

DIN EN 12975-2

ICS 27.160

Ersatz für
DIN EN 12975-2:2002-12**Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile –
Kollektoren –
Teil 2: Prüfverfahren;
Deutsche Fassung EN 12975-2:2006**

Thermal solar systems and components –
Solar collectors –
Part 2: Test methods;
German version EN 12975-2:2006

Installations solaires thermiques et leurs composants –
Capteurs solaires –
Partie 2: Méthode d'essai;
Version allemande EN 12975-2:2006

Gesamtumfang 135 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 12975-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT, (Griechenland) gehalten wird. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 041-01-56 AA „Solaranlagen“ des Normenausschusses Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12975-2:2002-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Überarbeitung aufgrund technischer Erneuerungen des Prüfverfahrens

Frühere Ausgaben

DIN 4757-3: 1980-11

DIN V 4757-3: 1995-11

DIN 4757-4: 1982-07

DIN V 4757-4: 1995-11

DIN EN 12975-2: 2002-12

Deutsche Fassung

**Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile —
Kollektoren —
Teil 2: Prüfverfahren**

Thermal solar systems and components —
Solar collectors —
Part 2: Test methods

Installations solaires thermiques et leurs composants —
Capteurs solaires —
Partie 2: Méthode d'essai

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Februar 2006 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 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	7
Einleitung.....	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen.....	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Einheiten	9
5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren	12
5.1 Allgemeines.....	12
5.2 Innendruckprüfungen für Absorber.....	13
5.2.1 Anorganische Absorber.....	13
5.2.2 Absorber aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)	13
5.3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit	16
5.3.1 Zweck.....	16
5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	16
5.3.3 Prüfbedingungen	16
5.3.4 Ergebnisse.....	17
5.4 Expositionsprüfung.....	17
5.4.1 Zweck.....	17
5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	17
5.4.3 Prüfbedingungen	17
5.4.4 Ergebnisse.....	18
5.5 Schneller äußerer Temperaturwechsel	18
5.5.1 Zweck.....	18
5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	18
5.5.3 Prüfbedingungen	19
5.5.4 Ergebnisse.....	19
5.6 Schneller innerer Temperaturwechsel	19
5.6.1 Zweck.....	19
5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	19
5.6.3 Prüfbedingungen	20
5.6.4 Ergebnisse.....	20
5.7 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser	20
5.7.1 Zweck.....	20
5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	20
5.7.3 Prüfbedingungen	21
5.7.4 Ergebnisse.....	22
5.8 Prüfung der Frostbeständigkeit	22
5.8.1 Zweck.....	22
5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	22
5.8.3 Prüfbedingungen	23
5.8.4 Ergebnisse.....	23
5.9 Mechanische Belastungsprüfung	23
5.9.1 Druckprüfung für die Kollektorabdeckung	23
5.9.2 Unterdruckprüfung des Kollektors	24
5.10 Prüfung der Schlagfestigkeit (wahlweise)	25
5.10.1 Zweck.....	25
5.10.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	25
5.10.3 Prüfbedingungen	27
5.10.4 Ergebnisse.....	27
5.11 Endkontrolle.....	27
5.12 Prüfbericht.....	27

6	Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren.....	27
6.1	Abgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall).....	28
6.1.1	Einbau und Standort des Kollektors	28
6.1.2	Messgeräte	29
6.1.3	Prüfaufbau	35
6.1.4	Prüfung der Leistung im Freien unter stationären Bedingungen	38
6.1.5	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators	42
6.1.6	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	45
6.1.7	Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Kollektors	47
6.1.8	Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	50
6.2	Unabgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall).....	50
6.2.1	Montage und Standort des Kollektors	50
6.2.2	Messgeräte	52
6.2.3	Prüfaufbau	54
6.2.4	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Betrieb im Freien	54
6.2.5	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand mittels Sonnenstrahlungssimulator	58
6.2.6	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	59
6.2.7	Einfallswinkel-Korrekturfaktor (wahlweise)	60
6.2.8	Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	62
6.3	Abgedeckte und unabgedeckte Sonnenkollektoren unter quasi-dynamischen Bedingungen.....	62
6.3.1	Montage und Standort des Kollektors	62
6.3.2	Messgeräteausrüstung	63
6.3.3	Prüfaufbau	64
6.3.4	Prüfung des Wirkungsgrades im Freien	64
6.3.5	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität	72
6.3.6	Einfallswinkel-Korrekturfaktor auf den Kollektor	72
Anhang A (normativ)	Prinzipskizzen für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen	74
Anhang B (normativ)	Prüfprotokolle für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen	82
B.1	Protokoll der Prüfreihefolge und Zusammenfassung der Hauptergebnisse	82
B.2	Innendruckprüfung für anorganische Absorber	83
B.2.1	Technische Daten des Kollektors	83
B.2.2	Prüfbedingungen	83
B.2.3	Prüfergebnisse	83
B.3	Innendruckprüfung für Absorber aus organischen Werkstoffen	84
B.3.1	Technische Daten des Kollektors	84
B.3.2	Prüfbedingungen	84
B.3.3	Prüfergebnisse	85
B.4	Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit	86
B.4.1	Verfahren zum Aufheizen der Kollektoren:	86
B.4.2	Prüfbedingungen	86
B.4.3	Prüfergebnisse	86
B.5	Expositionsprüfung	87
B.5.1	Prüfbedingungen	87
B.5.2	Prüfergebnisse	87
B.5.3	Klimatische Bedingungen für alle Prüftage	88
B.5.4	Zeitabschnitte, in denen die Werte der Bestrahlungsstärke und der Umgebungslufttemperatur höher sind, als die Werte nach Tabelle 4	89
B.5.5	Ergebnisse der Überprüfung	90
B.6	Schnelle äußere Temperaturwechselprüfung:	91
B.6.1	Prüfbedingungen	91
B.6.2	Prüfergebnisse	92
B.7	Schnelle innere Temperaturwechselprüfung:	93
B.7.1	Prüfbedingungen	93

B.7.2	Prüfergebnisse.....	94
B.8	Prüfung auf eindringendes Regenwasser.....	95
B.8.1	Prüfbedingungen	95
B.8.2	Prüfergebnisse.....	95
B.9	Frostbeständigkeitsprüfung	96
B.9.1	Kollektortyp	96
B.9.2	Prüfbedingungen	96
B.9.3	Prüfergebnisse.....	96
B.10	Mechanische Belastungsprüfung	97
B.10.1	Überdruckprüfung der Kollektorabdeckung.....	97
B.10.2	Zugprüfung der Befestigung zwischen Abdeckung und Kollektorgehäuse	98
B.10.3	Zugprüfung der Kollektorbefestigungen.....	99
B.11	Prüfung der Schlagfestigkeit mit Stahlkugeln.....	100
B.11.1	Prüfbedingungen	100
B.11.2	Durchführung der Prüfung	100
B.11.3	Prüfergebnisse.....	100
B.12	Prüfung der Schlagfestigkeit mit Eiskugeln	101
B.12.1	Prüfbedingungen	101
B.12.2	Durchführung der Prüfung	101
B.12.3	Prüfergebnisse.....	101
B.13	Ergebnisse der Endüberprüfung.....	102
Anhang C (normativ)	Stagnationstemperatur von Flüssigkeitskollektoren	103
C.1	Allgemeines.....	103
C.2	Bestimmung der Stagnationstemperatur.....	103
Anhang D (normativ)	Prüfbericht für Leistungsprüfungen von abgedeckten Sonnenkollektoren	104
D.1	Allgemeines.....	104
D.2	Beschreibung des Sonnenkollektors	104
D.3	Prüfergebnisse.....	106
Anhang E (normativ)	Prüfbericht für Leistungsprüfungen von unabgedeckten Sonnenkollektoren ...	109
E.1	Allgemeines.....	109
E.2	Beschreibung des Sonnenkollektors	109
E.3	Prüfergebnisse.....	111
Anhang F (normativ)	Darstellung der Koeffizienten c_1 bis c_6 des Kollektormodells nach 6.3.....	114
Anhang G (normativ)	Messung der effektiven Wärmekapazität.....	116
G.1	Prüfaufbau	116
G.2	Prüfung im Raum.....	116
G.2.1	Allgemeines.....	116
G.2.2	Messungen	116
G.2.3	Berechnung der effektiven Wärmekapazität.....	116
G.2.4	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität aus experimentellen Daten	117
G.3	Prüfverfahren für Prüfungen im Freien oder mit Sonnenstrahlungssimulator.....	118
Anhang H (informativ)	Vergleich zwischen den beiden Kollektormodellen nach 6.1 und 6.3.....	119
Anhang I (informativ)	Eigenschaften von Wasser (siehe DIN V 4757-4:1995-11)	120
I.1	Dichte von Wasser (bei 1 bar), in kg/m^3	120
I.2	Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei 1 bar), in $\text{kJ}/(\text{kg K})$	120
Anhang J (informativ)	Zusammenfassender Leistungsprüfbericht für das quasi-dynamische Prüfverfahren	121
Anhang K (informativ)	Allgemeine Leitlinien zur Abschätzung der Unsicherheit bei der Prüfung des Wirkungsgrades bei Sonnenkollektoren.....	123
K.1	Einleitung.....	123
K.2	Messunsicherheiten bei der Wirkungsgradprüfung von Sonnenkollektoren	123
K.3	Parameteridentifikation und Unsicherheiten der Ergebnisse der Wirkungsgradprüfung	125

Anhang L (informativ) Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	127
L.1 Allgemeines	127
L.2 Prüfaufbau	127
L.3 Vorbereitung des Kollektors	127
L.4 Durchführung der Prüfung	127
L.5 Messungen	128
L.6 Durch Rohrverbinder verursachter Druckabfall	128
L.7 Prüfbedingungen	128
L.8 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	128
Literaturhinweise	129

Bilder

Bild 1 — Empfohlene Fühlerpositionen für die Messung der Eintritts- und Austrittstemperaturen des Wärmeträgers	32
Bild 2 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs	35
Bild 3 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs	36
Bild 4 — Kollektorzeitkonstante	46
Bild 5 — Typische Einfallswinkel-Korrekturfaktoren K_{θ}	48
Bild 6 — Typischer Einfallswinkel-Korrekturfaktor	60
Bild 7 — $t_m - t_a$ als Funktion von θ^*	68
Bild 8 — G_b als Funktion von θ_1	68
Bild 9 — G_d als Funktion von G^*	69
Bild 30 — Windgeschwindigkeit als Funktion von θ^*	69
Bild A.1 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung anorganischer Absorber	74
Bild A.2 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber für ungedeckte Kollektoren	74
Bild A.3 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Heißöleinspeisung)	75
Bild A.4 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Prüfung unter Sonneneinstrahlung)	75
Bild A.5 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber (Prüfung mit Pressluft unter Sonneneinstrahlung)	76
Bild A.6 — Prinzipskizze für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit (im Freien oder im Simulator)	76
Bild A.7 — Prinzipskizze für die Expositionsprüfung	77
Bild A.8 — Prinzipskizze für die schnelle äußere Temperaturwechselprüfung	77
Bild A.9 — Prinzipskizze für die schnelle innere Temperaturwechselprüfung	78
Bild A.10 — Prinzipskizze für die Prüfung auf eindringendes Regenwasser	78
Bild A.11 — Prinzipskizze für die Prüfung der Frostbeständigkeit	79
Bild A.12 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Überdruck auf der Kollektorabdeckung)	79
Bild A.13 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Befestigungen zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse)	80
Bild A.14 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Montageelementen des Kollektors)	80
Bild A.15 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Stahlkugeln	80
Bild A.16 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Eiskugeln	81
Bild D.1 — Leistung je Kollektormodul (für $G = 1\,000\text{ W/m}^2$)	107
Bild E.1 — Leistung je Kollektormodul	111

Tabellen

Tabelle 1 — Liste der Prüfungen	12
Tabelle 2 — Klimatische Referenzbedingungen zur Bestimmung der Prüftemperaturen für die Innendruckprüfung organischer Absorber	15
Tabelle 3 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit.....	16
Tabelle 4 — Klimatische Referenzbedingungen für die Freilandbewitterung sowie für die äußere und innere schnelle Temperaturwechselprüfung	18
Tabelle 5 — Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messperiode	40
Tabelle 6 — Werte für Wichtungsfaktoren	45
Tabelle 7 — Bereich der Prüfbedingungen für die Wärmeleistungsprüfung	55
Tabelle 8 — Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messperiode	56
Tabelle B.1	82
Tabelle B.2	88
Tabelle B.3	89
Tabelle J.1 — Einfallswinkel-Korrekturfaktor, $K_{\theta b}(\theta)$	122

Vorwort

Dieses Dokument (EN 12975-2:2006) wurde vom 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 September 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2006 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN 12975-2:2001.

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

Einleitung

Diese Norm legt Prüfverfahren fest, mit denen bestimmt werden kann, wie Flüssigkeitskollektoren dem Einfluss schädlicher Substanzen standhalten können. Sie legt Verfahren zur Prüfung von Kollektoren unter genau definierten und reproduzierbaren Bedingungen fest.

Diese Norm gibt auch Prüf- und Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Wärmeleistung abgedeckter Flüssigkeitskollektoren im stationären und quasistationären Zustand an. Sie enthält Verfahren für die Durchführung von Prüfungen im Freien bei natürlicher Sonnenstrahlung und natürlicher sowie simulierter Luftbewegung und Innen-Prüfungen bei simulierter Sonnenstrahlung und simulierter Luftbewegung.

Diese Norm gibt auch Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleistung unabgedeckter Flüssigkeitskollektoren an. Unabgedeckte Kollektoren werden in den meisten Fällen für die Beheizung von Schwimmbecken oder für andere Nutzer im Niedertemperaturbereich eingesetzt. Im Allgemeinen werden die Kollektoren vor Ort zusammengebaut, wobei die Absorberstreifen untereinander mit Sammelleitungen verbunden werden. Die Flächen der Absorber betragen in der Regel 10 m² bis 100 m². Bei unabgedeckten Absorbern werden vorgefertigte Module einer bestimmten Fläche nur selten verwendet. Deshalb sollte während der Prüfung die Verwendung eines realistischen Strömungsbildes sowie einer realistischen Durchflussgeschwindigkeit überprüft werden.

Diese Norm gibt auch Prüf- und Berechnungsverfahren für Wärmeleistungsparameter von Flüssigkeitskollektoren unter stationären Bedingungen sowie für den Tagesverlauf unter veränderlichen klimatischen Bedingungen an. Sie enthält Verfahren für die Durchführung der Prüfungen im Freien während des Tages bei stationären Eintrittstemperaturen und natürlicher Sonnenstrahlung und natürlichen und/oder simulierten Windbedingungen. Es werden auch Einflüsse berücksichtigt, die für den Tagesgang der Leistung des Kollektors wichtig sind, z. B. die Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel, von der Windgeschwindigkeit, vom diffusen Sonnenstrahlungsanteil, von der thermischen Himmelsstrahlung und der Wärmekapazität. Die Abhängigkeit von der Durchflussmenge wird in dieser Norm nicht erfasst.

Einige Vorteile der vorgeschlagenen Erweiterung des z. Z. üblichen stationären Prüfverfahrens für eine Prüfung über den ganzen Tag sind:

- Kürzere und kostengünstigere Prüfung im Freien, die für europäische Klimabedingungen geeignet ist.
- Mit demselben Prüfverfahren kann ein wesentlich größerer Bereich von Kollektoren geprüft werden.
- Gleichzeitig wird eine wesentlich vollständigere Charakterisierung des Kollektors erreicht.
- Das Kollektormodell ist weiterhin direkt kompatibel mit dem Modell, das in der z. Z. verwendeten Prüfnorm eingesetzt wird; für das erweiterte Verfahren werden lediglich Korrekturfaktoren verwendet.
- Alle Zusätze basieren auf der seit langem anerkannten Kollektortheorie.
- Die volle Abwärtskompatibilität zum stationären Zustand kann jederzeit erreicht werden, indem nur Zeitabschnitte der Prüftage bewertet werden, die den Anforderungen für den stationären Zustand entsprechen.
- Es kann die gleiche Prüfeinrichtung wie für die stationäre Prüfung verwendet werden, wobei nur geringfügige Änderungen erforderlich sind, die gleichzeitig die Genauigkeit der stationären Prüfung verbessern.
- Zur Bestimmung der Parameter kann allgemein verfügbare PC-Standardsoftware verwendet werden wie beispielsweise Tabellenkalkulationsprogramme oder erweiterte statistische Berechnungsprogramme, die über die Option der Multiplen Linearen Regression (MLR) verfügen.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt Prüfverfahren für den Nachweis der Erfüllung der Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Sicherheit für Flüssigkeitskollektoren nach EN 12975-1 fest. Diese Norm enthält auch drei Prüfverfahren für die Charakterisierung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren.

Die Norm ist nicht auf Kollektoren anwendbar, bei denen der Wärmespeicher ein integraler Bestandteil des Kollektors ist, so dass bei der Durchführung von Messungen der Prozess im Kollektor vom Prozess der Wärmespeicherung nicht getrennt werden kann.

Die Norm ist grundsätzlich auf nachgeführte konzentrierende Kollektoren anwendbar; die Prüfung der Wärmeleistung nach 6.3 (quasi-dynamische Prüfung) ist auch auf die meisten Konstruktionen konzentrierender Kollektoren anwendbar, vom stationären nichtabbildenden Konzentrator als CPC bis zu hoch konzentrierenden nachgeführten Konstruktionen. Teile der solaren Strahlungsmessung sollten im Falle nachgeführter Kollektoren abgestimmt werden. Das Gleiche gilt für den Fall, dass zur Messung direkter Strahlung ein Pyrheliometer verwendet wurde.

Kundenspezifische Kollektoren (z. B. in der Dacheindeckung integrierte Kollektoren, die keine industriell hergestellten Module enthalten und direkt am Einsatzort zusammengebaut werden), können in ihrer ursprünglichen Form in Bezug auf Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Wärmeleistung nicht nach dieser Norm geprüft werden. An ihrer Stelle darf ein Modul geprüft werden, das die gleiche Bauweise aufweist wie der fertig eingebaute Kollektor. Die Bruttofläche des Moduls sollte mindestens 2 m² betragen. Die Prüfung ist nur für Kollektoren gültig die größer sind als das geprüfte Modul.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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).

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1: Wirkungen auf Bauwerke*

prEN 12975-1:2005, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

EN ISO 9488:1999, *Solaranlagen — Terminologie (ISO 9488:1999)*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 9488.

4 Symbole und Einheiten

a_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(T_m - T_a) = 0$	Wm ⁻² K ⁻¹
a_2	Koeffizient zur Berechnung des temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten	Wm ⁻² K ⁻²
A_A	Absorberfläche des Kollektors	m ²
A_a	Aperturfläche des Kollektors	m ²
A_G	Bruttofläche des Kollektors	m ²
AM	optische Luftmasse	
b_u	Kollektorwirkungsgradfaktor (windabhängig)	m ⁻¹ s

b_0	Konstante zur Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors	
b_1	Kollektorwirkungsgradfaktor ($T_m - T_a$) = 0	$Wm^{-2}K^{-1}$
b_2	Kollektorwirkungsgradfaktor	$Wsm^{-3}K^{-1}$
c_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei ($T_m - T_a$) = 0	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_2	Koeffizient zur Berechnung des temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten	$Wm^{-2}K^{-2}$
c_3	Koeffizient zur Berechnung des windabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten	$Jm^{-3}K^{-1}$
c_4	Koeffizient zur Berechnung des von der Himmelstemperatur abhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_5	effektive Wärmekapazität	$Jm^{-2}K^{-1}$
c_6	Koeffizient zur Berechnung des windabhängigen Konversionsfaktors	sm^{-1}
c_f	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers	$Jkg^{-1}K^{-1}$
C	effektive Wärmekapazität des Kollektors	JK^{-1}
D	Datum	JJMMTT
E_L	langwellige Einstrahlung ($\lambda > 3 \mu m$)	Wm^{-2}
E_β	langwellige Einstrahlung auf eine geneigte Oberfläche im Freien	Wm^{-2}
E_s	langwellige Einstrahlung	Wm^{-2}
F	Strahlungssichtfaktor	
F'	Kollektorwirkungsgradfaktor	
G	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G^*	globale hemisphärische solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G''	Nettobestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_b	direkte solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_d	diffuse solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
LT	Ortszeit	h
K_θ	Einfallswinkel-Korrekturfaktor	
$K_{\theta b}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für direkte Bestrahlungsstärke	
$K_{\theta d}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Bestrahlungsstärke	
m	thermisch aktive Kollektormasse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom des Wärmeträgers	kgs^{-1}
$\dot{Q}$	Nutzwärmeleistung des Sonnenkollektors	W
$\dot{Q}_L$	Verlustwärmeleistung des Sonnenkollektors	W
SF	Sicherheitsfaktor	
t	Zeit	s
t_a	Umgebungslufttemperatur	°C
t_{dp}	atmosphärische Taupunkttemperatur	°C

t_e	Kollektoraustrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
t_{in}	Kollektoreintrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
t_m	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	°C
t_s	atmosphärische oder Himmelstemperatur	°C
t_{stg}	Stagnationstemperatur	°C
T	absolute Temperatur	K
T_a	Umgebungslufttemperatur	K
T_m^*	reduzierte Temperaturdifferenz ($= (t_m - t_a)/G^*$)	m ² KW ⁻¹
T_s	atmosphärische oder äquivalente Himmelsstrahlungstemperatur	K
U	gemessener Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors mit Bezug auf T_m^*	Wm ⁻² K ⁻¹
U_L	Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors bei einheitlicher Absorbertemperatur t_m	Wm ⁻² K ⁻¹
u	Umgebungsluftgeschwindigkeit	ms ⁻¹
V_f	Wärmeträgerinhalt des Kollektors	m ³
Δp	Druckdifferenz zwischen Wärmeträgereintritt und -austritt	Pa
Δt	Zeitintervall	s
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgeraustritt und -eintritt ($t_e - t_{in}$)	K
α	solarer Absorptionsfaktor	
β	Neigungswinkel einer Ebene zur Horizontalen	Grad
γ	Azimutwinkel	Grad
ε	hemisphärische Emission	
ω	solarer Stundenwinkel	Grad
θ	Einfallswinkel	Grad
Φ	geographische Breite	Grad
λ	Wellenlänge	µm
η	Kollektorwirkungsgrad mit Bezug auf T_m^*	
η_0	Konversionsfaktor (η bei $T_m^* = 0$) mit Bezug auf T_m^*	
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	Wm ⁻² K ⁻⁴
ρ	Dichte des Wärmeträgers	kgm ⁻³
τ_0	Zeitkonstante des Kollektors	s
τ	Transmissionsfaktor	
$(\tau\alpha)_e$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt	
$(\tau\alpha)_{de}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für diffuse Bestrahlungsstärke	
$(\tau\alpha)_{en}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Bestrahlungsstärke bei senkrechtem Einfall	
$(\tau\alpha)_{e0}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Bestrahlungsstärke bei dem Einfallswinkel θ	

ANMERKUNG 1 Im Bereich der Sonnenenergie wird zur Bezeichnung der Sonnenbestrahlungsstärke das Symbol G eher verwendet als das für die Bestrahlungsstärke übliche Symbol E .

ANMERKUNG 2 C wird in der Grundleitern oft als $(mC)_e$ angegeben (siehe auch Anhang F).

ANMERKUNG 3 Mehr Angaben zu den Wärmeleistungskoeffizienten (-parametern) c_1 bis c_6 enthält Anhang F.

5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren

5.1 Allgemeines

Die Details über die Anzahl der verwendeten Kollektoren und Sequenzen zur Durchführung der im Weiteren beschriebenen Eignungsprüfungen (Tabelle 1) sind im Prüfbericht zu dokumentieren.

Bei einigen Eignungsprüfungen kann es erforderlich sein, einen Teil des Kollektors zu bearbeiten, z. B. Bohren eines Loches in die Rückseite des Kollektors, um einen Temperaturfühler am Absorber zu befestigen. 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
5.2	Innendruck
5.3	Hochtemperaturbeständigkeit ^{a, b}
5.4	Exposition ^b
5.5	schneller äußerer Temperaturwechsel ^c
5.6	schneller innerer Temperaturwechsel ^c
5.7	eindringendes Regenwasser ^d
5.8	Frostbeständigkeit ^e
5.9	mechanische Belastung
5.10	Schlagfestigkeit (wahlweise Prüfung)
6.1-6.2-6.3	Wärmeleistung ^f

^a Für organische Absorber muss die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit zuerst erfolgen, um die für die Innendruckprüfung erforderliche Stagnationstemperatur des Kollektors zu bestimmen.

^b Die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit und die Expositionsprüfung müssen am selben Kollektor ausgeführt werden.

^c Die beiden Prüfungen mit schnellem innerem und äußerem Temperaturwechsel dürfen mit der Expositionsprüfung oder der Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit kombiniert werden.

^d Die Prüfung auf eindringendes Regenwasser ist nur für abgedeckte Kollektoren durchzuführen.

^e Die Prüfung der Frostbeständigkeit ist nur für Kollektoren durchzuführen, für die Frostbeständigkeit angegeben ist.

^f Die Prüfung der Wärmeleistung darf nur an einem Kollektor durchgeführt werden, der nicht für andere Prüfungen verwendet wurde

ANMERKUNG Bezüglich der Beständigkeit und Zuverlässigkeit elastischer Werkstoffe wird auf ISO 9808 und ISO 9553 verwiesen.

5.2 Innendruckprüfungen für Absorber

5.2.1 Anorganische Absorber

5.2.1.1 Zweck

Der Absorber muss einer Druckprüfung unterzogen werden, um abschätzen zu können, inwiefern er den im Betrieb auftretenden Drücken standhalten kann.

5.2.1.2 Einrichtungen und Durchführung

Die Einrichtung nach Bild A.1 besteht aus einem hydraulischen Druckgeber (elektrische Pumpe oder Handpumpe), einem Sicherheitsventil, einem Entlüftungsventil und einem Druckmessgerät mit einer Standardunsicherheit kleiner 5 %. Das Entlüftungsventil muss verwendet werden, um den Absorber zu entlüften, bevor er dem Druck ausgesetzt wird. Der anorganische Absorber ist mit Wasser mit Raumtemperatur zu füllen und für die Prüfdauer dem Prüfdruck auszusetzen (siehe 5.2.1.3.2). Dieser Druck muss aufrechterhalten bleiben, während der Absorber auf Ausbauchung, Verformung oder Risse untersucht wird.

5.2.1.3 Prüfbedingungen

5.2.1.3.1 Temperatur

Die Druckprüfung anorganischer Absorber (siehe 5.2.1.3.2) ist bei einer Umgebungstemperatur zwischen 5 °C und 30 °C durchzuführen.

5.2.1.3.2 Druck

Der Prüfdruck muss das 1,5fache des vom Hersteller angegebenen höchsten Kollektorbetriebsdruckes betragen.

Der Prüfdruck muss 15 min aufrechterhalten werden.

5.2.1.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf Undichtheiten, Ausbauchung und Verwindung zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung müssen gemeinsam mit den verwendeten Druck- und Temperaturwerten sowie der Prüfdauer angegeben werden.

5.2.2 Absorber aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)

5.2.2.1 Zweck

Der Absorber muss einer Druckprüfung unterzogen werden (siehe 5.2.1.3.2), um einschätzen zu können, in welchem Maße er den Drücken standhalten kann, denen er beim Betrieb unter erhöhten Temperaturen ausgesetzt sein könnte. Die Prüfungen sind bei erhöhten Temperaturen durchzuführen, da die Druckbeständigkeit eines organischen Absorbers bei Erhöhung seiner Temperatur nachteilig beeinflusst werden kann. Es darf eines der in 5.2.2.2.2 bis 5.2.2.2.4 beschriebenen Verfahren verwendet werden.

5.2.2.2 Einrichtungen und Durchführung

5.2.2.2.1 Allgemeines

Die Einrichtung besteht entweder aus einem hydraulischen oder pneumatischen Druckgeber und einer Vorrichtung zum Aufheizen des Absorbers auf die erforderliche Prüftemperatur.

Die Charakteristik eines Sonnenstrahlungssimulators muss die gleiche sein, wie die des Simulators, der für die Prüfung des Wirkungsgrades von Flüssigkeitskollektoren verwendet wird.

Am Absorber muss ein Temperaturfühler angebracht sein, damit während der Prüfung seine Temperatur überwacht werden kann. Der Temperaturfühler muss an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben Absorberbreite angebracht sein. Er muss sicher befestigt sein, damit guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss vor Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

Mindestens 30 min vor der Prüfung und während der gesamten Prüfdauer müssen die in 5.2.2.3 festgelegten Prüfbedingungen aufrechterhalten bleiben.

Der Druck im Absorber ist in Stufen nach 5.2.2.3 zu erhöhen. Der Absorber ist nach jeder Druckerhöhung auf Ausbauchung, Verformung oder Brüche zu untersuchen. Während der Untersuchung des Absorbers ist der Druck aufrechtzuerhalten.

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

Es darf eines der in 5.2.2.2.2 bis 5.2.2.2.4 beschriebenen Verfahren verwendet werden.

5.2.2.2.2 Organische Absorber für unabgedeckte Kollektoren (Prüftemperatur < 90 °C)

Wenn die maximale Prüftemperatur unter 90 °C liegt, dürfen die Absorber für die Druckprüfung in ein heißes Wasserbad getaucht werden. Die Zuleitung für den unter Druck stehenden Wärmeträger muss mit einem Sicherheitsventil, einem Entlüftungsventil (falls gefordert) und einem Druckmessgerät ausgestattet sein, dessen Standardunsicherheit kleiner als 5 % ist. Die Prüfeinrichtung ist in Bild A.2 dargestellt.

5.2.2.2.3 Organische Absorber für Wärmeträger auf Ölbasis (Prüftemperatur > 90 °C)

Falls die Prüftemperatur 90 °C überschreitet, darf der Absorber an einen Heißölkreislauf angeschlossen werden. Absorber und Heißölkreislauf werden anschließend dem Druck ausgesetzt. Der Heißölkreislauf muss mit einem Sicherheitsventil, einem Entlüftungsventil und einem Druckmessgerät ausgestattet sein, dessen Standardunsicherheit kleiner als 5 % ist.

Der Absorber darf nach einem der folgenden Verfahren erhitzt werden:

- a) Anschließen einer Heizvorrichtung an den Ölkreislauf (siehe Bild A.3);
- b) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator (siehe Bild A.4);
- c) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlichen Strahlungsbedingungen (siehe Bild A.4).

Es sollten Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um bei explosionsartigem Versagen das Personal während der Prüfung vor heißem Öl zu schützen.

5.2.2.2.4 Organische Absorber – Pneumatische Druckprüfung bei hoher Temperatur

Die Druckprüfung des Absorbers darf mit Pressluft durchgeführt werden, wenn diese nach einem der folgenden Verfahren erhitzt wurde:

- a) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator (siehe Bild A.5);
- b) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlichen Strahlungsbedingungen (siehe Bild A.5).

Die Pressluftzuleitung muss mit einem Sicherheitsventil und einem Druckmessgerät ausgestattet sein, dessen Standardunsicherheit weniger als 5 % beträgt.

5.2.2.3 Prüfbedingungen

5.2.2.3.1 Temperatur

Für Absorber aus organischen Werkstoffen muss die Prüftemperatur die höchste Temperatur sein, die der Absorber unter Stagnationsbedingungen erreicht.

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 2 anzuwenden.

Die angewendeten Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Prüftemperatur sind im Anhang C angegeben und müssen entweder

- gemessene Leistungskennwerte des Kollektors verwenden oder
- aus Mittelwerten extrapoliert werden, die bei der Hochtemperaturbeständigkeitsprüfung (siehe 5.3.3) für die globale Sonnenbestrahlungsstärke in der Kollektorebene (natürlich oder simuliert), für die Umgebungslufttemperatur und für die Absorbtemperatur gemessen wurden.

Tabelle 2 — Klimatische Referenzbedingungen zur Bestimmung der Prüftemperaturen für die Innendruckprüfung organischer Absorber

Klimaparameter	Werte für alle Klimaklassen
Globale solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, G in Wm^{-2}	1 000
Umgebungstemperatur, t_a in $^{\circ}\text{C}$	30

5.2.2.3.2 Druck

Der Prüfdruck muss das 1,5fache des höchsten vom Hersteller angegebenen Betriebsdruckes betragen.

Für Absorber aus organischen Werkstoffen muss der Druck in gleichmäßigen Stufen von (etwa) 20 kPa erhöht werden. Jeder Zwischendruck ist jeweils 5 min zu halten. Der Prüfdruck muss anschließend mindestens 1 h gehalten werden.

5.2.2.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Undichtheiten, Ausbauchung und Verformung untersucht werden. Die Ergebnisse der Überprüfung sind anzugeben.

Sämtliche Einzelheiten des verwendeten Prüfverfahrens einschließlich der Temperatur, der Zwischendrucke und der verwendeten Prüfdauer sind im Prüfbericht anzugeben.

5.3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

5.3.1 Zweck

Durch diese Prüfung soll schnell beurteilt werden, ob ein Kollektor hohen Bestrahlungsstärken standhalten kann, ohne dass Schäden wie Glasbruch, Bruch der Kunststoffabdeckung, Schmelzen des Kunststoffabsorbers oder durch Ausgasen von Kollektormaterial verursachte nennenswerte Niederschläge auf der Kollektorabdeckung auftreten.

5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Prüfung des Kollektors muss im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator durchgeführt werden. Eine schematische Darstellung der Prüfung zeigt Bild A.6.

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

Der Kollektor muss im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator eingebaut sein und darf nicht mit Flüssigkeit gefüllt sein. Alle Kollektoranschlüsse bis auf einen müssen verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden.

Am Absorber muss ein Temperaturfühler angebracht sein, damit während der Prüfung seine Temperatur überwacht werden kann. Der Temperaturfühler muss an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben Absorberbreite angebracht sein. Er muss sicher befestigt sein, damit guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss vor Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

ANMERKUNG 1 Bei der Prüfung von Kollektoren, die sich nicht für eine Messung der Stagnationstemperatur am Absorber eignen, z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren, sollte der Temperaturfühler an einer geeigneten Stelle im Kollektor angebracht werden. Diese Stelle sollte mit den Prüfergebnissen eindeutig angegeben werden.

ANMERKUNG 2 In manchen Fällen, z. B. bei Vakuum-Kollektoren, kann das Anbringen eines Thermoelements am Absorber schwierig sein. In solchen Fällen kann die Prüfstelle, anstatt ein Thermoelement anzubringen, den Absorber teilweise mit einer besonderen Flüssigkeit füllen, abdichten und die Flüssigkeitstemperatur direkt messen oder den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aus dem genormten Dampfdruck-Temperaturverhältnis der Flüssigkeit bekannt sein.

ANMERKUNG 3 Es wird empfohlen, die Bestimmung der Stagnationstemperatur zusammen mit der Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit durchzuführen.

Die Prüfung ist mindestens für 1 h nach Erreichen stationärer Bedingungen durchzuführen und der Kollektor ist anschließend auf Anzeichen von Beschädigungen nach 5.3.4 zu untersuchen.

5.3.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen aus Tabelle 3 oder Bedingungen die nach Gleichung C.1 zu derselben Kollektortemperatur führen, sind für alle Klimaklassen zu verwenden.

Tabelle 3 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

Klimaparameter	Werte für alle Klimaklassen
Globale solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, G in Wm^{-2}	$> 1\,000$
Umgebungstemperatur, t_a in $^{\circ}\text{C}$	$20 - 40$
Geschwindigkeit der Umgebungsluft in ms^{-1}	< 1

5.3.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Alterungserscheinungen, Schrumpfen, Gasbildung und Verformung untersucht werden.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind anzugeben zusammen mit den während der Prüfung registrierten Mittelwerten der (natürlichen oder simulierten) Sonnenbestrahlungsstärke in der Kollektorebene, der Umgebungstemperatur und der Geschwindigkeit der Umgebungsluft sowie der Temperatur des Absorbers (und dem Druck des im Absorber eingesetzten besonderen Wärmeträgers, falls dieses Verfahren verwendet wurde).

5.4 Expositionsprüfung

5.4.1 Zweck

Die Expositionsprüfung stellt ein kostengünstiges Zuverlässigkeitsprüfverfahren dar, das Betriebsbedingungen anzeigt (oder simuliert), die während des tatsächlichen Betriebs auftreten können. Darüber hinaus wird dem Kollektor ermöglicht, sich zu "stabilisieren", so dass nachfolgende Eignungsprüfungen eher zu reproduzierbaren Ergebnissen führen können.

5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss im Freien (siehe Bild A.7) ohne Wärmeträgerfüllung installiert werden. Alle Kollektoran-schlüsse bis auf einen müssen verschlossen sein, um Abkühlung durch natürliche Luftbewegung zu verhindern. Ein Rohr muss offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann.

Die Lufttemperatur muss mit einer Standardmessunsicherheit 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 globale Bestrahlungsstärke und die mittlere Lufttemperatur müssen mindestens alle 5 min registriert werden; die Niederschlagsmenge ist täglich zu registrieren. Die Expositionsprüfung des Kollektors ist fortzuführen, bis die Prüfbedingungen erfüllt sind.

Nach Abschluss der Expositionsprüfung ist eine Sichtprüfung auf Anzeichen von Beschädigungen nach 5.4.4 durchzuführen.

5.4.3 Prüfbedingungen

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 anzuwenden.

Der Kollektor ist für mindestens 30 Tage (die nicht aufeinander folgen müssen) der Strahlungssumme H nach Tabelle 4 auszusetzen. Die Strahlungssumme wird aus der unter Verwendung eines Pyranometers gemessenen Bestrahlungsstärke bestimmt.

Außerdem muss der Kollektor für mindestens 30 h der in Tabelle 4 angegebenen, mit einem Pyranometer gemessenen Bestrahlungsstärke ausgesetzt werden, wobei die Umgebungstemperatur größer als die in Tabelle 4 angegebene Umgebungstemperatur sein muss, oder Bedingungen die nach Gleichung C.1 zu derselben Kollektortemperatur führen. Diese 30 h müssen sich aus Zeiträumen von mindestens 30 min zusammensetzen.

ANMERKUNG In Regionen, in denen diese Bedingungen während bestimmter Zeitabschnitte des Jahres nicht eingehalten werden können, kann die 30-h-Freilandbewitterung bei hohen Bestrahlungsstärken (Tabelle 4) in einem Sonnenstrahlungssimulator durchgeführt werden, dessen Charakteristik mit der des für die Prüfung des Wirkungsgrades von Flüssigkeitskollektoren verwendeten Simulators identisch ist. Die 30-h-Freilandbewitterung sollte durchgeführt werden, nachdem der Kollektor für mindestens 10 Tage, jedoch nicht mehr als 15 Tage, dem Strahlungspegel nach Tabelle 4 ausgesetzt war.

Falls die äußeren und inneren schnellen Temperaturwechselprüfungen mit der Freilandbewitterungsprüfung kombiniert werden, müssen die ersten äußeren und inneren schnellen Temperaturwechsel während der ersten 10 h und die zweiten während der letzten 10 h der oben angegebenen 30 h durchgeführt werden.

Tabelle 4 — Klimatische Referenzbedingungen für die Freilandbewitterung sowie für die äußere und innere schnelle Temperaturwechselprüfung

Klimaparameter	Werte für alle Klimaklassen
Globale solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, G in Wm^{-2}	850
Globale Tageseinstrahlungssumme in der Kollektorebene, H in MJm^{-2}	14
Umgebungstemperatur, t_a in $^{\circ}\text{C}$	10
ANMERKUNG Die angegebenen Werte sind Mindestwerte für die Prüfung.	

5.4.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Beschädigung oder Alterserscheinungen untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung müssen zusammen mit einem Bericht über die während der Prüfung herrschenden klimatischen Bedingungen einschließlich der Tageseinstrahlungssumme, der Temperatur der Umgebungsluft und der Regenmenge angegeben werden.

5.5 Schneller äußerer Temperaturwechsel

5.5.1 Zweck

Kollektoren können an heißen Sonnentagen gelegentlichen plötzlichen Regenschauern ausgesetzt sein, was einen starken äußeren Temperaturwechsel hervorruft. Diese Prüfung dient dem Zweck, die Fähigkeit eines Kollektors zu beurteilen, solchen schnellen Temperaturwechseln ohne Schaden standzuhalten.

5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator ohne Wärmeträgerfüllung installiert werden. Alle Kollektoranschlüsse bis auf einen müssen verschlossen sein, um Abkühlung durch natürliche Luftbewegung zu verhindern. Ein Rohr muss offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann (siehe Bild A.8).

Am Absorber kann wahlweise ein Temperaturfühler angebracht sein, um dessen Temperatur während der Prüfung zu überwachen. Der Temperaturfühler muss an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben Absorberbreite angebracht sein. Er muss so befestigt sein, dass ein guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss von Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

ANMERKUNG 1 Bei der Prüfung von Kollektoren, die sich nicht für eine Messung der Stagnationstemperatur am Absorber eignen, z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren, sollte der Temperaturfühler an einer geeigneten Stelle im Kollektor angebracht sein. Diese Stelle sollte in den Prüfergebnissen eindeutig angegeben sein.

ANMERKUNG 2 In einigen Fällen, z. B. bei Vakuum-Absorbern, kann das Anbringen eines Thermoelements am Absorber schwierig sein. In solchen Fällen kann die Prüfstelle, anstatt ein Thermoelement anzubringen, den Absorber teilweise mit einer besonderen Flüssigkeit füllen, abdichten und den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aus dem genormten Dampfdruck-Temperaturverhältnis der Flüssigkeit bekannt sein.

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

Bevor mit dem Besprühen begonnen wird, muss der Kollektor 1 h lang einem hohen Wert der solaren Bestrahlungsstärke ausgesetzt werden. Vor der Untersuchung ist er dann durch Besprühen mit Wasser 15 min lang zu kühlen.

Der Kollektor ist zwei schnellen äußeren Temperaturwechseln auszusetzen.

5.5.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare Bestrahlungsstärke (oder simulierte Bestrahlungsstärke) G größer als der Wert nach Tabelle 4;
- Umgebungstemperatur t_a größer als der Wert nach Tabelle 4

oder Bedingungen, die nach Gleichung C.1 zu derselben Kollektortemperatur führen.

Die Temperatur des versprühten Wassers muss weniger als 25 °C betragen und der Massenstrom muss zwischen 0,03 kgs⁻¹ und 0,05 kgs⁻¹ je m² Aperturfläche liegen.

Falls die Temperatur des für die erste Abkühlung des Kollektors verwendeten Wassers 25 °C überschreiten kann (z. B. wenn das Wasser in einem Rohr gestanden hat und 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.

5.5.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Risse, Verformung, Kondensation, eingedrungenes Wasser oder Vakuumverlust untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung müssen angegeben werden. Die gemessenen Werte der solaren Bestrahlungsstärke, der Umgebungslufttemperatur, der Temperatur des Absorbers (falls gemessen), der Wassertemperatur und der Massenstrom des Wassers sind ebenfalls anzugeben.

5.6 Schneller innerer Temperaturwechsel

5.6.1 Zweck

Kollektoren können an heißen Sonnentagen gelegentlich einem plötzlich einströmendem kaltem Wärmeträger ausgesetzt sein, wodurch intern 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 Stagnationstemperatur hat. Diese Prüfung dient der Abschätzung der Fähigkeit eines Kollektors, schnellen Temperaturwechseln dieser Art ohne Schaden standzuhalten.

5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator ohne Wärmeträgerfüllung installiert werden (siehe Bild A.9). Ein Zuleitungsrohr für den Wärmeträger muss über ein Absperrventil mit der Quelle des Wärmeträgers verbunden sein; das andere Rohr (diagonal über dem Kollektor) muss anfangs offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen und der Wärmeträger aus dem Absorber austreten (und gesammelt werden) kann. Wenn der Kollektor über mehr als zwei Kollektoran-schlüsse verfügt, müssen die verbleibenden Öffnungen in einer Weise versiegelt werden, die das geplante Fließmuster innerhalb des Kollektors sicherstellt.

Am Absorber kann wahlweise ein Temperaturfühler angebracht werden, um dessen Temperatur während der Prüfung zu überwachen. Der Temperaturfühler muss an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben Absorberbreite angebracht sein. Er muss so befestigt sein, dass ein guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss von Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

ANMERKUNG 1 Bei der Prüfung von Kollektoren, die sich nicht für eine Messung der Stagnationstemperatur am Absorber eignen, z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren, sollte der Temperaturfühler an einer geeigneten Stelle im Kollektor angebracht sein. Diese Stelle sollte in den Prüfergebnissen eindeutig angegeben werden.

ANMERKUNG 2 In einigen Fällen, z. B. bei Vakuum-Absorbern, kann das Anbringen eines Thermoelements am Absorber schwierig sein. In solchen Fällen kann das Prüflaboratorium, anstatt ein Thermoelement anzubringen, den Absorber teilweise mit einer besonderen Flüssigkeit füllen, abdichten und den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aus dem genormten Dampfdruck-Temperaturverhältnis der Flüssigkeit bekannt sein.

Der Kollektor muss 1 h einer hohen Sonnenbestrahlungsstärke ausgesetzt werden, bevor er für mindestens 5 min oder bis die Absorbertemperatur unter 50 °C sinkt, mit Wärmeträger gekühlt wird.

Der Kollektor muss zwei schnellen inneren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

5.6.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare Bestrahlungsstärke (oder simulierte Bestrahlungsstärke) G größer als der Wert nach Tabelle 4;
- Umgebungstemperatur t_a größer als der Wert nach Tabelle 4

oder Bedingungen, die nach Gleichung C.1 zu derselben Kollektortemperatur führen.

Die Temperatur des Wärmeträgers muss unter 25 °C liegen. Der Massenstrom des Wärmeträgers sollte mindestens 0,02 kgs⁻¹ je m² der Aperturfläche betragen (falls vom Hersteller nicht anders festgelegt).

5.6.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf Risse, Verdrehung, Verformung, eingedrungenes Wasser oder Vakuumverlust zu untersuchen. Die Prüfergebnisse sind anzugeben. Die gemessenen Werte der solaren Bestrahlungsstärke, der Umgebungstemperatur, der Temperatur des Absorbers (falls gemessen), der Temperatur des Wärmeträgers und des Massenstromes des Wärmeträgers sind ebenfalls anzugeben.

5.7 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

5.7.1 Zweck

Mit dieser Prüfung, die nur für abgedeckte Kollektoren gilt, 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 dürfen jedoch keine Regenschauer eindringen.

5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.7.2.1 Allgemeines

Die Eintritts- und Austrittsrohre des Kollektors müssen nach Bild A.10 verschlossen sein (außer wenn heißes Wasser durch den Absorber fließt, siehe 5.7.2.2). Der Kollektor muss in einem Prüfstand mit dem kleinsten vom Hersteller empfohlenen Winkel zur Horizontalen angeordnet sein. Falls dieser Winkel nicht festgelegt ist, muss der Kollektor mit einem Neigungswinkel zur Horizontalen von 30° oder weniger angeordnet sein. Kollektoren, die für den Einbau in eine Dachkonstruktion vorgesehen sind, müssen auf einem simulierten Dach montiert werden, wobei ihre Unterseite geschützt sein muss. Andere Kollektoren müssen auf übliche Weise in einem offenen Rahmen oder auf einem simulierten Dach montiert werden.

Der Kollektor ist von allen exponierten Seiten unter Verwendung von Sprühdüsen oder Brausevorrichtungen zu besprühen.

5.7.2.2 Nachweis von eingedrungenem Wasser

Der Kollektor muss wie vorstehend beschrieben installiert und besprüht werden, wobei der Absorber innerhalb des Kollektors warmgehalten wird (mindestens 50 °C). Dies kann entweder durch fließendes warmes Wasser von etwa 50 °C durch den Absorber oder durch Aussetzen des Absorbers der Sonnenstrahlung erreicht werden. In den Kollektor eingedrungenes Wasser ist durch Sichtprüfung (Bildung von Wassertropfen, Kondensation auf der transparenten Abdeckung oder weitere sichtbare Anzeichen) oder durch eines der folgenden Verfahren nachzuweisen:

- a) durch Wiegen des Kollektors (Standardunsicherheit besser als 5 g/m² Kollektorfläche); oder
- b) durch Messung der Feuchte (Standardunsicherheit besser als 5 %); oder
- c) durch Messung des Kondensationsgrades.

Das Aufheizen des Kollektors sollte vor dem Sprühvorgang beginnen, damit sichergestellt ist, dass das Kollektorgehäuse vor der Prüfung trocken ist.

Bei Kollektoren mit hölzerner Rückwand (oder anderer Spezialkonstruktionen) muss das Laboratorium während der Prüfung Sorge dafür tragen, dass das Endergebnis nicht von der speziellen Konstruktion des Kollektors beeinflusst oder geändert werden kann.

5.7.3 Prüfbedingungen

Der Kollektor ist mit Wasser mit einer Temperatur von weniger als 30 °C und einem Massenstrom von über 0,05 kg s⁻¹ je m² besprühter Fläche zu besprühen. Die Prüfdauer muss 4 h betragen.

5.7.3.1 Wiegeverfahren

Falls das Wiegeverfahren gewählt wurde, ist der Kollektor vor Beginn der Prüfung dreimal hintereinander auf die Waage zu stellen. Die registrierten Gewichte dürfen um höchstens ± 5 g/m² voneinander abweichen.

5.7.3.2 Messverfahren zur Bestimmung der Feuchte

Wenn das Eindringen von Wasser mittels einer Feuchtemessung bestimmt wird, wird ein Sensor zur Messung der absoluten Feuchte in den Spalt zwischen Absorber und transparenter Abdeckung platziert. Kollektor und Sensor werden, um sich zu stabilisieren, für mindestens 5 h an einen Heißwasserkreislauf angeschlossen bevor der Regen angestellt wird. Um Störungen während der Messung zu minimieren muss der Kollektor während der Außenprüfung während der gesamten Prüfdauer abgeschattet werden. Die Feuchte muss für den Zeitraum von 5 h vor bis 5 h nach der Berechnung messtechnisch erfasst werden. Das Eindringen von Wasser kann auch zu einem späteren Zeitpunkt, während der „Abschließenden Begutachtung“ (5.11) festgestellt werden.

5.7.3.3 Kondensationsgrad-Verfahren

Wenn das Kondensationsgrad-Verfahren gewählt wird, wird das Eindringen von Wasser durch Messung des Kondensationsgrads an der transparenten Abdeckung und durch Messen des austretenden Wassers bestimmt wenn der Kollektor gekippt wird.

Mit der Beheizung des Kollektors muss mindestens 30 min vor der Besprühung mit Wasser begonnen werden und sie muss so lange fortgeführt werden bis sichergestellt ist, dass das Kollektorgehäuse trocken ist. Dies muss mit dem Absorber durchströmenden heißen Wasser (oder einer anderen Flüssigkeit) mit einer Temperatur größer als 50 °C vor und während der gesamten Prüfung erfolgen. Das Wasser wird danach an der Innenseite der transparenten Abdeckung, die von der Außenseite mit kaltem Wasser gekühlt wird, kondensieren. Um die Auswertung der Stellen wo das Wasser eintritt zu erleichtern, ist nach 2 h eine Zwischenbegutachtung der Kondensation auf der transparenten Abdeckung durchzuführen.

Um Kollektoren mit einem guten Belüftungsverhalten, in denen sich keine Feuchtigkeit im Kollektor ansammelt, abzugrenzen, sollte nach der Beendigung der Beregnung eine kurze Belüftungszeit vor der Begutachtung stehen. Die Begutachtung sollte aber innerhalb einer Minute nach Beendigung der Beregnung durchgeführt werden, bevor sich die Kollektortemperatur ändert.

5.7.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf eingedrungenes Wasser zu untersuchen. Die Untersuchungsergebnisse, d. h. das Ausmaß des eingedrungenen Wassers und die Stellen, an denen Wasser eingedrungen ist, sind anzugeben.

5.8 Prüfung der Frostbeständigkeit

5.8.1 Zweck

Zweck dieser Prüfung ist es festzustellen, ob Flüssigkeitskollektoren, für die der Hersteller Frostbeständigkeit angibt, beständig gegen Frost und Frost/Tau-Wechsel sind. Diese Prüfung ist nicht für Kollektoren vorgesehen, in deren Einbauanweisung klar angegeben ist, dass sie nur mit Frostschutzmittel verwendet werden dürfen.

Es werden zwei Prüfverfahren empfohlen:

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

5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.8.2.1 Frostbeständige Kollektoren

Für die Prüfung von Kollektoren, die als frostbeständig bezeichnet werden, muss der Kollektor in einer Kältekammer (siehe Bild A.11) angeordnet werden. Der Kollektor muss korrekt aufgestellt und völlig verschlossen sein. Der Neigungswinkel des Kollektors zur Horizontalen muss der flachste der vom Hersteller empfohlenen Winkel sein. Falls vom Hersteller kein Winkel angegeben ist, muss der Kollektor in einem Winkel von 30° zur Horizontalen geneigt werden. Unabgedeckte Kollektoren sind in horizontaler Lage zu prüfen, außer wenn dies vom Hersteller ausgeschlossen ist. Anschließend ist der Kollektor bei Betriebsdruck mit Wasser zu füllen.

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

Die Wassertemperatur muss während der Prüfung überwacht werden.

5.8.2.2 Kollektoren mit Ablassschutz

Bei Kollektoren, die über ein Ablasssystem zum Schutz vor Beschädigung durch Einfrieren verfügen, ist der Kollektor in einer Kältekammer (siehe Bild A.11) aufzustellen. Anschließend ist der Kollektor in dem flachsten Winkel, der vom Hersteller empfohlen wird, zur Horizontalen zu neigen. Falls vom Hersteller kein Winkel angegeben ist, muss der Kollektor in einem Winkel von 30° zur Horizontalen geneigt werden. Unabgedeckte Kollektoren müssen in horizontaler Lage geprüft werden, falls dies vom Hersteller nicht ausgeschlossen wird. Anschließend ist der Kollektor mit Wasser zu füllen, 10 min bei Betriebsdruck zu halten und anschließend abzulassen, wobei die vom Hersteller installierte Einrichtung verwendet wird.

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 der Kältekammer ist zyklisch zu verändern.

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.

5.8.3 Prüfbedingungen

Während der Frostperiode des Zyklus muss der Inhalt des Absorbers 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-Wechseln ausgesetzt werden.

5.8.4 Ergebnisse

Die Anzahl der durchlaufenen Zyklen ist anzugeben. Der Kollektor ist auf Undichtheiten, Bruch, Verdrehung und Verformung zu überprüfen. Die Ergebnisse sind zusammen mit den während der Zyklen erreichten Absorberrtemperaturen und den Zeitspannen anzugeben, die der Kollektor bei den Prüftemperaturen durchlaufen hat. Der zur Prüfung verwendete Neigungswinkel muss ebenfalls angegeben werden.

5.9 Mechanische Belastungsprüfung

5.9.1 Druckprüfung für die Kollektorabdeckung

5.9.1.1 Zweck

Diese Prüfung dient der Beurteilung der Belastungsfähigkeit der transparenten Kollektorabdeckung und des Kollektorgehäuses bei Druckbelastung aufgrund von Schnee- und Windlast.

5.9.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss auf einer ebenen Unterlage horizontal angeordnet sein. 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 Kies oder eines ähnlichen Materials aufzunehmen (siehe Bild A.12).

Der Kies, Korngröße vorzugsweise 2 mm bis 32 mm, ist in Teilmengen zu wiegen und im Rahmen so zu verteilen, dass überall die gleiche Belastung entsteht (Glasdurchbiegung beachten), bis die gewünschte Höhe erreicht ist.

Die Prüfung kann auch bei Aufstellung des Kollektors nach 5.9.2.2 und Belastung der Abdeckung durch Saugnäpfe, Kies oder andere geeignete Maßnahmen (z. B. Wasser) durchgeführt werden.

Als eine weitere Alternative zum Aufbringen der erforderlichen Belastung auf die Kollektorabdeckung kann Luftdruck dienen.

Die Belastung kann auch durch Beaufschlagen des Kollektorgehäuses mit Unterdruck geschaffen werden. In diesem Fall kann ein Gerät nach EN 12211 verwendet werden. Dieses Verfahren kann jedoch nicht auf alle Kollektortypen angewendet werden.

5.9.1.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in maximalen Schritten von 250 Pa bis zum Versagen oder bis zu dem vom Hersteller empfohlenen Wert zu erhöhen. Der Prüfdruck muss mindestens 1 000 Pa betragen. Ein Versagen kann sowohl die Zerstörung der Abdeckung als auch die dauerhafte Verformung des Kollektorgehäuses oder der Befestigungen sein.

ANMERKUNG Eine dauerhafte Verformung sollte einem Belastungswert zugewiesen werden, während dieser nach jeder Belastungszunahme von 250 Pa vollständig abnimmt und die Verwerfung im Vergleich mit dem Beginn der Prüfreihe gemessen wird. Der Wert einer nicht zulässigen dauerhaften Verformung beträgt maximal 0,5 %. (Beispiel: Verwerfungen von 10 mm bei einer Länge des Kollektorgestells von 2 m).

5.9.1.4 Ergebnisse

Der Druck, bei dem an der Kollektorabdeckung oder dem Gehäuse oder den Befestigungen ein Schaden aufgetreten ist, ist zusammen mit Einzelheiten über den Schaden anzugeben. Falls kein Schaden auftritt, ist der höchste Druck anzugeben, dem der Kollektor standgehalten hat.

Der maximale Überdruck ist der vor dem Auftreten eines Versagens erreichte Druck. Der zulässige Überdruck ist der maximale Druck, dividiert durch den Sicherheitsfaktor, $SF+ = 1,5$:

$$F_{\text{perm}+} = \frac{F_{\text{max}+}}{SF+} \text{ mit } SF+ = 1,5$$

ANMERKUNG Wenn die Prüfung an einer Aufdach-Anlage erfolgt, sind die Prüfergebnisse auch für die in das Dach integrierte Anlage gültig.

5.9.2 Unterdruckprüfung des Kollektors

5.9.2.1 Zweck

Diese Prüfung dient der Beurteilung der Standfestigkeit der Befestigungselemente zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse bei Zugkräften aufgrund von Windeinwirkung.

Zur Bemessung der Statik der Einbauanlage sind nationale und europäische Richtlinien der Bauplanung nach EN 1991 anzuwenden.

5.9.2.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss mit Hilfe seiner Befestigungselemente horizontal auf einem starren Rahmen befestigt sein. Der Rahmen, mit dem die Kollektorabdeckung am Kollektorgehäuse befestigt ist, darf in keiner Weise eingeschränkt sein.

Die Kollektorabdeckung ist gleichmäßig einer Zugkraft auszusetzen, die der angegebenen negativen Druckkraft entspricht. Die Belastung ist schrittweise bis zum Endprüfdruck zu erhöhen. Falls sich die Abdeckung beim Endprüfdruck nicht gelöst hat, darf der Druck weiter erhöht werden, bis ein Schaden auftritt. Die Zeit zwischen den Druckstufen muss gleich der Zeit sein, die erforderlich ist, um den Druck zu stabilisieren.

Zur Zugeinwirkung auf die Abdeckung kann eines von zwei alternativen Verfahren angewendet werden:

- Verfahren (a): Die Belastung kann auf die Kollektorabdeckung über eine Gruppe gleichmäßig verteilter Saugnäpfe ausgeübt werden (siehe Bild A.13).
- Verfahren (b): Bei Kollektoren, deren Kollektorgehäuse annähernd luftdicht ist, darf das folgende Verfahren verwendet werden, um auf der Abdeckung einen negativen Druck zu erzeugen (siehe Bild A.14). Durch den Luftspalt zwischen Kollektorabdeckung und Absorber werden in das Kollektorgehäuse zwei Löcher gebohrt, und durch diese Löcher wird eine Luftquelle und ein Druckmessgerät mit dem Luftspalt des Kollektors verbunden. Ein negativer Druck auf die Kollektorabdeckung wird durch Druckausübung auf das Kollektorgehäuse erzeugt. Aus Sicherheitsgründen muss der Kollektor mit einer transparenten Umhüllung versehen werden, damit das Personal während der Prüfung im Falle eines Schadens geschützt ist.

Während der Prüfung ist der Kollektor einer Sichtprüfung zu unterziehen, und jede Verformung der Abdeckung und ihrer Befestigungselemente ist anzugeben. Am Ende der Prüfung ist der Kollektor auf bleibende Verformungen zu untersuchen.

5.9.2.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in Schritten von 250 Pa bis zum Versagen oder bis zu dem vom Hersteller empfohlenen Wert zu erhöhen. Der Prüfdruck muss mindestens 1 000 Pa betragen. Ein Versagen kann sowohl die Zerstörung der Abdeckung als auch die dauerhafte Verformung des Kollektorgehäuses oder der Befestigungen sein.

ANMERKUNG Eine dauerhafte Verformung sollte einem Belastungswert zugewiesen werden, während dieser nach jeder Belastungszunahme von 250 Pa vollständig abnimmt und die Verwerfung im Vergleich mit dem Beginn der Prüfreihe gemessen wird. Der Wert einer nicht zulässigen dauerhaften Verformung beträgt maximal 0,5 %. (Beispiel: Verwerfungen von 10 mm bei einer Länge des Kollektorgestells von 2 m).

5.9.2.4 Ergebnisse

Der Druck, bei dem an der Kollektorabdeckung oder dem Gehäuse oder den Befestigungen ein Schaden aufgetreten ist, ist zusammen mit Einzelheiten über den Schaden anzugeben. Falls kein Schaden auftritt, ist der höchste Druck anzugeben, dem der Kollektor standgehalten hat.

Der maximale Unterdruck ist der vor dem Auftreten eines Versagens erreichte Druck. Der zulässige Unterdruck ist der maximale Druck, dividiert durch den Sicherheitsfaktor, $SF = 2$:

$$F_{\text{perm}} = \frac{F_{\text{max}}}{SF} \quad \text{mit } SF = 2$$

5.10 Prüfung der Schlagfestigkeit (wahlweise)

5.10.1 Zweck

Der Zweck dieser Prüfung ist zu beurteilen, in welchem Maße ein Kollektor den Wirkungen schwerer Schläge, die durch Hagelkörner verursacht werden, standhalten kann.

5.10.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.10.2.1 Allgemeines

Die Prüfung der Schlagfestigkeit von Sonnenkollektoren kann nach einem von zwei Verfahren erfolgen, d. h. unter Verwendung von Stahl- oder Eiskugeln.

5.10.2.2 Verfahren 1

Der Kollektor muss entweder vertikal oder horizontal auf eine Unterlage (siehe Bild A.15) aufgestellt werden. Die Unterlage muss steif genug sein, so dass während der Schlageinwirkung nur eine vernachlässigbare Verdrehung oder Durchbiegung auftritt.

Zur Simulation eines starken Schlages sind Stahlkugeln zu verwenden. Wenn der Kollektor horizontal aufgestellt ist, fallen die Stahlkugeln senkrecht; wenn er vertikal aufgestellt ist, werden die Schläge mit Hilfe eines Pendels horizontal geführt. In beiden Fällen entspricht die Fallhöhe dem senkrechten Abstand zwischen dem Freigabepunkt und der Horizontalebene, in der der Auftreffpunkt liegt.

Der Auftreffpunkt darf höchstens 5 cm von der Kante der Kollektorabdeckung und höchstens 10 cm von der Ecke der Kollektorabdeckung entfernt liegen, er muss jedoch bei jeder Freigabe der Stahlkugel um einige Millimeter verschoben werden.

Von der ersten Prüfhöhe muss die Stahlkugel 10-mal auf den Kollektor fallen; dann 10-mal von der zweiten Prüfhöhe usw., bis die größte Prüfhöhe, wie sie vom Hersteller angegeben wurde, erreicht ist. Die Prüfung ist abzubrechen, wenn der Kollektor beschädigt ist oder wenn er bei größter Prüfhöhe dem Schlag von 10 Stahlkugeln standgehalten hat.

ANMERKUNG Dieses Verfahren entspricht nicht der natürlichen Einwirkung von Hagelkörnern, da die von den Eispartikeln aufgenommene Verformungsenergie nicht berücksichtigt wird.

5.10.2.3 Verfahren 2

Die Prüfeinrichtung besteht aus folgenden Teilen:

- a) Formen aus geeignetem Material zum Gießen von Eiskugeln des erforderlichen Durchmessers von 25 mm;
- b) einem Gefrierschrank, eingestellt auf $-10\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$;
- c) einem Vorratsbehälter zur Lagerung der Eiskugeln bei einer Temperatur von $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
- d) einem Katapult, der eine Eiskugel mit der innerhalb von $\pm 5\%$ festgelegten Geschwindigkeit (wie vom Hersteller angegeben) treiben kann, so dass die Kugel innerhalb der vorgeschriebenen Auftreffstelle auf den Kollektor schlägt. Die Bahn der Eiskugel vom Katapult bis zum Kollektor darf horizontal, vertikal oder unter einem beliebigen Winkel verlaufen;
- e) einem starren Rahmen zur Halterung des Kollektors, mit der Auftrefffläche senkrecht zur Flugbahn der Eiskugel; das Auflager muss steif genug sein, sodass im Auftreffzeitpunkt nur eine vernachlässigbare Verdrehung oder Durchbiegung auftritt;
- f) einer Waage zur Bestimmung der Masse einer Eiskugel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2\%$;
- g) einem Gerät zur Messung der Geschwindigkeit der Eiskugel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2\text{ ms}^{-1}$. Das Geschwindigkeitsmessgerät darf höchstens 1 m von der Kollektoroberfläche entfernt sein.

Bild A.16 zeigt beispielhaft das Schema einer geeigneten Einrichtung; sie besteht aus einem pneumatischen, horizontal wirkenden Katapult, einer Halterung für einen Vertikalkollektor und einem Geschwindigkeitsmessgerät, das elektronisch die Zeit misst, die eine Eiskugel benötigt, um den Abstand zwischen zwei Lichtstrahlen zu überwinden.

Die Prüfung ist wie folgt durchzuführen:

- a) Unter Verwendung der Formen und der Gefriereinrichtung ist für die Prüfung eine ausreichende Anzahl Eiskugeln der erforderlichen Größe herzustellen, einschließlich einiger zum Einstellen des Katapults vor dem Versuch.
- b) Die Eiskugeln sind auf Risse, Größe und Masse zu untersuchen. Eine Eiskugel ist brauchbar, wenn sie folgende Kriterien erfüllt:
 - mit bloßem Auge sind keine Risse erkennbar;
 - der Durchmesser beträgt $25\text{ mm} \pm 5\%$;
 - die Masse entspricht $\pm 5\%$ der Masse einer Eiskugel mit 25 mm Durchmesser.
- c) Die Kugeln sind in den Vorratsbehälter zu geben und müssen dort vor der Verwendung mindestens 1 h bleiben.
- d) Es ist sicherzustellen, dass die Temperatur aller Oberflächen des Katapults, die mit den Eiskugeln in Berührung kommen können, nahe der Raumtemperatur liegt.

- e) In Übereinstimmung mit nachfolgend beschriebenem Schritt g) sind auf ein simuliertes Ziel mehrere Versuchsschüsse abzugeben; dabei ist die Startvorrichtung so zu justieren, dass die mit dem Geschwindigkeitsmessgerät gemessene Geschwindigkeit der in der vorgeschriebenen Position befindlichen Eiskugel innerhalb von $\pm 5\%$ der geforderten Prüfgeschwindigkeit der Hagelkörner entspricht.
- f) Der Kollektor ist bei Raumtemperatur in der vorgeschriebenen Halterung zu montieren, wobei die Auftrefffläche senkrecht zur Flugrichtung der Eiskugel liegen muss.
- g) Eine Eiskugel ist aus dem Vorratsbehälter zu nehmen und in das Katapult zu legen. Die Auftreffstelle ist anzupeilen und die Kugel abzufeuern. Die Zeit zwischen der Entnahme der Eiskugel aus dem Behälter und dem Auftreffen auf den Kollektor darf 60 s nicht überschreiten.

Die Auftreffstelle darf höchstens 5 cm von der Kante und höchstens 10 cm von der Ecke der Kollektorabdeckung entfernt sein; bei jedem Abfeuern einer Eiskugel muss jedoch die Auftreffstelle um einige Millimeter verschoben werden.

Es ist 10-mal mit einer Eiskugel auf den Kollektor zu schießen; die Prüfung ist zu beenden, wenn der Kollektor beschädigt ist oder wenn er dem Aufschlag von 10 Eiskugeln standgehalten hat.

5.10.3 Prüfbedingungen

Für die Prüfung nach Verfahren 1 muss die Masse der Stahlkugel (150 ± 10) g betragen; die folgende Reihe von Prüfhöhen ist zu verwenden: 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.

Für die Prüfung nach Verfahren 2 muss die Eiskugel einen Durchmesser von $25 \text{ mm} \pm 5\%$, eine Masse von $7,53 \text{ g} \pm 5\%$ und eine Geschwindigkeit von $23 \text{ ms}^{-1} \pm 5\%$ haben.

5.10.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf Beschädigung zu untersuchen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind zusammen mit der Fallhöhe der Stahlkugel (falls Verfahren 1 angewendet wurde) und der Anzahl der Schläge, die die Beschädigung verursacht hat, anzugeben.

ANMERKUNG Prüfverfahren 2 (siehe 5.10.2.3) sollte bevorzugt werden, da es mehr der Realität entspricht.

5.11 Endkontrolle

Nach Abschluss aller Prüfungen ist der Kollektor zu zerlegen und zu untersuchen. Alle Abweichungen vom Normalzustand sind anzugeben und fotografisch zu belegen.

5.12 Prüfbericht

Für jede Prüfung müssen die in Anhang B angegebenen Vordrucke zusammen mit dem Einleitungsvordruck (siehe Abschnitt B.1), der eine Zusammenstellung der wichtigsten Ergebnisse einschließlich der Prüfverfahren enthält, ausgefüllt werden.

6 Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren

Die Wärmeleistung von abgedeckten Sonnenkollektoren ist nach 6.1 oder 6.3 zu prüfen.

6.1 Abgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall)

6.1.1 Einbau und Standort des Kollektors

6.1.1.1 Allgemeines

Die Einbauart eines Kollektors beeinflusst die Ergebnisse der Wärmeleistungsprüfungen. Aus diesem Grund müssen die zu prüfenden Kollektoren nach 6.1.1.2 bis 6.1.1.8 eingebaut werden. Es müssen Kollektormodule in voller Größe geprüft werden, da die Randverluste kleiner Kollektoren deren Gesamtleistung beträchtlich reduzieren können.

6.1.1.2 Kollektorbefestigungsrahmen

Der Kollektorbefestigungsrahmen darf in keiner Weise die Aperturfläche des Kollektors einschränken und die Wärmedämmung an der Rückseite oder den Seiten wesentlich beeinträchtigen. Falls nichts anderes festgelegt wurde (z. B. wenn der Kollektor Teil einer integrierten Dacheindeckung ist), muss eine offene Montagekonstruktion verwendet werden, die eine ungehinderte Luftbewegung vor und hinter dem Kollektor ermöglicht. Der Kollektor muss so eingebaut sein, dass sich seine Unterkante mindestens 0,5 m über der Bodenoberfläche befindet. Warme Luftströme, wie sie an den Wänden eines Gebäudes aufsteigen, dürfen nicht über den Kollektor streichen. Falls Kollektoren auf dem Dach eines Gebäudes geprüft werden, müssen sie mindestens 2 m von der Dachkante entfernt angeordnet werden.

6.1.1.3 Neigungswinkel

Der Kollektor ist bei solchen Neigungswinkeln zu prüfen, dass der Einfallswinkel-Korrekturfaktor für den Kollektor um nicht mehr als $\pm 2\%$ von dessen Winkel bei üblichem Einfall abweicht. Bei einfach abgedeckten Flachkollektoren ist diese Bedingung üblicherweise erfüllt, wenn der Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung auf die Aperturfläche des Kollektors weniger als 20° beträgt.

ANMERKUNG Bei vielen Kollektoren ist der Einfluss des Neigungswinkels gering, für besondere Kollektoren z. B. mit eingebauten Wärmerohren kann er jedoch eine wichtige Variable darstellen.

6.1.1.4 Kollektorausrichtung bei Aufstellung im Freien

Im Freien darf der Kollektor starr zum Äquator ausgerichtet eingebaut werden, was jedoch die zur Prüfung verfügbare Zeit wegen des Akzeptanzbereiches der Einfallswinkel einschränken wird. Eine vielseitigere Lösung besteht darin, den Kollektor durch manuelle oder automatische Nachführung so zu bewegen, dass er der Sonne im Azimut folgt.

6.1.1.5 Schatten aus direkter Sonnenstrahlung

Der Aufstellort des Prüfstandes muss so gewählt werden, dass während der Prüfung kein Schatten auf den Kollektor fällt.

6.1.1.6 Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung

Für die Analyse der Ergebnisse von Prüfungen im Freien wird vorausgesetzt, dass Sonnenstrahlung, die nicht direkt von der Sonnenscheibe ausgeht, isotrope Strahlung aus dem hemispherischen Sichtfeld des Kollektors ist.

Um die aus dieser Näherung resultierenden Fehler möglichst gering zu halten, muss der Kollektor an Orten aufgestellt werden, wo von benachbarten Gebäuden oder Oberflächen während der Prüfungen keine bedeutende Sonnenstrahlung auf ihn reflektiert wird und das Sichtfeld nicht sonderlich eingeschränkt ist. Bei einigen Kollektorarten, z. B. bei Vakuum-Röhrenkollektoren, kann es genauso wichtig sein, im Sichtfeld die Reflexionen an der Vorder- und der Rückseite möglichst gering zu halten.

Die Einschränkung des Kollektorsichtfeldes darf höchstens 5 % betragen; dabei ist es besonders wichtig, dass vor Kollektoren gegenüberliegende Gebäude oder große Hindernisse, die sich mit einem Winkel von mehr als etwa 15° zur Horizontalen erstrecken, vermieden werden. Das Reflexionsvermögen der meisten rauen Oberflächen z. B. von Gras, ungeschütztem Beton oder Split ist üblicherweise nicht groß genug, so dass bei der Prüfung des Kollektors keine Probleme entstehen.

Große Glas-, Metall- oder Wasserflächen im Sichtfeld des Kollektors sind zu vermeiden. Bei den meisten Sonnenstrahlungssimulatoren wird nur direkte Sonnenstrahlung annähernd simuliert. Um die Messung der simulierten Strahlung zu vereinfachen, ist es erforderlich, die reflektierte Strahlung zu minimieren. Dies kann durch einen dunklen Anstrich (geringes Reflexionsvermögen) aller Flächen innerhalb der Prüfkammer erreicht werden.

6.1.1.7 Thermische Bestrahlungsstärke

Die Leistung einiger Kollektorarten hängt in besonderem Maße von der thermischen Bestrahlungsstärke ab. Die Temperatur der dem Kollektor benachbarten Flächen muss möglichst genau der Umgebungslufttemperatur entsprechen, um den Einfluss der thermischen Bestrahlungsstärke möglichst gering zu halten. So dürfen z. B. bei Aufstellung im Freien im Sichtfeld des Kollektors keine Schornsteine, Kühltürme oder heiße Abgasquellen vorhanden sein. Bei der Prüfung im Raum und im Simulator muss der Kollektor von heißen Flächen wie Radiatoren, Kanälen von Klimaanlage und Maschinen sowie von kalten Oberflächen wie Fenstern und Außenwänden abgeschirmt werden. Die Abschirmung ist sowohl auf der Vorder- als auch der Rückseite des Kollektors wichtig.

6.1.1.8 Luftgeschwindigkeit

Die Leistung vieler Kollektoren hängt von der Luftgeschwindigkeit ab. Um eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, müssen die Kollektoren so eingebaut werden, dass die Luft die Aperturfläche sowie die Rück- und Vorderseiten des Kollektors ungehindert umströmen kann. Die mittlere Geschwindigkeit der parallel zur Aperturfläche des Kollektors strömenden Luft muss innerhalb der in 6.1.4.3 festgelegten Grenzwerte liegen. Falls erforderlich, müssen Windgeneratoren (Gebläse) eingesetzt werden, um einen künstlichen Luftstrom mit dieser Strömungsgeschwindigkeit zu erzeugen. Kollektoren, die für den Einbau in eine Dachkonstruktion geplant sind, dürfen auf ihrer Rückseite gegen (künstlichen) Wind geschützt sein. In diesem Fall ist das mit den Prüfergebnissen anzugeben.

6.1.2 Messgeräte

6.1.2.1 Messung der solaren Bestrahlungsstärke

6.1.2.1.1 Pyranometer

6.1.2.1.1.1 Allgemeines

Zur Messung der globalen kurzwelligen Einstrahlung der Sonne und des Himmels muss ein Pyranometer der Klasse I oder besser, nach ISO 9060 verwendet werden. Die in ISO/TR 9901 angegebenen Empfehlungen für den praktischen Einsatz sollten beachtet werden. Vor jeder Prüfung sollte das Pyranometer außen auf Staub, Verschmutzung usw. untersucht und, wenn nötig, gereinigt werden.

Zur Messung der diffusen Bestrahlungsstärke muss ein Pyranometer der Klasse I oder besser, ausgestattet mit einem Schattenring oder alternativ, ein Pyrliometer zusammen mit einem Pyranometer verwendet werden.

6.1.2.1.1.2 Maßnahmen gegen die Wirkung von Temperaturgradienten

Um thermisches Gleichgewicht zu erreichen, muss das für die Prüfung bzw. die Prüfungen verwendete Pyranometer mindestens 30 min vor dem Beginn der Datenübertragung in einer typischen Prüfposition angeordnet werden.

6.1.2.1.1.3 Maßnahmen gegen die Wirkung von Luftfeuchte und Feuchtigkeit

Das Pyranometer muss über Mittel zur Verhinderung von Feuchtigkeitsansammlungen aufgrund von Kondensation an den Innenflächen des Messgerätes verfügen, die die Anzeige beeinträchtigen können. Es ist ein Messgerät mit kontrollierbarem Trockenmittel erforderlich. Der Zustand des Trockenmittels muss vor und nach jeder täglichen Messfolge regelmäßig beobachtet werden.

6.1.2.1.1.4 Vorkehrungen gegen die Beeinflussung der Pyranometergenauigkeit durch Infrarotstrahlung

Zur Messung der Bestrahlungsstärke des Sonnenstrahlungssimulators verwendete Pyranometer müssen so eingebaut werden, dass die Wirkung der von der Lichtquelle des Simulators ausgehenden Infrarotstrahlung mit einer Wellenlänge über 3 μm auf die Anzeige möglichst gering gehalten wird.

6.1.2.1.1.5 Einbau von Pyranometern im Freien

Das Pyranometer muss so eingebaut werden, dass sein Sensor mit einer Grenzabweichung von $\pm 1^\circ$ in derselben Ebene wie die Kollektoraperturfläche angeordnet ist. Zu keiner Zeit während der Prüfphase darf er auf die Kollektorapertur einen Schatten werfen. Das Pyranometer ist so einzubauen, dass es den gleichen Pegel direkter, diffuser und reflektierter Sonnenstrahlung empfängt wie der Kollektor.

ANMERKUNG Bei Einfallswinkeln von 50° führt eine Abweichung von $\pm 1^\circ$ zu einem Fehler von 2 % bei der Messung der solaren Bestrahlungsstärke.

Für Prüfungen im Freien muss das Pyranometer auf halber Höhe des Kollektors angebracht werden. Der Pyranometerkörper und die herausgeführten Anschlussleitungen müssen abgeschirmt werden, um die Erwärmung der elektrischen Anschlüsse durch Sonnenstrahlung möglichst gering zu halten. Auch die vom Sonnenkollektor auf das Pyranometer reflektierte und zurückgestrahlte Energie muss möglichst gering gehalten werden.

6.1.2.1.1.6 Verwendung von Pyranometern in Sonnenstrahlungssimulatoren

Pyranometer können verwendet werden, um die Verteilung der simulierten Sonneneinstrahlung über die Kollektorapertur und die Schwankung der simulierten Bestrahlungsstärke über die Zeit (siehe 6.1.5.6) zu messen. Andere Arten von Strahlungsempfängern dürfen alternativ dazu verwendet werden, vorausgesetzt, dass sie für die betreffende simulierte Sonneneinstrahlung bewertet und kalibriert wurden.

Das (die) Pyranometer muss (müssen) so eingebaut werden, dass sein (seine) Sensor(en) mit einer Grenzabweichung von $\pm 1^\circ$ in derselben Ebene wie die der Kollektorapertur liegt (liegen). Zu keiner Zeit während der Prüfphase darf (dürfen) das (die) Pyranometer einen Schatten auf die Kollektorapertur werfen. Pyranometer sind so einzubauen, dass sie die gleichen Pegel indirekter, diffuser und reflektierter Sonnenstrahlung empfangen wie der Kollektor.

Es muss nachgewiesen sein, dass die zur Messung einer Schwankung der simulierten Bestrahlungsstärke während der Prüfdauer verwendeten Verfahren und Einrichtungen die erforderliche Genauigkeit aufweisen.

ANMERKUNG So wird z. B. für die am häufigsten verwendete Art eines Sonnenstrahlungssimulators, bei dem als Lichtquelle ein elektrischer Bogen in einem dichten parabolischen Strahlenreflektor verwendet wird, der Einbau eines Pyranometers in einer typischen Prüfposition auf halber Höhe des Kollektors, wie sie für die Prüfung im Freien beschrieben wurde, nicht ausreichen. Dies gilt besonders dann, wenn die Lampenanordnung an einer nicht stabilisierten Netzstromversorgung aus drei verschiedenen Phasen betrieben wird. Für Sonnenstrahlungssimulatoren dieser Art, die nicht mit einer stabilisierten Stromversorgung ausgestattet sind, empfiehlt es sich, die Versorgungsspannung über die Prüfdauer zu integrieren. Für Sonnenstrahlungssimulatoren ist normalerweise keine Integration der simulierten Bestrahlung über jede Prüfperiode erforderlich, wenn sie mit einer stabilisierten Stromversorgung ausgestattet sind, die in der Lage ist, die Versorgungsspannung innerhalb von $\pm 0,5\%$ zu stabilisieren. Für die meisten Arten von Sonnenstrahlungssimulatoren kann die Beziehung zwischen dem Wert des Raumintegrals der simulierten Sonneneinstrahlung und dem Spannungsintegral der Stromversorgung über die Prüfperiode ermittelt werden. In allen Fällen wird eine ausreichende Kenntnis der Brenn- und Lebensdauereigenschaften des verwendeten Lampentyps vorausgesetzt.

6.1.2.1.2 Messung des Einstrahlwinkels direkter Sonnenstrahlung

Ein einfaches Gerät zur Messung des Einstrahlwinkels direkter Sonnenstrahlung kann hergestellt werden, indem im rechten Winkel zu einer ebenen Platte, auf der sich konzentrische Ringe mit Gradeinteilung befinden, ein Zeiger angebracht wird. Zur Bestimmung des Einstrahlwinkels kann die mit Hilfe der konzentrischen Ringe gemessene Länge des Zeigerschattens verwendet werden. Das Gerät muss auf einer Seite des Kollektors in der Kollektorebene angebracht werden.

6.1.2.2 Messung der Wärmestrahlung

6.1.2.2.1 Messung der thermischen Bestrahlungsstärke im Freien

Die Schwankungen der thermischen Bestrahlungsstärke im Freien werden üblicherweise bei der Prüfung von Kollektoren nicht berücksichtigt. Zur Bestimmung der thermischen Bestrahlungsstärke in der Kollektorapertur kann jedoch in der Ebene der Kollektorapertur in mittlerer Höhe auf einer Seite ein Pyrgeometer eingebaut werden.

6.1.2.2.2 Bestimmung der thermischen Bestrahlungsstärke im Raum und in Sonnenstrahlungssimulatoren

6.1.2.2.2.1 Messung

Die thermische Bestrahlungsstärke kann mit einem Pyrgeometer nach 6.1.2.2.1 für Messungen im Freien gemessen werden. Pyrgeometer müssen gut belüftet sein, um den Einfluss der Sonnenstrahlung oder der simulierten Sonnenstrahlung möglichst gering zu halten. Für Prüfungen im Raum muss die thermische Bestrahlungsstärke mit einer Standardmessunsicherheit von 10 Wm^{-2} bestimmt werden.

6.1.2.2.2.2 Berechnung

Unter der Voraussetzung, dass alle Wärmestrahlungsquellen und -senken im Sichtfeld des Kollektors identifiziert werden können, kann die thermische Bestrahlungsstärke in der Kollektorapertur unter Verwendung von Messungen der Temperatur und Oberflächenemissionszahl sowie des Strahlungsaustauschfaktors berechnet werden. Die von einer wärmeren Oberfläche (2) auf eine Kollektoroberfläche (1) abgegebene thermischen Bestrahlungsstärke, ist gegeben durch

$$\sigma \varepsilon_2 F_{12} T_2^4 \quad (1)$$

oder, besser handhabbar, die zusätzliche thermischen Bestrahlungsstärke (verglichen mit der, die vorhanden wäre, wenn Oberfläche 2 ein vollkommen schwarzer Körper bei Umgebungstemperatur wäre) ist gegeben durch

$$\sigma F_{12} (\varepsilon_2 T_2^4 - T_a^4) \quad (2)$$

Strahlungsaustauschfaktoren werden in Lehrbüchern über die Strahlungsübertragung der Wärme angegeben. Die thermische Bestrahlungsstärke in der Kollektorapertur kann auch aus einer Reihe von Messungen berechnet werden, die im Sichtfeld bei kleinen Raumwinkeln durchgeführt wurden. Solche Messungen zur Bestimmung der Wärmestrahlungskomponente der globalen Einstrahlung können mit einem Pyrheliometer mit und ohne Glasfilter durchgeführt werden.

6.1.2.3 Temperaturmessungen

6.1.2.3.1 Allgemeines

Zur Prüfung von Sonnenkollektoren sind drei Temperaturmessungen erforderlich. Das sind die Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt, die Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt und die Temperatur der Umgebungsluft. Da die geforderte Genauigkeit und die Umgebung für diese Messungen unterschiedlich sind, können der Temperaturmessfühler und die zugehörige Einrichtung auch unterschiedlich sein.

6.1.2.3.2 Messung der Eintrittstemperatur des Wärmeträgers (t_{in})

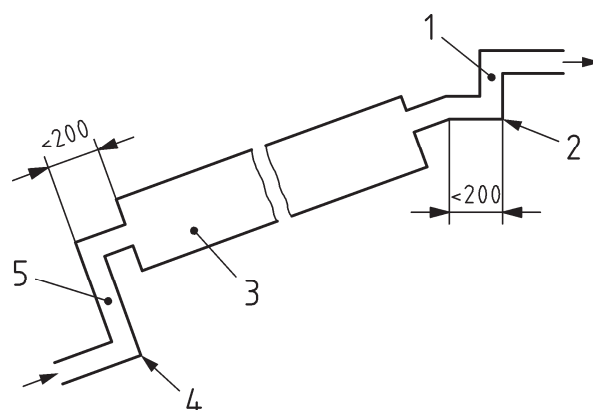
6.1.2.3.2.1 Geforderte Genauigkeit

Die Messung der Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt ist mit einer Standardmessunsicherheit von 0,1 K durchzuführen. Um jedoch zu überprüfen, dass die Temperatur mit der Zeit nicht abweicht, ist eine viel bessere Auflösung des Temperatursignals bis $\pm 0,02$ K erforderlich.

ANMERKUNG Bei der Prüfung von Kollektoren ist diese Auflösung bei allen verwendeten Temperaturen erforderlich (d. h. über den Bereich von 0 °C bis 100 °C). Dies stellt bei der Aufzeichnung mit Hilfe von Datenerfassungssystemen besonders hohe Anforderungen an die Genauigkeit, da es eine Auflösung von 1:4 000 oder ein digitales System mit 12 Bit erfordert.

6.1.2.3.2.2 Einbau der Temperaturfühler

Der Fühler für die Temperaturmessung muss in einem Abstand von höchstens 200 mm zum Kollektoreintritt eingebaut werden, und die Rohrleitungen müssen sowohl in Strömungsrichtung oberhalb als auch unterhalb des Fühlers mit Wärmedämmung versehen werden. Falls es erforderlich ist, den Fühler weiter als 200 mm entfernt vom Kollektor anzuordnen, muss überprüft werden, ob die Messung der Wärmeträgertemperatur nicht beeinträchtigt wird. Um die Durchmischung der Flüssigkeit am Ort der Temperaturmessung sicherzustellen, muss in Strömungsrichtung oberhalb des Fühlers ein Rohrbogen, eine Lochblende oder ein Mischer angeordnet werden und die Messsonde muss stromaufwärts in ein Rohr ragen, in dem eine Aufwärtsströmung vorhanden ist (damit verhindert wird, dass sich in der Nähe des Fühlers Luft ansammelt), wie dies in Bild 1 dargestellt ist.



Abmessungen in Millimeter

Legende

- 1 Temperaturgeber ($t_e \Delta T$)
- 2 Rohrbogen oder Mischer
- 3 Sonnenkollektor
- 4 Rohrbogen oder Mischer
- 5 Temperaturgeber ($t_{in} \Delta T$)

Bild 1 — Empfohlene Fühlerpositionen für die Messung der Eintritts- und Austrittstemperaturen des Wärmeträgers

6.1.2.3.3 Bestimmung der Temperaturdifferenz ΔT des Wärmeträgers

Die Differenz ΔT zwischen den Kollektoraustritts- und -eintrittstemperaturen muss mit einer Standardunsicherheit von weniger als 0,05 K bestimmt werden. Mit modernen, gut angepassten und kalibrierten Wandlern können Standardunsicherheiten bis 0,02 K erreicht werden; somit sind Temperaturunterschiede von 1 K oder 2 K im Wärmeträger mit einer vernünftigen Genauigkeit messbar. ΔT -Messfühler sind in dem entsprechenden Temperaturbereich zu kalibrieren.

6.1.2.3.4 Messung der Umgebungslufttemperatur (t_a)

6.1.2.3.4.1 Geforderte Genauigkeit

Die Temperatur der Umgebungsluft muss mit einer Standardunsicherheit von 0,5 K gemessen werden.

6.1.2.3.4.2 Einbau der Temperaturfühler

Bei Messungen im Freien muss der Fühler von direkter und reflektierter Sonnenstrahlung mit Hilfe eines weiß gestrichenen, gut belüfteten Schutzdachs abgeschirmt werden, vorzugsweise mit Zwangsbelüftung. Das Schutzdach selbst muss abgeschirmt und in halber Höhe des Kollektors, mindestens jedoch 1 m über der Bodenoberfläche angebracht werden, um sicherzustellen, dass es sich weit genug außerhalb des Einflussbereiches der Bodenerwärmung befindet.

Das Schutzdach muss auf einer Seite des Kollektors in einem Abstand von höchstens 10 m angebracht werden. Falls mit Hilfe eines Gebläses eine Luftströmung über dem Kollektor erzeugt wird, muss die Lufttemperatur an der Ausgangsseite des Gebläses gemessen werden; dabei muss durch Kontrollen sichergestellt werden, dass diese Temperatur um nicht mehr als ± 1 K von der Temperatur der Umgebungsluft abweicht.

6.1.2.4 Messung des Massenstromes des Wärmeträgers im Kollektor

Der Massenstrom kann direkt gemessen oder – wenn die Dichte bekannt ist – aus Messungen des Volumensstroms und der Temperatur bestimmt werden. Die Standardunsicherheit der Durchflussmessung muss innerhalb ± 1 % des in Masse je Zeiteinheit gemessenen Wertes liegen. Das Durchflussmessgerät muss im Bereich der Durchflussmengen und Temperaturen, die bei der Kollektorprüfung zu verwenden sind, kalibriert sein.

ANMERKUNG Die Temperatur des Wärmeträgers in volumetrischen Durchflussmessgeräten sollte mit hinreichender Genauigkeit bekannt sein, um sicherzustellen, dass der Massenstrom innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzwerte bestimmt werden kann.

6.1.2.5 Messung der Luftgeschwindigkeit

6.1.2.5.1 Allgemeines

Die Wärmeverluste eines Kollektors nehmen mit steigender Geschwindigkeit der über den Kollektor strömenden Luft zu, der Einfluss des Richtungsvektors der Luftgeschwindigkeit ist jedoch nicht genau bekannt. Aus diesem Grunde werden Messungen des Richtungsvektors für Kollektorprüfungen nicht verwendet.

Die Beziehung zwischen der meteorologischen Windgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit über dem Kollektor hängt vom Standort der Prüfeinrichtung ab, aus diesem Grunde stellt die meteorologische Windgeschwindigkeit für die Prüfung von Kollektoren keinen brauchbaren Parameter dar. Bei Verwendung der über dem Kollektor gemessenen Luftgeschwindigkeit ist es jedoch möglich, die Bedingungen eindeutig anzugeben, unter denen die Prüfungen durchgeführt wurden.

6.1.2.5.2 Geforderte Genauigkeit

Die Geschwindigkeit der über die Vorderseite des Kollektors strömenden Umgebungsluft ist mit einer Standardunsicherheit von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ zu messen; das gilt sowohl für die Innenprüfung als auch für die Prüfung im Freien. Bei Prüfungen im Freien ist die Geschwindigkeit der Umgebungsluft selten konstant und häufig treten Windstöße auf. Deshalb ist während der Prüfdauer die Messung einer mittleren Luftgeschwindigkeit erforderlich. Diese kann entweder aus Einzelwerten durch Bildung des arithmetischen Mittels oder durch Integration über die Prüfzeit bestimmt werden.

6.1.2.5.3 Anordnung von Messfühlern zur Messung der Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor

Während der Innenprüfung kann die Luftgeschwindigkeit von einem Ende des Kollektors zum anderen schwanken. Deshalb muss in einem Abstand von 10 mm bis 50 mm vor der Kollektorapertur in gleichmäßigen Abständen über die Kollektorfläche verteilt eine Reihe von Luftgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden.

Anschließend ist ein Mittelwert zu bilden. Die Messung der Luftgeschwindigkeiten unter stabilen Bedingungen ist bei der Prüfung im Raum vor und nach Leistungsmessungen durchzuführen, um die Kollektorapertur nicht einzuschränken.

Bei der Messung im Freien an Orten mit einer mittleren Windgeschwindigkeit unter 2 ms^{-1} ist ein Windgenerator (Gebläse) zu verwenden; zur kontinuierlichen Messung der Luftgeschwindigkeit sind Anemometermessungen durchzuführen. Dieses Anemometer muss auf einer Platte montiert sein, sodass eine ununterbrochene Fläche entsteht, die von der Kollektorkante bis 0,3 m hinter dem Anemometer zum Windgenerator gerichtet ist. Die Gleichmäßigkeit der Luftgeschwindigkeit im Bereich der Kollektorapertur ist zu überprüfen. Die Windgeschwindigkeit ist während der Einstellung des Windgenerators mit einem Handanemometer zu messen, das 10 mm bis 50 mm über die Aperturfläche des Kollektors zu halten ist.

An windstarken Orten ist die Messung der Windgeschwindigkeit in der Nähe und in halber Höhe des Kollektors durchzuführen. Der Fühler darf nicht vom Wind abgeschirmt sein und während der Prüfdauer keinen Schatten auf den Kollektor werfen.

ANMERKUNG Der registrierte Wert der Windgeschwindigkeit unterscheidet sich von dem Wert der Luftgeschwindigkeit über der Kollektorapertur.

6.1.2.6 Abgelaufene Zeit

Die abgelaufene Zeit ist mit einer Standardunsicherheit von 0,2 % zu messen.

6.1.2.7 Messgeräteausrüstung/Datenaufzeichnungsgeräte

In keinem Fall darf der kleinste Wert der Skalenteilung des Gerätes oder des Messsystems das Doppelte der vorgeschriebenen Standardunsicherheit überschreiten. So darf z. B. für eine vorgeschriebene Standardunsicherheit von 0,1 K die kleinste Skalenteilung $0,2^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Die Standardunsicherheiten digitaler Messeinrichtungen und elektronischer Integratoren dürfen 1 % des gemessenen Wertes nicht überschreiten.

Die Fehlergrenze von analogen und digitalen Aufzeichnungsgeräten darf höchstens 0,5 % des Endwertes und die Zeitkonstante höchstens 1 s betragen. Die Spitzenwertanzeige muss zwischen 50 % und 100 % des Endwertes liegen. Die Eingangsimpedanz der Aufzeichnungsgeräte muss größer sein als das 1 000fache der Impedanz der Messfühler oder $10 \text{ M}\Omega$, je nachdem welches der höhere Wert ist.

6.1.2.8 Kollektorfläche

Die Kollektorfläche (Absorber-, Brutto- oder Aperturfläche) muss mit einer Standardunsicherheit von 0,3 % gemessen werden. Flächenmessungen sind bei einer Kollektortemperatur von $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ und, falls der Absorber aus organischem Material besteht, bei Betriebsdruck durchzuführen.

6.1.2.9 Flüssigkeitsinhalt im Kollektor

Der Flüssigkeitsinhalt im Kollektor ist mit einer Standardunsicherheit von nicht mehr als 10 % zu messen. Die Messung kann entweder durch Wiegen des Kollektors im leeren und im gefüllten Zustand oder durch Füllen und Entleeren des Kollektors und Bestimmung der benötigten Menge des Wärmeträgers erfolgen.

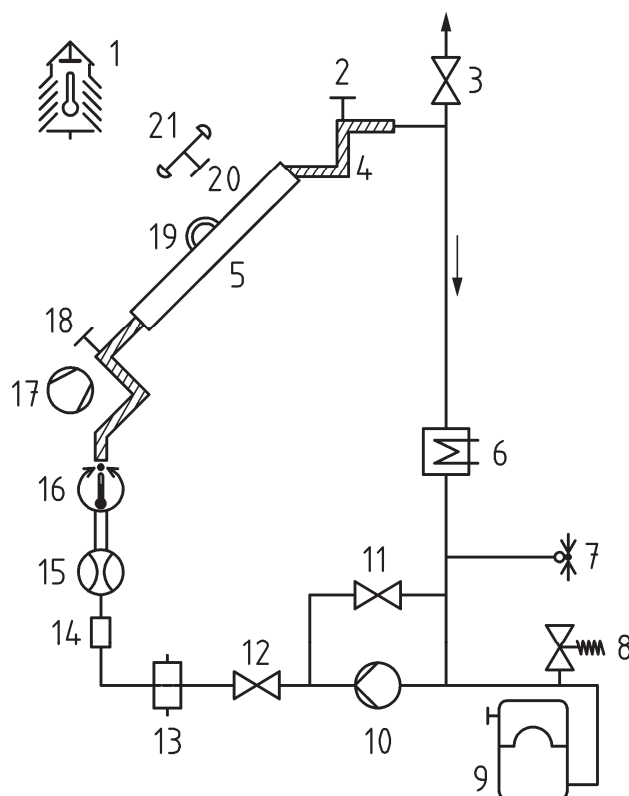
Die Temperatur des Wärmeträgers muss mit einer Grenzabweichung von ± 2 K auf Umgebungstemperatur gehalten werden.

Alternativ kann eine auf geometrischen Verhältnissen basierende rechnerische Bestimmung vorgenommen werden.

6.1.3 Prüfaufbau

6.1.3.1 Allgemeine Betrachtung

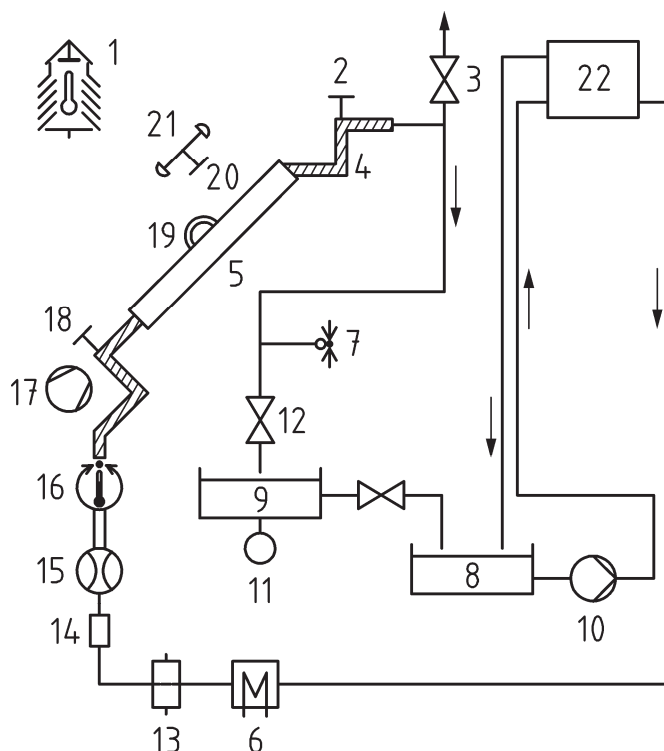
In den Bildern 2 und 3 sind Beispiele von Prüfanordnungen für die Prüfung von Sonnenkollektoren mit einer Flüssigkeit als Wärmeträger dargestellt. Die Abbildungen sind nur schematische Darstellungen und nicht maßstabsgerecht.



Legende

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Umgebungslufttemperaturfühler | 12 Durchflussregelventil |
| 2 Temperaturfühler (t_e) | 13 Filter (200 μ m) |
| 3 Entlüftungsventil | 14 Schauglas |
| 4 gedämmtes Rohr | 15 Durchflussmessgerät |
| 5 Sonnenkollektor | 16 sekundärer Temperaturregler |
| 6 Heizer/Kühler für die primäre Temperaturregelung | 17 künstlicher Windgenerator |
| 7 Druckmessgerät | 18 Temperaturfühler (t_{in}) |
| 8 Sicherheitsventil | 19 Pyrgeometer |
| 9 Ausdehnungsgefäß | 20 Pyranometer |
| 10 Pumpe | 21 Anemometer |
| 11 Umgehungsventil | |

Bild 2 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs



Legende

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Umgebungslufttemperaturfühler | 12 Durchflussregelventil |
| 2 Temperaturfühler (t_e) | 13 Filter (200 μm) |
| 3 Entlüftungsventil | 14 Schauglas |
| 4 gedämmtes Rohr | 15 Durchflussmessgerät |
| 5 Sonnenkollektor | 16 sekundärer Temperaturregler |
| 6 Heizer/Kühler für die primäre Temperaturregelung | 17 künstlicher Windgenerator |
| 7 Druckmessgerät | 18 Temperaturfühler (t_{ip}) |
| 8 Vorratsbehälter | 19 Pyrgeometer |
| 9 Wiegebehälter | 20 Pyranometer |
| 10 Pumpe | 21 Anemometer |
| 11 Waage | 22 Hochbehälter |

Bild 3 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs

6.1.3.2 Wärmeträger

Als Wärmeträger zur Prüfung von Kollektoren kann entweder Wasser oder eine vom Kollektorhersteller empfohlene Flüssigkeit verwendet werden. Die spezifische Wärmekapazität und die Dichte der verwendeten Flüssigkeit müssen über den Bereich der während der Prüfungen verwendeten Flüssigkeitstemperaturen innerhalb von $\pm 1\%$ bekannt sein. Für Wasser sind diese Werte in Anhang I angegeben.

Bei einigen Wärmeträgern kann ein periodischer Austausch erforderlich sein, damit die Konstanz definierter Eigenschaften sichergestellt ist.

Während der gesamten Prüffolge zur Bestimmung der Wirkungsgradkurve, der Zeitkonstante und der Einstrahlwinkel-Korrekturfaktoren für einen gegebenen Kollektor muss der Massen- oder Volumendurchfluss des Wärmeträgers gleich bleiben.

6.1.3.3 Rohrleitungen und Rohrverbinder

Die Rohrleitungen im Kollektorkreis müssen korrosionsbeständig und (zur Prüfung abgedeckter Kollektoren) für den Betrieb bei Temperaturen bis zu 95 °C geeignet sein. Bei Verwendung nichtwässriger Flüssigkeiten muss die Verträglichkeit mit den Werkstoffen des Systems bestätigt sein. Die Rohrlängen müssen in der Regel kurz gehalten werden. Vor allem müssen die Rohrlängen zwischen dem Ausgang des Temperaturreglers für den Wärmeträger und dem Kollektoreingang so gering wie möglich gehalten werden, um die Einflüsse der Umgebung auf die Eintrittstemperatur des Wärmeträgers zu reduzieren.

Um eine Wärmeverlustrate unter $0,2 \text{ WK}^{-1}$ sicherzustellen, muss dieser Rohrabschnitt mit einer Wärmedämmung versehen und durch einen reflektierenden, wetterfesten Überzug geschützt sein. Die Rohrleitungen zwischen den Temperaturmessstellen und dem Kollektor (Eintritt und Austritt) müssen mit Wärmedämmung und einer reflektierenden (für Messungen im Freien zusätzlich wetterfesten) Ummantelung bis hinter die Positionen der Temperaturfühler so geschützt sein, dass der berechnete Temperaturgewinn oder Temperaturverlust entlang eines jeden Rohrabschnittes unter Prüfbedingungen $\pm 0,01 \text{ K}$ nicht überschreitet. Auf die Strömungsrichtung bezogen sind unmittelbar oberhalb der Temperaturfühler Durchlaufmischer, wie z. B. Rohrbögen erforderlich (siehe 6.1.2.3).

ANMERKUNG 1 Ein kurzes, transparentes Rohrstück sollte im Wärmeträgerkreislauf so eingebaut werden, dass Luftblasen und andere vorhandene Verunreinigungen erkannt werden können. Das transparente Rohr sollte in der Nähe des Kollektoreintrittes angeordnet werden, jedoch nicht die Temperaturregelung am Wärmeträgereintritt oder die Temperaturmessungen beeinflussen.

Für diesen Zweck ist ein verstellbares Durchflussmessgerät gut geeignet, weil es gleichzeitig eine unabhängige optische Anzeige der Durchflussmenge gestattet. Am Kollektoraustritt und an anderen Stellen innerhalb des Systems, wo sich Luft ansammeln kann, sollten ein Luftabscheider und ein Entlüftungsventil angeordnet werden.

ANMERKUNG 2 Entsprechend üblicher Praxis müssen dem Durchflussmessgerät und der Pumpe in Strömungsrichtung Filter vorgeschaltet werden (eine Filternenngröße von 200 μm ist üblicherweise angemessen).

6.1.3.4 Pumpe und Durchflussregler

Die Wärmeträgerpumpe muss im Kollektorprüfkreislauf so angeordnet werden, dass ihre an die Flüssigkeit abgegebene Verlustwärme weder die Regelung der Kollektoreintrittstemperatur noch die Messungen des Temperaturanstiegs im Wärmeträger innerhalb des Kollektors beeinträchtigt. Bei einigen Pumpenarten kann bereits eine einfache Umgehungsleitung und ein manuell betätigtes Nadelventil eine ausreichende Regelung des Durchflusses ermöglichen. Falls erforderlich, kann ein geeigneter Durchflussregler hinzugefügt werden, um den Massenstrom zu stabilisieren.

Die Pumpe und der Durchflussregler müssen in der Lage sein, bei einer beliebig gewählten Eintrittstemperatur innerhalb des Betriebsbereiches den Massen- oder Volumenstrom unabhängig von Temperaturschwankungen innerhalb von $\pm 1 \%$ konstant zu halten.

6.1.3.5 Temperaturregelung des Wärmeträgers

Der Kollektorprüfkreislauf muss in der Lage sein, bei einem beliebigen, innerhalb des Arbeitsbereichs gewählten Temperaturwert die Kollektoreintrittstemperatur konstant zu halten. Da die Menge der gesammelten Energie im Kollektor aus Messungen von Augenblickswerten der Wärmeträgereintritts- und -austrittstemperaturen abgeleitet wird, könnten kleine Schwankungen der Eintrittstemperatur zu Fehlern bei der Bestimmung der Menge der gesammelten Energie führen. Besonders wichtig ist es, jede Drift der Kollektoreintrittstemperatur zu verhindern.

ANMERKUNG 1 Aus diesem Grunde sollten Prüfkreisläufe über eine zweistufige Regelung der Wärmeträgereintrittstemperatur verfügen, wie dies auf den Bildern 2 und 3 dargestellt ist. Der erste Temperaturregler sollte dem Durchflussmessgerät und dem Durchflussregler in Strömungsrichtung vorgeschaltet sein. Direkt vor dem Kollektoreintritt sollte die Wärmeträgertemperatur mit einem zweiten Temperaturregler eingestellt werden. Dieser zweite Temperaturregler sollte normalerweise nicht verwendet werden, um die Flüssigkeitstemperatur um mehr als $\pm 2 \text{ K}$ einzustellen.

ANMERKUNG 2 Ein zweiter Temperaturregler in der Nähe des Kollektoreintritts ist nützlich, vorausgesetzt, er verursacht keine Probleme durch Messung der "mean cup"-Eintrittstemperatur. Andererseits sollten auch Umleitungen als Mittel zur Reduzierung des Einflusses von Wärmeverlusten und zur Verbesserung der Regelungseigenschaften der Heizkreisläufe zulässig bleiben. Ein konstanter und hoher Massenstrom durch die Heizer wird eine PID-Regelung mit schneller I- und D- Funktion erlauben, während jede Durchflussmenge durch den Kollektor gewählt werden kann.

6.1.4 Prüfung der Leistung im Freien unter stationären Bedingungen

6.1.4.1 Prüfstand

Der Kollektor ist nach den Festlegungen in 6.1.1 einzubauen und mit einem Prüfkreislauf nach 6.1.3 zu verbinden. Der Wärmeträger muss durch den Kollektor von unten nach oben oder nach der Empfehlung des Herstellers strömen.

6.1.4.2 Vorbereitung des Kollektors

Der Kollektor ist einer Sichtprüfung zu unterziehen und jede Beschädigung ist zu protokollieren. Die transparente Abdeckung des Kollektors muss sorgfältig gereinigt werden. Falls sich auf den Kollektorbauanteilen Feuchtigkeit angesammelt hat, muss der Wärmeträger mit etwa 80 °C so lange strömen, wie zum Trocknen der Wärmedämmung und des Kollektorgehäuses erforderlich ist.

Falls diese Form der Vorbereitung durchgeführt wird, ist das mit den Prüfergebnissen anzugeben. Die Kollektorrohrleitungen müssen entlüftet werden, indem eingeschlossene Luft über ein Entlüftungsventil entfernt wird, oder indem der Wärmeträger mit der dazu erforderlichen hohen Durchflussmenge zirkuliert. Mit Hilfe des in den Wärmeträgerkreislauf eingebauten transparenten Rohres ist die Flüssigkeit auf eingeschlossene Luftblasen oder Partikel zu untersuchen. Alle Verunreinigungen sind zu entfernen.

Der ungefüllte Kollektor muss 5 h lang einer Bestrahlungsstärke von mehr als 700 Wm⁻² ausgesetzt werden.

6.1.4.3 Prüfbedingungen

Während der Prüfung muss die hemisphärische Bestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors größer als 700 Wm⁻² sein.

ANMERKUNG 1 Falls der Hersteller hinsichtlich der größten Bestrahlungsstärke den Betrieb einschränkt, jedoch mindestens 800 Wm⁻² zulässt, kann dies bei der Prüfung gefordert werden. Dieser Größtwert sollte eindeutig angegeben werden.

Der Einfallswinkel direkter Sonnenstrahlung auf die Kollektorapertur muss in einem Bereich liegen, in dem der Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Kollektors um höchstens $\pm 2\%$ von seinem Wert bei normaler Einstrahlung abweicht. Für einfach verglaste Flachkollektoren ist diese Bedingung üblicherweise erfüllt, wenn der Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung auf die Kollektorapertur geringer als 20° ist.

Für besondere Konstruktionen können jedoch wesentlich geringere Winkel erforderlich sein. Um die Kollektorleistung bei anderen Winkeln zu charakterisieren, darf ein Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor ermittelt werden (siehe 6.1.7).

Wenn die diffuse Bestrahlungsstärke weniger als 30 % beträgt darf ihr Einfluss vernachlässigt werden. Der Kollektor darf nicht bei einem Anteil der diffusen Bestrahlungsstärke von mehr als 30 % geprüft werden.

Der Mittelwert der Geschwindigkeiten der Umgebungsluft parallel zur Kollektorapertur muss $3 \text{ ms}^{-1} \pm 1 \text{ ms}^{-1}$ betragen, wobei räumliche Abweichungen über dem Kollektor und zeitliche Schwankungen während der Prüfdauer zu berücksichtigen sind.

Falls nicht anders festgelegt, muss der Massenstrom des Wärmeträgers auf einen Wert von etwa 0,02 kgs⁻¹ je m² Kollektoraperturfläche eingestellt werden. Dieser Massenstrom ist während jeder Prüfperiode innerhalb von $\pm 1\%$ des Einstellwertes konstant zu halten und darf von einer Prüfperiode zur anderen um höchstens $\pm 10\%$ vom Einstellwert abweichen.

Die Prüfung bei anderen Massendurchströmen darf den Festlegungen des Herstellers angepasst werden.

Bei einigen Kollektoren kann der empfohlene Massenstrom in der Nähe des Übergangsbereiches zwischen laminarer und turbulenter Strömung liegen. Dies kann Instabilitäten der inneren Wärmedurchgangszahl hervorrufen und so zu Schwankungen der Messwerte des Kollektorwirkungsgrades führen. Um einen derartigen Kollektor in reproduzierbarer Weise zu charakterisieren, kann es erforderlich sein, einen höheren Massenstrom zu verwenden; dies ist jedoch deutlich in den Prüfergebnissen anzugeben.

ANMERKUNG 2 Im Übergangsbereich sollte der Massenstrom erst hoch (turbulent) eingestellt und dann auf den Sollwert reduziert werden. Dadurch kann ein Übergang von laminar zu turbulent während der Messungen vermieden werden.

Messwerte der Temperaturdifferenz des Wärmeträgers unter 1 K dürfen wegen der damit verbundenen Probleme der Messgerätefehler nicht in die Messergebnisse einfließen.

6.1.4.4 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seiner Leistung ist der Kollektor bei klarem Himmel über seinen Betriebstemperaturbereich zu prüfen. Für mindestens vier Eintrittstemperaturen des Wärmeträgers, die gleichmäßig über den Betriebstemperaturbereich des Kollektors verteilt sind, sind Messdaten zu ermitteln, die den nachfolgend angegebenen Anforderungen genügen. Zur genauen Bestimmung von η_0 ist möglichst eine Eintrittstemperatur zu wählen, bei der die mittlere Flüssigkeitstemperatur im Kollektor innerhalb von ± 3 K der Temperatur der Umgebungsluft entspricht. Falls Wasser als Wärmeträger verwendet wird, muss die höchste Temperatur mindestens bei etwa 80 °C liegen. Falls die Prüfbedingungen es zulassen, wird als höchster Wert von T_m^* mindestens 0,09 empfohlen.

Für jede Flüssigkeitseintrittstemperatur müssen mindestens vier unabhängige Messwerte ermittelt werden, damit sich eine Gesamtanzahl von 16 Messpunkten ergibt. Falls die Prüfbedingungen es zulassen, ist für jede Flüssigkeitseintrittstemperatur vor und nach dem solaren Mittag jeweils die gleiche Anzahl von Messwerten zu ermitteln. Letzteres ist nicht erforderlich, falls die Kollektoren mit Hilfe einer automatischen Nachführung der Sonnenbewegung in Azimut und Sonnenhöhe folgen.

Während einer Prüfung müssen die Messungen nach 6.1.4.5 durchgeführt werden. Diese Messwerte dürfen dann verwendet werden, um Prüfperioden festzulegen, aus denen zuverlässige Messwerte abgeleitet werden können.

6.1.4.5 Messungen

Folgende Größen sind zu messen:

- Bruttokollektorfläche A_G , Absorberfläche A_A und Aperturfläche A_a ;
- Wärmeträgerinhalt;
- hemisphärische Bestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors;
- diffuse Bestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors (nur im Freien);
- Einfallswinkel direkter Bestrahlungsstärke (alternativ dazu darf dieser Winkel durch Berechnung ermittelt werden);
- Luftgeschwindigkeit parallel zur Ebene der Kollekturapertur;
- Umgebungstemperatur;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt;
- Massenstrom des Wärmeträgers.