemperatur (im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator) ausgesetzt ist, ohne dass dem Kollektor Wärme entnommen wird (Stillstandsbedingungen).

Die Norm-Stillstandstemperatur für die gewählten Parameter wird mithilfe der folgenden Formel bestimmt (G_{s} und ϑ_{as}):

$$\vartheta_{\text{stg}} = \vartheta_{\text{as}} + \frac{G_{\text{s}}}{G_{\text{m}}} (\vartheta_{\text{sm}} - \vartheta_{\text{am}}) \quad (1)$$

Diese Formel basiert auf der Näherung, dass der Quotient $(\vartheta_{\text{sm}} - \vartheta_{\text{am}})/G_{\text{m}}$ im stationären Zustand unter Stillstandsbedingungen konstant bleibt.

Diese Näherung ist nur dann annehmbar, wenn der bei der Prüfung verwendete Wert der Bestrahlungsstärke (G_{m}) innerhalb von 10 % der Bestrahlungsstärke (G_{s}) entspricht, die für die Stillstandsbedingungen festgelegt ist.

Bei Flachkollektoren muss der Temperaturfühler an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben Absorberbreite angebracht werden. Er muss so befestigt sein, dass ein guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss gegen Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

Bei der Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren sollte der Temperaturfühler an einer geeigneten Stelle im Kollektor angebracht sein, d. h. dort, wo die höchste für den Wärmeträger maßgebliche Temperatur auftritt.

10.3 Bestimmung der Norm-Stillstandstemperatur anhand von Wirkungsgradparametern

Die Wärmeleistung des Fluidkollektors wird zur Berechnung seiner Norm-Stillstandstemperatur verwendet. Ist die Wärmeleistung des Kollektors nicht bekannt, so ist sie durch entsprechende Prüfungen am Kollektor zu bestimmen.

Zur Bestimmung der Norm-Stillstandstemperatur sollte die Formel 2. Ordnung für den momentanen thermischen Wirkungsgrad des Kollektors verwendet werden:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_{\text{m}}^* - a_2 G (T_{\text{m}}^*)^2 \quad (2)$$

Es sollte beachtet werden, dass die reduzierte Temperaturdifferenz T_{m}^* durch die mittlere Temperatur des Wärmeträgers (t_{m}) festgelegt ist. Der momentane Wirkungsgrad basiert auf der Bruttofläche A . Für die Angabe des momentanen Wirkungsgrades des Kollektors können zwei unterschiedliche Sätze von Konstanten η_0 , a_1 und a_2 zur Verfügung stehen.

Für die gewählten Werte der Bestrahlungsstärke G_s und der Umgebungstemperatur ϑ_{as} wird die Norm-Stillstandstemperatur nach folgender Formel berechnet:

$$\vartheta_{stg} = \vartheta_{as} + \frac{-a_1 + (a_1^2 + 4\eta_0 a_2 G_s)^{1/2}}{2a_2} + 20 \text{ °C} \quad (3)$$

für die jeder verfügbare Satz der Konstanten η_0 , a_1 und a_2 verwendet werden kann.

Dieser Ansatz erfordert, die Formel für den Kollektorwirkungsgrad auf die Stillstandsbedingungen zu extrapolieren. Es ist deshalb wichtig, dass diese Wirkungsgradformel für bis zu η ungefähr gleich 0 gültig ist. Um dies sicherzustellen, sollten in die Bewertung der Kollektorwirkungsgradformel Prüfdaten bei T_m^* -Werten einbezogen werden, die sich $T_{m \text{ Stagnation}}^*$ annähern. Wurden alle Wirkungsgradprüfdaten bei T_m^* -Werten von weniger als $T_{m \text{ Stagnation}}^* / 2$ bewertet, so sollte zur Bestimmung von ϑ_{stg} 10.2 verwendet werden.

ANMERKUNG Die Leistungsmessungen werden bei höherer Windgeschwindigkeit durchgeführt, als bei Stillstandsbedingungen üblich. Zum Ausgleich für die höhere Windgeschwindigkeit werden 20 °C hinzuaddiert.

10.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messung der Stillstandstemperatur müssen den Festlegungen in A.6.4 entsprechend angegeben werden.

11 Freilandbewitterungsprüfung und Vorbewitterung

11.1 Zweck

Die Freilandbewitterungsprüfung stellt ein kostengünstiges Zuverlässigkeitsprüfverfahren dar, das Betriebsbedingungen anzeigt (oder simuliert), die während des tatsächlichen Betriebs wahrscheinlich auftreten können, und sie ermöglicht es dem Kollektor, sich zu „stabilisieren“, sodass nachfolgende Eignungsprüfungen eher zu wiederholbaren Ergebnissen führen können. Für diesen letzteren Anwendungsfall wird ein Vorbewitterungsverfahren festgelegt, das etwa halb so lange dauert wie die vollständige Freilandbewitterungsprüfung. Welches dieser beiden Verfahren vor einer bestimmten Eignungsprüfung anzuwenden ist oder angewendet werden kann, ist in Tabelle 1 erläutert.

11.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Kollektoren sind im Freien aufzustellen, aber nicht mit dem Wärmeträger zu füllen, es sei denn, es werden Steuerungselemente eingesetzt, um sowohl einen Zustand ohne jeden Durchfluss als auch einen Zustand erhöhter Temperatur, jeweils in Übereinstimmung mit den Herstelleranweisungen, zu erzeugen. In diesem Falle sind die Kollektoren mit dem Wärmeträger zu füllen und die entsprechenden Steuerungselemente zu überprüfen. Kollektoren, deren Konstruktion einen mit einem Kühlmittel oder einem anderen für den Wärmeaustausch geeigneten Fluid gefüllten und werkmäßig abgedichteten Behälter vorsieht, sind zu prüfen, ohne dass sie vom betreffenden Wärmeträger durchströmt werden, es sei denn es werden Steuerungselemente für den Schutz vor Übertemperatur eingesetzt. Im Fall von Fluidkollektoren müssen alle das Fluid führenden Rohre verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden. Im Fall von Solarlufterhitzern müssen alle das Fluid führenden Rohre verschlossen sein. Ein Rohr muss offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann. Es muss nachgewiesen werden, dass alle Bauteile und Teilsysteme, die vom Hersteller konstruiert wurden und im Betriebshandbuch beschrieben sind, während der Freilandbewitterungsprüfung funktionstüchtig sind. Falls der Kollektor aktive Systeme für den Selbstschutz umfasst, müssen diese Schutzeinrichtungen während der Freilandbewitterungsprüfung funktionstüchtig und aktiv sein.

Die Lufttemperatur in der Umgebung muss mit einer Standardunsicherheit von 1 K und die globale Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene unter Verwendung eines Pyranometers der Klasse I oder besser nach ISO 9060 aufgezeichnet werden. Die Werte der Bestrahlungsstärke und der mittleren Lufttemperatur müssen mindestens alle 5 min aufgezeichnet werden. Die Freilandbewitterungsprüfung des Kollektors ist fortzuführen, bis die Prüfbedingungen erfüllt sind.

Die Kollektoren sind mindestens einmal wöchentlich einer Sichtprüfung zu unterziehen, und sämtliche der in 11.4 festgelegten Anzeichen von Beschädigung und alle Änderungen des Erscheinungsbildes sind zu protokollieren und zusammen mit den Prüfergebnissen im Prüfbericht anzugeben.

Bei der Prüfung von unabgedeckten Kollektoren ohne rückseitige Dämmung muss der Kollektor auf einer dunklen Fläche (mit $\alpha > 80\%$) montiert werden, um möglichst ungünstige Bedingungen in Bezug auf die Höchsttemperatur zu erreichen.

11.3 Prüfbedingungen

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 anzuwenden. Die Klasse, nach der der Kollektor zu prüfen ist, wird vom Kollektorhersteller festgelegt.

Der Kollektor ist der Sonnenstrahlung so lange auszusetzen, bis mindestens 30 Tage (oder im Falle der Vorbewitterung 15 Tage) vergangen sind und die in Tabelle 4 angegebene Mindestbestrahlung H erreicht ist. Die Bestrahlung wird aus der unter Verwendung eines Pyranometers gemessenen Bestrahlungsstärke bestimmt.

Außerdem muss der Kollektor für mindestens 30 h (bzw. im Falle der Vorbewitterung 15 h) der in Tabelle 4 angegebenen, mit einem Pyranometer gemessenen Mindestbestrahlungsstärke G ausgesetzt werden, wobei die Lufttemperatur in der Umgebung höher als der in Tabelle 4 angegebene Wert sein muss oder Bedingungen herrschen müssen, die nach Abschnitt 10 zu derselben Kollektortemperatur führen. Diese Stunden müssen sich aus Zeiträumen von mindestens 30 min zusammensetzen.

Tabelle 4 — Klimatische Referenzbedingungen für die Freilandbewitterung sowie für die Prüfung mit schnellem äußeren und inneren Temperaturwechsel

Klimatische Bedingung	Wert für die Klimaklasse		
	Klasse C Gemäßigt	Klasse B Sonnig	Klasse A Sehr sonnig
Hemisphärische solare Bestrahlungsstärke G in der Kollektorebene im Verlauf von mindestens 30 h (bzw. im Falle der Vorbewitterung 15 h), in W/m^2 /Umgebungstiefsttemperatur, ϑ_a , in $^{\circ}C$	800/10	900/15	1 000/20
Bestrahlung H in der Kollektorebene bei der Freilandbewitterung im Verlauf von mindestens 30 Tagen, in MJ/m^2	420	540	600
Bestrahlung H in der Kollektorebene bei Vorbewitterung im Verlauf von mindestens 15 Tagen, in MJ/m^2	210	270	300
Die angegebenen Werte sind Mindestwerte für die Prüfung. Für die Werte der Bestrahlungsstärke und der Bestrahlung muss jeweils dieselbe Klasse angewendet werden.			

Bewitterungsprüfungen in Innenräumen unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators dürfen durchgeführt werden, um die festgelegte Dauer von 30 h oder 15 h und/oder die festgelegte Bestrahlung nach Ablauf der 30 d oder 15 d im Freien zu erreichen. Die Dauer der Prüfzyklen sollte höchstens 8 h betragen. Falls ein Zyklus länger als 8 h dauert, werden nur 8 h gezählt. Zwischen den einzelnen Zyklen muss jeweils eine Pause von mindestens 4 h eingelegt werden, um den Kollektor auf einen Wert nahe der Umgebungstemperatur abzukühlen.

11.3.1 Zusätzliche Prüfbedingungen für aktive und passive Steuerungselemente

Der Hersteller muss alle zu Schutzzwecken im Kollektor verwendeten aktiven und passiven Steuerungselemente, wie z. B. Regler, Motoren, Stellglieder oder ähnliche Bauteile, angeben. Der Hersteller muss seine Steuerungs- und Regelungssollwerte und -parameter dem Labor vorlegen, damit dieses deren angemessene Einhaltung unter den Bedingungen des Normalbetriebs nachweisen kann, bei denen Ereignisse wie Über-temperatur, Wind usw. die Lebensdauer des Kollektors und seine Leistung beeinträchtigen können.

Das Labor muss einen Prüfzyklus festlegen, mit dem alle aktiven und/oder passiven Steuerungselemente (sofern vorhanden), die erforderlich sind, um den Kollektor betriebsfähig zu halten, während der Bewitterungsperiode überprüft werden können. Deren Funktion ist so zu überprüfen, dass alle eventuellen Ausfälle erkannt werden können. Als Ereignisse muss der Prüfzyklus den Ausfall der Stromversorgung und die Blockierung des Nachführungsmechanismus (sofern vorhanden) umfassen. Das Labor muss die Reaktion des Kollektors und seine Fähigkeit, mit Ereignissen dieser Art umzugehen, überprüfen.

Im Prüfbericht müssen die Festlegungen für den Volumenstrom, die Wärmeträgertemperatur und die Dauer des Durchflusses, sofern das betreffende Fluid während der Prüfung fließt, angegeben sein.

11.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.7 entsprechend angegeben werden.

12 Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel

12.1 Zweck

Kollektoren können an heißen Sonnentagen gelegentlichen plötzlichen Regenschauern ausgesetzt sein, wodurch eine starke äußere Temperaturänderung hervorgerufen wird. Diese Prüfung dient zur Beurteilung eines Kollektors, solchen schnellen Temperaturwechseln ohne Ausfall standzuhalten.

12.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor ist entweder im Freien aufzustellen oder in einem Sonnenstrahlungssimulator zu installieren. Fluidkollektoren dürfen nicht mit der Wärmeträgerflüssigkeit oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt sein. Im Fall von Fluidkollektoren müssen alle das Fluid führenden Rohre verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden. Im Fall von Solarlufterhitzern müssen alle das Fluid führenden Rohre verschlossen sein. Ein Rohr muss offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann. Bei Luftkollektoren müssen der Eintritt und der Austritt gegen das Eindringen von Wasser geschützt sein.

Um ein gleichmäßiges Besprühen der Vorderseite des Kollektors mit Wasser sicherzustellen, ist eine Gruppe von Düsen vorzusehen.

Bevor mit dem Besprühen begonnen wird, muss der Kollektor für 1 h den in Tabelle 4 (für die vom Hersteller festgelegte Klasse) beschriebenen klimatischen Bedingungen ausgesetzt werden. Vor der Untersuchung ist er dann durch Besprühen mit Wasser 15 min lang zu kühlen.

Der Kollektor muss zwei schnellen äußeren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

12.3 Prüfbedingungen

Es sind die in Tabelle 4 angegebenen Referenzbedingungen anzuwenden. Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare (oder simulierte solare) Bestrahlungsstärke G größer als der in Tabelle 4 angegebene Wert;
- Lufttemperatur in der Umgebung ϑ_a größer als der in Tabelle 4 angegebene Wert

oder Bedingungen, die nach Abschnitt 10 zur gleichen Kollektortemperatur führen.

Die Temperatur des versprühten Wassers muss weniger als 25 °C betragen, und der Massenstrom muss im Bereich von 0,03 kg/s bis 0,05 kg/s je Quadratmeter der Brutto-Kollektorfläche liegen.

Falls die Wahrscheinlichkeit besteht, dass die Temperatur des für die erste Abkühlung des Kollektors verwendeten Wassers 25 °C überschreitet (z. B. wenn das Wasser in einem Rohr gestanden hat, das eine gewisse Zeit der Sonne ausgesetzt war), muss das Wasser abgeleitet werden, bis seine Temperatur unter 25 °C abgesunken ist, bevor es über den Kollektor geleitet wird.

12.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.8 entsprechend angegeben werden.

13 Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel

13.1 Zweck

Kollektoren können an heißen Sonnentagen gelegentlich einem plötzlich einströmendem kalten Wärmeträger ausgesetzt sein, wodurch im Innern eine starke Temperaturänderung hervorgerufen wird; dies kann z. B. der Fall sein, wenn die Anlage nach einer Außerbetriebsetzung wieder in Betrieb genommen wird, während der Kollektor seine Stillstandstemperatur hat. Diese Prüfung dient der Beurteilung der Fähigkeit eines Kollektors, schnellen Temperaturwechseln dieser Art ohne Ausfall standzuhalten.

13.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor ist entweder im Freien aufzustellen oder in einem Sonnenstrahlungssimulator zu installieren. Fluidkollektoren dürfen nicht mit der Wärmeträgerflüssigkeit oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt sein. Ein Zuleitungsrohr für die Wärmeträgerflüssigkeit muss über ein Absperrventil mit der entsprechenden Quelle verbunden sein, während das andere Rohr anfangs offen zu lassen ist, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen und die Wärmeträgerflüssigkeit aus dem Absorber austreten (und gesammelt werden) kann. Falls der Kollektor über mehr als zwei Wärmeträgerrohre verfügt, müssen die verbleibenden Öffnungen in einer Weise abgedichtet werden, die das geplante Flussverhalten im Kollektor sicherstellt.

Der Kollektor muss für eine Dauer von 1 h den in Tabelle 4 (für die vom Hersteller festgelegte Klasse) beschriebenen Bedingungen ausgesetzt werden, bevor er für mindestens 5 min mit der Wärmeträgerflüssigkeit gekühlt wird.

Der Kollektor muss zwei schnellen inneren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

Dieses Verfahren ist nicht auf die werkmäßig abgedichteten Teile des Kollektors anwendbar. Es ist auch nicht auf Kollektoren anwendbar, bei denen der Wärmeträger zu Schutzzwecken kontinuierlich fließt. In diesem Fall muss die Funktion der zur Verhinderung des Durchflusses eingesetzten Steuerungselemente so überprüft werden, dass alle eventuellen Ausfälle erkannt werden.

13.3 Prüfbedingungen

Tabelle 4 ist anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare (oder simulierte) Bestrahlungsstärke G größer als der in Tabelle 4 angegebene Wert;
- Lufttemperatur in der Umgebung ϑ_a höher als der in Tabelle 4 angegebene Wert.

oder Bedingungen, die nach Abschnitt 10 zur selben Kollektortemperatur führen.

Bei Fluidkollektoren muss die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit weniger als 25 °C betragen. Der Massenstrom muss dem größten bei der Wärmeleistungsprüfung verwendeten Massenstrom entsprechen bzw. mindestens 0,02 kg/s je Quadratmeter der Brutto-Kollektorfläche betragen (sofern der Hersteller nichts anderes festgelegt hat). Bei Luftkollektoren darf die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit nicht über der Umgebungstemperatur liegen. Der Massenstrom muss dem vom Hersteller festgelegten Höchstwert entsprechen.

13.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.9 entsprechend angegeben werden.

14 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

14.1 Zweck

Mit dieser Prüfung, die nur auf abgedeckte Kollektoren anwendbar ist, soll beurteilt werden, inwieweit abgedeckte Kollektoren in der Lage sind, das Eindringen von Regenwasser im Wesentlichen zu verhindern. Sie dürfen üblicherweise weder frei fallendes Regenwasser noch Schlagregen eindringen lassen. Kollektoren dürfen über Belüftungsöffnungen und Abflussöffnungen verfügen, durch diese darf jedoch kein Treibregen eindringen.

Bei der Prüfung von konzentrierenden Kollektoren sollte ein dem hier beschriebenen vergleichbares Prüfverfahren angewendet werden.

14.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor ist in einem Prüfstand mit dem kleinsten vom Hersteller empfohlenen Winkel zur Horizontalen zu montieren. Ist dieser Winkel nicht festgelegt, so muss der Kollektor mit einem Neigungswinkel von 30° zur Horizontalen angeordnet sein (siehe Bild 2 — Anordnung von Kollektor und Sprühdüsen für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser). Kollektoren, die für den Einbau in eine Dachkonstruktion vorgesehen sind, müssen auf einem simulierten Dach montiert werden, wobei ihre Unterseite geschützt sein muss. Alle anderen Kollektoren müssen auf übliche Weise in einem offenen Rahmen oder auf einem simulierten Dach montiert werden.

Der Kollektor ist mit Wasser einer Temperatur von weniger als 30 °C zu besprühen. Das Besprühen muss über eine Dauer von mindestens 4 h erfolgen. Während dieser Phase ist der Absorber warm zu halten. Dazu ist 55 °C (± 5 K) warme Flüssigkeit durch den Absorber zu leiten.

Wird entschieden, den Nachweis von eingedrungenem Wasser im Rahmen der Endkontrolle (Abschnitt 18) durchzuführen, so muss der Kollektor nach dem Ende des Besprühens für eine Dauer von mindestens 4 h im Prüfstand für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser verbleiben, ohne dass der Absorber in dieser Zeit erwärmt wird. Danach ist der Kollektor bis zum Abschluss der Prüfung auf eingedrungenes Wasser so zu lagern, dass die Ergebnisse nicht beeinflusst werden. Der Nachweis von eingedrungenem Wasser im Rahmen der Endkontrolle muss frühestens 4 h und spätestens 48 h nach Abschluss des Besprühens erfolgen. Wird das Wägevorgang gewählt, so ist der Kollektor innerhalb von 4 h bis 5 h nach dem Besprühen zu wägen. Unnötiger Transport des Kollektors sollte vermieden werden.

Wird die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser im Freien durchgeführt, so sollte der Kollektor sollte beschattet werden, um die Temperatur des Absorbers bei etwa 55 °C zu halten.

Ob Wasser in den Kollektor eingedrungen ist, ist im Rahmen der Endkontrolle oder durch Wägen des Kollektors festzustellen.

Falls das Wägevorgang zu dem Urteil, dass ein Ausfall vorliegt, muss die Endkontrolle durchgeführt werden, um festzustellen, ob der Prüfling bestanden oder nicht bestanden hat.

Wird das Wägevorgang gewählt, so ist der Kollektor vor Beginn der Prüfung dreimal hintereinander auf die Waage zu stellen. Die drei so gemessenen Werte dürfen um höchstens $\pm 5 \text{ g/m}^2$ der Brutto-Kollektorfläche voneinander abweichen. Nach dem Besprühen ist der Kollektor erneut dreimal hintereinander zu wägen. Auch in diesem Falle dürfen die drei Messwerte um höchstens $\pm 5 \text{ g/m}^2$ der Brutto-Kollektorfläche voneinander abweichen. Die so ermittelte Wassermenge darf nicht größer als 30 g/m^2 der Brutto-Kollektorfläche sein. Die Standardunsicherheit der Waage muss besser als 5 g/m^2 der Brutto-Kollektorfläche sein.

Bei der Endkontrolle (nach Abschnitt 18) ist der Kollektor im Hinblick auf die folgenden Kriterien zu untersuchen:

- Wasser im Inneren des Gehäuses;
- nasses Dämmmaterial (Austritt von mehr als 10 ml Wasser, wenn der Dämmstoff gedrückt wird);
- sichtbare Spuren von ablaufenden Wassertropfen (auf der Abdeckung, dem Absorber, dem Gehäuse).

Bei der Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren sollten die Befestigungsmittel der Vakuumröhren dahingehend überprüft werden, ob sie für den Ablauf von Wasser ausgelegt sind.

Von entscheidender Bedeutung beim Wägeverfahren ist, dass die Außenseite des Kollektors vor und nach dem Besprühen gesäubert und getrocknet werden muss. Wird hierfür ein Druckluftgerät verwendet, so sollte dies so erfolgen, dass kein Wasser in das Kollektorgehäuse eindringt oder aus diesem austritt.

14.3 Prüfbedingungen

Der Wasserdruck muss auf 300 kPa (± 50 kPa) gehalten werden. Für die erforderlichen Sprühdüsen gelten die folgenden Festlegungen:

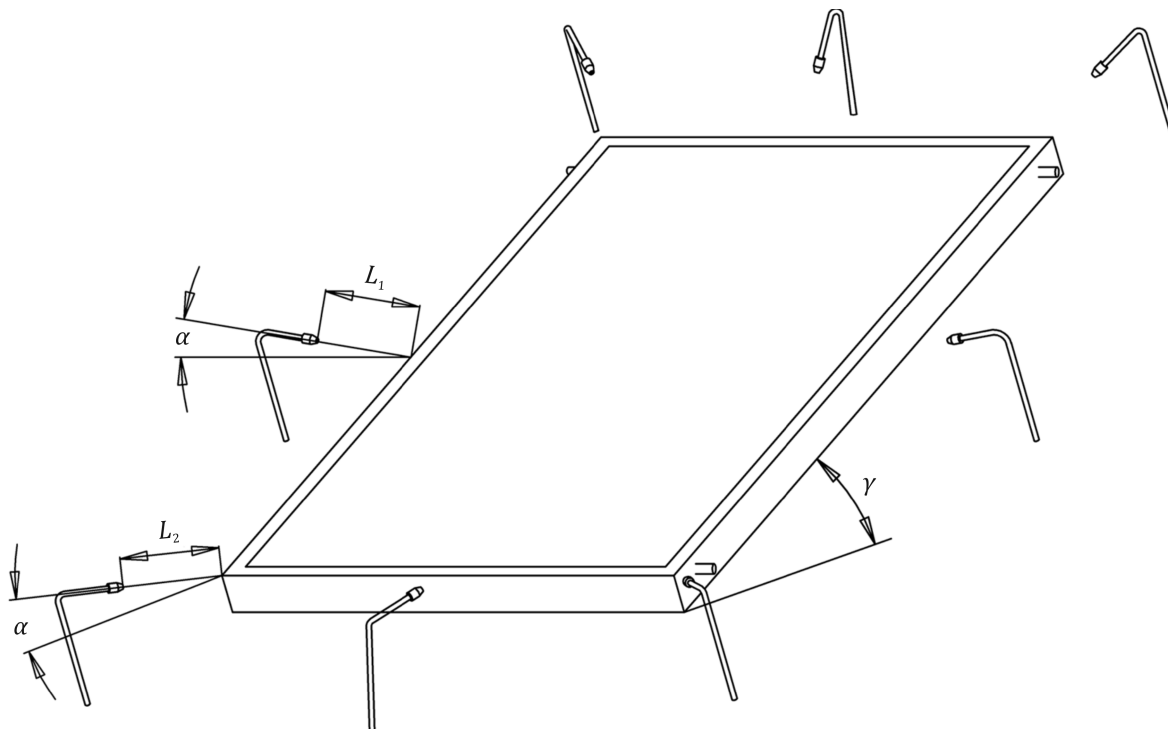
- vollkonische Sprühdüsen;
- Massenstrom 2 kg/min ($\pm 0,5$ kg/min) je Düse;
- Sprühwinkel $60^\circ \pm 5^\circ$.

Ist die Tropfengröße in den Datenblättern zur Sprühdüse festgelegt, so sollte sie mindestens 150 μ m betragen.

Die Anordnung der Sprühdüsen muss Bild 2 — Anordnung von Kollektor und Sprühdüsen für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser und damit den folgenden Angaben entsprechend erfolgen:

- Alle Ecken des Gehäuses sind direkt zu besprühen;
- sämtliche der in Bild 3 — Zu besprühende Flächen bei Flachkollektoren (einschließlich Mittelbalken) und Bild 4 — Zu besprühende Flächen bei Vakuum-Röhrenkollektoren dargestellten Flächen sollten besprüht werden;
- die Sprühköpfe müssen auch an der Seite des Kollektors angeordnet werden, falls die Düsen an den Ecken weiter als der Größtabstand von 150 cm auseinander liegen;
- die Sprühdüsen sind unter einem Winkel von $30^\circ (\pm 5^\circ)$ zur Kollektorebene auf den Kollektor zu richten;
- die Sprühköpfe sind in einem Abstand von 250 mm (± 50 mm) zu den Ecken und in einem Abstand von 250 mm bis 400 mm zu den Seiten des Kollektors anzuordnen (siehe Bild 2 — Anordnung von Kollektor und Sprühdüsen für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser);
- der Abstand zwischen zwei Sprühdüsen darf nicht größer als 150 cm sein.

Mittelbalken sollten von in einem Abstand von 400 mm bis 600 mm unmittelbar darüber befindlichen Sprühköpfen besprüht werden, wobei es nicht erforderlich ist, den Winkel von 30° einzuhalten.



Legende

L_1 250 mm bis 400 mm

L_2 250 mm

α 30° Winkel der Sprühdüse zur Kollektoroberfläche

γ Kleinster vom Hersteller empfohlener Neigungswinkel zur Horizontalen; ist dieser Winkel nicht festgelegt, so ist ein Wert von 30° zu verwenden.

Bild 2 — Anordnung von Kollektor und Sprühdüsen für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

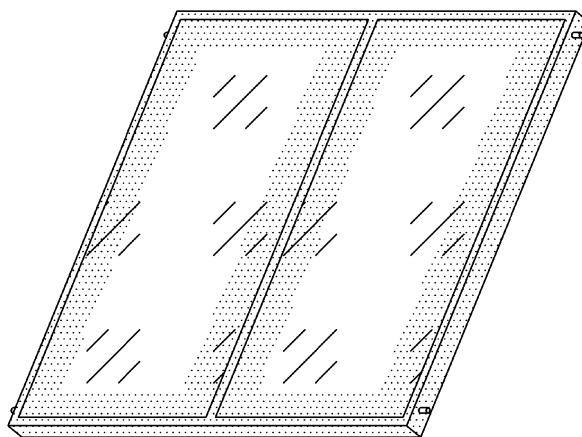


Bild 3 — Zu besprühende Flächen bei Flachkollektoren (einschließlich Mittelbalken)

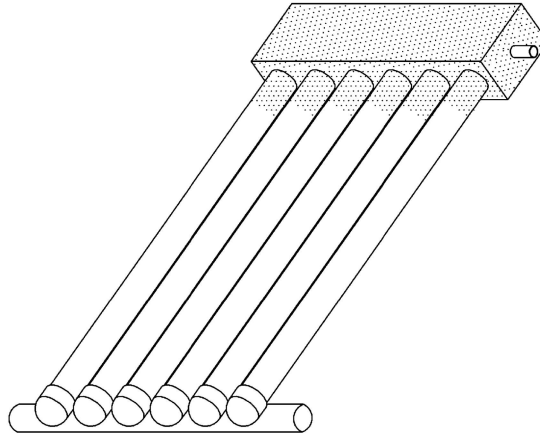


Bild 4 — Zu besprühende Flächen bei Vakuum-Röhrenkollektoren

14.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.10 entsprechend angegeben werden.

15 Frostbeständigkeitsprüfung

15.1 Zweck

Diese Prüfung ist nicht auf Kollektoren anwendbar, in deren Einbauanweisung ausdrücklich angegeben ist, dass sie nur mit einem Frostschutzmittel oder Luft verwendet werden dürfen. Sie ist auch dann nicht anwendbar, wenn besondere Hilfsmittel verwendet werden, um das Einfrieren von Wasser in einem dauerhaft gefüllten Kollektorkreislauf, z. B. mithilfe eines Frostschutzalgorithmus, zu verhindern, es sei denn es kommen andere Flüssigkeiten zum Einsatz, die gegebenenfalls einfrieren können, wie z. B. bei einigen Wärmeübertragungsrohren.

Es werden zwei Prüfverfahren empfohlen:

- ein Verfahren für Kollektoren, die als frostbeständig angegeben werden, wenn sie mit Wasser gefüllt sind, und
- ein Verfahren für Kollektoren, die als frostbeständig angegeben werden, nachdem sie entleert wurden.

15.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

15.2.1 Allgemeines

Der Kollektor ist in einer Kältekammer zu installieren. Der Kollektor muss korrekt aufgestellt werden und ist vollständig zu verschließen; der Neigungswinkel des Kollektors zur Horizontalen muss der kleinste vom Hersteller empfohlene Winkel sein. Falls vom Hersteller kein Winkel festgelegt wurde, muss der Kollektor in einem Winkel von 30° zur Horizontale geneigt werden. Unabgedeckte Kollektoren sind in horizontaler Lage zu prüfen, es sei denn, dies wird vom Hersteller ausgeschlossen.

15.2.2 Frostbeständige Kollektoren

Der Kollektor ist bei Betriebsdruck mit Wasser zu füllen. Die Temperatur in der Kältekammer ist zyklisch zu verändern, und am Ende eines jeden Zyklus ist der Kollektor erneut bei Betriebsdruck mit Wasser zu füllen.

Die Wassertemperatur muss während der gesamten Prüfung überwacht werden.

15.2.3 Kollektoren mit Ablassschutz

Der Kollektor ist mit Wasser zu füllen, für eine Dauer von 10 min auf Betriebsdruck zu halten und anschließend abzulassen, wobei die vom Hersteller installierte Einrichtung zu verwenden ist. Falls 5 min nach Beginn des Entleerungsprozesses die aus dem Kollektor abgelassene Wassermenge etwa 95 % der gesamten Wassermenge entspricht, mit der der Kollektor gefüllt war, ist eine Prüfung in der Kältekammer nicht erforderlich. Die Temperatur muss im Absorber in der Nähe der Eintrittsöffnung gemessen werden. Nach dem letzten Zyklus muss der Kollektor erneut bei Betriebsdruck mit Wasser gefüllt werden.

15.3 Prüfbedingungen

Während der Frostperiode des Zyklus muss das im Absorber oder im Wärmeübertragungsrohr enthaltene Wasser für eine Dauer von mindestens 30 min bei einer Temperatur von $(-20 \pm 2)^\circ\text{C}$ gehalten werden; während der Tauperiode des Zyklus wird die Temperatur auf über 10°C erhöht. Die Dauer der Tauperiode des Zyklus muss mindestens 30 min betragen.

Der Kollektor muss drei Frost-Tau-Wechselbeanspruchungen unterzogen werden.

15.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.11 entsprechend angegeben werden.

16 Mechanische Belastungsprüfung mit Über- oder Unterdruck

16.1 Zweck

Die mechanische Belastungsprüfung mit Überdruck dient zur Beurteilung, inwieweit die transparente Abdeckung des Kollektors, das Kollektorgehäuse und die Befestigungsmittel in der Lage sind, der Druckbeanspruchung aufgrund der Einwirkung von Wind und Schnee standzuhalten.

Die mechanische Belastungsprüfung mit Unterdruck dient zur Beurteilung der Verformung und zur Feststellung, inwieweit das Kollektorgehäuse und die Befestigungsmittel zwischen der Kollektorabdeckung, dem Kollektorgehäuse und der Kollektorbefestigung in der Lage sind, den durch Wind verursachten Abhebekräften standzuhalten.

16.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

16.2.1 Mechanische Belastungsprüfung mit Überdruck

Für die mechanische Belastungsprüfung mit Überdruck muss der Kollektor mithilfe der vom Hersteller für die Montage vorgesehenen Originalausrüstung auf einer starren ebenen Unterlage montiert werden. Für die Belastung des Kollektors dürfen verschiedene Verfahren angewendet werden. Falls das Gewicht des Materials genutzt wird, muss der Kollektor horizontal angeordnet werden.

ANMERKUNG Die Kollektorbefestigung umfasst die Einrichtung zur Verbindung der Befestigungsmittel des Kollektors mit dem Tragwerk (z. B. Dachanker, Dachhaken). Die Befestigungsmittel des Kollektors umfassen die Einrichtung zur Verbindung des Kollektorgehäuses/-rahmens mit der Einrichtung zur Montage des Kollektors (z. B. Klemmen, Schrauben).

— Bei Abdeckung mit Folie und Verwendung von Kies oder Wasser:

Der Kollektor muss mit einer Folie abgedeckt werden; auf dem Kollektorrahmen muss ein hölzerner oder metallischer Rahmen angeordnet sein, dessen Höhe ausreicht, um die erforderliche Menge an Kies oder einem ähnlichen Material aufzunehmen. Der Kies mit einer Korngröße von vorzugsweise 2 mm bis 32 mm ist in Teilmengen abzuwiegen und so im Rahmen zu verteilen, dass überall die gleiche Belastung entsteht (Glasdurchbiegung beachten) und die gewünschte Höhe erreicht wird.

— Bei Verwendung von Saugnäpfen:

Diese Prüfung kann auch unter Verwendung von Saugnäpfen durchgeführt werden. In diesem Falle sind die Saugnäpfe so gleichmäßig wie möglich auf der Kollektorfläche zu verteilen. Die Saugnäpfe dürfen die durch die mechanische Belastung verursachte Bewegung der Kollektorabdeckung nicht behindern.

- Bei Beaufschlagung der Kollektorabdeckung mit Luftdruck:

Falls eine Abdichtung gegen Einwirkungen aus der Umgebung erforderlich ist, darf die Abdichtung die durch die Belastung verursachten Bewegungen in keiner Weise behindern.

16.2.2 Mechanische Belastungsprüfung mit Unterdruck

Für die mechanische Belastungsprüfung mit Unterdruck darf der Kollektor horizontal angeordnet werden und ist die vom Hersteller für die Montage vorgesehene Originalausrüstung zu verwenden. Für die Belastung des Kollektors dürfen verschiedene Verfahren angewendet werden.

Die Kollektorabdeckung ist gleichmäßig einer Zugkraft auszusetzen, die der festgelegten negativen Druckkraft entspricht. Falls sich die Abdeckung bei Erreichen des Enddrucks nicht gelöst hat und auch kein anderer als schwerwiegend einzustufender Ausfall aufgetreten ist, darf der Druck weiter erhöht werden, bis es zu einem Ausfall kommt. Die Zeit zwischen den einzelnen Druckstufen muss gleich der Zeit sein, die erforderlich ist, um den Druck zu stabilisieren.

- Verfahren (a): Die Belastung darf mittels einer Gruppe gleichmäßig verteilter Saugnäpfe auf die Kollektorabdeckung aufgebracht werden.
- Verfahren (b): Bei Kollektoren, deren Kollektorgehäuse annähernd luftdicht ist, darf das folgende Verfahren angewendet werden, um auf der Abdeckung einen Unterdruck zu erzeugen. Durch den Luftspalt zwischen Kollektorabdeckung und Absorber werden in das Kollektorgehäuse zwei Löcher gebohrt, und durch diese Löcher werden eine Luftquelle und ein Druckmessgerät mit dem Luftspalt des Kollektors verbunden. Durch Druckausübung auf das Kollektorgehäuse wird ein auf die Kollektorabdeckung wirkender Unterdruck erzeugt. Aus Sicherheitsgründen muss der Kollektor in einen transparenten Kasten gesetzt werden, damit das Personal während der Prüfung im Falle eines Ausfalls geschützt ist.
- Verfahren (c): Bei Vakuum-Röhrenkollektoren dürfen zur Verteilung der Kräfte entlang der Röhren Seile, Gurte oder andere geeignete Hilfsmittel verwendet werden.
- Verfahren (d): Bei Vakuum-Röhrenkollektoren und Flachkollektoren kann das Verfahren ASTM E330-02 mit Luftdruck angewendet werden.

Falls der Widerstand gegen Abheben mithilfe von Verwahrungen oder Dichtungssätzen erhöht wird, die integraler Bestandteil des Kollektors sind, sollten diese in die Prüfung einbezogen werden.

16.2.3 Spezielle Festlegungen für konzentrierende Kollektoren

Aufgrund der Tatsache, dass die konzentrierenden Kollektoren andere Geometrien haben, darf das Labor spezielle Verfahren entwickeln, die sich für die Prüfung der Beständigkeit gegen mechanische Belastungen eignen. Dieser Umstand und das angewendete Verfahren sind im Prüfbericht in Verbindung mit den Prüfergebnissen ausdrücklich anzugeben. Falls in Übereinstimmung mit den Anweisungen des Herstellers Steuerungselemente vorgesehen sind, um die Kollektoren gegen Wind- oder Schneelasten zu schützen, müssen diese Steuerungsfunktionen sofern möglich überprüft werden, und sie müssen den für den Normalbetrieb des Kollektors festgelegten Ausfallwiderstand zeigen.

16.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck muss 2 400 Pa (positiv für Überdruck und negativ für Unterdruck) betragen oder dem vom Hersteller festgelegten Wert entsprechen. Als Bezugsfläche ist die Brutto-Kollektorfläche zu verwenden.

Eine dauerhafte Verformung sollte einem Belastungswert zugewiesen werden, während dieser nach jeder Belastungszunahme vollständig abnimmt und die Verwindung im Vergleich mit dem Beginn der Prüfreihe gemessen wird.

16.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.12 entsprechend angegeben werden.

17 Schlagfestigkeitsprüfung

17.1 Zweck

Diese Prüfung dient der Beurteilung, inwieweit ein Kollektor den durch das Auftreffen von Hagelkörnern verursachten Wirkungen standhalten kann.

17.2 Prüfverfahren

Es stehen zwei Prüfverfahren zur Verfügung. Beim ersten werden Eiskugeln verwendet und beim zweiten Stahlkugeln. Das anzuwendende Prüfverfahren muss vom Hersteller gewählt werden.

Das Prüfverfahren besteht aus einer Abfolge von Schussreihen, die auf einen Kollektor abgegeben werden. Jede dieser Schussreihen besteht aus 4 Schüssen derselben Kerbbrucharbeit. Bei Verwendung von Eiskugeln wird die Kerbbrucharbeit eines Schusses durch den Kugeldurchmesser und die Geschwindigkeit nach Tabelle 5 bestimmt. Bei Verwendung von Stahlkugeln wird die Kerbbrucharbeit des Schusses durch die Fallhöhe nach 17.5 bestimmt.

Für die aufeinander folgenden Schussreihen sind Kugeln mit zunehmender Kerbbrucharbeit zu verwenden.

Für die erste Schussreihe ist der kleinste vom Hersteller festgelegte Eiskugeldurchmesser oder im Falle der Verwendung von Stahlkugeln die geringste vom Hersteller festgelegte Fallhöhe zu verwenden.

Die letzte Schussreihe muss die mit dem vom Hersteller festgelegten Eiskugeldurchmesser oder im Falle der Verwendung von Stahlkugeln die mit der vom Hersteller festgelegten Fallhöhe sein, es sei denn der Kollektor ist, noch bevor diese Reihe ausgeführt werden kann, als zerstört zu betrachten.

Die Auftreffbereiche sind nach 17.3 auszuwählen. In jedem Auftreffbereich muss die Auftreffstelle jeweils um ein paar Millimeter versetzt werden, wobei die Schussrichtung rechtwinklig zur Kollektoroberfläche in diesem Bereich bleiben muss.

Für Vakuum-Röhrenkollektoren gilt folgende Regel: Im Falle des Bruchs einer Röhre muss die Prüfung mit einer zweiten Röhre wiederholt werden. Bricht auch diese zweite Röhre, so gilt die Prüfung als nicht bestanden.

17.3 Auftreffbereich

a) Abgedeckte Flachkollektoren:

Die Auftreffstellen müssen jeweils 75 mm von den beiden Schnittkanten der Abdeckung oder der Absorberoberfläche entfernt sein. Für jeden Schuss mit einem bestimmten Eiskugeldurchmesser bzw. mit einer bestimmten Fallhöhe muss eine andere Ecke gewählt werden.

b) Unabgedeckte Kollektoren:

Für die Wahl der Auftreffstellen gelten dieselben Regeln wie für abgedeckte Flachkollektoren. Unabgedeckte Kollektoren müssen mit einer Flüssigkeit bei Atmosphärendruck gefüllt sein bzw. werden.

c) Vakuum-Röhrenkollektoren:

Für jeden Eiskugeldurchmesser bzw. für jede Fallhöhe muss eine nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Röhre des Kollektors geprüft werden. Die Auftreffstellen müssen jeweils 75 mm von jedem Ende entfernt sein, und die Schussrichtung muss rechtwinklig zur Röhrenachse sein. Es muss jeweils zweimal auf das obere und zweimal auf das untere Ende der Röhre geschossen werden.

d) Kollektoren, die sich nicht eindeutig einer der obigen Kategorien a), b) oder c) zuordnen lassen

Das Prüflabor muss zwei repräsentative Auftreffbereiche festlegen. Auf beide Auftreffbereiche muss jeweils zweimal geschossen werden. Die Koordinaten der Auftreffstellen sind vor Ausführung der Schüsse festzulegen.

17.4 Verfahren 1: Schlagfestigkeitsprüfung mit Eiskugeln

17.4.1 Prüfeinrichtung

- a) Ein Vorratsbehälter zur Lagerung der Eiskugeln bei einer Temperatur von $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
- b) ein starrer Rahmen zur Auflagerung des Kollektors, sodass dessen Auftrefffläche rechtwinklig zur Flugbahn der Eiskugel steht; das Auflager muss steif genug sein, sodass im Moment des Auftreffens nur eine vernachlässigbare Verdrehung oder Durchbiegung auftritt;
- c) eine Waage zur Bestimmung der Masse einer Eiskugel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2\text{ %}$;
- d) ein Katapult, der in der Lage ist, eine Eiskugel den Festlegungen von 17.4.2 entsprechend abzuschießen;
- e) ein Gerät zur Messung der Geschwindigkeit der Eiskugel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2\text{ m/s}$. Das Geschwindigkeitsmessgerät darf höchstens 1 m von der Kollektoroberfläche entfernt sein.

17.4.2 Eiskugeln

Die Eiskugeln müssen aus entionisiertem Wasser ohne irgendwelche Zusatzmittel hergestellt werden. Sie müssen aus klarem Eis bestehen und völlig frei von Luftblasen sein und dürfen keine mit bloßem Auge sichtbaren Risse haben. Der Kugeldurchmesser ist aus den in Tabelle 5 festgelegten auszuwählen. Die für die Schüsse zu verwendenden Eiskugeln müssen eine Temperatur von $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ haben.

Tabelle 5 — Eiskugelmassen und Prüfgeschwindigkeiten

Durchmesser [mm $\pm 5\text{ %}$]	Masse [g $\pm 5\text{ %}$]	Prüfgeschwindigkeit [m/s $\pm 5\text{ %}$]
15	1,63	17,8
25	7,53	23,0
35	20,7	27,2
45	43,9	30,7

Spezielle Aspekte des Prüfverfahrens bei Verwendung von Eiskugeln

- a) Die Eiskugeln sind in den Vorratsbehälter zu geben und vor ihrer Verwendung mindestens 1 h darin zu belassen.
- b) Es ist sicherzustellen, dass die Temperatur aller Oberflächen des Katapults, die mit den Eiskugeln in Berührung kommen können, nahe der Raumtemperatur liegt.
- c) In Übereinstimmung mit dem nachfolgend beschriebenen Schritt e) sind auf ein simuliertes Ziel mehrere Versuchsschüsse abzugeben; dabei ist der Katapult so zu justieren, dass die mit dem in der vorgeschriebenen Position befindlichen Geschwindigkeitsmessgerät gemessene Geschwindigkeit der Eiskugel mit einer Grenzabweichung von $\pm 5\text{ %}$ der entsprechenden in Tabelle 5 angegebenen Prüfgeschwindigkeit der Hagelkörner entspricht.
- d) Der Kollektor ist bei Raumtemperatur an dem starren Rahmen zu befestigen.
- e) Die Zeit zwischen der Entnahme der Eiskugel aus dem Behälter und dem Auftreffen auf den Kollektor darf 60 s nicht überschreiten.
- f) Die Schussreihe ist den Anforderungen entsprechend auf den Kollektor abzugeben. Danach ist dieser an den Auftreffstellen zu untersuchen, und alle Anzeichen von Schäden und sonstigen sichtbaren Auswirkungen der Schüsse sind zu protokollieren.

17.5 Verfahren 2: Schlagfestigkeitsprüfung mit Stahlkugeln

Der Kollektor muss entweder vertikal oder horizontal auf einer Unterlage montiert werden. Die Unterlage muss steif genug sein, sodass während der Schlageinwirkung nur eine vernachlässigbare Verwindung oder Durchbiegung auftritt.

Zur Simulation des Auftreffens von Hagelkörnern sind Stahlkugeln zu verwenden. Wenn der Kollektor horizontal montiert ist, werden die Stahlkugeln senkrecht fallen gelassen; ist er vertikal aufgestellt, so werden die Schläge mithilfe eines Pendels horizontal geführt. In beiden Fällen entspricht die Fallhöhe dem senkrechten Abstand zwischen dem Freigabepunkt und der horizontalen Ebene, in der der Auftreffpunkt liegt.

Wird die Prüfung nach diesem Verfahren durchgeführt, so muss die Stahlkugel eine Masse von $150\text{ g} \pm 10\text{ g}$ haben und ist die folgende Reihe von Fallhöhen zu betrachten: 0,4 m; 0,6 m; 0,8 m; 1,0 m; 1,2 m; 1,4 m; 1,6 m; 1,8 m und 2,0 m.

17.6 Ergebnisse

Die Ergebnisse müssen den Festlegungen in A.13 entsprechend angegeben werden.

18 Endkontrolle (in Verbindung mit den Abschnitten 5 bis 17)

Nach Abschluss der Prüfungen ist der geprüfte Kollektor, sofern er nicht für die Leistungsprüfung verwendet wird, zu zerlegen und zu untersuchen. Alle Abweichungen vom Normalzustand sind zu dokumentieren und photographisch zu belegen. Der Kollektor und alle seine Bauteile sind zu beschreiben und sollten photographiert werden (Abdeckung, Absorber, Absorberüberzug, Dämmung, Gehäuse, Eintritts- und Austrittsöffnungen, Abdeckungsauflagen und -halter, Dichtungen aller Art, Rückseite usw.).

Für sämtliche der in 5.1, Tabelle 1 aufgeführten Prüfungen sind in den betreffenden Absätzen spezielle Bewertungskriterien aufgeführt. Das Urteil „kein schwerwiegender Ausfall“ bedeutet, dass keiner der folgenden Schäden bzw. Ausfälle eingetreten ist:

- Undichtigkeit des Wärmeträgerkanals (nur bei Fluidkollektoren) oder eine solche Verformung, dass Absorber und Abdeckung dauerhaft in Kontakt miteinander sind;
- Bruch oder dauerhafte Verformung der Abdeckung oder der Abdeckungsbefestigung;
- Bruch oder dauerhafte Verformung der Kollektorbefestigungspunkte oder des Kollektorgehäuses;
- Vakuumverlust in einem Maße, dass Vakuum- oder Unterdruckkollektoren der Definition in ISO 9488 entsprechend eingestuft werden müssen (nur bei Vakuum- und Unterdruckkollektoren);
- Feuchteansammlung in Form von Kondenswasser an der Innenseite der transparenten Abdeckung des Kollektors auf einer Fläche von mehr als 10 % des sichtbaren Bereichs der transparenten Abdeckung. Bei Luftkollektoren mit offenem Kreislauf darf dieser Wert für begrenzte Zeiträume überschritten werden;
- alle sonstigen Abweichungen vom Normalzustand, die zu einem signifikanten Leistungsabfall oder einer signifikanten Verkürzung der Lebensdauer führen.

Das Bestanden/Nicht bestanden-Kriterium bezüglich der Feuchteansammlung sollte nur bei den folgenden Prüfungen angewendet werden:

- Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel;
- Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser.

19 Prüfbericht (in Verbindung mit den Abschnitten 5 bis 18)

Für jede Prüfung müssen die in Anhang A angegebenen Vordrucke zusammen mit dem Einleitungsvordruck (A.2), der eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse einschließlich der Prüfverfahren enthält, ausgefüllt werden.

20 Leistungsprüfung von Fluidkollektoren

20.1 Allgemeines

Die Leistungsprüfung umfasst die Beurteilung der vom Kollektor unter verschiedenen Betriebsbedingungen abgegebenen Wärmeleistung sowie die Beurteilung weiterer Kollektorparameter, die für die Berechnung der vom Kollektor abgegebenen Leistung erforderlich sind (Druckabfall, Einfallswinkel-Korrekturfaktor, Wärmekapazität, Zeitkonstante).

Bei Hybridkollektoren, die sowohl zur Wärme- als auch zur Stromerzeugung dienen, kann die Betriebsart des Generators (mit MPP-Nachführung, -Regelung oder -Kurzschluss) erheblichen Einfluss auf die Wärmeleistung haben und muss daher im Prüfbericht angegeben werden. Wenn der Absorber eines solchen Hybridkollektors nahe am Generator angeschlossen und keine zusätzliche Abdeckung vorhanden ist, muss dieser Kollektor wie ein unabgedeckter Kollektor behandelt werden. Während der Wärmeleistungsprüfung muss der Generator im Falle des Betriebs in der MPP-Betriebsart innerhalb von 15 % auf dem maximalen Leistungspunkt des Moduls gehalten werden.

20.2 Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators

20.2.1 Allgemeines

Die Leistung der meisten Kollektoren ist bei direkter Sonnenstrahlung besser als bei diffuser Strahlung, und zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen zur Simulation diffuser Sonnenstrahlung nur geringe Erfahrungen vor. Daher ist dieses Prüfverfahren nur zur Anwendung in Simulatoren vorgesehen, bei denen ein annähernd senkrecht einfallender Strahl simulierter Sonnenstrahlung auf den Kollektor gerichtet werden kann.

In der Praxis ist es schwierig, einen gleichmäßigen Strahl simulierter Sonnenstrahlung zu erzeugen, und aus diesem Grunde muss über der Brutto-Kollektorfläche ein mittlerer Strahlungspegel gemessen werden.

20.2.2 Sonnenstrahlungssimulator für die Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen

Ein Simulator für die Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen muss folgende Merkmale aufweisen:

Die Lampen müssen in der Lage sein, über der Brutto-Kollektorfläche eine mittlere Bestrahlungsstärke von mindestens 700 W/m^2 zu erzeugen. Für spezielle Prüfungen dürfen auch Werte im Bereich von 300 W/m^2 bis $1\,000 \text{ W/m}^2$ verwendet werden, vorausgesetzt, dass die in Tabelle 9 angegebenen Genauigkeitsanforderungen eingehalten werden können und die Werte der Bestrahlungsstärke im Prüfbericht angegeben werden.

Zu keiner Zeit darf die Bestrahlungsstärke an einem Punkt der Brutto-Kollektorfläche von der mittleren Bestrahlungsstärke über der Brutto-Kollektorfläche um mehr als $\pm 15 \%$ abweichen. Die Spektralverteilung der simulierten Sonnenstrahlung muss etwa der des Sonnenspektrums bei einer optischen Luftmasse von 1,5 entsprechen.

Wenn Kollektoren spektralselektive Absorber oder Abdeckungen enthalten, muss eine Kontrolle durchgeführt werden, um für den Kollektor die Wirkung der spektralen Unterschiede auf das $(\tau\alpha)$ -Produkt zu bestimmen. Falls die effektiven $(\tau\alpha)$ -Werte unter dem Simulator bei der optischen Luftmasse 1,5 um mehr als $\pm 1 \%$ von denen unter dem Sonnenstrahlungsspektrum abweichen, müssen die Prüfergebnisse korrigiert werden.