

DIN EN ISO 9806

ICS 27.160

Einsprüche bis 2012-06-26
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12975-2:2006-06

Entwurf

**Solarenergie –
Thermische Sonnenkollektoren –
Prüfverfahren (ISO/DIS 9806:2012);
Deutsche Fassung prEN ISO 9806:2012**

Solar Energy –
Solar thermal collectors –
Test methods (ISO/DIS 9806:2012);
German version prEN ISO 9806:2012

Énergie solaire –
Capteurs solaire thermique –
Methodes d'essai (ISO/DIS 9806:2012);
Version allemande prEN ISO 9806:2012

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-04-23 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nhrs@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRs) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

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

Gesamtumfang 200 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRs) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9806:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT (Griechenland) gehalten wird.

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

Änderungen

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

- a) Übernahme als EN-ISO-Norm;
- b) inhaltlich vollständig überarbeitet, Festlegungen zu Luftkollektoren, Anhänge N, O und Q aufgenommen;
- c) Norm redaktionell überarbeitet.

Solarenergie — Thermische Sonnenkollektoren — Prüfverfahren (ISO/DIS 9806:2012)

Énergie solaire — Capteurs solaire thermique — Méthodes d'essai (ISO/DIS 9806:2012)

Solar Energy — Solar thermal collectors — Test methods (ISO/DIS 9806:2012)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.4e - RC2

Inhalt

Seite

Vorwort	7
Einleitung.....	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Abkürzungen	12
5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren	17
5.1 Allgemeines	17
5.2 Innendruckprüfungen für Wärmeträgerkanäle	18
5.2.1 Anorganische Wärmeträgerkanäle	18
5.2.2 Wärmeträgerkanäle aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)	19
5.3 Dichtheitsprüfung (nur bei Luftkollektoren)	21
5.3.1 Zweck	21
5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	21
5.3.3 Prüfbedingungen	21
5.3.4 Ergebnisse.....	21
5.4 Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit	22
5.4.1 Zweck	22
5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	22
5.4.3 Prüfbedingungen	23
5.4.4 Ergebnisse.....	23
5.5 Freilandbewitterungsprüfung.....	23
5.5.1 Zweck	23
5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	23
5.5.3 Prüfbedingungen	24
5.5.4 Ergebnisse.....	24
5.6 Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel	25
5.6.1 Zweck	25
5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	25
5.6.3 Prüfbedingungen	25
5.6.4 Ergebnisse.....	26
5.7 Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel	26
5.7.1 Zweck	26
5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	26
5.7.3 Prüfbedingungen	26
5.7.4 Ergebnisse.....	27
5.8 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser	27
5.8.1 Zweck	27
5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	27
5.8.3 Prüfbedingungen	28
5.8.4 Ergebnisse.....	29
5.9 Frostbeständigkeitsprüfung	30
5.9.1 Zweck	30
5.9.2 Prüfeinrichtung und Durchführung	30
5.9.3 Prüfbedingungen	31
5.9.4 Ergebnisse.....	31
5.10 Mechanische Belastungsprüfung	31
5.10.1 Überdruckprüfung des Kollektors	31
5.10.2 Unterdruckprüfung des Kollektors	32

5.11	Schlagfestigkeitsprüfung	33
5.11.1	Zweck.....	33
5.11.2	Verfahren 1: Schlagfestigkeitsprüfung mit Eiskugeln.....	33
5.11.3	Verfahren 2: Schlagfestigkeitsprüfung mit Stahlkugeln	37
5.11.4	Ergebnisse	37
5.12	Endüberprüfung	37
5.13	Prüfbericht	37
6	Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren.....	37
6.1	Abgedeckte Flüssigkeitskollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall).....	38
6.1.1	Einbau und Standort des Kollektors	38
6.1.2	Messgeräteausrüstung	40
6.1.3	Prüfaufbau.....	45
6.1.4	Prüfung der Leistung unter stationären Bedingungen im Freien	49
6.1.5	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators.....	53
6.1.6	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	56
6.1.7	Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Kollektors	58
6.1.8	Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	61
6.2	Prüfung der Wärmeleistung von Luftkollektoren.....	61
6.2.1	Montage und Befestigung des Kollektors	61
6.2.2	Messgeräteausrüstung	63
6.2.3	Prüfaufbau.....	66
6.2.4	Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen im Freien	69
6.2.5	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators.....	74
6.2.6	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	77
6.2.7	Einfallswinkel-Korrekturfaktor	78
6.2.8	Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	81
6.3	Unabgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall).....	82
6.3.1	Montage und Standort des Kollektors	82
6.3.2	Messgeräteausrüstung	84
6.3.3	Prüfaufbau.....	86
6.3.4	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand im Freien	87
6.3.5	Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators.....	90
6.3.6	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors	92
6.3.7	Einfallswinkel-Korrekturfaktor (wahlfrei)	92
6.3.8	Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	94
6.4	Abgedeckte und unabgedeckte Sonnenkollektoren unter quasi-dynamischen Bedingungen.....	94
6.4.1	Montage und Standort des Kollektors	94
6.4.2	Messgeräteausrüstung	95
6.4.3	Prüfaufbau.....	97
6.4.4	Prüfung zur Bestimmung des Wirkungsgrades im Freien	97
6.4.5	Bestimmung der effektiven Wärmekapazität.....	105
6.4.6	Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Kollektors	105
Anhang A (normativ)	Schematische Darstellungen der Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen.....	107
Anhang B (normativ)	Prüfprotokolle für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen	115
B.1	Protokoll der Prüffolge und Zusammenfassung der Hauptergebnisse.....	115
B.2	Innendruckprüfung für anorganische Absorber	116
B.2.1	Technische Daten des Kollektors	116
B.2.2	Prüfbedingungen	116
B.2.3	Prüfergebnisse	116
B.3	Innendruckprüfung für Absorber aus organischen Werkstoffen	117
B.3.1	Technische Daten des Kollektors	117

B.3.2	Prüfbedingungen	117
B.3.3	Prüfergebnisse.....	118
B.4	Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit und Bestimmung der Stagnationstemperatur.....	119
B.4.1	Verfahren zum Aufheizen der Kollektoren	119
B.4.2	Verfahren zur Bestimmung der Stagnationstemperatur.....	119
B.4.3	Prüfbedingungen	119
B.4.4	Ergebnisse der Stagnationstemperaturbestimmung	119
B.4.5	Ergebnisse der Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit	120
B.5	Freilandbewitterungsprüfung.....	121
B.5.1	Prüfbedingungen	121
B.5.2	Prüfergebnisse.....	121
B.5.3	Klimatische Bedingungen für alle Prüftage	122
B.5.4	Zeitabschnitte, in denen die Bestrahlungsstärke und die Umgebungslufttemperatur höhere Werte aufweisen, als in Tabelle 3 festgelegt.....	123
B.5.5	Prüfergebnisse.....	124
B.6	Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel	125
B.6.1	Prüfbedingungen	125
B.6.2	Prüfergebnisse.....	125
B.7	Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel	126
B.7.1	Prüfbedingungen	126
B.7.2	Prüfergebnisse.....	126
B.8	Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser	127
B.8.1	Prüfbedingungen	127
B.8.2	Prüfergebnisse.....	127
B.9	Frostbeständigkeitsprüfung	128
B.9.1	Kollektortyp	128
B.9.2	Prüfbedingungen	128
B.9.3	Prüfergebnisse.....	128
B.10	Mechanische Belastungsprüfung	129
B.10.1	Überdruckprüfung der Kollektorabdeckung	129
B.10.2	Zugprüfung der Befestigung zwischen Abdeckung und Kollektorgehäuse	130
B.10.3	Zugprüfung von Kollektorbefestigungen	131
B.11	Schlagfestigkeitsprüfung mit Stahlkugeln.....	132
B.11.1	Prüfbedingungen	132
B.11.2	Prüfergebnisse.....	132
B.12	Schlagfestigkeitsprüfung mit Eiskugeln	133
B.12.1	Prüfbedingungen	133
B.12.2	Prüfergebnisse.....	133
B.13	Ergebnisse der Endüberprüfung.....	134
Anhang C (normativ)	Stagnationstemperatur von Flüssigkeitskollektoren	135
C.1	Allgemeines	135
C.2	Messung und Extrapolation der Stagnationstemperatur	135
C.3	Bestimmung der Stagnationstemperatur anhand von Wirkungsgradparametern	136
Anhang D (normativ)	Prüfbericht zur Leistungsprüfung von abgedeckten Flüssigkeitskollektoren ...	137
D.1	Allgemeines	137
D.2	Beschreibung des Sonnenkollektors	137
D.3	Prüfergebnisse.....	139
Anhang E (normativ)	Prüfbericht zur Leistungsprüfung von unabgedeckten Flüssigkeitskollektoren	142
E.1	Allgemeines	142
E.2	Beschreibung des Sonnenkollektors	142
E.3	Prüfergebnisse.....	143
Anhang F (informativ)	Prüfbericht zur Leistungsprüfung von Luftkollektoren	147
F.1	Allgemeines	147
F.2	Beschreibung des Sonnenkollektors	147
F.3	Prüfergebnisse.....	149
Anhang G (normativ)	Modellierung der Koeffizienten c_1 bis c_6 des Kollektormodells nach 5.4.....	154

Anhang H (normativ) Messung der effektiven Wärmekapazität.....	155
H.1 Prüfaufbau.....	155
H.2 Prüfung in Innenräumen	155
H.2.1 Allgemeines	155
H.2.2 Messungen	155
H.2.3 Berechnung der effektiven Wärmekapazität.....	155
H.2.4 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität aus experimentell ermittelten Daten.....	156
H.3 Prüfverfahren für Prüfungen im Freien oder mit Sonnenstrahlungssimulator	157
H.4 Berechnung für Luftkollektoren.....	157
Anhang I (informativ) Vergleich zwischen den beiden Kollektormodellen nach 6.1 und 6.4	158
Anhang J (informativ) Eigenschaften von Wasser (siehe DIN V 4757-4:1995-11)	159
J.1 Dichte von Wasser (bei 1 bar), in kg/m ³	159
J.2 Dichte von Wasser (bei 1 bar bis 12 bar), in kg/m ³	159
J.3 Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei 1 bar), in kJ/(kg·K)	160
J.4 Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei 1 bar bis 12 bar), in kJ/(kg·K)	160
Anhang K (informativ) Kurzfassung des Prüfberichts der Leistungsprüfung nach dem quasi-dynamischen Verfahren.....	162
Anhang L (informativ) Allgemeine Leitlinien zur Abschätzung der Unsicherheit bei der Prüfung des Wirkungsgrades von Sonnenkollektoren	164
L.1 Einleitung	164
L.2 Messunsicherheiten bei der Wirkungsgradprüfung von Sonnenkollektoren	164
L.3 Kurvenanpassung und Unsicherheiten der Ergebnisse der Wirkungsgradprüfung.....	166
Anhang M (informativ) Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor	168
M.1 Allgemeines	168
M.2 Prüfaufbau.....	168
M.3 Vorbehandlung des Kollektors	168
M.4 Durchführung der Prüfung	168
M.5 Messungen	169
M.6 Durch Armaturen verursachter Druckabfall	169
M.7 Prüfbedingungen	169
M.8 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse	170
M.9 Druckabfall bei Luftkollektoren.....	170
Anhang N (informativ) Messung der geschwindigkeitsgewichteten mittleren Temperatur	172
Anhang O (informativ) Dichtheitsprüfung (nur bei Luftkollektoren).....	174
Anhang P (normativ) Zuverlässigkeitsprüfung von konzentrierenden und nachgeführten Kollektoren	176
P.1 Allgemeines	176
P.2 Innendruckprüfung von Absorbern	176
P.3 Freilandbewitterungsprüfung	176
P.3.1 Prüfung der aktiven und passiven Steuerungselemente	177
P.4 Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit	177
P.5 Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel.....	177
P.6 Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel.....	177
P.7 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser	178
P.8 Frostbeständigkeitsprüfung.....	178
P.9 Mechanische Belastungsprüfung	178
P.10 Schlagfestigkeitsprüfung	178
P.11 Endüberprüfung	178
P.12 Prüfbericht	178
Anhang Q (informativ) Beschreibung eines Programms für die Berechnung der jährlichen Energieausbeute eines Sonnenkollektors	179
Q.1 Einleitung und Zweck.....	179
Q.2 Systemanforderungen	179
Q.3 Informationsfluss	179

Q.4	Benutzereingabe	179
Q.5	Berechnungen.....	183
Q.6	Ergebnisse.....	183
Q.7	Beispiel eines Leistungsarbeitsblatts	184
Q.8	Beschreibung der Berechnung	185
Q.8.1	Berechnung der Wärmeausbeute je Zeitschritt (1 Stunde)	185
Q.8.2	Berechnungen zur Bestimmung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors	187
Q.8.3	Berechnungen zur Bestimmung der Einfallswinkel θ_i , $\theta_{\text{sun_OW}}$ und $\theta_{\text{sun_NS}}$ der Sonnenstrahlung auf eine Kollektorebene	187
Q.8.4	Berechnung der Solarstrahlung auf eine geneigte Kollektorebene mit freier Ausrichtung in Bezug auf Neigungswinkel β und Azimut γ einschließlich nachgeführter Oberflächen	188
Q.8.5	Formulierung der Abbildung von Winkeln für feststehende und nachgeführte Kollektoroberflächen	189
Q.8.6	Literaturhinweise	190
Q.9	Kurze Erläuterung der Eingabeparameter und Beschreibung der Ausgabedaten	190
Q.9.1	Allgemeines	190
Q.9.2	“Collector information” (Kollektorinformationen).....	190
Q.9.3	“IAM Type” (Typ des Einfallswinkel-Korrekturfaktors).....	192
Q.9.4	Beschreibung des Ausbeutedatenblatts	192
Q.10	Interpolation von <i>IAM</i> -Parametern.....	193
	Literaturhinweise	194

Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9806:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12975-2:2006 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 9806:2012 wurde vom CEN als prEN ISO 9806:2012 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Diese Internationale Norm legt Verfahren für die Prüfung von Flüssigkeitskollektoren hinsichtlich Leistungsverhalten, Zuverlässigkeit, Dauerhaftigkeit und Sicherheit unter definierten und wiederholbaren Bedingungen fest. Sie enthält Leistungsprüfverfahren zur Durchführung im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung und der Einwirkung von natürlichem oder simuliertem Wind und zur Durchführung in Innenräumen unter simulierten Sonneneinstrahlungs- und Windbedingungen. Die Prüfungen im Freien können entweder im stationären Zustand oder als Ganztagsmessungen unter veränderlichen Witterungsbedingungen ausgeführt werden. Im letzteren Falle werden gleich bleibende Eintrittstemperaturbedingungen und natürliche Sonneneinstrahlung sowie natürliche und/oder simulierte Windbedingungen angewendet. Berücksichtigt werden wichtige Faktoren mit Auswirkung auf das Ganztagsleistungsverhalten des Kollektors, wie z.B. die Abhängigkeit vom Einfallswinkel, von der Windgeschwindigkeit, vom diffusen Anteil der solaren Bestrahlungsstärke, von der thermischen Himmelsstrahlung und der Wärmekapazität.

Einige der Vorteile der Ganztagsprüfung gegenüber der Prüfung im stationären Zustand sind:

- Die Prüfungen im Freien nehmen weniger Zeit in Anspruch und sind weniger kostenintensiv, und sie eignen sich für die in Europa üblichen Klimabedingungen.
- Es lässt sich ein wesentlich breiteres Spektrum von Kollektoren nach demselben Verfahren prüfen.
- Gleichzeitig für dieses Verfahren zu einer wesentlich umfassenderen Beschreibung des Kollektors.
- Das Kollektormodell ist weiterhin direkt mit dem den gegenwärtig gültigen Grundprüfnormen zugrunde liegenden Modell vergleichbar, und bei diesem erweiterten Ansatz kommen einfach nur Korrekturterme zur Anwendung.
- Alle Hinzufügungen basieren auf der seit langem allgemein anerkannten Kollektortheorie.
- Die vollständige Rückwärtsvergleichbarkeit mit dem stationären Zustand lässt sich jederzeit durch die Betrachtung bestimmter Abschnitte der Prüftage sicherstellen, die den Anforderungen an die Prüfung im stationären Zustand entsprechen.
- Es kann die gleiche Prüfeinrichtung verwendet werden, die bei der Prüfung im stationären Zustand zum Einsatz kommt; es sind nur geringfügige Änderungen erforderlich, die darüber hinaus die Genauigkeit der Prüfung im stationären Zustand verbessern.
- Zur Ermittlung der Parameter kann allgemein verfügbare Standard-PC-Software verwendet werden, wie z. B. Tabellenkalkulationsprogramme oder noch höher spezialisierte statistische Programme, die über die Möglichkeit zur Durchführung einer Multiplen Linearen Regression (MLR) verfügen.

Die nach dieser Internationalen Norm geprüften Kollektoren repräsentieren ein breites Anwendungsspektrum. Dieses reicht von nachgeführten konzentrierenden Kollektoren für die thermische Energieerzeugung und Prozesswärme bis hin zu abgedeckten Flachkollektoren für die Brauchwasserbereitung. Unabgedeckte Kollektoren werden in den meisten Fällen für die Beheizung von Schwimmbecken oder für Nutzer im Niedertemperaturbereich eingesetzt. Die Luftkollektoren wurden erst kürzlich in den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm aufgenommen.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt Prüfverfahren für die Überprüfung von Flüssigkeitskollektoren in Bezug auf die Einhaltung der in EN 12975-1 festgelegten Dauerhaftigkeits-, Zuverlässigkeits- und Sicherheitsanforderungen fest. Außerdem enthält diese Internationale Norm vier Prüfverfahren für die Bewertung von Flüssigkeitskollektoren hinsichtlich ihrer Wärmeleistung. Dabei handelt es sich um die Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Flüssigkeitskollektoren im stationären Zustand und unter quasi-dynamischen Bedingungen und um die Wärmeleistung von abgedeckten und unabgedeckten Luftkollektoren im stationären Zustand. Die Abhängigkeit der Leistung von der Durchflussgeschwindigkeit wird nur im Falle der Luftkollektoren erfasst.

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

Die vorliegende Internationale Norm ist auch auf thermo-elektrische Hybridkollektoren, die sogenannten photovoltaisch-thermischen bzw. PVT-Kollektoren, anwendbar; jedoch deckt sie weder die elektrische Sicherheit noch andere speziell mit dem PV-Teil dieser Kollektoren verbundene Eigenschaften ab. Kundenspezifisch hergestellte Kollektoren (z. B. in der Dacheindeckung integrierte Kollektoren, die nicht aus werkmäßig hergestellten Modulen bestehen und direkt am Einsatzort zusammengebaut werden) können in ihrer ursprünglichen Form nicht nach dieser Internationalen Norm in Bezug auf Dauerhaftigkeit, Zuverlässigkeit und Wärmeleistung geprüft werden. Daher sind bei der Prüfung dieser Kollektortypen spezielle Größenanforderungen zu berücksichtigen, und 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: Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 12975-1:2006, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kollektoren — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*

ISO 9488, *Solar energy — Vocabulary (ISO 9488:1999)*

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

VDI 4670, *Thermodynamische Stoffwerte von feuchter Luft und Verbrennungsgasen (Februar 2003)*

3 Begriffe

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

3.1

Öffnungswinkel

Winkelbereich, innerhalb dessen der Empfänger eines konzentrierenden Kollektors Strahlung aufnimmt

ANMERKUNG 1 Es wird von Strahlungsaufnahme gesprochen, weil die einfallende Strahlung den Absorber nach dem Durchgang durch die Apertur innerhalb dieses Winkels erreicht.

ANMERKUNG 2 Siehe auch den in ISO 9488, 4.8, definierten Begriff des Sichtfeldwinkels eines Pyrheliometers, der in diesem Falle nicht nur für Pyrheliometer, sondern auch für konzentrierende Kollektoren gilt.

3.2

Reinheitsfaktor

Verhältnis des optischen Wirkungsgrades unter bestimmten Verschmutzungsbedingungen zum optischen Wirkungsgrad desselben optischen Elements im nicht verschmutzten, sauberen Zustand. Dieser Faktor kann auf einzelne Bauteile (Reflektor, Empfänger) oder den gesamten Kollektor angewendet werden.

3.3

Rotationsachse des Kollektors

Nachführungsachse des Kollektors

Drehachse eines Kollektors mit Linienfokussierung, die in den meisten Fällen parallel zur Brennpunktlinie verläuft {konzentrierender Kollektor}

3.4

Konzentrator

Teil des konzentrierenden Kollektors, der die Strahlung auf den Empfänger richtet

3.5

Konzentratorachse

Symmetrieachse, die bei Kollektoren mit Linienfokussierung im rechten Winkel zum Kollektorapertur-Normal (der Senkrechten zur Kollektoraperturebene) steht

3.6

Kosinusverlust

Verlust, der durch den Kosinus des Einfallswinkels aufgrund der Tatsache gegeben ist, dass die aus Richtung der Sonne sichtbare Kollektorprojektionsfläche kleiner als die Kollektorapertur ist

3.7

Endeffekte

gesammelte Energie, die an den Enden des linearen Absorbers eines Kollektors mit Linienfokussierung verloren geht, wenn die direkt auf den Kollektor einfallenden Sonnenstrahlen unter einem Winkel ungleich Null in Bezug auf eine senkrecht zur Kollektorachse stehende Ebene einfallen

3.8

Einfallswinkel-Korrekturfaktor

Verhältnis des Wirkungsgrades bei nicht senkrechtem Einfall zum Wirkungsgrad bei senkrechtem Einfall

3.9

Abfangfaktor

Anteil der reflektierten Strahlung, der vom Empfänger abgefangen wird (auch als Abfanganteil bezeichnet) {konzentrierender Kollektor}

3.10

Einfallswinkel in Längsrichtung

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

ANMERKUNG Nicht anwendbar bei Kollektoren mit Punktfokussierung und zentralen Empfängern.

3.11

Längsebene

Ebene, die durch das Kollektorapertur-Normal und die Konzentratorachse (oder im Falle flacher zweiachsiger Geometrien die größte Symmetrieachse) definiert ist

3.12

Höchsttemperatur im Betrieb

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

3.13

Mindestöffnungswinkel

kleinster Einfallswinkel, für den der Einfallswinkel-Korrekturfaktor kleiner als 0,7 ist

3.14

Modul

kleinste Einheit, die als Solarenergiesammeleinrichtung dienen kann

3.15

Nenn-Kollektorstrom

abgegebene Wärmeleistung des Kollektors, die unter den Bedingungen von Auslegungsbestrahlungsstärke, senkrechtem Einfall der Sonnenstrahlung und Auslegungsbetriebstemperatur erreicht werden kann

3.16

fast senkrechter Einfall

Winkelbereich, ausgehend von genau senkrechtem Einfall, innerhalb dessen die Abweichungen der bei Umgebungstemperatur ermittelten Wärmeleistung 62 % nicht überschreiten, so dass sich die durch die Prüfung bei anderen Winkeln als dem genau senkrechten Einfall verursachten Fehler nicht von den durch andere Ungenauigkeiten (d. h. Fehler der Messgeräteausrüstung usw.) verursachten Fehlern unterscheiden lassen

3.17

nicht konzentrierender Kollektor

Sonnenkollektor ohne irgendwelche Reflektoren, Linsen oder sonstigen optischen Elemente, die dazu dienen, die Sonnenstrahlung umzulenken und zu konzentrieren

3.18

strömungsloser Zustand

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

3.19

optische Achse

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

3.20

Ausgasen

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

3.21

optischer Wirkungsgrad oder Konversionsfaktor

theoretischer Wirkungsgrad des Kollektors ohne Wärmeverluste

3.22

passiv

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

3.23

quasi-dynamische Prüfung

Bestimmung des optischen Wirkungsgrades und der Wärmedurchgangsfaktoren des Kollektors über eine verhältnismäßig kurze Prüfdauer, für die keine Klimabedingungen im stationären Zustand betreffenden Anforderungen gestellt werden. Für die den gerichteten und den diffusen Einfall betreffenden Änderungswerte sowie die Wärmekapazität, die Windgeschwindigkeit und die Himmelstemperatur werden Korrekturglieder eingeführt.

3.24

Rekonzentrator

Reflektoren, die in der Nähe des Empfängers aufgestellt und zur stärkeren Bündelung des auf den Empfänger auftreffenden Sonnenlichts verwendet werden {konzentrierender Kollektor}

3.25

Reflektor oder reflektierende Oberfläche

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

ANMERKUNG Er bzw. sie enthält gegebenenfalls auch den wahlfrei zu verwendenden Rekonzentrator.

3.26

Kranzwinkel

größter Winkel zwischen dem Aperturbenen-Normal und der Geraden, die in einer Schnittdarstellung den Brennpunkt mit dem Rand des Reflektors verbinden {konzentrierender Kollektor}

ANMERKUNG Diese Definition ist bei einer Heliostat-Anordnung mit zentralem Empfänger nicht anwendbar.

3.27

spiegelnde Reflexion

innerhalb eines Öffnungswinkels von 25 mrad gemessene Reflexion

3.28

Wärmeleistung

momentaner thermischer Wirkungsgrad

3.29

transversaler Einfallswinkel

Winkel zwischen dem Kollektorapertur-Normal und dem in die Querebene projizierten einfallenden Sonnenstrahl

ANMERKUNG Nicht anwendbar bei Kollektoren mit Punktfokussierung und zentralen Empfängern.

3.30

Querebene

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

3.31

Auslöse- oder Sicherheitsaktivierungstemperatur

Temperaturwert, bei dem die Sicherheitssteuereinrichtungen für den ausfallsicheren Betriebszustand aktiviert werden {konzentrierender Kollektor}

4 Symbole und Abkürzungen

A_A	Absorberfläche des Kollektors	m^2
A_a	Aperturfläche des Kollektors	m^2
A_G	Brutto-Kollektorfläche	m^2
A_M	optische Luftmasse	—
a_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(t_m - t_a) = 0$	$Wm^{-2} K^{-1}$
a_2	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$Wm^{-2} K^{-2}$
B	„Position der Erde“ in ihrem Jahreslauf um die Sonne herum (0° bis 360°)	Grad

b_u	Kollektorwirkungsgradfaktor (windabhängig)	$m^{-1}s$
b_0	Konstante zur Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors	
b_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(t_m - t_a) = 0$	$Wm^{-2} K^{-1}$
b_2	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$Wsm^{-3} K^{-1}$
C	effektive Wärmekapazität des Kollektors	JK^{-1}
c_1	Wärmedurchgangskoeffizient bei $(t_m - t_a) = 0$	$Wm^{-2} K^{-1}$
c_2	temperaturabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$Wm^{-2} K^{-2}$
c_3	windabhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	$Jm^{-3} K^{-1}$
c_4	von der Himmelstemperatur abhängiger Wärmedurchgangskoeffizient	—
c_5	effektive Wärmekapazität	$Jm^{-2} K^{-1}$
c_6	windabhängiger Konversionsfaktor	sm^{-1}
c_f	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers	$Jkg^{-1} K^{-1}$
D	Datum	JJMMTT
E	Gleichung für die zeitliche Korrektur des exzentrischen Pfades der Erde um die Sonne	min
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_{horis}	globale oder Gesamt-Bestrahlungsstärke in der horizontalen Ebene	Wm^{-2}
G^*	globale hemisphärische solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G''	Nettobestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_b	direkte solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_{b_horis}	direkte solare Bestrahlungsstärke in der horizontalen Ebene	Wm^{-2}
G_{bT}	direkte solare Bestrahlungsstärke in der geneigten Kollektorebene	Wm^{-2}
G_{bn}	direkte solare Bestrahlungsstärke in einer Richtung im rechten Winkel zur Sonne	Wm^{-2}
G_d	diffuse solare Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_{d_horis}	diffuse Bestrahlungsstärke in der horizontalen Ebene	Wm^{-2}
G_{dT}	diffuse Bestrahlungsstärke in der geneigten Kollektorebene	Wm^{-2}
G_o	extraterrestrische Strahlung in horizontaler Ebene	Wm^{-2}
Hour_day	Zeitstempel im Excel-Code (Anhang Q) während des Tages (erste Stunde = 1,0)	h
K_θ	Einfallswinkel-Korrekturfaktor	—
$K_{\theta b}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für direkte Strahlung	—

$K_{\theta b_OW}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor (IAM) „Ost-West“ oder „horizontal“	–
$K_{\theta b_NS}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor (IAM) „Nord-Süd“ oder „vertikal“	–
$K_{\theta Lcoll}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor entlang der Kollektorrohre oder -reflektoren	–
$K_{\theta Tcoll}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor im rechten Winkel zu den Kollektorrohren oder -reflektoren	–
$K_{\theta d}$	Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung	–
L_T	Ortszeit	h
L_{loc}	geografische Länge der örtlichen Position (z. B. Stockholm –18,080) Winkel östlich von Greenwich sind negativ	Grad
L_{std}	geografische Länge der Zeitzone (z. B. Schweden –15,0) Winkel östlich von Greenwich sind negativ	Grad
m	thermisch aktive Kollektormasse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom der Wärmeträgerflüssigkeit	kg s ⁻¹
N	Nummer des Tages von Jahresbeginn an, d. h. 1. Januar = 1	–
$\dot{Q}$	Nutzwärmeleistung des Kollektors	W
Q_t	mittlere Leistungsabgabe im Verlauf eines Zeitschritts	W
Q/A_a	spezifische Nutzenergie des Kollektors	kWh m ⁻²
Q_{modul}	Nutzenergie des Kollektors, jährlicher Energiegewinn	kWh je Modul
$\dot{Q}_L$	Verlustwärmeleistung des Kollektors	W
SF	Sicherheitsfaktor	–
T	absolute Temperatur	K
T_a	Umgebungslufttemperatur	°C
T_m^*	reduzierter Temperaturunterschied ($= (t_m - t_a)/G^*$)	m ² KW ⁻¹
T_{max_op}	Höchstbetriebstemperatur	°C
T_s	atmosphärische oder äquivalente Himmelsstrahlungstemperatur	K
$T_{trigger}$	Temperatur für die Auslösung der Sicherheitseinrichtung	°C
t	Zeit	s
t_a	Umgebungslufttemperatur	°C
t_{dp}	atmosphärische Taupunkttemperatur	°C
t_e	Kollektoraustrittstemperatur (der Wärmeträgerflüssigkeit)	°C
t_{in}	Kollektoreintrittstemperatur (der Wärmeträgerflüssigkeit)	°C
t_m	mittlere Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit	°C
t_s	atmosphärische oder Himmelstemperatur	°C
t_{stg}	Stagnationstemperatur	°C
U	gemessener Gesamt-Wärmeverlustkoeffizient eines Kollektors mit Bezug auf T_m^*	W m ⁻² K ⁻¹

U_L	Gesamt-Wärmeverlustkoeffizient 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	Temperaturunterschied zwischen Wärmeträgeraustritt und -eintritt ($t_e - t_{in}$)	K
α	solarer Absorptionsgrad	%
β	Neigungswinkel einer Ebene zur Horizontalen	Grad
γ	Azimutwinkel des Kollektors (0 = Süden, nach Osten negativ)	Grad
γ_s	solarer Azimutwinkel (0 = Süden, nach Osten negativ)	Grad
γ_{if}	Abfangfaktor	—
Γ	Endeffekte	—
χ	Reinheitsfaktor	—
ε	hemisphärischer Emissionsgrad	%
δ	solare Deklination	Grad
ω	solarer Stundenwinkel	Grad
θ	Einfallswinkel	Grad
θ_i	Einfallswinkel zum Kollektor (bezogen auf die Senkrechte zum Kollektor)	Grad
θ_{LsunNS}	solarer Einfallswinkel in einer vertikalen NS-Ebene zum Kollektor	Grad
θ_{TsunOW}	solarer Einfallswinkel in einer OW-Ebene senkrecht zum Kollektor	Grad
θ_{Lcoll}	Einfallswinkel zum Kollektor parallel zu den Vakuumröhren oder Reflektoren	Grad
θ_{Tcoll}	Einfallswinkel zum Kollektor, senkrecht zu den Vakuumröhren oder Reflektoren	Grad
θ_Z	solarer Zenitwinkel ($= 90 - \theta_H$)	Grad
$\theta_{ }$ oder θ_L	Einfallswinkel in Längsrichtung	Grad
$\theta_{\perp}$ oder θ_T	Einfallswinkel in Querrichtung	Grad
θ_c	halber Öffnungswinkel	Grad
Φ	geografische Breite des Einbauorts des Kollektors oder der für die Klimadaten maßgeblichen Position	Grad
ϕ_T	Kranzwinkel	Grad
λ	Wellenlänge	μm
η	Kollektorwirkungsgrad mit Bezug auf T_m^*	—
η_0	Konversionsfaktor (η bei $T_m^* = 0$), mit Bezug auf T_m^* , basierend auf der globalen oder Gesamtstrahlung G_T	—
$\eta_{0,en}$	Konversionsfaktor bei senkrechtem Einfall	—

$\eta_{0,b,en}$	Konversionsfaktor für die direkte solare Bestrahlungsstärke bei senkrechtem Einfall	—
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	$Wm^{-2}K^{-4}$
ρ	Dichte des Wärmeträgers	kgm^{-3}
ρ_s	spiegelnde Reflexion	%
τ_c	Kollektorzeitkonstante	s
τ	Durchlassgrad	
$(\tau\alpha)_e$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt	—
$(\tau\alpha)_{ed}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für diffuse solare Bestrahlungsstärke	—
$(\tau\alpha)_{en}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Sonnenstrahlung bei senkrechtem Einfall	—
$(\tau\alpha)_{e\theta}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Sonnenstrahlung beim Einfallswinkel θ	—
$h_{f,a}$	Enthalpie des Luft-Wasserdampf-Gemischs der Umgebungsluft	J/kg
$h_{f,e}$	Enthalpie des Luft-Wasserdampf-Gemischs am Austritt des Luftkollektors	J/kg
$h_{f,i}$	Enthalpie des Luft-Wasserdampf-Gemischs am Eintritt des Luftkollektors	J/kg
h_L	Enthalpie des austretenden Luft-Wasserdampf-Gemischs	J/kg
m_{pe}	Luftmassenstrom (in Strömungsrichtung) dahinter	kg/s
m_{pi}	Luftmassenstrom (in Strömungsrichtung) davor	kg/s
m_{pl}	Leckage-Luftmassenstrom	kg/s
$p_{f,e}$	statischer Druck des Wärmeträgers (Luft) am Austritt des Sonnenkollektors	Pa
$p_{f,i}$	statischer Druck des Wärmeträgers (Luft) am Eintritt des Sonnenkollektors	Pa
P_{abs}	Absolutdruck der Umgebungsluft	Pa
R_D	Gaskonstante für Wasserdampf	461,4 J/kgK
rH_{amb}	(relative) Feuchte der Umgebungsluft	%
rH_e	(relative) Feuchte des Wärmeträgers (Luft) am Austritt des Sonnenkollektors	%
rH_i	(relative) Feuchte des Wärmeträgers (Luft) am Eintritt des Sonnenkollektors	%
R_L	Gaskonstante für Luft	287,1 J/kgK
$T_{m,th}$	volumenstromgewichtetes Temperaturmittel	°C
$t_{max,start}$	höchste Starttemperatur	°C
$t_{mp,e}$	Flüssigkeitstemperatur am nachgeschalteten Luftmassenmesser	°C
$t_{mp,i}$	Flüssigkeitstemperatur am vorgeschalteten Luftmassenmesser	°C
$V_{p,e}$	Volumenstrom am Austritt des Sonnenkollektors	m^3/s
$V_{p,i}$	Volumenstrom am Eintritt des Sonnenkollektors	m^3/s
$V_{p,L}$	Leckagevolumenstrom	m^3/s

$X_{W,a}$	Wassergehalt der Umgebungsluft	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
$X_{W,e}$	Wassergehalt am Austritt des Sonnenkollektors	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
$X_{W,i}$	Wassergehalt am Eintritt des Sonnenkollektors	kg H ₂ O/ kg Trockenluft
ρ_l	Dichte der Luft	kg/m ³

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

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

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

5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren

5.1 Allgemeines

Die Einzelheiten bezüglich der Anzahl der für die Eignungsprüfungen verwendeten Kollektoren und bezüglich der Abfolgen, die bei der Durchführung dieser in der nachstehenden Liste (Tabelle 1) aufgeführten Eignungsprüfungen angewendet wurden, sind im Prüfbericht anzugeben.

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

Tabelle 1 — Liste der Prüfungen

Abschnitt	Prüfung
5.2	Innendruck
5.3	Dichtheitsprüfung ¹⁾
5.4	Hochtemperaturbeständigkeit ^{a b}
5.5	Exposition ^b
5.6	Schneller äußerer Temperaturwechsel ^c
5.7	Schneller innerer Temperaturwechsel ^c
5.8	Eindringendes Regenwasser ^d
5.9	Frostbeständigkeit ^e
5.10	Mechanische Belastung
5.11	Schlagfestigkeit
6.1-6.2-6.3-6.4	Wärmeleistung ^f
Anhang M	Druckabfallmessung ²⁾
^a Bei organischen Absorbern muss die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit zuerst erfolgen, um die für die Innendruckprüfung erforderliche Stagnationstemperatur des Kollektors zu bestimmen. ^b Die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit und die Freilandbewitterungsprüfung müssen am selben Kollektor durchgeführt werden. ^c Die beiden Prüfungen mit schnellem äußeren und inneren Temperaturwechsel dürfen mit der Freilandbewitterungsprüfung oder der Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit kombiniert werden. ^d Die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser ist nur bei abgedeckten Kollektoren vorzunehmen. ^e Die Frostbeständigkeitsprüfung ist nur bei Kollektoren durchzuführen, die als frostbeständig bezeichnet werden. ^f Die Wärmeleistungsprüfung darf nur an einem Kollektor durchgeführt werden, der nicht bereits für andere Prüfungen verwendet wurde.	

ANMERKUNG Bezüglich der Dauerhaftigkeit und Zuverlässigkeit elastischer Werkstoffe wird empfohlen, auf ISO 9808 und ISO 9553 Bezug zu nehmen.

5.2 Innendruckprüfungen für Wärmeträgerkanäle

5.2.1 Anorganische Wärmeträgerkanäle

5.2.1.1 Zweck

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

5.2.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die in Bild A.1 dargestellte Prüfeinrichtung besteht aus einem hydraulischen Druckgeber (elektrische Pumpe oder Handpumpe), einem Sicherheitsventil, einem Belüftungsventil und einem Druckmessgerät mit einer Standardunsicherheit von besser als 5 %. Das Belüftungsventil muss verwendet werden, um die Wärmeträgerkanäle vor der Druckbeaufschlagung zu entlüften. Die anorganischen Wärmeträgerkanäle sind mit auf Raumtemperatur gehaltenem Wasser zu füllen und für die Prüfdauer dem Prüfdruck auszusetzen (siehe 5.2.1.3.2). Dieser Druck muss aufrechterhalten bleiben, während die Wärmeträgerkanäle auf Ausbauchung, Verwindung oder Risse untersucht werden.

1) Nur für Luftkollektoren verbindlich gefordert.

2) siehe Fußnote 1).

5.2.1.3 Prüfbedingungen

5.2.1.3.1 Temperatur

Die Druckprüfung (siehe 5.2.1.3.2) an anorganischen Wärmeträgerkanälen ist bei einer Umgebungstemperatur im Bereich von 5 °C bis 30 °C durchzuführen.

5.2.1.3.2 Druck

Der Prüfdruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten höchsten Kollektorbetriebsdrucks betragen.

Der Prüfdruck muss für eine Dauer von 15 min aufrechterhalten werden.

5.2.1.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf Undichtigkeiten³⁾ Ausbauchung und Verwindung zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung müssen gemeinsam mit den verwendeten Druck- und Temperaturwerten sowie der Prüfdauer im Prüfbericht angegeben werden.

5.2.2 Wärmeträgerkanäle aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)

5.2.2.1 Zweck

Die Wärmeträgerkanäle müssen einer Druckprüfung (siehe 5.2.1.3.2) unterzogen werden, um einschätzen zu können, in welchem Maße sie den Drücken standhalten können, denen sie im Betrieb bei erhöhter Temperatur ausgesetzt sein können. Die Prüfungen sind bei erhöhten Temperaturen durchzuführen, da die Druckfestigkeit eines organischen Wärmeträgerkanals 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 gewählt werden.

5.2.2.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.2.2.2.1 Allgemeines

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

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

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

Die in 5.2.2.3 festgelegten Prüfbedingungen müssen vor der Prüfung für eine Dauer von mindestens 30 min und während der gesamten Prüfdauer aufrechterhalten werden.

3) Im Falle der Luftkollektoren stellen Undichtigkeiten kein Problem im Sinne der Definition nach EN 12975-1:201x ,5.3.1, dar. Der Leckagevolumenstrom ist nach 5.3 zu bestimmen.

Der Druck in den Wärmeträgerkanälen ist in Stufen wie in 5.2.2.3 festgelegt zu erhöhen, und die Wärmeträgerkanäle sind nach jeder Druckerhöhung auf Ausbauchung, Verwindung und Risse zu untersuchen. Während der Untersuchung der Wärmeträgerkanäle ist der Druck aufrechtzuerhalten.

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

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

5.2.2.2.2 Organische Wärmeträgerkanäle für unabgedeckte Kollektoren (Prüftemperatur $\leq 90\text{ °C}$)

Falls die höchste Prüftemperatur unter 90 °C liegt, dürfen die Wärmeträgerkanäle nach einem der folgenden Verfahren erwärmt werden:

- a) Eintauchen der Wärmeträgerkanäle in ein beheiztes Wasserbad und Druckprüfung. Die Zuleitung für den unter Druck stehenden Wärmeträger zum Absorber muss mit einem Sicherheitsventil, einem Belüftungsventil (falls gefordert) und einem Druckmessgerät ausgerüstet sein, dessen Standardunsicherheit besser als 5 % ist. Die Prüfeinrichtung ist in Bild A.2 dargestellt;
- b) Anschließen einer Heizvorrichtung an den Flüssigkeitskreislauf (siehe Bild A.3);
- c) Erhitzen des gesamten Kollektors in einem Sonnenstrahlungssimulator (siehe Bild A.4);
- d) Erhitzen des gesamten Kollektors im Freien unter natürlicher Sonneneinstrahlung (siehe Bild A.4).

5.2.2.2.3 Organische Wärmeträgerkanäle für Wärmeträgerflüssigkeiten auf Ölbasis (Prüftemperatur $> 90\text{ °C}$)

Falls die Prüftemperatur 90 °C überschreitet, dürfen die Wärmeträgerkanäle an einen Heißölkreislauf angeschlossen werden. In diesem Falle werden die Wärmeträgerkanäle und der Heißölkreislauf unter Druck gesetzt. Der Heißölkreislauf muss mit einem Sicherheitsventil, einem Belüftungsventil und einem Druckmessgerät ausgerüstet sein, dessen Standardunsicherheit besser als 5 % ist.

Die Wärmeträgerkanäle dürfen 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 natürlicher Sonneneinstrahlung (siehe Bild A.4).

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

5.2.2.2.4 Organische Wärmeträgerkanäle – pneumatische Druckprüfung bei hoher Temperatur

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

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

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

5.2.2.3 Prüfbedingungen

5.2.2.3.1 Temperatur

Bei Wärmeträgerkanälen aus organischen Werkstoffen muss die Prüftemperatur die Höchsttemperatur sein, die die Wärmeträgerkanäle unter Stagnationsbedingungen erreichen (siehe Anhang C).

5.2.2.3.2 Druck

Der Prüfdruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten höchsten Kollektorbetriebsdrucks betragen.

Bei Wärmeträgerkanälen aus organischen Werkstoffen muss der Druck in (etwa fünf) gleichmäßigen Schritten bis zum Erreichen des Prüfdrucks erhöht werden; jeder Zwischendruck ist jeweils 5 min zu halten. Anschließend muss der Prüfdruck für eine Dauer von mindestens 1 h gehalten werden.

5.2.2.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Undichtigkeiten⁴⁾ Ausbauchung und Verwindung untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Prüfbericht anzugeben.

Sämtliche Einzelheiten des angewendeten Prüfverfahrens einschließlich der Temperatur, der Zwischendrucke und der angewendeten Prüfdauern sind zusammen mit den Prüfergebnissen im Prüfbericht anzugeben.

5.3 Dichtheitsprüfung (nur bei Luftkollektoren)

5.3.1 Zweck

Diese Prüfung dient dazu, den Volumenstrom der aus Undichtigkeiten des Luftkollektors austretenden Luft, d. h. seinen Leckagevolumenstrom, zu quantifizieren.

5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Prüfeinrichtung ist in Bild O.2 von Anhang O schematisch dargestellt. Der Kollektor ist so zu installieren, dass sein Austritt luftdicht verschlossen und sein Eintritt an ein Messgerät zur Bestimmung des Luftvolumenstroms sowie an einen Lüfter mit einstellbarer Drehzahl angeschlossen ist. Die Druckdifferenz zwischen Eintritt und Umgebung ist mit Hilfe eines Druckdifferenzmessers zu messen. Die Prüfung selbst besteht aus zwei Teilen, einer Überdruck- und einer Unterdruck-Dichtheitsprüfung. Die Prüfung ist unter Beaufsichtigung mit Überdruck bzw. Unterdruck durchzuführen. Die Standardunsicherheit muss für die Messung des Luftvolumenstroms besser als $\pm 2 \%$ und für die Druckdifferenzmessung besser als $\pm 10 \text{ Pa}$ sein.

5.3.3 Prüfbedingungen

Die Prüfung ist bei Umgebungstemperatur und ohne Bestrahlung durchzuführen. Im Falle organischer Wärmeträgerkanäle wird empfohlen, die Prüfung bei der Stagnationstemperatur zu wiederholen. Der maximale Innendruck muss das 1,5fache des vom Hersteller festgelegten maximalen Betriebsdruck sein. Der Druck ist in (etwa fünf) gleichmäßigen Schritten bis auf den maximalen Prüfdruck zu erhöhen.

5.3.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Undichtigkeiten, Ausbauchung und Verwindung untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Prüfbericht anzugeben.

4) Im Falle der Luftkollektoren können Undichtigkeiten nach EN 12975-1:201x, 5.3.1, zulässig sein. Der Leckagevolumenstrom ist nach 5.3 zu bestimmen.

Sämtliche Einzelheiten des angewendeten Prüfverfahrens einschließlich des Volumenstroms, der Umgebungstemperatur, der Zwischendrücke und der angewendeten Prüfdauern sind zusammen mit den Prüfergebnissen im Prüfbericht anzugeben. Die Ergebnisse müssen im Prüfbericht Bild O.1 und Tabelle O.1 entsprechend, wie in Anhang O beschrieben, angegeben werden.

ANMERKUNG Bei einigen Kollektorentwürfen ist die Dichtheitsprüfung nicht anwendbar; dies gilt z. B. für Kollektoren, bei denen es aufgrund eines offenen Kreislaufs zu Verdunstung kommt.

5.4 Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit

5.4.1 Zweck

Diese Prüfung dient dazu, schnell zu beurteilen, ob ein Kollektor hohen Bestrahlungsstärken standhalten kann, ohne dass Schäden wie z. B. Glasbruch, Bruch der Kunststoffabdeckung, Schmelzen des Kunststoffabsorbers oder durch Ausgasen von Kollektormaterial verursachte nennenswerte Niederschläge auf der Kollektorabdeckung auftreten.

5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Die Prüfung des Kollektors muss im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator durchgeführt werden. In Bild A.6 ist die Prüfung schematisch dargestellt.

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

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

Bei Luftkollektoren muss ein zusätzlicher Temperaturfühler in der Mitte des Luftführungskanals am Kollektoraustritt angebracht sein. Nach Abschluss der oben beschriebenen Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit muss der Kollektor mit einem Volumenstrom im Bereich der für ihn geltenden Normalbetriebsbedingungen beaufschlagt werden und ist die Austrittstemperatur zu messen, um die am Austritt auftretende Höchsttemperatur zu bestimmen. Diese Temperatur ($t_{\text{max,start}}$) muss zusätzlich zu den Ergebnissen, wie in Anhang F dargestellt, im Prüfbericht angegeben werden.

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

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 speziellen 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/Temperatur-Verhältnis der Flüssigkeit bekannt sein.

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

Die Prüfung ist nach Erreichen stationärer Bedingungen über eine Dauer von mindestens 1 h durchzuführen, und der Kollektor ist anschließend nach 5.4.4 auf Anzeichen von Beschädigungen zu untersuchen.

5.4.3 Prüfbedingungen

Für alle Klimaklassen sind entweder die in Tabelle 2 angegebenen Referenzbedingungen oder Bedingungen, die nach Gleichung (C.1) zur selben Kollektortemperatur führen, zu verwenden.

Tabelle 2 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung auf Hochtemperaturbeständigkeit

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

5.4.4 Ergebnisse

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

Die Ergebnisse der Untersuchung sind zusammen mit den während der Prüfung aufgezeichneten Durchschnittswerten der (natürlichen oder simulierten) solaren Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene, der Temperatur und Geschwindigkeit der Umgebungsluft sowie der Temperatur des Absorbers (und des Drucks der im Absorber eingesetzten speziellen Wärmeträgerflüssigkeit, sofern dieses Verfahren angewendet wurde) zu protokollieren.

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

5.5 Freilandbewitterungsprüfung

5.5.1 Zweck

Die Freilandbewitterungsprüfung stellt ein kostengünstiges Zuverlässigkeitsprüfverfahren dar, das Betriebsbedingungen anzeigt (oder simuliert), die während des tatsächlichen Betriebs wahrscheinlich auftreten können, und sie ermöglicht es dem Kollektor, sich zu „stabilisieren“, sodass nachfolgende Eignungsprüfungen eher zu wiederholbaren Ergebnissen führen können. Für diesen letzteren Anwendungsfall wird ein Vorbehandlungsverfahren festgelegt, das etwa halb so lange dauert wie die gesamte Freilandbewitterungsprüfung. Welches dieser beiden Verfahren vor einer bestimmten Qualifikationsprüfung anzuwenden ist oder angewendet werden kann, ist in EN 12975-1 erläutert.

5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss im Freien (siehe Bild A.7) installiert werden, darf aber (im Falle von Flüssigkeitskollektoren) nicht mit der Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt sein. Alle Kollektoranschlüsse bis auf einen müssen verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden. Ein Rohr muss offen gelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann.

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

Nach Abschluss der Freilandbewitterungsprüfung ist eine Sichtprüfung auf Anzeichen von Beschädigung nach 5.5.4 durchzuführen.

ANMERKUNG 1 In Regionen, in denen diese Bedingungen während bestimmter Zeitabschnitte des Jahres nicht eingehalten werden können, kann die 30/15-h-Freilandbewitterung bei hohen Bestrahlungsstärken (Tabelle 3) in einem Sonnenstrahlungssimulator durchgeführt werden, dessen Charakteristik mit der des für die Prüfung des Wirkungsgrades von Flüssigkeitskollektoren verwendeten Simulators identisch ist.

ANMERKUNG 2 Bei der Prüfung von unabgedeckten Kollektoren ohne Rückseitendämmung muss der Kollektor an einer dunklen Fläche ($\alpha > 80 \%$) befestigt werden, damit die sich ergebenden Höchsttemperaturen die ungünstigste Bedingung abbilden.

5.5.3 Prüfbedingungen

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 3 anzuwenden. Die Klasse, nach der der Kollektor zu prüfen ist, wird vom Kollektorhersteller festgelegt.

Der Kollektor ist der Sonnenstrahlung so lange auszusetzen, bis mindestens 30 Tage vergangen sind und die in Tabelle 3 angegebene Mindeststrahlungssumme H erreicht ist. Die Strahlungssumme wird aus der unter Verwendung eines Pyranometers gemessenen Bestrahlungsstärke bestimmt.

Außerdem muss der Kollektor für mindestens 30 h der in Tabelle 3 angegebenen, mit einem Pyranometer gemessenen Mindestbestrahlungsstärke G ausgesetzt werden, wobei die Umgebungslufttemperatur höher als der in Tabelle 3 angegebene Wert sein muss oder Bedingungen herrschen müssen, die nach Gleichung (C.1) zu derselben Kollektortemperatur führen. Diese 30 h müssen sich aus Zeiträumen von mindestens 30 min zusammensetzen.

Falls die Prüfungen mit schnellem äußeren und inneren Temperaturwechsel mit der Freilandbewitterung 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 festgelegten 30 h durchgeführt werden.

Tabelle 3 — Klimatische Referenzbedingungen für die Freilandbewitterung sowie für die Prüfung mit schnellem äußeren und inneren Temperaturwechsel

	Wert für die Klimaklasse		
	Klasse C Gemäßigt	Klasse B Sonnig	Klasse A Sehr sonnig
Globale solare Bestrahlungsstärke G in der Kollektorebene im Verlauf von mindestens 30 h (oder 15 h, falls vorbehandelt wurde), in W/m^2 /Umgebungstiefsttemperatur, t_a , in $^{\circ}C$	850/10	950/15	1 050/20
Globale Tageseinstrahlungssumme H in der Kollektorebene bei der Freilandbewitterung im Verlauf von mindestens 30 Tagen, in MJ/m^2	420	540	600
Globale Tageseinstrahlungssumme H in der Kollektorebene bei Vorbehandlung im Verlauf von mindestens 15 Tagen, in MJ/m^2	210	270	300
ANMERKUNG Die angegebenen Werte sind Mindestwerte für die Prüfung. Für die Werte der Bestrahlungsstärke und der Tageseinstrahlungssumme muss jeweils dieselbe Klasse angewendet werden.			

Expositionsprüfungen in Innenräumen unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators dürfen durchgeführt werden, um die festgelegte Dauer von 30 h oder 15 h und/oder die festgelegte Tageseinstrahlungssumme nach Ablauf der 30 h oder 15 h zu erreichen. Die Dauer der Prüfzyklen darf höchstens 8 h betragen, und sie muss eine Abkühlphase von mindestens 4 h umfassen, um den Kollektor zwischen den einzelnen Zyklen auf einen Wert nahe der Umgebungstemperatur abzukühlen.

5.5.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Beschädigung oder Qualitätsminderung untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung müssen zusammen mit einer Aufzeichnung der während der Prüfung herrschenden klimatischen Bedingungen einschließlich der Tageseinstrahlungssumme, der Temperatur der Umgebungsluft und der Regenmenge angegeben werden. Die Angabe des Untersuchungsergebnisses muss so erfolgen, wie in 5.12, Endüberprüfung, festgelegt.

5.6 Prüfung mit schnellem äußeren Temperaturwechsel

5.6.1 Zweck

Kollektoren können an heißen Sonnentagen gelegentlichen plötzlichen Regenschauern ausgesetzt sein, wodurch eine starke äußere Temperaturänderung hervorgerufen wird. Diese Prüfung dient dem Zweck, die Fähigkeit eines Kollektors zu beurteilen, solchen schnellen Temperaturwechseln ohne Schaden standzuhalten.

5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator installiert werden. Flüssigkeitskollektoren dürfen nicht mit der Wärmeträgerflüssigkeit oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt sein. 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). Bei Luftkollektoren muss verhindert werden, dass am Eintritt oder am Austritt Wasser eindringt.

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 gegen die 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 speziellen Flüssigkeit füllen, abdichten und den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aus dem genormten Dampfdruck/Temperatur-Verhältnis 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 für 1 h 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 muss zwei schnellen äußeren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

5.6.3 Prüfbedingungen

Es sind die in Tabelle 3 angegebenen Referenzbedingungen anzuwenden. Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare Bestrahlungsstärke (oder simulierte Bestrahlungsstärke) G größer als der in Tabelle 3 angegebene Wert;
- Umgebungslufttemperatur t_a größer als der in Tabelle 3 angegebene Wert.

oder Bedingungen, die nach Gleichung (C.1) zur selben Kollektortemperatur führen.

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

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

5.6.4 Ergebnisse

Der Kollektor muss auf Risse, Verwindung, Kondensation, eingedrungenes Wasser oder Vakuumverlust untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Prüfbericht anzugeben. Die gemessenen Werte der solaren Bestrahlungsstärke, der Umgebungslufttemperatur, der Temperatur des Wärmeträgerkanals (falls gemessen), der Wassertemperatur und des Massenstroms des Wassers sind ebenfalls anzugeben.

5.7 Prüfung mit schnellem inneren Temperaturwechsel

5.7.1 Zweck

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

5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator installiert werden (siehe Bild A.9). Flüssigkeitskollektoren dürfen nicht mit der Wärmeträgerflüssigkeit oder einer anderen Flüssigkeit gefüllt sein. Ein Zuleitungsrohr für die Wärmeträgerflüssigkeit muss über ein Absperrventil mit der entsprechenden Quelle verbunden sein, während das andere Rohr anfangs offen zu lassen ist, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen und die Wärmeträgerflüssigkeit aus dem Absorber austreten (und gesammelt werden) kann. Falls der Kollektor über mehr als zwei Kollektoranschlüsse verfügt, müssen die verbleibenden Öffnungen in einer Weise abgedichtet werden, die das geplante Flussverhalten im Kollektor sicherstellt.

Am Absorber kann wahlweise ein Temperaturfühler angebracht sein, damit seine Temperatur während der Prüfung überwacht werden kann. Der Temperaturfühler muss in der heißesten Region des Absorbers angebracht sein. Diese Position muss zusammen mit den Ergebnissen im Prüfbericht angegeben werden. Bei Flüssigkeitsflachkollektoren kann davon ausgegangen werden, dass sich die heißeste Region auf 2/3 der Absorberhöhe und bei der Hälfte der Absorberbreite befindet. Der Temperaturfühler muss sicher befestigt sein, damit guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss gegen die 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 speziellen Flüssigkeit füllen, abdichten und den Druck im Absorber messen. Die Beziehung zwischen dem Innendruck und der Temperatur im Absorber sollte aus dem genormten Dampfdruck/Temperatur-Verhältnis der Flüssigkeit bekannt sein.

Der Kollektor muss für eine Dauer von 1 h einer hohen solaren Bestrahlungsstärke ausgesetzt werden, bevor er für mindestens 5 min oder so lange, bis die Absorbertemperatur unter 50 °C sinkt, mit der Wärmeträgerflüssigkeit gekühlt wird.

Der Kollektor muss zwei schnellen inneren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

5.7.3 Prüfbedingungen

Tabelle 3 ist anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- solare Bestrahlungsstärke (oder simulierte Bestrahlungsstärke) G größer als der in Tabelle 3 angegebene Wert;
- Umgebungslufttemperatur t_a höher als der in Tabelle 3 angegebene Wert.

oder Bedingungen, die nach Gleichung (C.1) zur selben Kollektortemperatur führen.

Bei Flüssigkeitskollektoren muss die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit weniger als 25 °C betragen. Es wird empfohlen, einen Massenstrom von mindestens 0,02 kg/s je Quadratmeter Aperturfläche anzuwenden (sofern der Hersteller nichts anderes festgelegt hat). Bei Luftkollektoren darf die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit nicht über der Umgebungstemperatur liegen. Die Durchflussgeschwindigkeit bzw. der Massenstrom muss dem vom Hersteller festgelegten Höchstwert entsprechen.

5.7.4 Ergebnisse

Der Kollektor ist auf Risse, Verwindung, Verformung, eingedrungenes Wasser oder Vakuumverlust zu untersuchen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind im Prüfbericht anzugeben. Außerdem sind die gemessenen Werte der solaren Bestrahlungsstärke, der Temperatur der Umgebungsluft, der Temperatur des Wärmeträgerkanals vor Beginn der Prüfung (sofern gemessen), der Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit am Eintritt und des Massenstroms der Wärmeträgerflüssigkeit sind ebenfalls anzugeben.

5.8 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

5.8.1 Zweck

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

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

5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.8.2.1 Allgemeines

Der Kollektor ist an einen Heißwasserkreislauf anzuschließen. Der Kollektor muss in einem Prüfstand mit dem kleinsten vom Hersteller empfohlenen Winkel zur Horizontalen angeordnet sein. Ist dieser Winkel nicht festgelegt, so muss der Kollektor mit einem Neigungswinkel zur Horizontalen von 30° angeordnet sein (siehe Bild 1). Kollektoren, die für den Einbau in eine Dachkonstruktion vorgesehen sind, müssen auf einem simulierten Dach montiert werden, wobei ihre Unterseite geschützt sein muss. Alle anderen Kollektoren müssen auf übliche Weise in einem offenen Rahmen oder auf einem simulierten Dach montiert werden.

Der Kollektor ist mit Wasser einer Temperatur von weniger als 30 °C zu besprühen. Das Besprühen muss über eine Dauer von 4 h erfolgen. Während dieser Phase ist der Absorber warm zu halten. Dazu ist 50 °C warmes Wasser durch den Absorber zu leiten. Wird entschieden, den Nachweis von eingedrungenem Wasser (5.8.2.3) im Rahmen der Endüberprüfung durchzuführen, muss der Kollektor für eine Dauer von mindestens 4 h im Prüfstand für die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser verbleiben, ohne dass der Absorber in dieser Zeit erwärmt wird. Danach ist der Kollektor bis zum Nachweis von eingedrungenem Wasser (5.8.2.3) so zu lagern, dass die Ergebnisse nicht beeinflusst werden. Der Nachweis von eingedrungenem Wasser im Rahmen der Endüberprüfung muss frühestens 4 h und spätestens 48 h nach Abschluss des Besprühens erfolgen. Wird das Wiegeverfahren gewählt, so ist der Kollektor innerhalb von 4 h bis 5 h nach dem Besprühen zu wiegen. Unnötiger Transport des Kollektors sollte vermieden werden.

ANMERKUNG Wird die Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser im Freien durchgeführt, so sollte der Kollektor beschattet werden, um die Temperatur des Absorbers bei etwa 50 °C zu halten.

5.8.2.2 Nachweis von eingedrungenem Wasser

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

Falls das Wiegeverfahren zu einer fehlerhaften Beurteilung führt, muss die Endüberprüfung durchgeführt werden, um festzustellen, ob der Prüfling bestanden oder nicht bestanden hat.

Wird das Wiegeverfahren gewählt, so ist der Kollektor vor Beginn der Prüfung dreimal hintereinander auf die Waage zu stellen. Die drei so gemessenen Werte dürfen um höchstens $\pm 5 \text{ g/m}^2$ der Brutto-Kollektorfläche voneinander abweichen. Nach dem Besprühen (5.8.2.2) ist der Kollektor erneut dreimal hintereinander zu wiegen. Auch in diesem Falle dürfen die drei Messwerte um höchstens $\pm 5 \text{ g/m}^2$ der Brutto-Kollektorfläche voneinander abweichen. Die so ermittelte Wassermenge darf nicht größer als 30 g/m^2 der Brutto-Kollektorfläche sein. Die Standardunsicherheit der Waage muss besser als 5 g/m^2 der Brutto-Kollektorfläche sein.

Bei der Endüberprüfung (nach 5.12) ist der Kollektor im Hinblick auf die folgenden Kriterien zu untersuchen:

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

ANMERKUNG 1 Bei der Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren sollten die Befestigungsmittel der Vakuumröhren dahingehend überprüft werden, ob sie für den Ablauf von Wasser ausgelegt sind.

ANMERKUNG 2 Von entscheidender Bedeutung beim Wiegeverfahren ist, dass die Außenseite des Kollektors vor und nach dem Besprühen gesäubert und getrocknet werden muss. Wird hierfür ein Druckluftgerät verwendet, so sollte dies so erfolgen, dass kein Wasser in das Kollektorgehäuse eindringt oder aus diesem austritt.

5.8.3 Prüfbedingungen

Der Wasserdruck muss auf 300 kPa ($\pm 50 \text{ kPa}$) gehalten werden. Für die erforderlich Sprühdüsen gelten die folgenden Festlegungen:

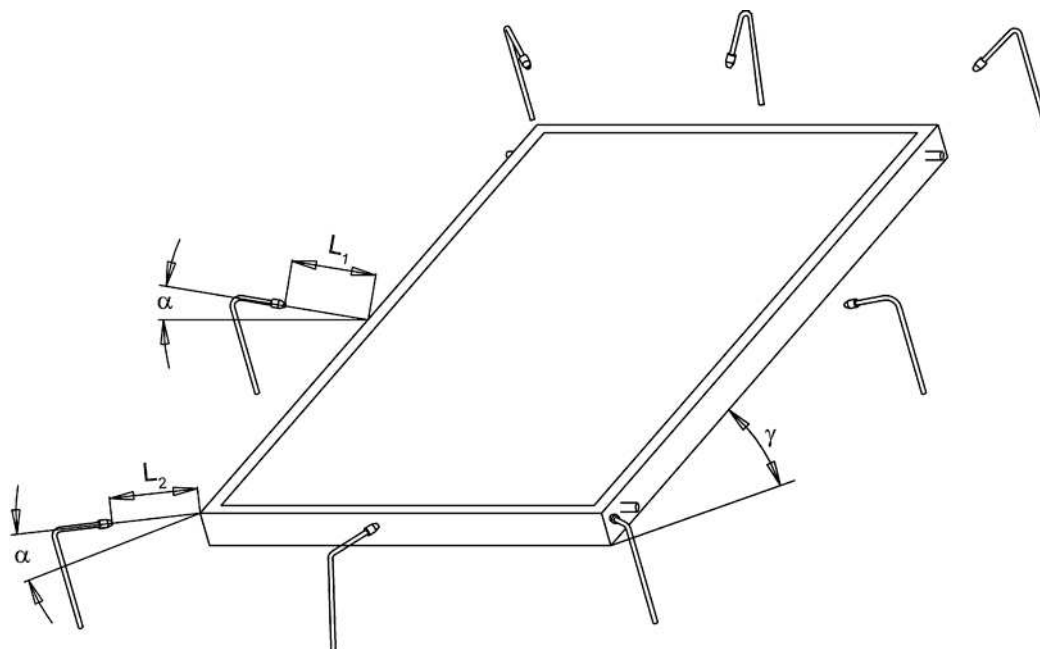
- vollkonische Sprühdüsen;
- Massenstrom 2 kg/min ($\pm 0,5 \text{ kg/min}$) je Düse;
- Sprühwinkel $60^\circ \pm 5^\circ$.

ANMERKUNG Ist die Tropfengröße in den Datenblättern zur Sprühdüse festgelegt, so sollte sie mindestens $150 \mu\text{m}$ betragen.

Die Anordnung der Sprühdüsen muss Bild 1 und damit den folgenden Angaben entsprechend erfolgen:

- Jedes Gehäuse ist an allen Ecken gleichmäßig zu besprühen.
- Sämtliche der in Bild 1 und Bild 3 dargestellten Flächen müssen besprüht werden.
- Die Sprühköpfe sind an der Seite des Kollektors anzuordnen. Es sind mindestens 8 Sprühköpfe zu verwenden.
- Die Sprühdüsen sind unter einem Winkel von $30^\circ (\pm 5^\circ)$ zur Kollektorebene auf den Kollektor zu richten.
- Die Sprühköpfe sind in einem Abstand von 250 mm ($\pm 50 \text{ mm}$) zu den Ecken und in einem Abstand von 250 mm bis 400 mm zu den Seiten des Kollektors anzuordnen (siehe Bild 1).
- Der Abstand der Sprühdüsen darf nicht größer als 150 cm sein.

ANMERKUNG Bei der Prüfung von Flachkollektoren mit Mittelbalken sollte der Bereich des Mittelbalkens ebenfalls besprüht werden.



Legende

L_1 250 mm bis 400 mm

L_2 250 mm

α 30°

γ 30°

Bild 1 — Anordnung von Kollektor und Sprühdüsen für die Prüfung auf eingedrunenes Regenwasser

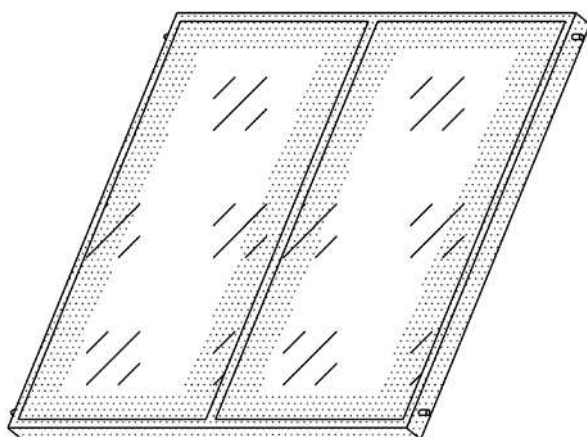


Bild 2.a — Zu besprühende Flächen bei Flachkollektoren (einschließlich Mittelbalken)

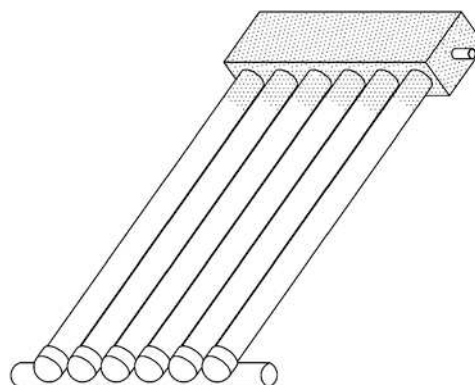


Bild 2.b — Zu besprühende Flächen bei Vakuum-Röhrenkollektoren

5.8.4 Ergebnisse

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

5.9 Frostbeständigkeitsprüfung

5.9.1 Zweck

Diese Prüfung dient zur Beurteilung, inwieweit Flüssigkeitskollektoren, für die der Hersteller Frostbeständigkeit angibt, beständig gegen Frost- und Frost-Tau-Wechselbeanspruchung sind. Diese Prüfung ist nicht für Kollektoren vorgesehen, in deren Einbauanweisung klar angegeben ist, dass sie nur mit Frostschutzmittel oder Luft verwendet werden dürfen, sofern keine anderen Flüssigkeiten zum Einsatz kommen, die gegebenenfalls einfrieren können, wie z. B. bei einigen Wärmerohren.

Es werden zwei Prüfverfahren empfohlen:

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

5.9.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.9.2.1 Frostbeständige Kollektoren

Für die Prüfung von Kollektoren, die als frostbeständig bezeichnet werden, muss der Kollektor in einer Kältekammer installiert werden (siehe Bild A.11). Der Kollektor muss korrekt aufgestellt werden und ist vollständig zu verschließen; der Neigungswinkel des Kollektors zur Horizontalen muss der kleinste vom Hersteller empfohlene Winkel sein. Falls vom Hersteller kein Winkel festgelegt wurde, muss der Kollektor in einem Winkel von 30° zur Horizontale geneigt werden. Unabgedeckte Kollektoren sind in horizontaler Lage zu prüfen, es sei denn, dies wird vom Hersteller ausgeschlossen. Anschließend ist der Kollektor bei Betriebsdruck mit Wasser zu füllen.

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

Die Wassertemperatur muss während der gesamten Prüfung überwacht werden.

5.9.2.2 Kollektoren mit Ablassschutz

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

Falls 5 min nach Beginn des Entleerungsprozesses die aus dem Kollektor abgelassene Wassermenge etwa 95 % der gesamten Wassermenge entspricht, mit der der Kollektor gefüllt war, ist eine Prüfung in der Kältekammer nicht erforderlich.

Die Temperatur 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.

5.9.3 Prüfbedingungen

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

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

5.9.4 Ergebnisse

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

5.10 Mechanische Belastungsprüfung

5.10.1 Überdruckprüfung des Kollektors

5.10.1.1 Zweck

Diese Prüfung dient zur Beurteilung, inwieweit die transparente Abdeckung des Kollektors und das Kollektorgehäuse in der Lage sind, der Druckbeanspruchung durch die Einwirkung von Wind und Schnee standzuhalten.

5.10.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss auf einer ebenen Unterlage mit Hilfe der vom Hersteller für die Montage vorgesehenen Originalausrüstung horizontal angeordnet werden. Für die Belastung des Kollektors dürfen verschiedene Verfahren angewendet werden.

Bei Abdeckung mit Folie und Verwendung von Kies oder Wasser:

Der Kollektor muss mit einer Folie abgedeckt werden; auf dem Kollektorrahmen muss ein hölzerner oder metallischer Rahmen angeordnet sein, dessen Höhe ausreicht, um die erforderliche Menge an Kies oder einem ähnlichen Material aufzunehmen (siehe Bild A.12).

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

Bei Verwendung von Saugnäpfen:

Für diese Prüfung kann der Kollektor auch nach 5.10.2.2 installiert und die Belastung mit Hilfe von Saugnäpfen aufgebracht werden. In diesem Falle sind die Saugnäpfe so gleichmäßig wie möglich auf der Kollektorfläche zu verteilen. Die Saugnäpfe dürfen die durch die mechanische Belastung verursachte Bewegung der Kollektorabdeckung nicht behindern.

Bei Beaufschlagung der Kollektorabdeckung mit von Luftdruck:

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

5.10.1.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in maximalen Schritten von 250 Pa bis zum Versagen oder bis zu dem vom Hersteller festgelegten Wert zu erhöhen. Der Anfangsdruck kann durch die Prüfstelle festgelegt werden. Der Prüfdruck muss mindestens 2 400 Pa betragen. Ein Versagen kann sowohl die Zerstörung der Abdeckung als auch die dauerhafte Verformung des Kollektorgehäuses oder der Befestigungen sein. Die entsprechende Fläche ist die Aperturfläche des Kollektors. Zwischen den einzelnen Druckerhöhungsschritten ist so lange abzuwarten, bis sich der Druck stabilisiert hat, mindestens jedoch für eine Dauer von 5 min.

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

5.10.1.4 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, $SF_+ = 1,5$:

$$F_{\text{perm}+} = F_{\text{max}+} / SF_+ \text{ mit } SF_+ = 1,5$$

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

5.10.2 Unterdruckprüfung des Kollektors

5.10.2.1 Zweck

Diese Prüfung dient der Beurteilung, inwieweit die Befestigungselemente zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse in der Lage sind, durch Wind verursachten Abhebe- bzw. Zugkräften standzuhalten.

Die Statik der Einbauanlage ist in Übereinstimmung mit EN 1991 auszulegen.

5.10.2.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss mit Hilfe der vom Hersteller für die Montage vorgesehenen Originalausrüstung horizontal angeordnet werden. Für die Belastung des Kollektors dürfen verschiedene Verfahren angewendet werden

Die Kollektorabdeckung ist gleichmäßig einer Zugkraft auszusetzen, die der festgelegten negativen Druckkraft entspricht. Die Belastung ist in Schritten von 250 Pa 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.

- Verfahren (A): Die Belastung darf mittels einer Gruppe gleichmäßig verteilter Saugnäpfe auf die Kollektorabdeckung aufgebracht 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 werden eine Luftquelle und ein Druckmessgerät mit dem Luftspalt des Kollektors verbunden. Durch Druckausübung auf das Kollektorgehäuse wird ein auf die Kollektorabdeckung wirkender negativer Druck erzeugt. Aus Sicherheitsgründen muss der Kollektor mit einer transparenten Umhüllung versehen werden, damit das Personal während der Prüfung im Falle eines Schadens geschützt ist.
- Verfahren (C): Bei Vakuum-Röhrenkollektoren dürfen zur Verteilung der Kräfte entlang der Röhren Seile verwendet werden.

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

5.10.2.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in maximalen Schritten von 250 Pa bis zum Versagen oder bis zu dem vom Hersteller festgelegten Wert zu erhöhen. Der Anfangsdruck kann durch die Prüfstelle festgelegt werden. Der Prüfdruck muss mindestens 2 400 Pa betragen. Ein Versagen kann sowohl die Zerstörung der Abdeckung als auch die dauerhafte Verformung des Kollektorgehäuses oder der Befestigungen sein.

ANMERKUNG 1 Eine dauerhafte Verformung sollte einem Belastungswert zugewiesen werden, während dieser nach jeder Belastungszunahme von 250 Pa vollständig abnimmt und die Verwindung im Vergleich mit dem Beginn der Prüfreihe gemessen wird. Der Wert einer nicht zulässigen dauerhaften Verformung beträgt maximal 0,5 % (Beispiel: Verwindungen von 10 mm auf einer Länge des Kollektorgestells von 2 m).

ANMERKUNG 2 Bei Röhrenkollektoren ohne Spiegel oder Reflektoren kann der Wert der Zugbelastung durch Unterdruck sehr gering sein.

5.10.2.4 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 $SF = 2$:

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

5.11 Schlagfestigkeitsprüfung

5.11.1 Zweck

Diese Prüfung dient der Beurteilung, inwieweit ein Kollektor den Wirkungen schwerer Schläge, die von durch Hagelkörner verursacht werden, standhalten kann.

Die Prüfung der Schlagfestigkeit von Sonnenkollektoren kann nach einem von zwei Verfahren erfolgen, d. h. unter Verwendung von Eis- oder Stahlkugeln. Da die Stahlkugeln beim Aufschlag keine Verformungsenergie aufnehmen, wird davon ausgegangen, dass das Stahlkugelfahren bei Verwendung von Kugeln derselben kinetischen Energie strenger als das Eiskugelfahren ist. Aus diesem Grunde ist das Verfahren 2 (Stahlkugel) nur für „Bestanden/Nicht bestanden“-Urteile heranzuziehen. Falls das Verfahren 2 zu einem Versagen des Kollektors führt, muss dies durch eine Prüfung nach Verfahren 1 bestätigt werden.

5.11.2 Verfahren 1: Schlagfestigkeitsprüfung mit Eiskugeln

ANMERKUNG Da das Prüfverfahren 1 im Hinblick auf die Hagelfestigkeit näher an der Realität ist, ist dieses Verfahren vorzugsweise anzuwenden.

5.11.2.1 Prüfeinrichtung

- Formen aus geeignetem Material zum Gießen von Eiskugeln des erforderlichen Durchmessers. Die Durchmesser sind in Tabelle 4 angegeben;
- auf $-10\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ geregelter Gefrierschrank;
- ein Vorratsbehälter zur Lagerung der Eiskugeln bei einer Temperatur von $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
- ein Katapult, der in der Lage ist, eine Eiskugel innerhalb von $\pm 5\%$ mit der vom Hersteller in Übereinstimmung mit Tabelle 4 festgelegten Geschwindigkeit so zu treiben, dass die Kugel innerhalb der festgelegten Auftreffstelle der Kollektor aufschlägt;
- ein starrer Rahmen zur Auflagerung des Kollektors, so dass dieser mit der Auftrefffläche senkrecht zur Flugbahn der Eiskugel steht; das Auflager muss steif genug sein, sodass im Moment des Auftreffens nur eine vernachlässigbare Verdrehung oder Durchbiegung auftritt;

ANMERKUNG In einigen Fällen kann auch die Schlagfestigkeit unter anderen Auftreffwinkeln als dem rechten von Interesse sein.

- f) eine Waage, zur Bestimmung der Masse einer Eiskugel mit einer Standardunsicherheit von $\pm 2 \%$;
- g) ein 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 eine schematische Darstellung einer geeigneten Einrichtung; sie besteht aus einem pneumatischen horizontal wirkenden Katapult, einer Halterung für einen Vertikalkollektor und einem Geschwindigkeitsmessgerät, wenn er die Eiskugel braucht, um die Entfernung zwischen zwei Lichtstrahlen zu überqueren, das elektronisch die Zeit misst, die eine Eiskugel benötigt, um den Abstand zwischen zwei Lichtstrahlen zu überwinden. Dies ist jedoch nur ein Beispiel, denn auch andere Arten von Prüfeinrichtungen, einschließlich solcher mit Schleuder- oder Federmechanismen haben sich im Einsatz bewährt.

5.11.2.2 Eiskugeln

Die Eiskugeln müssen aus Wasser hergestellt werden. Sie müssen völlig frei von Luftblasen sein und dürfen keine mit bloßem Auge sichtbaren Risse haben. Der Normdurchmesser beträgt 25 mm, für besondere Umgebungen dürfen aber auch die in Tabelle 4 aufgeführten Durchmesser festgelegt werden. Das Prüfverfahren wird mit Eiskugeln durchgeführt, die eine Temperatur von $-4 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ haben.

Tabelle 4 — Eiskugelmassen und Prüfungsgeschwindigkeiten (nach IEC-Festlegung)

Durchmesser mm	Masse g	Geschwindigkeit ms^{-1}	Kinetische Energie [J]
25	7,53	23,0	2,0
35	20,7	27,2	8,0
45	43,9	30,7	20,7
55	80,2	33,9	46,1
65	132,0	36,7	88,9
75	203,0	39,5	158,4

5.11.2.3 Durchführung

- a) Mit Hilfe der Formen und des Gefrierschranks ist eine für die Prüfung ausreichende Anzahl an Eiskugeln der geforderten Größe herzustellen, einschließlich einiger zum Einstellen des Katapults vor dem Versuch.
- b) Alle Eiskugeln sind auf Risse, Größe und Masse zu untersuchen. Eine Eiskugel ist brauchbar, wenn sie folgende Kriterien erfüllt:
 - 1) Mit bloßem Auge sind keine Risse erkennbar;
 - 2) der Durchmesser entspricht mit einer Grenzabweichung von $\pm 5 \%$ dem geforderten Wert;
 - 3) die Masse entspricht mit einer Grenzabweichung von $\pm 5 \%$ dem in Tabelle 4 angegebenen Nennwert;
- 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 dem nachfolgend beschriebenen Schritt g) sind auf ein simuliertes Ziel mehrere Versuchsschüsse abzugeben; dabei ist die Startvorrichtung so zu justieren, dass die mit dem in der vorgeschriebenen Position befindlichen Geschwindigkeitsmessgerät gemessene Geschwindigkeit der Eiskugel mit einer Grenzabweichung von $\pm 5\%$ der entsprechenden in Tabelle 4 angegebenen Prüfungsgeschwindigkeit der Hagelkörner entspricht.
- f) Der Kollektor ist bei Raumtemperatur in der vorgeschriebenen Halterung zu montieren, wobei die Auftrefffläche im rechten Winkel zur Flugbahn der Eiskugel liegen muss.
- g) Eine Eiskugel ist aus dem Vorratsbehälter zu nehmen und in das Katapult zu legen. Die Auftreffstelle ist anzuvisieren 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.

5.11.2.3.1 Auftreffstelle und Aufschlaggeschwindigkeit

Für die unterschiedlichen Kollektortypen gelten unterschiedliche Auftreffstellen:

a) Abgedeckte Flachkollektoren:

Die Auftreffstelle darf höchstens 5 cm von der Kante und höchstens 10 cm von der Ecke der Kollektorabdeckung entfernt sein. Innerhalb dieses Bereichs sollte die kritischste Stelle verwendet werden. (Vergleiche) Das Prüfverfahren ist mit der geringsten Eiskugelgeschwindigkeit oder einer vom Hersteller festgelegten Geschwindigkeit zu beginnen. Für jede Eiskugelgeschwindigkeit eines Prüfdurchlaufs muss eine andere Ecke gewählt werden. Jeder Prüfdurchlauf mit einer bestimmten Geschwindigkeit umfasst 4 Schüsse.

ANMERKUNG 1 Die kritischsten Stellen sind häufig die Glaskanten.

ANMERKUNG 2 Bei großen modular aufgebauten Kollektoren mit mehreren identischen Abdeckungen ist die Prüfung eines einzelnen repräsentativen Moduls mit einer entsprechenden Abdeckungsfläche ausreichend.

b) Unabgedeckte Kollektoren:

Es gelten dieselben Festlegungen wie für abgedeckte Kollektoren. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass auch die die Wärmeträgerflüssigkeit führenden Rohre getroffen werden. Falls dies aufgrund der gegebenen geometrischen Gestalt nicht möglich ist, müssen andere sinnvolle Auftreffstellen erwogen werden. Unabgedeckte Kollektoren müssen mit Wasser oder einer geeigneten Wärmeträgerflüssigkeit gefüllt sein. Die Kollektoren müssen bei einem mindestens dem atmosphärischen Druck entsprechenden Druck geprüft werden.

c) Vakuum-Röhrenkollektoren:

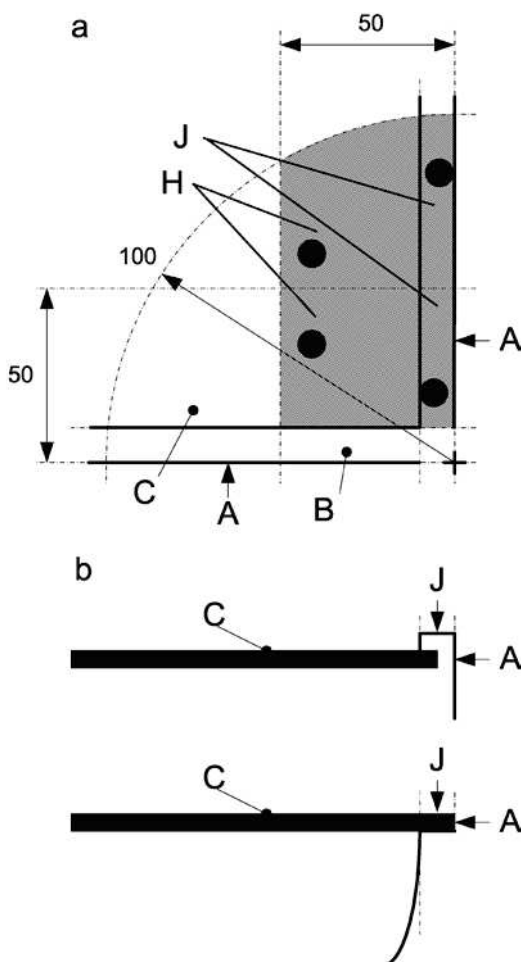
Die Auftreffstelle muss sich in einer Entfernung von weniger als 10 cm vom oberen oder unteren Rand (der sichtbaren Apertur) befinden. Falls die Klemmen zwischen den inneren und äußeren Glasröhren nicht abgedeckt sind, muss auch dieser Bereich berücksichtigt werden. Bei zwei Röhren wird auf das obere Ende geschossen („oben“). Und bei zwei weiteren Röhren wird auf das untere Ende geschlossen („unten“). Die Flugbahn muss im rechten Winkel zur Röhrenachse verlaufen. (Vergleiche) Das Prüfverfahren ist mit der geringsten nach Tabelle 4 zulässigen Eiskugelgeschwindigkeit oder einer vom Hersteller festgelegten Geschwindigkeit zu beginnen. Für jede Eiskugelgeschwindigkeit muss eine nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Röhre des Kollektors geprüft werden. Jeder Prüfdurchlauf mit einer bestimmten Geschwindigkeit umfasst 4 Schüsse je Röhre (jeweils 2 am oberen und 2 am unteren Ende).

ANMERKUNG Bei Vakuum-Röhrenkollektoren ist ein ganzes Modul (nicht nur eine einzige Röhre) mit der geforderten Mindestrohranzahl zu prüfen (siehe unten).

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

Die Auftreffstellen müssen gleichmäßig über die gesamte Kollektorfläche verteilt sein. Die Koordinaten der Auftreffstellen müssen vor der Prüfung festgelegt, im Prüfprüfbericht angegeben und mit Fotos dokumentiert werden. Jeder Prüfdurchlauf mit einer gewissen Geschwindigkeit umfasst 4 Schüsse.

ANMERKUNG Sind weitere offensichtlich kritische Stellen sichtbar, die einen Einfluss auf die Gebrauchstauglichkeit oder die Sicherheit des Kollektors haben (z. B. Rahmen, Befestigungselemente, freiliegende flüssigkeitsführende Teile, Spiegel usw.), so müssen diese ebenfalls geprüft werden. Jede dieser Stellen ist durch viermaligen Beschuss mit der gewählten Geschwindigkeit zu prüfen. Diese kritischen Stellen müssen im Prüfbericht angegeben und dokumentiert werden.

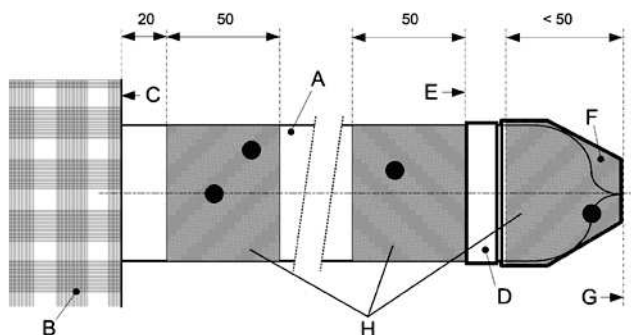


Legende

- A Rand der Brutto-Kollektorfläche
- B Kante
- C Abdeckung
- H Auftreffzonen (auf der Abdeckung)
- J Auftreffzonen (auf den Kanten des Rahmens oder der Abdeckung)

Bild 3a) — Auftreffzonen bei Flachkollektoren (Vorderansicht (a) und 2 Schnittbilder (b)).

Der fett gedruckte Punkt ist ein Beispiel für die Mitte der Auftreffstelle des Projektils in der betreffenden Zone. Maße in mm.



Legende

- A Vakuum-Röhre
- B Sammlergehäuse
- C Aperturrand bei Sammlern
- D Rohrklemme (Auflager)
- E Rand der Rohrauflegerklemme
- F Rohrendverschluss
- G Kollektorende (oder Rohrende, sofern ohne Endverschluss)
- H Auftreffzonen

Bild 3b) — Auftreffzonen für Vakuum-Röhrenkollektoren (Vorderansicht, ein Rohr dargestellt). Der fett gedruckte Punkt ist ein Beispiel für die Mitte der Auftreffstelle des Projektils in der betreffenden Zone. Maße in mm.

5.11.3 Verfahren 2: Schlagfestigkeitsprüfung mit Stahlkugeln

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 Verwindung oder Durchbiegung auftritt.

Zur Simulation eines starken Schlages sind Stahlkugeln zu verwenden. Wenn der Kollektor horizontal aufgestellt ist, werden die Stahlkugeln senkrecht fallen gelassen; ist er vertikal aufgestellt, so 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 4-mal auf den Kollektor fallen, dann 4-mal von der zweiten Prüfhöhe usw., bis die größte (vom Hersteller festgelegte) Prüfhöhe erreicht ist. Die Prüfung ist abubrechen, wenn der Kollektor beschädigt ist oder wenn er bei größter Prüfhöhe dem Aufschlag von 4 Stahlkugeln standgehalten hat.

Wird die Prüfung nach Verfahren 2 durchgeführt, so muss die Stahlkugel eine Masse von $150\text{ g} \pm 10\text{ g}$ haben und ist die folgende Reihe von Prüfhöhen 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.

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

5.11.4 Ergebnisse

Erscheinungsbild: Ästhetische Mängel (kleine Dellen), die weder die Funktion noch die Leistungsausbeute des Kollektors beeinträchtigen, gelten als geringfügige Fehler, die im Prüfbericht zu dokumentieren sind.

Mechanische Aspekte: Bruch des Glases oder sonstige Schäden an der Abdeckung oder anderen Kollektorteilen, die vom Prüflabor als Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit (z. B. Undichtigkeit) oder der Leistungsausbeute (durch Auflösung des Überzugs, Trübung der Abdeckung verursacht) oder als Beeinträchtigung der Sicherheit des Produkts eingestuft werden, gelten als schwerwiegende Fehler, die im Prüfbericht dokumentiert werden müssen. Bei Anwendung von Verfahren 1 sind die Ergebnisse der Untersuchung zusammen mit der Anzahl der Aufschläge, der Geschwindigkeit und dem Eiskugeldurchmesser im Prüfbericht anzugeben; bei Anwendung von Verfahren 2 sind entsprechend die Fallhöhe der Stahlkugel und die Anzahl der Aufschläge im Prüfbericht anzugeben.

5.12 Endüberprüfung

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

5.13 Prüfbericht

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

6 Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren

Die Wärmeleistung von abgedeckten Sonnenkollektoren ist nach dem zutreffenden Abschnitt 6.1, 6.2, 6.3 oder 6.4 zu prüfen.

Bei PVT-Kollektoren kann die Betriebsart des PV-Moduls (mit MPP-Nachverfolgung, -Regelung oder -Kurzschluss) erheblichen Einfluss auf die Wärmeleistung haben und muss daher im Prüfbericht angegeben werden. Wenn der Absorber von PVT-Kollektoren eng mit dem PV-Modul verbunden und das PV-Modul nicht mit einer eigenen Abdeckung versehen ist, werden diese PVT-Kollektoren aus unabgedeckt behandelt.

Die Wärmeleistung von konzentrierenden Kollektoren ist nach 6.4 zu prüfen.

6.1 kann angewendet werden, wenn zwischen gerichteter und diffuser Bestrahlungsstärke unterschieden wird. In diesem Fall sind jedoch die in 6.4 angegebenen Anforderungen zu konzentrierenden Kollektoren (einschließlich Gleichung (58)) zu befolgen.

6.1 Abgedeckte Flüssigkeitskollektoren 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. Kundenspezifisch gefertigte Kollektoren (Einbaukollektoren, z. B. in Dachkonstruktionen integrierte Kollektoren, die nicht aus werkmäßig hergestellten Modulen bestehen und die direkt am Einbauort zusammengebaut werden) können im fertigen Zustand nicht nach der vorliegenden Internationalen Norm auf ihre Wärmeleistung geprüft werden. Stattdessen darf ein Modul geprüft werden, das genauso aufgebaut ist wie der fertige Kollektor. Die Bruttofläche des Moduls sollte im Falle abgedeckter Kollektoren mindestens 2 m² und im Falle unabgedeckter Kollektoren mindestens 3 m² betragen. Die Prüfung ist nur für Kollektoren gültig, die größer sind als das geprüfte Modul.

6.1.1.2 Kollektorbefestigungsrahmen

Der Kollektorbefestigungsrahmen darf in keiner Weise die Aperturfläche des Kollektors einschränken oder die Wärmedämmung an der Rückseite oder den Seiten wesentlich beeinträchtigen. Sofern 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 senkrechtem 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 wegen des Empfangsbereiches der Einfallswinkel die für die Prüfung zur Verfügung stehende Zeit begrenzt. Eine flexiblere Lösung besteht darin, den Kollektor durch manuelle oder automatische Nachführung so zu bewegen, dass er der Sonne im Azimut folgt.

6.1.1.5 Vermeidung von Abschattung der direkten 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 hemisphärischen Sichtfeld des Kollektors ist.

Um die aus dieser Näherung resultierenden Fehler möglichst gering zu halten, muss der Kollektor an Orten aufgestellt werden, an denen während der Prüfungen keine bedeutende Sonnenstrahlung von benachbarten Gebäuden oder Oberflächen auf ihn reflektiert wird und das Sichtfeld nicht in signifikantem Maße eingeschränkt ist. Bei einigen Kollektorarten, wie 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, und es ist besonders wichtig, zu vermeiden, dass dem Kollektor Gebäude oder große Hindernisse, die sich mit einem Winkel von mehr als etwa 15° zur Horizontalen erstrecken, gegenüberliegen. Das Reflexionsvermögen der meisten rauen Oberflächen, z. B. von Gras, bewittertem Beton oder Split, ist üblicherweise gering 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 Wärmestrahlung 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 in Innenräumen 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 Vergleichspräzision der Ergebnisse zu erreichen, müssen die Kollektoren so eingebaut werden, dass die Luft die Aperturfläche sowie die Rückseite und die Seitenränder 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 vorgesehen sind, dürfen auf ihrer Rückseite gegen (künstlichen) Wind geschützt sein; ist dies der Fall, so ist das in Verbindung mit den Prüfergebnissen im Prüfbericht anzugeben.

6.1.2 Messgeräteausrüstung

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 Kurzwellenstrahlung sowohl der Sonne als auch des Himmels ist ein Pyranometer der Klasse I oder besser nach ISO 9060 zu verwenden. 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 erforderlichenfalls gereinigt werden.

Zur Messung der diffusen Kurzwellenstrahlung ist ein Pyranometer der Klasse I oder besser, ausgestattet mit einem Schattenring, oder alternativ ein Pyrhemometer zusammen mit einem Pyranometer zu verwenden.

6.1.2.1.1.2 Vorkehrungen gegen die Auswirkungen von Temperaturgradienten

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

6.1.2.1.1.3 Vorkehrungen gegen die Auswirkungen 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 Auswirkungen von Infrarotstrahlung auf die Pyranometergenauigkeit

Pyranometer, die zur Messung der Bestrahlungsstärke des Sonnenstrahlungssimulators verwendet werden, müssen so eingebaut werden, dass die Auswirkungen 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 der selben Ebene wie die Kollektorapertur 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 der gleichen Ebene wie die Kollektorapertur liegt (liegen). Zu keiner Zeit während der Prüfphase darf (dürfen) das (die) Pyranometer einen Schatten auf die Kollektorapertur werfen. Die Pyranometer sind so einzubauen, dass sie die gleichen Pegel indirekter, diffuser und reflektierter Sonnenstrahlung empfangen wie der Kollektor.

Es muss nachgewiesen werden, dass die zur Messung einer Schwankung der simulierten Bestrahlungsstärke während der Prüfphase verwendeten Verfahren und Einrichtungen die geforderte Genauigkeit aufweisen.

ANMERKUNG So wird z. B. für den am häufigsten verwendeten Sonnenstrahlungssimulatortyp, bei dem als Lichtquelle ein Lichtbogen in einem abgedichteten 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 jede einzelne Prüfperiode zu integrieren. Für Sonnenstrahlungssimulatoren ist üblicherweise keine Integration der simulierten Bestrahlung über jede (einzelne) Prüfperiode erforderlich, wenn sie mit einer stabilisierten Stromversorgung ausgestattet sind, die in der Lage ist, die Versorgungsspannung innerhalb von $\pm 0,5\%$ zu stabilisieren. Bei den meisten Typen von Sonnenstrahlungssimulatoren kann die Beziehung zwischen dem Wert des Raumintegrals der simulierten Sonnenstrahlung 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 Einfallswinkels direkter Sonnenstrahlung

Ein einfaches Gerät zur Messung des Einfallswinkels 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 Einfallswinkels 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 Wärmestraahlungsmessung

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 in Innenräumen 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 in Innenräumen muss die thermische Bestrahlungsstärke mit einer Standardunsicherheit 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, des Emissionsgrades der Oberfläche sowie des Strahlungsaustauschfaktors berechnet werden. Die von einer wärmeren Oberfläche (2) auf eine Kollektoroberfläche (1) abgegebene thermische Bestrahlungsstärke ist gegeben mit:

Besser handhabbar ist die zusätzliche thermische Bestrahlungsstärke (verglichen mit der, die vorhanden wäre, wenn Oberfläche (2) ein vollkommen schwarzer Körper bei Umgebungstemperatur wäre), die gegeben ist mit:

$$F_{12} \left(\varepsilon_2 T_2^4 - T_a^4 \right) \quad (1)$$

Strahlungsaustauschfaktoren sind in den Lehrbüchern über den Strahlungswärmeübergang 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 Bestrahlungsstärke 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 der Wärmeträgerflüssigkeit am Kollektoreintritt, die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit am Kollektoraustritt und die Temperatur der Umgebungsluft. Da die geforderte Genauigkeit und die Umgebung für diese Messungen unterschiedlich sind, können auch der Temperaturmessfühler und die zugehörige Einrichtung unterschiedlich sein.

6.1.2.3.2 Messung der Eintrittstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit (t_{in})

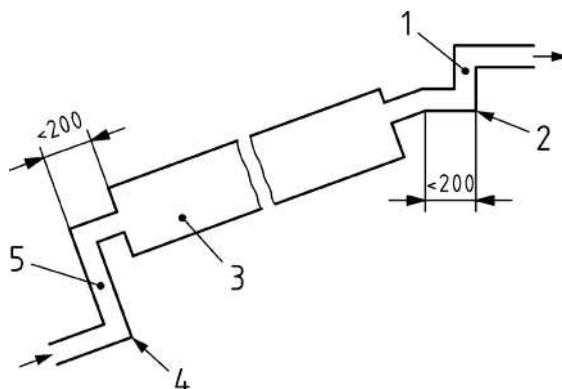
6.1.2.3.2.1 Geforderte Genauigkeit

Die Messung der Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit am Kollektoreintritt ist mit einer Standardunsicherheit von 0,1 K durchzuführen. Um jedoch zu überprüfen, dass die Temperatur mit der Zeit nicht abweicht, ist eine wesentlich höhere Auflösung des Temperatursignals von mindestens $\pm 0,02$ K erforderlich.

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

6.1.2.3.2.2 Anbringung der Messfühler

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 Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit nicht beeinträchtigt wird. Um die Durchmischung der Wärmeträgerflüssigkeit 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 4 dargestellt ist.

**Legende**

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

Bild 4 — Empfohlener Positionen der Messwertempfänger für die Messung der Ein- und Austrittstemperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit

6.1.2.3.3 Bestimmung der Temperaturdifferenz (ΔT) der Wärmeträgerflüssigkeit

Die Differenz zwischen den Kollektoraustritts- und -eintrittstemperaturen (ΔT) muss mit einer Standardunsicherheit von $< 0,05$ K bestimmt werden. Mit modernen, gut angepassten und kalibrierten Messwertempfängern können Standardunsicherheiten bis $0,02$ K erreicht werden; somit sind Temperaturunterschiede von 1 K oder 2 K in der Wärmeträgerflüssigkeit mit annehmbarer 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 Umgebungstemperatur oder die Temperatur der Umgebungsluft muss mit einer Standardunsicherheit von $0,5$ K gemessen werden.

6.1.2.3.4.2 Anbringung der Messfühler

Bei Messungen im Freien muss der Messfühler von direkter und reflektierter Sonnenstrahlung mit Hilfe eines weiß gestrichenen, gut belüfteten Schutzdachs, vorzugsweise mit Zwangsbelüftung, abgeschirmt werden. 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 Überprüfungen sichergestellt werden, dass diese Temperatur um nicht mehr als ± 1 K von der Temperatur der Umgebungsluft abweicht.

6.1.2.4 Messung der Durchflussgeschwindigkeit der Wärmeträgerflüssigkeit 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 Durchflussgeschwindigkeitsmessung muss innerhalb von ± 1 % des in Masse je Zeiteinheit gemessenen Wertes liegen. Das Durchflussmessgerät muss im Bereich der Wärmeträgerflüssigkeitsdurchflussmengen und -temperaturen kalibriert sein, die bei der Kollektorprüfung zu verwenden sind.

ANMERKUNG Die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit in volumetrischen Durchflussmessgeräten sollte mit ausreichender 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 dieses Richtungsvektors für Kollektorprüfungen nicht verwendet.

Die Beziehung zwischen der meteorologischen Windgeschwindigkeit und der Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor hängt vom Standort der Prüfeinrichtung ab, weswegen die meteorologische Windgeschwindigkeit kein brauchbarer Parameter für die Prüfung von Kollektoren ist. 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 sowohl bei Prüfungen in Innenräumen als auch bei Prüfungen im Freien mit einer Standardunsicherheit von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ zu messen. Unter den im Freien herrschenden Bedingungen ist die Geschwindigkeit der Umgebungsluft selten konstant und treten häufig 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 Anbringung der Messfühler für die Messung der Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor

Bei der Prüfung in Innenräumen 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 in Innenräumen vor und hinter den für die Leistungsmessung verwendeten Punkten 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, so dass 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 windigen 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 aufgezeichnete 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 festgelegte Standardunsicherheit von 0,1 K die kleinste Skalenteilung 0,2 °C nicht überschreiten. Die Standardunsicherheiten digitaler Messeinrichtungen und elektronischer Integratoren dürfen 1,0 % des Messwertes 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 MΩ, 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 an Wärmeträgerflüssigkeit erfolgen.

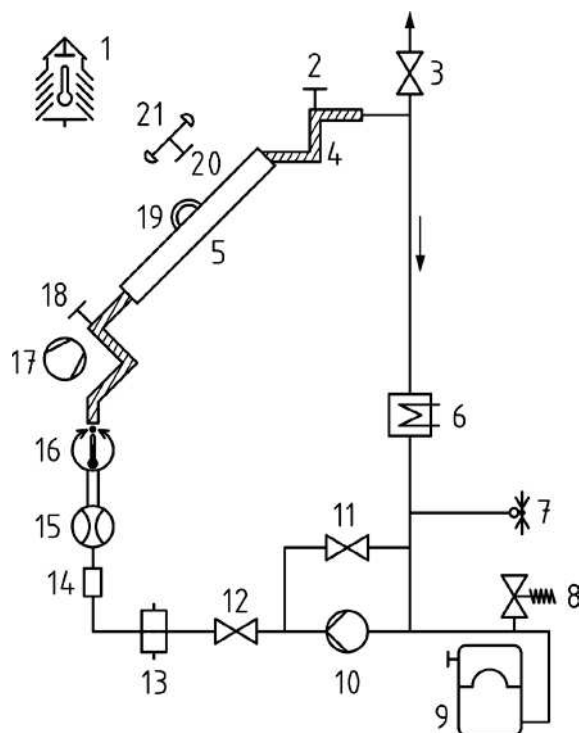
Die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit muss mit einer Grenzabweichung von $\pm 2 \text{ K}$ auf Umgebungstemperatur gehalten werden.

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

6.1.3 Prüfaufbau

6.1.3.1 Allgemeine Betrachtung

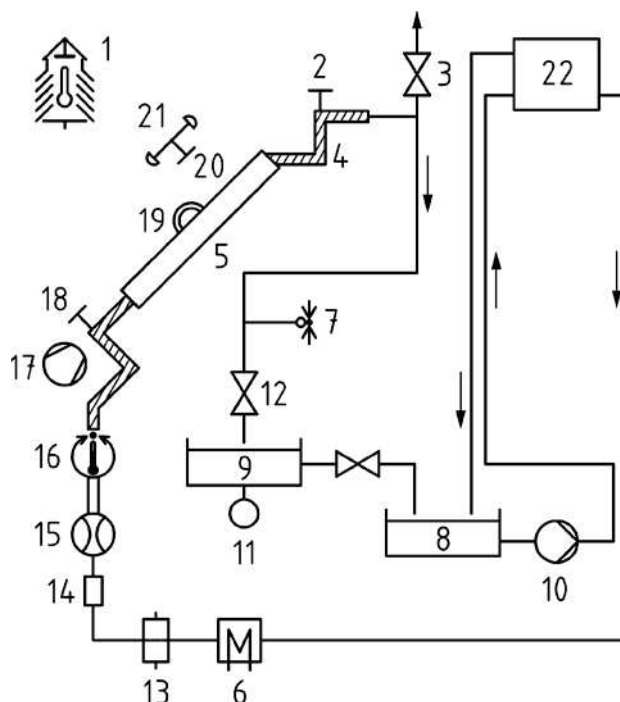
In Bild 5 und Bild 6 sind Beispiele von Prüfanordnungen für die Prüfung von Sonnenkollektoren mit einer Flüssigkeit als Wärmeträger dargestellt. Die Bilder sind nur schematische Darstellungen und nicht maßstabsgerecht.



Legende

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Umgebungsluft-Temperaturfühler | 12 Durchflussregelventil |
| 2 Temperaturfühler (t_e) | 13 Filter (200 μm) |
| 3 Entlüftung | 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 5 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs

**Legende**

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Umgebungsluft-Temperaturfühler | 12 Durchflussregelventil |
| 2 Temperaturfühler (t_e) | 13 Filter (200 μm) |
| 3 Entlüftung | 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 Vorratsbehälter | 19 Pyrgeometer |
| 9 Wiegebehälter | 20 Pyranometer |
| 10 Pumpe | 21 Anemometer |
| 11 Waage | 22 Hochbehälter |

Bild 6 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs**6.1.3.2 Wärmeträgerflüssigkeit**

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 J 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 Einfallswinkel-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 der Anlage bestätigt sein. Die Rohrlängen müssen in der Regel kurz gehalten werden. Vor allem müssen die Rohrlängen zwischen dem Ausgang des Temperaturreglers für die Wärmeträgerflüssigkeit und dem Kollektoreingang so gering wie möglich gehalten werden, um die Einflüsse der Umgebung auf die Eintrittstemperatur der Wärmeträgerflüssigkeit 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 Kollektoreintritts angeordnet werden, jedoch nicht die Temperaturregelung am Wärmeträgereintritt oder die Temperaturmessungen beeinflussen.

Für diesen Zweck eignet sich ein verstellbares Durchflussmessgerät, weil es gleichzeitig eine unabhängige optische Anzeige der Durchflussmenge gestattet. Am Kollektoraustritt und an anderen Stellen innerhalb der Anlage, an denen sich Luft ansammeln kann, sollten ein Luftabscheider und eine Entlüftung angeordnet werden.

ANMERKUNG 2 Entsprechend üblicher Praxis sollten dem Durchflussmessgerät und der Pumpe in Strömungsrichtung Filter vorgeschaltet werden (eine Filtermenngröße von $200 \mu\text{m}$ ist üblicherweise angemessen).

6.1.3.4 Pumpe und Durchflussregler

Die Wärmeträgerpumpe muss im Kollektorprüfkreislauf so angeordnet werden, dass ihre an die Wärmeträgerflüssigkeit abgegebene Verlustwärme weder die Regelung der Kollektoreintrittstemperatur noch die Messungen des Anstiegs der Wärmeträgertemperatur innerhalb des Kollektors beeinträchtigt. Bei einigen Pumpenarten können 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, den Massen- oder Volumenstrom bei einer innerhalb des Betriebsbereiches beliebig gewählten Eintrittstemperatur unabhängig von Temperaturschwankungen innerhalb von 1 % konstant zu halten.

6.1.3.5 Temperaturregelung der Wärmeträgerflüssigkeit

Der Kollektorprüfkreislauf muss in der Lage sein, bei einem beliebigen, innerhalb des Betriebsbereichs gewählten Temperaturwert die Kollektoreintrittstemperatur konstant zu halten. Da die Menge der gesammelten Energie im Kollektor aus Messungen von Augenblickswerten der Ein- und Austrittstemperaturen der Wärmeträgerflüssigkeit 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 vermeiden.

ANMERKUNG 1 Die Prüfkreisläufe dürfen über eine zweistufige Regelung der Wärmeträgereintrittstemperatur verfügen, wie in Bild 5 und Bild 6 dargestellt. Der primäre Temperaturregler sollte dem Durchflussmessgerät und dem Durchflussregler in Strömungsrichtung vorgeschaltet sein. Direkt vor dem Kollektoreintritt sollte die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit mit Hilfe eines sekundären Temperaturreglers eingestellt werden. Dieser sekundäre Temperaturregler sollte üblicherweise nicht verwendet werden, um die Temperatur der Wärmeträgerflüssigkeit um mehr als $\pm 2 \text{ K}$ einzustellen.

ANMERKUNG 2 Ein sekundärer Temperaturregler in der Nähe des Kollektoreintritts ist nützlich, vorausgesetzt, er verursacht keine Probleme durch Messung der sogenannten "mean cup"-Eintrittstemperatur. Andererseits sollten auch Umleitungen als Mittel zur Verringerung des Einflusses von Wärmeverlusten und zur Verbesserung der Regelungseigenschaften der Heizkreisläufe zulässig bleiben. Ein konstanter und hoher Massenstrom durch die Heizer ermöglicht eine PID-Regelung mit schneller I- und D-Funktion bei frei wählbarer Durchflussmenge durch den Kollektor.