

	Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile Kollektoren Teil 2: Prüfverfahren (enthält Berichtigung AC: 2002) Deutsche Fassung EN 12975-2:2001 + AC:2002	DIN EN 12975-2
ICS 27.160	Thermal solar systems and components — Solar collectors — Part 2: Test methods (including corrigendum AC: 2002); German version EN 12975-2:2001 + AC: 2002 Installations solaires thermiques et leurs composants — Capteurs — Partie 2: Méthodes d'essais (inclut corrigendum AC: 2002); Version allemande EN 12975-2:2001 + AC: 2002 Die Europäische Norm EN 12975-2:2001 einschließlich der eingearbeiteten Berichtigung AC:2002, die von CEN getrennt verteilt wurde hat den Status einer Deutschen Norm. Beginn der Gültigkeit EN 12975-2 wurde am 19. Januar 2001 angenommen. Nationales Vorwort Diese Norm wurde im Technischen Komitee CEN/TC 312 (Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile, Sekretariat: Griechenland) erarbeitet. Zuständig für die Deutsche Fassung ist der Spiegelausschuss NHRS 1.56 (Solaranlagen) zum CEN/TC 312, der beim Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) angesiedelt ist. Änderungen Gegenüber DIN V 4757-3:1995-11 und DIN V 4757-4:1995-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen: a) Inhalt der Europäischen Norm übernommen, dadurch vollständig überarbeitet. b) Berichtigung AC: 2002 übernommen. Frühere Ausgaben DIN 4757-3: 1980-11 DIN V 4757-3: 1995-11 DIN 4757-4: 1982-07 DIN V 4757-4: 1995-11	Mit DIN EN 12975-1:2001-03 Ersatz für DIN V 4757-3:1995-11 und DIN V 4757-4:1995-11 Fortsetzung 158 Seiten EN

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

— Leerseite —

ICS 27.160

Deutsche Fassung

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile

Kollektoren

Teil 2: Prüfverfahren

(enthält Berichtigung AC: 2002)

Thermal solar systems and components —
Solar collectors —
Part 2: Test methods
(including corrigendum AC: 2002)

Installations solaires thermiques et leurs composants —
Capteurs —
Partie 2: Méthodes d'essais
(inclut corrigendum AC: 2002)

Diese Europäische Norm wurde von CEN am 19. Januar 2001 angenommen.

Die Berichtigung AC wurde von CEN am 24. Juli 2002 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Einheiten	6
5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren	8
6 Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren	22
Anhang A (normativ) Prinzipskizzen für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen	69
Anhang B (normativ) Prüfprotokolle für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen	81
Anhang C (normativ) Stagnationstemperatur von Flüssigkeitskollektoren	109
Anhang D (normativ) Prüfbericht für Leistungsprüfungen von abgedeckten Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen	111
Anhang E (normativ) Zusammenfassender Prüfbericht für die Leistungsprüfung abgedeckter Sonnenkollektoren	115
Anhang F (normativ) Prüfbericht für Leistungsprüfungen von unabgedeckten Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen	119
Anhang G (normativ) Zusammenfassender Prüfbericht für die Leistungsprüfung unabgedeckter Sonnenkollektoren	124
Anhang H (normativ) Darstellung der Koeffizienten c_1 bis c_6 des Kollektormodells nach Abschnitt 6.3	128
Anhang I (informativ) Definition von Flächen an abgedeckten Flüssigkeitskollektoren	129
Anhang J (informativ) Messung der effektiven Wärmekapazität	134
Anhang K (informativ) Vergleich zwischen den beiden Kollektormodellen nach den Abschnitten 6.1 und 6.3	137
Anhang L (informativ) Physikalische Eigenschaften von Wasser (siehe ISO 9806-1)	138
Anhang M (informativ) Zusammenfassender Leistungsprüfbericht für das quasi-dynamische Prüfverfahren	139
Anhang N (informativ) Vergleich zwischen EN 12975 und ISO 9806	140
Literaturhinweise	155

Vorwort

Dieses Europäische Dokument wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat von ELOT gehalten wird.

Dieses Europäische Dokument muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2001, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2001 zurückgezogen werden.

Die Anhänge A, B, C, D, E, F, G und H sind normativ. Die Anhänge I, J, K, L, M, N und O sind informativ.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Einleitung

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

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

Die Norm gibt auch Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleistung unabgedeckter Flüssigkeitskollektoren an. Unabgedeckte Kollektoren werden in den meisten Fällen für die Beheizung von Schwimmbecken oder für andere Nutzer im niedrigeren Temperaturbereich eingesetzt. Im Allgemeinen werden die Kollektoren vor Ort zusammengebaut, wobei die Absorberstreifen untereinander mit Sammelleitungen verbunden werden. Die Flächen der Absorber betragen in der Regel 10 m^2 bis 100 m^2 . Bei unabgedeckten Absorbern werden vorgefertigte Module einer bestimmten Fläche nur selten verwendet. Deshalb muss während der Prüfung ein realistisches Strömungsbild sowie eine realistische Durchflussgeschwindigkeit vorgegeben werden.

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

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

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

Eine genaue Langzeitprognose der Leistung des Kollektors (nicht Bestandteil dieser Norm) kann ein Bestandteil dieses Prüfverfahrens sein, da für Prüfung und Prognose dasselbe Kollektormodell und dieselben Parameter verwendet werden können.

1 Anwendungsbereich

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

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

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

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

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

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

ISO 9806-1, *Test methods for solar collectors — Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop*.

ISO 9806-2, *Test methods for solar collectors — Part 2: Qualification test procedures*.

ISO 9806-3:1995, *Test methods for solar collectors — Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop*.

ISO 9846, *Solar energy — Calibration of a pyranometer using a pyrheliometer*.

ISO 9847, *Solar energy — Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer*.

ISO/TR 9901, *Solar energy — Field pyranometers — Recommended practice for use*.

EN ISO 9488, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Terminologie (ISO 9488:1999)*.

EN 12975-1:2000, *Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kollektoren — Teil 1: Allgemeine Anforderungen*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in EN ISO 9488 angegebenen Begriffe.

4 Symbole und Einheiten

a_1	algebraische Konstante, Bezug auf T_m^*	$Wm^{-2}K^{-1}$
a_2	algebraische Konstante, Bezug auf T_m^*	$Wm^{-2}K^{-2}$
A_A	Absorberfläche des Kollektors	m^2
A_a	Aperturfläche des Kollektors	m^2
A_G	Bruttofläche des Kollektors	m^2
AM	Luftmasse	
b_u	Kollektorwirkungsgradfaktor (windabhängig)	$m^{-1}s$
b_1	Kollektorwirkungsgradfaktor	$Wm^{-2}K^{-1}$
b_2	Kollektorwirkungsgradfaktor	$Wsm^{-3}K^{-1}$
c_1	Wärmeverlustkoeffizient bei $(T_m - T_a) = 0$	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_2	Temperaturabhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten	$Wm^{-2}K^{-2}$
c_3	Windabhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten	$Jm^{-3}K^{-1}$
c_4	Abhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten von der Himmelstemperatur	$Wm^{-2}K^{-1}$
c_5	effektive Wärmekapazität	$Jm^{-2}K^{-1}$
c_6	Windabhängigkeit im verlustfreien Kollektorwirkungsgrad	sm^{-1}
c_f	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers	$Jkg^{-1}K^{-1}$
C	effektive Wärmekapazität des Kollektors	JK^{-1}
D	Datum	JJMMTT
E_L	langwellige Einstrahlung ($\lambda > 3 \mu m$)	Wm^{-2}
E_β	langwellige Einstrahlung auf eine geneigte Oberfläche im Freien	Wm^{-2}
E_s	langwellige Einstrahlung	Wm^{-2}
F	Strahlungsaustauschfaktor	
F'	Kollektorwirkungsgradfaktor	
G	hemisphärische Sonnenbestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G^*	hemisphärische Sonnenbestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G''	gesamte Bestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_b	direkte Sonnenbestrahlungsstärke	Wm^{-2}
G_d	diffuse Sonnenbestrahlungsstärke	Wm^{-2}
LT	Ortszeit	h
K_θ	Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor	
K_{θ_b}	Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor für direkte Strahlung	
K_{θ_d}	Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung	
m	thermisch aktive Kollektormasse	kg
$\dot{m}$	Massenstrom des Wärmeträgers	kgs^{-1}
$\dot{Q}$	Nutzwärmeleistung des Sonnenkollektors	W
$\dot{Q}_L$	Verlustwärmeleistung des Sonnenkollektors	W
t	Zeit	s

t_a	Umgebungslufttemperatur	°C
t_{dp}	atmosphärische Taupunkttemperatur	°C
t_e	Austrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
t_{in}	Eintrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
t_m	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	°C
t_s	atmosphärische oder Himmelstemperatur	°C
t_{stg}	Stagnationstemperatur	°C
T	absolute Temperatur	K
T_a	Umgebungslufttemperatur	K
T_m^*	reduzierte Temperaturdifferenz ($= (t_m - t_a)/G^*$)	m^2KW^{-1}
T_s	atmosphärische oder äquivalente Himmelstrahlungstemperatur	K
U	gemessener Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors mit Bezug auf T_m^*	$Wm^{-2}K^{-1}$
U_L	Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors bei einheitlicher Absorbertemperatur t_m	$Wm^{-2}K^{-1}$
u	Umgebungsluftgeschwindigkeit	ms^{-1}
V_f	Wärmeträgerinhalt des Kollektors	m^3
Δp	Druckdifferenz zwischen Wärmeträgereintritt und -austritt	Pa
Δt	Zeitintervall	s
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgereintritt und -austritt ($t_e - t_{in}$)	K
α	solarer Absorptionsfaktor	
β	Neigungswinkel zu einer horizontalen Ebene	Grad
γ	Azimutwinkel	Grad
ε	hemisphärische Emission	
ω	solarer Stundenwinkel	Grad
θ	Einstrahlwinkel	Grad
Φ	geographische Breite	Grad
λ	Wellenlänge	μm
η	Kollektorwirkungsgrad mit Bezug auf T_m^*	
η_0	Eta Null (η bei $T_m^* = 0$) mit Bezug auf T_m^*	
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	$Wm^{-2}K^{-4}$
ρ	Dichte des Wärmeträgers	kgm^{-3}
τ_0	Zeitkonstante des Kollektors	s
τ	Transmissionsfaktor	
$(\tau\alpha)_e$	Produkt aus effektivem Transmissionsfaktor und Absorptionsfaktor	
$(\tau\alpha)_{ed}$	Produkt aus effektivem Transmissionsfaktor und Absorptionsfaktor für diffuse Sonnenstrahlung	
$(\tau\alpha)_{en}$	Produkt aus effektivem Transmissionsfaktor und Absorptionsfaktor für direkte Sonnenstrahlung	
$(\tau\alpha)_{e0}$	Produkt aus effektivem Transmissionsfaktor und Absorptionsfaktor für direkte Sonnenstrahlung und Einstrahlwinkel θ	

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

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

ANMERKUNG 3 Mehr Angaben zu den Parametern der Wärmeleistungskoeffizienten c_1 bis c_6 enthält Anhang H.

5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren

5.1 Allgemeines

Die Prüfungen müssen in der Reihenfolge nach Tabelle 1 durchgeführt werden. Abweichungen von dieser Reihenfolge, die nach Übereinkunft aller beteiligten Seiten oder nach Ermessen der Prüfstelle vorgenommen wurden, müssen zusammen mit den Gründen dieser Abweichungen in den Prüfergebnissen angegeben werden.

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

ANMERKUNG Diese Prüffolge wurde im Hinblick auf eine Minimierung der Prüfkosten ermittelt, wobei sichergestellt ist, dass mögliche Auswirkungen jeder nachteiligen Beeinflussung wahrscheinlich in einer späteren Prüfung bewertet werden müssen. (So kann z. B. eindringendes Regenwasser die Folge einer Verformung des Kollektors aufgrund der Einwirkung hoher Temperaturen sein).

Tabelle 1 — Prüfreihenfolge

Folge	Abschnitt	Prüfung
1	5.2	Innendruck
2	5.3	Hochtemperaturbeständigkeit ¹⁾
3	5.4	Freilandbewitterung
4	5.5	schneller äußerer Temperaturwechsel ²⁾
5	5.6	schneller innerer Temperaturwechsel ²⁾
6	5.7	eindringendes Regenwasser ³⁾
7	5.8	Frostbeständigkeit ⁴⁾
8	5.2	Innendruck (Wiederholungsprüfung)
9	5.9	mechanische Belastung
10	6.1-6.2-6.3	Wärmeleistung
11	5.10	Schlagfestigkeit
12	5.11	Endkontrolle

¹⁾ Für organische Absorber muss die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit zuerst erfolgen, um die für die Innendruckprüfung erforderliche Stagnationstemperatur des Kollektors zu bestimmen.

²⁾ Die beiden Prüfungen mit schnellem innerem und äußerem Temperaturwechsel dürfen mit der Freilandbewitterungsprüfung oder der Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit kombiniert werden.

³⁾ Die Prüfung auf eindringendes Regenwasser ist nur für abgedeckte Kollektoren durchzuführen.

⁴⁾ Die Prüfung der Frostbeständigkeit darf nur für Kollektoren durchgeführt werden, für die Frostbeständigkeit angegeben ist.

5.2 Innendruckprüfungen für Absorber

5.2.1 Metallische Absorber

5.2.1.1 Zweck

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

5.2.1.2 Einrichtungen und Durchführung

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

5.2.1.3 Prüfbedingungen

5.2.1.3.1 Temperatur

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

5.2.1.3.2 Druck

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

Der Prüfdruck muss 15 min aufrechterhalten werden.

5.2.1.4 Ergebnisse

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

5.2.2 Absorber aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)

5.2.2.1 Zweck

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

5.2.2.2 Einrichtungen und Durchführung

5.2.2.2.1 Allgemeines

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

Die Kennwerte eines Sonnenstrahlungssimulators müssen die gleichen sein, wie die des Simulators, der für die Prüfung des Wirkungsgrades von Flüssigkeitskollektoren verwendet wird.

Am Absorber muss ein Temperaturfühler angebracht sein, damit während der Prüfung seine Temperatur überwacht werden kann. Der Temperaturfühler muss an einer Stelle in zwei Dritteln der Absorberhöhe und der halben

Absorberbreite angebracht sein. Er muss sicher befestigt sein, damit guter thermischer Kontakt mit dem Absorber sichergestellt ist. Der Temperaturfühler muss vor Sonnenstrahlung abgeschirmt sein.

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

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

Aus Sicherheitsgründen muss der Kollektor in ein transparentes Gehäuse eingeschlossen sein, um bei einer Explosion aufgrund eines Fehlers das Personal während der Prüfung zu schützen.

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

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

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

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

Der Absorber darf nach einem der folgenden Verfahren erhitzt werden:

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

Es sollten Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden, um bei Explosion aufgrund eines Fehlers das Personal während der Prüfung vor heißem Öl zu schützen.

5.2.2.2.4 Organische Absorber – Pneumatische Druckprüfung bei hoher Temperatur

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

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

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

5.2.2.3 Prüfbedingungen

5.2.2.3.1 Temperatur

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

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 2 anzuwenden.

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

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

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

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

5.2.2.3.2 Druck

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

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

5.2.2.4 Ergebnisse

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

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

5.3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

5.3.1 Zweck

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

5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

Der Kollektor muss im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator eingebaut sein und darf nicht mit Flüssigkeit gefüllt sein. Eine seiner Rohrleitungen muss verschlossen sein, um Abkühlung infolge natürlicher Luftbewegung zu vermeiden, die andere muss jedoch offen bleiben, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann.

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

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

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

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

5.3.3 Prüfbedingungen

Für alle Klimaklassen sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 3 anzuwenden.

Tabelle 3 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

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

5.3.4 Ergebnisse

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

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

5.4 Freilandbewitterung

5.4.1 Zweck

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

5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss im Freien (siehe Bild A.7) ohne Wärmeträgerfüllung eingebaut werden. Eines der Wärmeträgerrohre muss verschlossen sein, um Abkühlung durch natürliche Luftbewegung zu verhindern, während das andere offen gelassen werden muss, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann.

Die Lufttemperatur muss mit einer Messunsicherheit von 1 K und die globale Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene unter Verwendung eines Pyranometers der Klasse I nach ISO 9060 aufgezeichnet werden. Die Werte der Strahlungssumme und der mittleren Lufttemperatur müssen alle 30 min registriert werden; die Niederschlagsmenge ist täglich zu registrieren. Die Freilandbewitterung des Kollektors ist fortzuführen, bis die Prüfbedingungen erfüllt sind.

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

5.4.3 Prüfbedingungen

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 anzuwenden.

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

Falls die Temperatur der Umgebungsluft den Wert nach Tabelle 4 überschreitet, muss der Kollektor für mindestens 30 h auch der in Tabelle 4 angegebenen, mit einem Pyranometer aufgezeichneten Bestrahlungsstärke G ausgesetzt werden. Die angegebene Stundenzahl muss aus Perioden von mindestens 30 min Dauer summiert werden.

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

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

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

Klimaparameter	Werte für alle Klimaklassen
Globale Sonnenbestrahlungsstärke in der Kollektorebene, G in Wm^{-2}	850
Globale Tagesstrahlungssumme in der Kollektorebene, H in MJm^{-2}	14
Temperatur der Umgebungsluft, t_a in $^{\circ}\text{C}$	10
ANMERKUNG Die angegebenen Werte sind Mindestwerte für Prüfzwecke.	

5.4.4 Ergebnisse

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

5.5 Äußere Temperaturwechselprüfung

5.5.1 Zweck

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

5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator ohne Wärmeträgerfüllung eingebaut werden. Eines der Wärmeträgerrohre muss verschlossen sein, um Abkühlung durch natürliche Luftbewegung zu verhindern, während das andere offen gelassen werden muss, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen kann (siehe Bild A.8).

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

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

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

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

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

Der Kollektor ist zwei schnellen äußeren Temperaturwechseln auszusetzen.

5.5.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- Sonnenbestrahlungsstärke (oder simulierte Sonnenbestrahlungsstärke) G größer als der Wert nach Tabelle 4;
- Temperatur der Umgebungsluft t_a größer als der Wert nach Tabelle 4.

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

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

5.5.4 Ergebnisse

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

5.6 Innere Temperaturwechselprüfung

5.6.1 Zweck

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

5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator ohne Wärmeträgerfüllung montiert werden (siehe Bild A.9). Ein Zuleitungsrohr für den Wärmeträger muss über ein Absperrventil mit der Quelle des Wärmeträgers verbunden sein; das andere Rohr (diagonal über dem Kollektor) muss anfangs offengelassen werden, damit sich die Luft im Absorber ungehindert ausdehnen und der Wärmeträger aus dem Absorber austreten (und gesammelt werden) kann.

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

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

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

Der Kollektor muss 1 h lang einer hohen Sonnenbestrahlungsstärke ausgesetzt werden, bevor er für mindestens 5 min mit Wärmeträgerflüssigkeit gekühlt wird.

Der Kollektor muss zwei schnellen inneren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

5.6.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

- Sonnenbestrahlungsstärke (oder simulierte Sonnenbestrahlungsstärke) G größer als der Wert nach Tabelle 4;
- Temperatur der Umgebungsluft t_a größer als der Wert nach Tabelle 4.

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

5.6.4 Ergebnisse

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

5.7 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

5.7.1 Zweck

Mit dieser Prüfung, die nur für abgedeckte Kollektoren gilt, soll beurteilt werden, inwieweit abgedeckte Kollektoren in der Lage sind, das Eindringen von Regenwasser im Wesentlichen zu verhindern. Sie dürfen normalerweise weder frei fallendes Regenwasser noch Schlagregen eindringen lassen. Kollektoren dürfen über Belüftungsöffnungen und Abflussöffnungen verfügen, durch diese dürfen jedoch keine Regenschauer eindringen.

5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.7.2.1 Allgemeines

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

Der Kollektor ist auf allen Seiten von oben senkrecht zur Horizontalen unter Verwendung von Sprühdüsen oder Brausevorrichtungen zu besprühen.

5.7.2.2 Nachweis von eingedrungenem Wasser

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

- a) durch Wiegen des Kollektors (Messunsicherheit der Waage ± 1 gr); oder
- b) durch Messung der Feuchte; oder
- c) durch Messung des Kondensationsniveaus.

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

5.7.3 Prüfbedingungen

Der Kollektor ist mit Wasser mit einer Temperatur von weniger als 30 °C und einem Massenstrom von über $0,05 \text{ kg s}^{-1}$ je m^2 besprühter Fläche zu besprühen. Die Prüfdauer muss 4 h betragen. Falls das Wiegeverfahren gewählt wurde, ist der Kollektor vor Beginn der Prüfung dreimal hintereinander auf die Waage zu stellen. Die registrierten Gewichte dürfen um höchstens ± 1 gr voneinander abweichen.

5.7.4 Ergebnisse

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

5.8 Prüfung der Frostbeständigkeit

5.8.1 Zweck

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

Es werden zwei Prüfverfahren empfohlen:

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

5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.8.2.1 Frostbeständige Kollektoren

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

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

Die Wassertemperatur muss während der Prüfung überwacht werden.

5.8.2.2 Kollektoren mit Ablassschutz

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

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

Die Temperatur der Kältekammer ist zyklisch zu verändern.

Die Temperatur muss im Absorber in der Nähe der Eintrittsöffnung gemessen werden.

Nach dem letzten Zyklus muss der Kollektor erneut bei Betriebsdruck mit Wasser gefüllt werden.

5.8.3 Prüfbedingungen

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

Der Kollektor muss drei Frost/Tau-Wechseln ausgesetzt werden.

5.8.4 Ergebnisse

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

5.9 Mechanische Belastungsprüfung

5.9.1 Überdruckprüfung für die Kollektorabdeckung

5.9.1.1 Zweck

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

5.9.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

5.9.1.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in Schritten von 100 Pa bis zum empfohlenen höchsten Prüfdruck zu erhöhen; dieser muss mindestens 1 000 Pa betragen oder bei der wahlweisen Prüfung über 1 000 Pa bis zum vom Hersteller angegebenen Wert.

5.9.1.4 Ergebnisse

Der Druck, bei dem an der Kollektorabdeckung 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.

5.9.2 Unterdruckprüfung der Befestigungselemente zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse

5.9.2.1 Zweck

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

5.9.2.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

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

Prüfverfahren (a) dient nicht der Kontrolle der Festigkeit der Befestigungselemente des Kollektors. Falls eine Glasabdeckung vor den Befestigungselementen, die die Abdeckung am Kollektorgehäuse halten, versagt, ist der Druck, bei dem der Fehler aufgetreten ist, zu registrieren. Falls die Abdeckung erneut versagt, muss gefolgert werden, dass der Kollektor nicht zweckentsprechend konstruiert wurde, und die Prüfung braucht nicht fortgesetzt werden.

5.9.2.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck ist in Schritten von 100 Pa bis zum empfohlenen höchsten Prüfdruck zu erhöhen.

Der höchste Prüfdruck darf entsprechend besonderer klimatischer Bedingungen festgelegt werden, anderenfalls ist ein Wert von 1 000 Pa zu verwenden.

5.9.2.4 Ergebnisse

Alle Verformungen, die während der Untersuchung festgestellt wurden, sowie der Druck, bei dem die Abdeckung oder die Abdeckungsbefestigung versagt hat, sind anzugeben. Einzelheiten über die Schäden müssen ebenfalls angegeben werden. Falls kein Schaden auftritt, ist der höchste Druck, dem der Kollektor standgehalten hat, anzugeben.

5.9.3 Unterdruckprüfung der Kollektorbefestigungen

5.9.3.1 Zweck

Sonnenkollektoren werden im Allgemeinen mit Hilfe von Montageklammern und Tragegestellen auf einem Dach oder dem Erdboden installiert. Diese Prüfung dient der Beurteilung der Standfestigkeit der Montageklammern, Tragegestelle und Kollektorbefestigungen bei vom Wind verursachten Zugkräften.

5.9.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

Der Kollektor muss mit Hilfe der vom Hersteller gelieferten Montageelemente horizontal auf einem starren Rahmen befestigt werden. Der Kollektor muss mit einer Zugkraft belastet werden, entweder durch Wirken eines gleichmäßigen Unterdrucks auf die Oberseite des Kollektorrahmens und der Abdeckung nach Prüfverfahren (a) (siehe Abschnitt 5.9.2.2) oder durch Wirken eines gleichmäßigen Überdrucks auf die Kollektorrückseite mit Hilfe des Luftdruckes in großen luftgefüllten Säcken (siehe Bild A.14).

Der Druck ist schrittweise bis zum Endprüfdruck zu erhöhen. Falls die Befestigungselemente beim Endprüfdruck noch nicht versagt haben, kann der Druck schrittweise bis zum Versagen weiter erhöht werden. Die Zeitabschnitte zwischen den Druckerhöhungen müssen so lang sein, dass sich der Druck stabilisieren kann.

5.9.3.3 Prüfbedingungen

Der Prüfdruck muss in Schritten von je 100 Pa bis zum empfohlenen höchsten Prüfdruck erhöht werden.

Zur Anpassung an besondere klimatische Bedingungen darf der höchste Prüfdruck vom Hersteller festgelegt werden, er muss jedoch mindestens 1 000 Pa betragen.

5.9.3.4 Ergebnisse

Der Druck, bei dem die Befestigungselemente oder die Kollektorbefestigung einen Fehler aufweisen, ist zusammen mit den Einzelheiten des Fehlers im Prüfbericht anzugeben. Falls kein Fehler auftritt, ist der Höchstdruck anzugeben, dem der Kollektor standgehalten hat.

5.10 Prüfung der Schlagfestigkeit

5.10.1 Zweck

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

5.10.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

5.10.2.1 Allgemeines

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

5.10.2.2 Verfahren 1

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

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

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

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

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

5.10.2.3 Verfahren 2

Die Prüfeinrichtung besteht aus folgenden Teilen:

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

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

Die Prüfung ist wie folgt durchzuführen:

- a) Unter Verwendung der Formen und der Gefriereinrichtung ist für die Prüfung eine ausreichende Anzahl Eiskugeln der erforderlichen Größe herzustellen, einschließlich einiger zum Einstellen des Katapults vor dem Versuch.
- b) Die Eiskugeln sind auf Risse, Größe und Masse zu untersuchen. Eine Eiskugel ist brauchbar, wenn sie folgende Kriterien erfüllt:
 - mit bloßem Auge sind keine Risse erkennbar;
 - der Durchmesser beträgt $25 \text{ mm} \pm 5 \%$;
 - die Masse entspricht $\pm 5 \%$ der Masse einer Eiskugel mit 25 mm Durchmesser.
- c) Die Kugeln sind in den Vorratsbehälter zu geben und müssen dort vor der Verwendung mindestens 1 h bleiben.
- d) Es ist sicherzustellen, dass die Temperatur aller Oberflächen des Katapults, die mit den Eiskugeln in Berührung kommen können, nahe der Raumtemperatur liegt.
- e) In Übereinstimmung mit nachfolgend beschriebenem Schritt g) sind auf ein simuliertes Ziel mehrere Versuchsschüsse abzugeben; dabei ist die Startvorrichtung so zu justieren, dass die mit dem Geschwindigkeitsmessgerät gemessene Geschwindigkeit der in der vorgeschriebenen Position befindlichen Eiskugel innerhalb von $\pm 5 \%$ der geforderten Prüfgeschwindigkeit der Hagelkörner entspricht.
- f) Der Kollektor ist bei Raumtemperatur in der vorgeschriebenen Halterung zu montieren, wobei die Auftrefffläche senkrecht zur Flugrichtung der Eiskugel liegen muss.
- g) Eine Eiskugel ist aus dem Vorratsbehälter zu nehmen und in das Katapult zu legen. Die Auftreffstelle ist anzupeilen und die Kugel abzufeuern. Die Zeit zwischen der Entnahme der Eiskugel aus dem Behälter und dem Auftreffen auf den Kollektor darf 60 s nicht überschreiten.

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

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

5.10.3 Prüfbedingungen

Für die Prüfung nach Verfahren 1 muss die Masse der Stahlkugel $150 \text{ g} \pm 10 \text{ g}$ betragen; die folgende Reihe von Prüfhöhen ist zu verwenden: 0,4 m, 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m, 1,8 m und 2,0 m.

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

5.10.4 Ergebnisse

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

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

5.11 Endkontrolle

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

5.12 Prüfbericht

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

6 Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren

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

6.1 Abgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall)

6.1.1 Einbau und Standort des Kollektors

6.1.1.1 Allgemeines

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

6.1.1.2 Kollektorbefestigungsrahmen

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

6.1.1.3 Neigungswinkel

Um den internationalen Vergleich von Prüfergebnissen zu erleichtern, muss der Kollektor so eingebaut werden, dass der Neigungswinkel seiner Apertur zur Horizontalen $45^\circ \pm 5^\circ$ beträgt.

Kollektoren dürfen bei anderen Neigungswinkeln geprüft werden, als sie vom Hersteller empfohlen oder für konkrete Installationsfälle vorgeschrieben sind.

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

6.1.1.5 Schatten aus direkter Sonnenstrahlung

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

6.1.1.6 Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung

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

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

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

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

6.1.1.8 Luftgeschwindigkeit

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

6.1.2 Messgeräte

6.1.2.1 Messung der Sonneneinstrahlung

6.1.2.1.1 Pyranometer

6.1.2.1.1.1 Allgemeines

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

6.1.2.1.1.2 Maßnahmen gegen die Wirkung von Temperaturgradienten

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

6.1.2.1.1.3 Maßnahmen gegen die Wirkung von Luftfeuchte und Feuchtigkeit

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

6.1.2.1.1.4 Vorkehrungen gegen die Beeinflussung der Pyranometergenauigkeit durch infrarote Strahlung

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

6.1.2.1.1.5 Einbau von Pyranometern im Freien

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

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

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

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

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

6.1.2.1.1.7 Kalibrierintervalle

Innerhalb der letzten 12 Monate vor der (den) Kollektorprüfung(en) müssen Pyranometer nach ISO 9846 oder ISO 9847 auf die Sonnenstrahlung kalibriert werden. Jede Abweichung, die im Verlauf eines Jahres $\pm 1\%$ überschreitet, muss eine größere Kalibrierhäufigkeit oder den Ersatz des Gerätes nach sich ziehen.

ernsthafte Schäden aufweist, muss es erneut kalibriert oder ausgetauscht werden. Alle Kalibrierungen müssen unter Bezugnahme auf die radiometrische Welt-Referenz-Skala (WRR) durchgeführt werden.

6.1.2.1.2 Messung des Einstrahlwinkels direkter Sonnenstrahlung

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

6.1.2.2 Messung der Wärmestrahlung

6.1.2.2.1 Messung der thermischen Bestrahlungsstärke im Freien

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

6.1.2.2.2 Bestimmung der thermischen Bestrahlungsstärke im Raum und in Sonnenstrahlungssimulatoren

6.1.2.2.2.1 Messung

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

6.1.2.2.2.2 Berechnung

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

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

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

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

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

6.1.2.3 Temperaturmessungen

6.1.2.3.1 Allgemeines

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

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

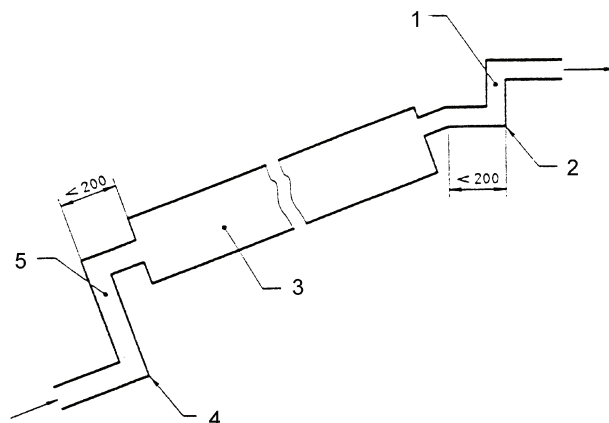
6.1.2.3.2.1 Geforderte Genauigkeit

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

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

6.1.2.3.2.2 Einbau der Temperaturfühler

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



Maße in mm

Legende

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

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

6.1.2.3.3 Bestimmung der Temperaturdifferenz ΔT des Wärmeträgers

Die Differenz ΔT zwischen den Kollektoraustritts- und -eintrittstemperaturen muss mit einer Messunsicherheit von weniger als 0,05 K bestimmt werden. Mit modernen, gut angepassten und kalibrierten Wandlern können Messunsicherheiten bis 0,02 K erreicht werden; somit sind Temperaturunterschiede von 1 K oder 2 K im Wärmeträger mit einer vernünftigen Messgenauigkeit messbar. ΔT -Messfühler sind bei entsprechendem Massenstrom und entsprechender Temperatur bei demselben Wärmeträger zu kalibrieren.

6.1.2.3.4 Messung der Umgebungslufttemperatur (t_a)

6.1.2.3.4.1 Geforderte Messgenauigkeit

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

6.1.2.3.4.2 Einbau der Temperaturfühler

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

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

6.1.2.4 Messung des Massenstromes des Wärmeträgers im Kollektor

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

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

6.1.2.5 Messung der Luftgeschwindigkeit

6.1.2.5.1 Allgemeines

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

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

6.1.2.5.2 Geforderte Genauigkeit

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

6.1.2.5.3 Anordnung von Messfühlern zur Messung der Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor

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

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

Bei der Messung im Freien an Orten mit einer mittleren Windgeschwindigkeit unter 2 ms^{-1} ist ein künstlicher Windgenerator (Gebläse) zu verwenden; zur kontinuierlichen Messung der Luftgeschwindigkeit sind Anemometermessungen durchzuführen. Die Gleichmäßigkeit der Luftgeschwindigkeit im Bereich der Kollektorapertur ist zu überprüfen.

An windstarken Orten ist die Messung der Windgeschwindigkeit in der Nähe und in halber Höhe des Kollektors durchzuführen. Der Fühler darf nicht vom Wind abgeschirmt sein und während der Prüfdauer keinen Schatten auf den Kollektor werfen. 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. Ein dauerhaft eingebautes Anemometer ist an einer Kante des Kollektors anzuordnen, um den Betrieb des Windgenerators zu überwachen. Dieses Anemometer muss auf einer Platte montiert sein, sodass eine ununterbrochene Fläche entsteht, die von der Kollektorkante bis 0,3 m hinter dem Anemometer zum Windgenerator gerichtet ist.

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

6.1.2.5.4 Kalibrierung

Das Anemometer muss jährlich neu kalibriert werden.

6.1.2.6 Druckmessungen

Der Druckabfall des Wärmeträgers über den Kollektor muss mit einem Gerät gemessen werden, dessen Fehlergrenze 5 % des gemessenen Wertes oder $\pm 10 \text{ Pa}$ beträgt, je nachdem welcher Wert der höhere ist.

6.1.2.7 Abgelaufene Zeit

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

6.1.2.8 Messgeräteausrüstung/Datenaufzeichnungsgeräte

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

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

6.1.2.9 Kollektorfläche

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

6.1.2.10 Flüssigkeitsinhalt im Kollektor

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

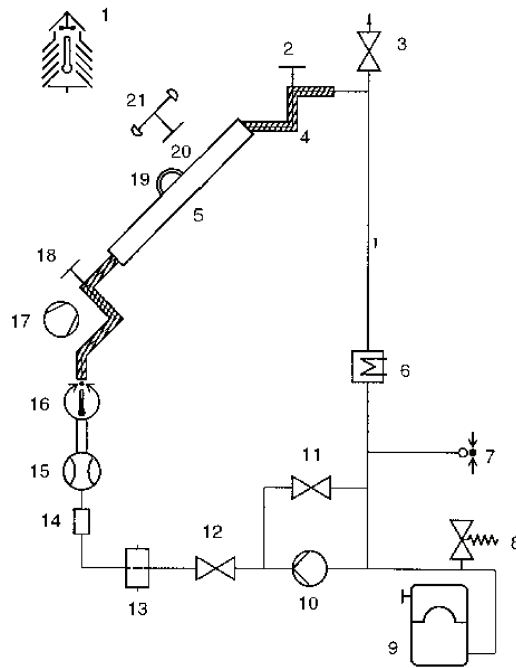
Die Temperatur des Wärmeträgers muss mit einer Grenzabweichung von $\pm 2 \text{ K}$ auf Umgebungstemperatur gehalten werden.

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

6.1.3 Prüfaufbau

6.1.3.1 Allgemeine Betrachtung

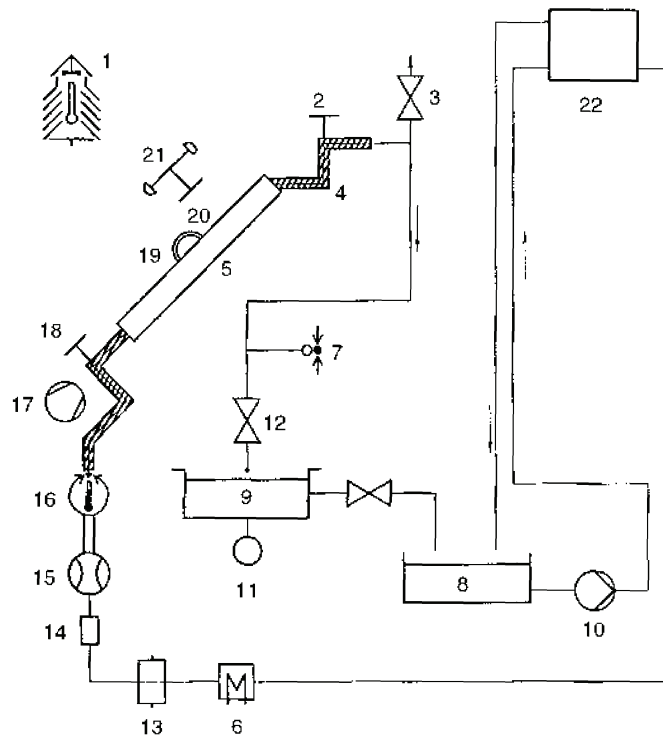
In den Bildern 2 und 3 sind Beispiele von Prüfanordnungen für die Prüfung von Sonnenkollektoren mit einer Flüssigkeit als Wärmeträger dargestellt. Die Abbildungen sind nur schematische Darstellungen und nicht maßstabsge-
recht.



Legende

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

Bild 2 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs



Legende

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

Bild 3 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs

6.1.3.2 Wärmeträger

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

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

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

6.1.3.3 Rohrleitungen und Rohrverbinder

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

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

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

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

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

6.1.3.4 Pumpe und Durchflussregler

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

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

6.1.3.5 Temperaturregelung des Wärmeträgers

Der Kollektorprüfkreislauf muss in der Lage sein, bei einem beliebigen, innerhalb des Arbeitsbereichs gewählten Temperaturwert die Kollektoreintrittstemperatur konstant zu halten. Da die Menge der gesammelten Energie im Kollektor aus Messungen von Augenblickswerten der Wärmeträgereintritts- und -austrittstemperaturen abgeleitet

wird, könnten kleine Schwankungen der Eintrittstemperatur zu Fehlern bei der Bestimmung der Menge der gesammelten Energie führen. Besonders wichtig ist es, jede Abweichung der Kollektoreintrittstemperatur zu verhindern.

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

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

6.1.4 Prüfung des Wirkungsgrades im Freien unter stationären Bedingungen

6.1.4.1 Prüfstand

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

6.1.4.2 Vorbereitung des Kollektors

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

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

Falls der Kunde nur eine Leistungsprüfung und keine Eignungsprüfungen verlangt, muss der ungefüllte Kollektor 5 h lang einer Bestrahlungsstärke von mehr als 700 Wm^{-2} ausgesetzt werden.

6.1.4.3 Prüfbedingungen

Während der Prüfung muss die Gesamtbestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors größer als 700 Wm^{-2} sein.

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

Der Einstrahlwinkel direkter Sonnenstrahlung auf die Kollektorapertur muss in einem Bereich liegen, in dem der Korrekturfaktor des Einstrahlwinkels auf den Kollektor um höchstens ± 2 % von seinem Wert bei normaler Einstrahlung abweicht. Für einzelne abgedeckte Flachkollektoren ist diese Bedingung üblicherweise erfüllt, wenn der Einstrahlwinkel direkter Sonnenstrahlung auf die Kollektorapertur geringer als 20° ist.

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

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

Falls nicht anders festgelegt, muss der Massenstrom des Wärmeträgers auf einen Wert von etwa $0,02 \text{ kg s}^{-1} \text{ je m}^2$ Kollektoraperturfläche eingestellt werden. Dieser Massenstrom ist während jeder Prüfperiode innerhalb von $\pm 1 \%$ des Einstellwertes konstant zu halten und darf von einer Prüfperiode zur anderen um höchstens $\pm 10 \%$ vom Einstellwert abweichen.

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

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

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

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

6.1.4.4 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seiner Wirkungsgradkurve ist der Kollektor bei klarem Himmel über seinen Betriebstemperaturbereich zu prüfen. Für mindestens vier Eintrittstemperaturen des Wärmeträgers, die gleichmäßig über den Betriebstemperaturbereich des Kollektors verteilt sind, sind Messdaten zu ermitteln, die den nachfolgend angegebenen Anforderungen genügen. Zur genauen Bestimmung von η_0 ist möglichst eine Eintrittstemperatur zu wählen, bei der die mittlere Flüssigkeitstemperatur im Kollektor innerhalb von $\pm 3 \text{ K}$ der Temperatur der Umgebungsluft entspricht. Falls Wasser als Wärmeträger verwendet wird, muss die höchste Temperatur mindestens bei etwa 80°C liegen.

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

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

6.1.4.5 Messungen

Folgende Größen sind zu messen:

- Bruttokollektorfläche A_G , Absorberfläche A_A und Aperturfläche A_a ;
- Wärmeträgerinhalt;
- globale Sonnenbestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors;
- diffuse Sonnenbestrahlungsstärke in der Aperturebene des Kollektors (nur im Freien);
- Einstrahlwinkel direkter Sonnenstrahlung (alternativ dazu darf dieser Winkel durch Berechnung ermittelt werden);
- Luftgeschwindigkeit parallel zur Ebene der Kollekturapertur;
- Temperatur der Umgebungsluft;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt;

— Massenstrom des Wärmeträgers.

6.1.4.6 Prüfdauer (im stationären Zustand)

Im stationären Zustand muss die Prüfdauer für einen Messpunkt aus einer Vorbereitungszeit von mindestens der vierfachen Kollektorzeitkonstante (wenn bekannt) oder mindestens 15 min (wenn die Zeitkonstante nicht bekannt ist) bei korrekter Eintrittstemperatur des Wärmeträgers und einer anschließenden Messperiode im stationären Zustand von mindestens der vierfachen Kollektorzeitkonstante (wenn bekannt) oder mindestens 10 min (wenn die Zeitkonstante nicht bekannt ist) bestehen.

Der Betrieb eines Kollektors während einer vorgegebenen Messdauer wird als stationär bezeichnet, wenn während der Messdauer keine der experimentellen Größen von ihrem Mittelwert um mehr abweicht als die in Tabelle 5 angegebenen Grenzwerte. Um nachzuweisen, dass ein stationärer Zustand existiert, müssen die in aufeinander folgenden Perioden von jeweils 30 s ermittelten Mittelwerte eines jeden Parameters mit den während einer Messperiode ermittelten Durchschnittswerten verglichen werden.

Tabelle 5 — Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messperiode

Parameter	Zulässige Abweichung vom Mittelwert
(Globale) Sonnenbestrahlungsstärke während der Prüfung	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Umgebungslufttemperatur	$\pm 1 \text{ K}$
Massenstrom des Wärmeträgers	$\pm 1 \%$
Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt	$\pm 0,1 \text{ K}$

6.1.4.7 Angabe der Ergebnisse

Die Messungen müssen so zusammengestellt werden, dass sich ein Satz von Messpunkten ergibt, die die geforderten Prüfbedingungen erfüllen (siehe Abschnitt 6.1.4.3), einschließlich der für den stationären Betrieb. Diese sind unter Verwendung der in Anhang D angegebenen Vordrucke anzugeben.

6.1.4.8 Berechnung des Kollektorwirkungsgrades

6.1.4.8.1 Allgemeines

Der Momentanwert des Wirkungsgrades eines unter stationären Bedingungen betriebenen Sonnenkollektors, wird als Verhältnis der Nutzwärmeleistung zur vom Kollektor aufgefangenen Sonnenenergie definiert. Die Nutzwärmeleistung $\dot{Q}$ wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_f \Delta T \quad (3)$$

Für c_f muss ein Wert verwendet werden, der der mittleren Temperatur des Wärmeträgers entspricht. Falls m aus einer Messung des Volumendurchflusses bestimmt wird, ist die Dichte für die Temperatur der Flüssigkeit im Durchflussmessgerät zu bestimmen.

6.1.4.8.2 Vom Kollektor aufgefangene Sonnenenergie

Unter der Voraussetzung, dass der Einfallswinkel kleiner als 20° ist, ist für einfach verglaste Flachkollektoren die Verwendung eines Korrekturfaktors für den Einfallswinkel nach Abschnitt 6.1.7 nicht erforderlich.

Wenn die aufgefangene Sonnenenergie A_G auf die Absorber-/Aperturfläche des Kollektors bezogen wird, folgt

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_G} \quad (4)$$

6.1.4.8.3 Reduzierte Temperaturdifferenz

Der Momentanwirkungsgrad ist als Funktion der reduzierten Temperaturdifferenz T_m^* grafisch anzugeben. Bei Verwendung der mittleren Temperatur des Wärmeträgers t_m mit

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (5)$$

wird die reduzierte Temperaturdifferenz nach folgender Gleichung berechnet:

$$T_m^* = \frac{t_m - t_a}{G} \quad (6)$$

6.1.4.8.4 Grafische Darstellung des Momentanwirkungsgrades

6.1.4.8.4.1 Allgemeines

Die grafische Darstellung von η muss unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate durch statistische Kurvenermittlung erfolgen, damit man eine Kurve des Momentanwirkungsgrades folgender Form erhält:

$$\eta = \eta_0 - a_1 T_m^* - a_2 G (T_m^*)^2 \quad (7)$$

Üblicherweise ist eine Parabel, die man mit Hilfe eines Regressionsverfahrens nach der Methode der kleinsten Quadrate erhalten kann, zu verwenden. Falls der für a_2 abgeleitete Wert negativ ist, darf eine Ausgleichsparabel nicht verwendet werden. Der für die Darstellung von Ausgleichsparabeln verwendete Wert G muss 800 Wm^{-2} betragen. Die Prüfbedingungen müssen auf den in Anhang D angegebenen Vordrucken angegeben werden.

Wenn die diffuse Sonnenbestrahlungsstärke weniger als 30 % beträgt, kann deren Einfluss vernachlässigt werden. Der Kollektor darf bei diffusen Bestrahlungsstärken über 30 % nicht geprüft werden.

6.1.4.8.4.2 Momentanwirkungsgrad auf Basis der Absorberfläche/Aperturfläche

Mit Bezug auf die reduzierte Temperaturdifferenz T_m^* ergeben sich für den Momentanwert des Wirkungsgrades folgende Gleichungen:

$$T_m^* = (t_m - t_a) / G \quad (8)$$

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (9)$$

mit

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{A_G} \quad (10)$$

6.1.4.8.4.3 Umrechnung der Kennwerte der Wärmeleistungsprüfung

Die Gleichungen müssen in Abhängigkeit von der Aperturfläche A_a und der Absorberfläche A_A angegeben werden. Es sind die folgenden Grundumrechnungen vorzunehmen:

$$\eta_{0A} = \eta_{0a} \frac{A_a}{A_A} \quad (11)$$

$$a_{1A} = a_{1a} \frac{A_a}{A_A} \quad (12)$$

$$a_{2A} = a_{2a} \frac{A_a}{A_A} \quad (13)$$

6.1.5 Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators

6.1.5.1 Allgemeines

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

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

6.1.5.2 Sonnenstrahlungssimulator für die Prüfung des Wirkungsgrades unter stationären Bedingungen

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

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

Die mittlere Bestrahlungsstärke über der Kollektorapertur darf während einer Prüfperiode um höchstens $\pm 3 \%$ schwanken.

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

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

$$\text{Effektivwert } (\tau\alpha) = \frac{\int_{0,3\mu}^{3\mu} \tau(\lambda) a(\lambda) G(\lambda) d\lambda}{\int_{0,3\mu}^{3\mu} G(\lambda) d\lambda} \quad (14)$$

Die Messung der spektralen Eigenschaften des Sonnenstrahlungssimulators ist in der Kollektorebene im Wellenlängenbereich von $0,3 \mu\text{m}$ bis $3 \mu\text{m}$ und in Bandbreiten von $0,1 \mu\text{m}$ oder darunter durchzuführen.

Bei bestimmten Lampentypen, d. h. Metall-Halogen-Lampen, empfiehlt es sich, die erste Spektralmessung durchzuführen, nachdem die Lampen ihre Einbrennphase abgeschlossen haben. Die Menge der infraroten Wärmestrahlungsenergie in der Kollektorebene muss auf geeignete Weise gemessen (die Messungen möglichst im Wellenlängenbereich oberhalb etwa $2,5 \mu\text{m}$, jedoch nicht über $4 \mu\text{m}$ beginnend) und angegeben werden (siehe Abschnitt 6.1.2.2).

Die thermische Bestrahlungsstärke auf den Kollektor darf die Strahlung eines schwarzen Strahlers bei Umgebungstemperatur höchstens um 5% der Gesamtbestrahlungsstärke überschreiten.

Die genaue Einstellung des Simulators muss so sein, dass für mindestens 80% der simulierten Sonnenstrahlung die Einstrahlwinkel in einem Bereich liegen, in dem der Korrekturfaktor des Einstrahlwinkels auf den Kollektor zu seinem Wert bei senkrechter Einstrahlung höchstens um $\pm 2 \%$ abweicht. Bei üblichen Flachkollektoren ist diese

Bedingung in der Regel erfüllt, wenn mindestens 80 % der an einem beliebigen Punkt des zu prüfenden Kollektors empfangenen, simulierten Sonnenstrahlung aus einem Bereich des Sonnenstrahlungssimulators stammen, der bei Betrachtung von diesem Punkt innerhalb eines gegenüberliegenden Winkels von höchstens 60° enthalten ist.

ANMERKUNG 1 Für die Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors gelten zusätzliche Anforderungen in Bezug auf die genaue Einstellung (siehe Abschnitt 6.1.7.2).

Die Bestrahlungsstärke ist während der Prüfung zu überwachen und darf während der Prüfperiode um höchstens $\pm 3 \%$ schwanken. Das zur Messung der Bestrahlungsstärke während der Prüfperiode verwendete Verfahren muss Werte für die mittlere Bestrahlungsstärke ergeben, die den durch die räumliche Integration ermittelten Werten innerhalb von $\pm 1 \%$ entsprechen.

ANMERKUNG 2 Die spektrale Verteilung der Lampen (innen) und des Himmels (außen) kann zu sehr großen Diskrepanzen bei spektralselektiven Absorbern oder Abdeckungen führen.

6.1.5.3 Prüfaufbau

Die Anforderungen hinsichtlich Montage und Standort des Kollektors nach Abschnitt 6.1.1 sind zu erfüllen.

Der Neigungswinkel des Kollektors muss so eingestellt werden, dass ein annähernd senkrecht einfallender Strahl simulierter Sonnenstrahlung empfangen wird. Der Neigungswinkel muss $(45 \pm 5)^\circ$ betragen oder auf diesen Wert korrigiert werden oder dem vom Hersteller empfohlenen Wert entsprechen. Nicht genormte Neigungswinkel erfordern zur Aufrechterhaltung der senkrechten Einstrahlung eine Simulatoranordnung mit wählbarem Neigungswinkel. Mit einem Sonnenstrahlungssimulator ist ein Gebläse zu verwenden, um einen Luftstrom nach Abschnitt 6.1.1.8 zu erzeugen.

6.1.5.4 Vorbereitung des Kollektors

Es ist das Verfahren nach Abschnitt 6.1.4.2 anzuwenden.

6.1.5.5 Durchführung der Prüfung

Der Kollektor ist in seinem Betriebstemperaturbereich etwa in gleicher Weise zu prüfen, wie es für Prüfungen im Freien festgelegt ist (siehe Abschnitt 6.1.4.4).

Für die Prüfung in Sonnenstrahlungssimulatoren sind jedoch acht Messpunkte ausreichend, unter der Voraussetzung, dass mindestens vier unterschiedliche Eintrittstemperaturen verwendet werden und eine angemessene Zeit zur Temperaturstabilisierung vorgesehen ist. Eine der Eintrittstemperaturen sollte möglichst innerhalb von $\pm 3 \text{ K}$ der Umgebungslufttemperatur entsprechen. Während der Prüfung sind Messungen nach Abschnitt 6.1.5.6 durchzuführen. Diese Messwerte dürfen dann verwendet werden, um Prüfperioden zu bestimmen, aus denen zufriedenstellende Messdaten abgeleitet werden können.

6.1.5.6 Messungen bei Prüfungen in Sonnenstrahlungssimulatoren

6.1.5.6.1 Allgemeines

Die Messungen sind nach Abschnitt 6.1.4 durchzuführen.

6.1.5.6.2 Messung der simulierten Sonnenbestrahlungsstärke

ANMERKUNG Gewöhnlich schwankt im Verlaufe einer Prüfung die simulierte Bestrahlungsstärke sowohl räumlich über der Kollektorapertur als auch zeitlich. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, ein Verfahren anzuwenden, bei dem die Bestrahlungsstärke über der Kollektorapertur integriert wird. Zeitliche Schwankungen der Bestrahlungsstärke werden in der Regel durch Schwankungen der elektrischen Versorgung verursacht sowie durch Veränderung der Lampenleistung infolge Temperatur und Betriebszeit. Einige Lampen benötigen mehr als 30 min, um nach einem Kaltstart stabile Betriebsbedingungen zu erreichen.

Zur Messung der Bestrahlungsstärke simulierter Sonnenstrahlung können Pyranometer nach Abschnitt 6.1.2.1 verwendet werden. Alternativ dazu dürfen andere Typen von Strahlungsdetektoren verwendet werden, vorausgesetzt sie wurden auf simulierte Sonnenstrahlung kalibriert. Einzelheiten der Messgeräte und verwendeten Kalibrierverfahren müssen zusammen mit den Prüfergebnissen angegeben werden. Die Verteilung der Bestrahlungsstärke

über der Kollektorapertur muss mit einem Gitter gemessen werden, dessen größte Teilung 150 mm beträgt, und der räumliche Mittelwert muss durch einfache Durchschnittsbildung abgeleitet werden.

6.1.5.6.3 Messung der thermischen Bestrahlungsstärke in Simulatoren

Die thermischen Bestrahlungsstärke in einem Sonnenstrahlungssimulator ist meist höher als die im Freien normalerweise auftretende Bestrahlungsstärke. Sie muss deshalb gemessen werden um sicherzustellen, dass sie die Grenzwerte nach Abschnitt 6.1.5.8 nicht überschreitet.

Die mittlere thermischen Bestrahlungsstärke in der Kollektorprüfebene ist bei jeder Veränderung am Simulator, die die thermischen Bestrahlungsstärke beeinflussen könnte, jedoch mindestens jährlich zu bestimmen. Die mittlere thermischen Bestrahlungsstärke in der Kollektorprüfebene und das Datum der letzten Messung sind mit den Kollektorprüfergebnissen anzugeben.

6.1.5.6.4 Umgebungslufttemperatur in Simulatoren

Die Messung der Umgebungslufttemperatur t_a in Simulatoren ist auf der Grundlage verschiedener Mittelwerte durchzuführen. Falls notwendig, müssen die Fühler abgeschirmt werden, um den Strahlungsaustausch zu minimieren. Zur Berechnung der Kollektorleistung ist die am Luftaustritt des Gebläses gemessene Lufttemperatur zu verwenden.

6.1.5.7 Prüfdauer

Die Prüfdauer kann auf gleiche Weise wie für die Prüfung des stationären Zustandes im Freien bestimmt werden.

Obwohl die stabilere Umgebung bei einer Einrichtung für die Prüfung im Raum die Aufrechterhaltung stationärer Bedingungen unter Umständen erleichtert, muss ausreichend Zeit vorgesehen werden, damit der Kollektor sicher im stationären Betrieb arbeitet, wie dies nach Abschnitt 6.1.4.6 bereits festgelegt wurde.

6.1.5.8 Prüfbedingungen

Die Prüfbedingungen für Prüfungen im Freien nach Abschnitt 6.1.4.3 sind mit folgenden Ergänzungen einzuhalten:

Die thermischen Bestrahlungsstärke in der Ebene der Kollektorapertur darf die eines schwarzen Strahlers bei Raumtemperatur um höchstens 5 % der Gesamtbestrahlungsstärke überschreiten. Die Temperatur der vom Gebläse abgegebenen Luft darf von der Temperatur der Umgebungsluft höchstens um ± 1 K abweichen.

6.1.5.9 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

Die Analyse nach Abschnitt 6.1.4.8 für Prüfungen im Freien ist auch auf Prüfungen mit Sonnenstrahlungssimulatoren anwendbar und die Ergebnisse müssen auf den Vordrucken nach Anhang D aufgeführt werden.

6.1.6 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors

6.1.6.1 Allgemeines

Die effektive Wärmekapazität und die Zeitkonstante eines Kollektors stellen wichtige Parameter dar, die dessen instationäres Verhalten bestimmen.

Ein Kollektor kann in der Regel als eine Verbindung von Massen unterschiedlicher Temperaturen betrachtet werden. Beim Betrieb eines Kollektors reagiert jede Kollektorkomponente auf einen Wechsel der Betriebsbedingungen unterschiedlich, deshalb ist es nützlich, eine effektive Wärmekapazität für den gesamten Kollektor in Betracht zu ziehen.

Die effektive Wärmekapazität hängt jedoch leider von den Arbeitsbedingungen ab und stellt keinen Kollektorparameter mit einem eindeutigen Wert dar. Bei der Messung oder Berechnung der effektiven Wärmekapazität von Kollektoren mit verschiedenen Prüfverfahren hat sich gezeigt, dass bei Verwendung sehr unterschiedlicher Verfahren ähnliche Resultate erzielt werden können. Das im Folgenden beschriebene Verfahren wird aufgrund seiner Einfachheit empfohlen.

Genauso, wie es keinen eindeutigen Wert der effektiven Wärmekapazität gibt, existiert für einen Kollektor keine eindeutige Gesamtzeitkonstante. Bei den meisten Kollektoren übt die Durchgangszeit des Wärmeträgers den bestimmenden Einfluss auf die Ansprechzeit aus. Aus diesem Grunde verändert sich die Sprungantwort mit der Durchflussmenge des Wärmeträgers. Andere Kollektorkomponenten reagieren mit unterschiedlichen Zeitkonstanten, sodass sich eine effektive Gesamtzeitkonstante ergibt, die von den Betriebsbedingungen abhängt.

6.1.6.2 Bestimmung der Wärmekapazität

Die Wärmekapazität des Kollektors C (angegeben in JK^{-1}) ist als die Summe der Produkte der Masse m_i (in kg), der spezifischen Wärmekapazität c_i (in $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) und eines Wichtungsfaktors p_i aller Kollektorb Bestandteile (Glas, Absorber, enthaltene Flüssigkeit, Wärmedämmung) zu berechnen.

$$C = \sum_i p_i m_i c_i \quad (15)$$

Der Wichtungsfaktor p_i (zwischen 0 und 1) berücksichtigt die Tatsache, dass bestimmte Bauteile nur teilweise an der thermischen Trägheit des Kollektors beteiligt sind. Die Werte für p_i sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6 — Werte für Wichtungsfaktoren

Bauteil	p_i
Absorber	1
Wärmedämmung	0,5
Wärmeträger	1
äußere Abdeckung	$0,01 \times a_1$
zweite Abdeckung	$0,2 \times a_1$
dritte Abdeckung	$0,35 \times a_1$

ANMERKUNG a_1 ist der zweite Parameter im Ausdruck für den Momentanwert des Wirkungsgrades oder des Wärmeverlustkoeffizienten.

Für Ablasssysteme sollte die Wärmekapazität für den mit Wasser gefüllten und den entleerten Kollektor angegeben werden.

Die Wärmekapazität kann auch durch Anwendung der in Anhang J beschriebenen Verfahren gemessen werden.

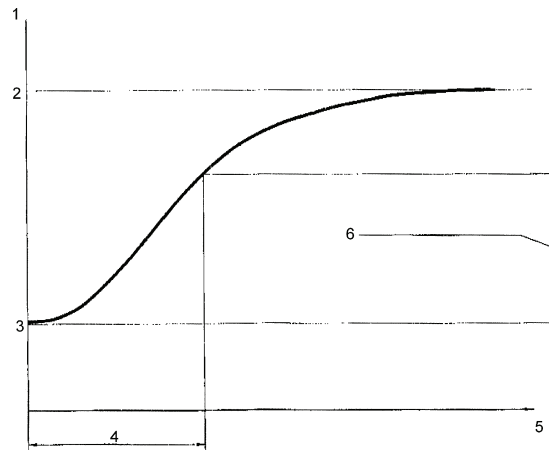
6.1.6.3 Prüfverfahren für die Kollektorzeitkonstante (wahlweise)

Die Prüfung ist entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator durchzuführen. In jedem Fall muss die Sonnenbestrahlungsstärke in der Ebene der Kollektorapertur mehr als 700 Wm^{-2} betragen. Der Wärmeträger muss den Kollektor mit der gleichen Durchflussmenge durchströmen, wie sie zur Prüfung des Kollektorstufenwirkungsgrades verwendet wird. Die Apertur des Kollektors muss von der Sonnenstrahlung mit Hilfe einer die Sonnenstrahlung reflektierenden Abdeckung abgeschirmt werden. Die Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt ist so einzustellen, dass sie annähernd gleich der Umgebungslufttemperatur ist. Nach Erreichen eines stationären Zustandes ist die Abdeckung zu entfernen und die Messung fortzusetzen, bis erneut stationäre Bedingungen erreicht werden. Für die Zwecke dieser Prüfung gilt ein stationärer Zustand als erreicht, wenn die Schwankung der Austrittstemperatur des Wärmeträgers weniger als $0,05 \text{ K}$ je Minute beträgt. Die folgenden Größen sind nach Abschnitt 6.1.2 zu messen:

- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt (t_{in});
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektorausstritt (t_e);
- Temperatur der Umgebungsluft (t_a).

6.1.6.4 Berechnung der Kollektorzeitkonstante (wahlweise)

Die Differenz zwischen der Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt und der Temperatur der Umgebungsluft $(t_e - t_a)$ ist über die Zeit aufzutragen. Dabei beginnt man mit dem ursprünglichen stationären Zustand $(t_e - t_a)_0$ und setzt die Kurve fort, bis bei einer höheren Temperatur $(t_e - t_a)_2$ der zweite stationäre Zustand erreicht wird (siehe Bild 4).



Legende

- 1 $t_e - t_a$
- 2 $(t_e - t_a)_2$
- 3 $(t_e - t_a)_0$
- 4 τ_c
- 5 Zeit
- 6 $0,632 ((t_e - t_a)_2 - (t_e - t_a)_0)$

Bild 4 — Kollektorzeitkonstante

Die Zeitkonstante τ_c des Kollektors ist definiert als die Zeit, die die Kollektoraustrittstemperatur benötigt, um 63,2 % des gesamten Anstiegs von $(t_e - t_a)_0$ bis $(t_e - t_a)_2$ nach dem schrittweisen Anstieg der Sonnenbestrahlungsstärke zum Zeitpunkt 0 zu erreichen. Falls die Ansprechzeit der Temperaturfühler im Vergleich mit der gemessenen Kollektorzeitkonstante von Bedeutung ist, muss diese bei der Berechnung der Prüfergebnisse berücksichtigt werden.

6.1.7 Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor des Kollektors

6.1.7.1 Allgemeines

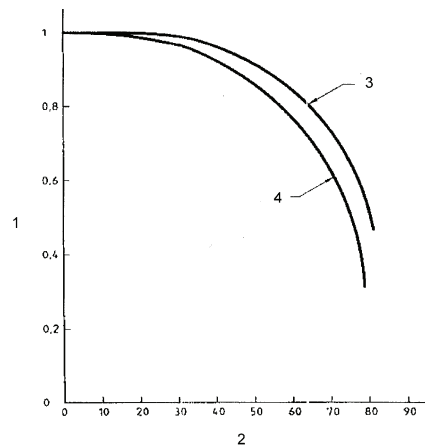
Das effektive Transmissions-Absorptions-Produkt $(\tau\alpha)_e$ kann durch den Wert bei senkrechter Einstrahlung $(\tau\alpha)_{en}$ ersetzt werden, wenn in Gleichung (16) ein weiterer Faktor eingeführt wird, der als Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor K_θ bezeichnet wird.

$$\eta = F' K_\theta (\tau\alpha)_{en} - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (16)$$

Deshalb gilt für Flachkollektoren:

$$(\tau\alpha)_e = K_\theta (\tau\alpha)_{en} \quad (17)$$

Bild 5 zeigt für zwei Sonnenkollektoren den Verlauf von K_θ in Abhängigkeit vom Einstrahlwinkel.



Legende

- 1 Korrekturfaktor des Einstrahlwinkels K_θ
- 2 Einstrahlwinkel (Grad)
- 3 Einfach abgedeckter Kollektor
- 4 Doppelt abgedeckter Kollektor

Bild 5 — Typische Einstrahlwinkel-Korrekturfaktoren K_θ

Die Bedeutung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors für die in dieser Norm aufgeführten Prüfverfahren besteht darin, dass die Werte des thermischen Wirkungsgrades für den Kollektor bei senkrechten oder fast senkrechten Einstrahlungsbedingungen bestimmt werden. Aus diesem Grunde ist für einen Flachkollektor der Schnittpunkt der Kurve des Wirkungsgrades η mit der Ordinate y gleich $F'(\tau\alpha)_{\text{en}}$. Um den Wert von K_θ zu bestimmen, muss eine getrennte Messung durchgeführt werden, sodass unter Verwendung von Gleichung (16) die Leistung des Kollektors für einen großen Bereich von Betriebsbedingungen und/oder Tageszeiten vorherbestimmt werden kann.

6.1.7.2 Sonnenstrahlungssimulator für die Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors

Zur Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors dürfen nur Sonnenstrahlungssimulatoren verwendet werden, deren genaue Einstellung wie folgt festgelegt ist:

Die Einstellung muss so sein, dass mindestens 90 % der simulierten Sonnenstrahlung auf einen beliebigen Punkt des zu prüfenden Kollektors von einem Bereich des Sonnenstrahlungssimulators ausgehen, der bei Betrachtung von diesem Punkt innerhalb eines gegenüber liegenden Winkels von höchstens 20° enthalten ist.

6.1.7.3 Durchführung der Prüfung

6.1.7.3.1 Allgemeines

Die Prüfung des Sonnenkollektors zur Bestimmung seines Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors kann nach einem von zwei Verfahren erfolgen. Im Verlauf einer jeden Prüfperiode muss der Kollektor jedoch ständig so ausgerichtet sein, dass der Einstrahlwinkel innerhalb von $\pm 2,5^\circ$ dem Einstrahlwinkel entspricht, für den die Prüfung durchgeführt wird.

6.1.7.3.2 Verfahren 1

Dieses Verfahren ist für Prüfungen im Raum unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators mit Merkmalen nach Abschnitt 6.1.5.2 anwendbar oder für Prüfungen im Freien mit einem beweglichen Prüfaufbau (Altazimut).

Kollektor-Ständer), sodass die Ausrichtung des Kollektors in Bezug auf die Richtung der einfallenden Sonnenstrahlung beliebig eingestellt werden kann.

Der Kollektor ist so auszurichten, dass der Einstrahlwinkel zwischen Kollektor und direkter Sonnenstrahlung unter Prüfbedingungen 50° beträgt. Für übliche Flachkollektoren wird dieser Winkel ausreichend sein. Für manche Kollektoren mit unüblichen optischen Leistungskennwerten, oder falls dies für die Systemsimulation gefordert wird, können Winkel von 20° , 40° , 60° oder andere notwendig sein.

Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers ist möglichst genau (vorzugsweise innerhalb von ± 1 K) auf die Temperatur der Umgebungsluft zu regeln. Der Wirkungsgrad ist nach Abschnitt 6.1.4.4 zu bestimmen.

6.1.7.3.3 Verfahren 2

Dieses Verfahren ist für Prüfungen im Freien unter Verwendung eines ortsfesten Prüfaufbaus anwendbar, bei dem die Ausrichtung des Kollektors in Bezug auf die Richtung der einfallenden Sonnenstrahlung nicht beliebig verändert werden kann (ausgenommen Einstellung des Neigungswinkels).

Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers muss soweit möglich auf die Umgebungslufttemperatur ± 1 K geregelt werden. Der Wirkungsgrad ist so zu bestimmen, dass ein Wert vor und einer nach dem solaren Mittag bestimmt werden. Der mittlere Einstrahlwinkel zwischen Kollektor und Sonnenstrahl ist für beide Datenpunkte identisch. Der Wirkungsgrad des Kollektors beim spezifischen Einstrahlwinkel ist mit dem Mittelwert aus beiden Werten gleichzusetzen.

Der Wirkungsgrad ist nach Abschnitt 6.1.4.4 zu bestimmen. Wie bei Verfahren 1 sind die Daten für einen Einstrahlwinkel von 50° zu bestimmen. Für einige Kollektoren mit unüblichen optischen Leistungskennwerten, oder falls dies für die Systemsimulation gefordert wird, können Winkel von 20° , 40° , 60° oder andere erforderlich sein.

ANMERKUNG Es liegen noch keine ausreichenden Erfahrungen vor, um zu bestätigen, dass dieses Verfahren auf besondere Geometrien wie Röhrenkollektoren anwendbar ist.

6.1.7.4 Berechnung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors des Kollektors

Unabhängig davon, welches experimentelle Verfahren nach Abschnitt 6.1.7.3 verwendet wird, sind die Werte des thermischen Wirkungsgrades des Kollektors für jeden Wert des Einstrahlwinkels zu bestimmen. Für übliche Flachkollektoren wird nur ein Einstrahlwinkel benötigt, nämlich 50° (hier ist anzumerken, dass eine Bemessungsnorm, die dieses Prüfverfahren verwendet, die Messung von K_θ für eine andere Gruppe von Einstrahlwinkeln fordern kann). Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers wird sehr nahe an der Temperatur der Umgebungsluft gehalten, sodass $(t_m - t_a) \approx 0$ beträgt. Zwischen K_θ und dem Wirkungsgrad besteht folgende Beziehung:

$$K_\theta = \frac{\eta}{F'(\tau\alpha)_{\text{en}}} \quad (18)$$

Da der Wert $F'(\tau\alpha)_{\text{en}}$ als Schnittpunkt der Wirkungsgradkurve mit der y-Achse bereits vorliegt, können die Werte von K_θ für unterschiedliche Einstrahlwinkel berechnet werden (siehe Abschnitt 6.1.7.3). Falls es nicht möglich ist, die mittlere Temperatur des Wärmeträgers auf die Umgebungslufttemperatur ± 1 K zu regeln, ist für den Kollektor eine Abschätzung von a_1 und a_2 unter Prüfbedingungen vorzunehmen. Jeder Wert für K_θ ist nach folgender Formel zu berechnen:

$$K_\theta = \frac{\eta + a_1 \frac{t_m - t_a}{G} + a_2 G \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2}{F'(\tau\alpha)_{\text{en}}} \quad (19)$$

Alternativ kann in die grafische Darstellung, die die nach den Abschnitten 6.1.4 oder 6.1.5 bestimmte Wirkungsgradkurve enthält, jeder Datenpunkt aufgetragen werden. Anschließend wird durch jeden Punkt parallel zur Wirkungsgradkurve eine Kurve gezogen, die die y-Achse schneidet. Die Werte im Schnittpunkt auf der y-Achse sind die Werte des Wirkungsgrades, die sich bei einer auf Umgebungslufttemperatur geregelten mittleren Temperatur des Wärmeträgers ergeben hätten. Deshalb können diese Werte zusammen mit Gleichung (19) verwendet werden, um die verschiedenen Werte von K_θ zu berechnen.

6.1.8 Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor

6.1.8.1 Allgemeines

Der Druckabfall über einem Kollektor kann für Planer von Kollektorsystemen von Bedeutung sein. Der für die Prüfung im Kollektor verwendete Wärmeträger muss aus Wasser oder einer Wasser-Glykol-Mischung (60:40) oder aus einer vom Hersteller empfohlenen Mischung bestehen.

Die Temperatur des Wärmeträgers muss (20 ± 2) °C betragen.

6.1.8.2 Prüfaufbau

Der Kollektor ist nach Abschnitt 6.1.1 einzubauen und mit einem Prüfkreislauf zu verbinden, der im Wesentlichen mit Abschnitt 6.1.3 übereinstimmt, obwohl zur Bestimmung des Druckabfalls eine geringere Messgeräteausrüstung erforderlich ist als zur Prüfung des Wirkungsgrades.

Der Wärmeträger muss den Kollektor von unten nach oben durchströmen. Dabei ist nach Abschnitt 6.1.3.3 der Auswahl geeigneter Rohrverbindungen am Wärmeträgereintritt und -austritt des Kollektors besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

6.1.8.3 Vorbereitung des Kollektors

Der Wärmeträger muss untersucht werden, um sicherzustellen, dass er nicht verschmutzt ist.

Um die Luft aus dem Kollektor zu treiben, ist der Kollektor mit Hilfe eines Entlüftungsventils oder anderer geeigneter Mittel zu entlüften, z. B. durch kurzzeitiges Erhöhen der Durchflussmenge der Flüssigkeit.

6.1.8.4 Durchführung der Prüfung

Der Druckabfall zwischen den Wärmeträgereintritts- und -austrittsanschlüssen des Kollektors ist für einen Bereich von Massenströmen zu bestimmen, wie er gewöhnlich unter wirklichen Betriebsbedingungen verwendet wird. Falls hinsichtlich des Massenstroms keine besonderen Empfehlungen des Herstellers vorliegen, müssen die Druckabfallmessungen über einen Massenstrombereich ausgeführt werden, der sich von $0,005 \text{ kg s}^{-1}$ bis $0,03 \text{ kg s}^{-1}$ je m^2 Kollektorfläche erstreckt. Der Ursprung des Druckabfalldiagramms — der (Punkt 0,0) — sollte ebenfalls berücksichtigt werden.

Es sind mindestens fünf Messungen bei gleichmäßig über den Massenstrombereich verteilten Werten durchzuführen.

6.1.8.5 Messungen

Die folgenden Werte sind nach Abschnitt 6.1.2 zu messen:

- a) Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt;
- b) Massenstrom des Wärmeträgers;
- c) Druckabfall des Wärmeträgers zwischen den Kollektoreintritts- und -austrittsanschlüssen.

6.1.8.6 Durch Rohrverbinder verursachter Druckabfall

Die zur Messung des Flüssigkeitsdrucks verwendeten Rohrverbinder können ihrerseits einen Druckabfall hervorrufen. Es ist ein Nullabgleich des Druckabfalls durchzuführen, indem der Kollektor aus dem Wärmeträgerkreislauf entfernt und die Druckmessung mit direkt miteinander verbundenen Rohrverbindern wiederholt wird.

6.1.8.7 Prüfbedingungen

Während der Messungen ist die Durchflussmenge des Wärmeträgers innerhalb von ± 1 % des Nennwerts zu halten.

Die Eintrittstemperatur des Wärmeträgers ist während der Messungen innerhalb von ± 5 K konstant zu halten. Während der Prüfung muss die Kollektortemperatur innerhalb von ± 10 K der Temperatur der Umgebungsluft entsprechen. Druckabfallprüfungen bei anderen Temperaturen können wichtig für Wärmeträger auf Ölbasis sein.

6.1.8.8 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

Der Druckabfall ist für jede durchgeführte Prüfung als Funktion des Massenstromes unter Verwendung der in Anhang D angegebenen Vordrucke grafisch darzustellen.

6.2 Unabgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall)

6.2.1 Montage und Standort des Kollektors

6.2.1.1 Allgemeines

Es gelten die Festlegungen nach Abschnitt 6.1.1.1.

6.2.1.2 Montage

Der Kollektor ist in der vom Hersteller angegebenen Weise zu montieren.

Der Kollektorbefestigungsrahmen darf in keiner Weise die Aperturfläche des Kollektors einschränken. Er darf die Wärmedämmung an der Rückseite oder den Seiten nicht wesentlich beeinflussen, falls nicht etwas anderes festgelegt ist (z. B. wenn der Kollektor Teil eines integrierten Dachaufbaus ist).

Kollektoren, die für die direkte Montage auf genormten Dachbelägen hergestellt sind, dürfen auf einem simulierten Dachabschnitt montiert werden. Bei im Dachaufbau integrierten Kollektoren ist für Prüfzwecke ein Modell anzufertigen, das aus einem kleinen maßstäblichen Kollektor besteht, der auf einem künstlichen Dach angeordnet ist.

Falls keine Montageanweisungen angegeben sind, ist der Kollektor auf einer wärmegeprägten Unterlage mit einem Quotient der Leitfähigkeit der Werkstoffe zur Dicke der Unterlage von $1 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1} \pm 0,3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ zu montieren. Dabei ist seine obenliegende Oberfläche matt weiß zu streichen und die Rückseite zu belüften.

ANMERKUNG Als geeigneter Werkstoff für die wärmegeprägte Unterlage können z. B. 30 mm Polystyrolschaum verwendet werden.

Der Kollektor ist so zu montieren, dass sich seine Unterkante mindestens 0,5 m über der Bodenoberfläche am Einsatzort befindet. Kollektoranordnungen, die aus Rohr- oder Streifenbauteilen hergestellt sind, sind so zu montieren, dass sich die Rohre (oder Streifen) in einem Abstand von 10 mm oder einem Durchmesser (Streifenbreite) befinden, je nachdem welches der kleinere Wert ist. Falls in den Installationsanweisungen des Herstellers ein anderer Rohr- oder Streifenabstand festgelegt ist, ist der empfohlene Abstand einzuhalten. Falls der Kollektor mit Abstandshaltern oder einer anderen Einrichtung zur Festsetzung des Rohr- (oder Streifen-)abstandes geliefert wurde, ist der Kollektor im Lieferzustand zu prüfen, und seine Geometrie ist im Prüfbericht anzugeben.

Warme Luftströme, wie sie an den Wänden eines Gebäudes aufsteigen, dürfen nicht über den Kollektor streichen. Kollektoren, die auf dem Dach eines Gebäudes geprüft werden, müssen mindestens 2 m von der Dachkante entfernt angeordnet werden.

Bei einigen Ausführungen unabgedeckter Sonnenkollektoren ist die Leistung eine Funktion der Modulgröße. Falls der Kollektor in festen Einheiten einer Fläche über 1 m^2 geliefert wird, ist eine ausreichende Anzahl von Modulen miteinander zu verbinden, damit ein Prüfsystem entsteht, dessen Apertur mindestens 3 m^2 beträgt. Falls der Kollektor in Form von Streifen geliefert wird, muss die aufgebaute Mindestmodulfläche 3 m^2 betragen (Bruttofläche).

6.2.1.3 Neigungswinkel

Der Kollektor ist bei Neigungswinkeln zu prüfen, bei denen der Einstrahlwinkel θ der direkten Sonnenstrahlung weniger als 30° beträgt, oder bei Neigungswinkeln, bei denen der Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor um weniger als $\pm 2\%$ von seinem Wert bei senkrechter Einstrahlung abweicht. Bevor die Entscheidung für einen Neigungswinkel

getroffen wird, kann es erforderlich sein, vor Beginn der Prüfungen den Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor für zwei Winkel zu überprüfen.

ANMERKUNG Bei den meisten unabgedeckten Kollektoren ist der Einfluss des Neigungswinkels und des Einstrahlwinkels der Strahlung auf den Kollektorwirkungsgrad gering. Unabgedeckte Kollektoren werden üblicherweise mit leichter Neigung montiert. Bei geringen Neigungswinkeln sollte jedoch besonders darauf geachtet werden, dass Lufteinschlüsse vermieden werden.

6.2.1.4 Kollektorausrichtung bei Aufstellung im Freien

Der Kollektor ist nach Abschnitt 6.1.1.4 auszurichten.

6.2.1.5 Schatten aus direkter Sonnenstrahlung

Der Kollektor ist nach Abschnitt 6.1.1.5 so aufzubauen, dass keine Verschattung direkter Strahlung auftritt.

6.2.1.6 Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung

Für die diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung müssen die Bedingungen Abschnitt 6.1.1.6 eingehalten werden.

6.2.1.7 Thermischen Bestrahlungsstärke

Die Leistung einiger Kollektortypen 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 Abgasleitungen vorhanden sein. Bei der Prüfung im Raum und im Simulator ist der Kollektor von heißen Flächen wie Radiatoren, Kanälen von Klimaanlage und Maschinen sowie von kalten Oberflächen wie Fenstern und Außenwänden abzuschirmen. Die Abschirmung ist sowohl auf der Vorder- als auch der Rückseite des Kollektors wichtig.

Den Hauptunterschied zwischen Prüfungen unabgedeckter Kollektoren im Raum und im Freien bildet die langwellige Wärmestrahlung. Der relative Anteil langwelliger Wärmestrahlung in einem Simulator darf höchstens $\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$ betragen (in der Regel -100 Wm^{-2} unter Bedingungen im Freien).

6.2.1.8 Geschwindigkeit der Umgebungsluft

Die Leistung unabgedeckter Kollektoren reagiert empfindlich auf die Luftgeschwindigkeit in der Nähe des Kollektors.

Um eine möglichst hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, müssen unabgedeckte Kollektoren so montiert werden, dass die Luft ungehindert über die Vorderseite und freiliegende Rück- und Seitenflächen des Kollektors strömen kann. Kollektoren, die für den Einbau in eine Dacheindeckung konstruiert sind, dürfen auf ihrer Rückseite gegen Wind geschützt sein. Dies muss jedoch mit den Prüfergebnissen angegeben werden.

Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft in einem Abstand von 100 mm oberhalb und parallel zur Kollektorapertur muss im Bereich zwischen 0 ms^{-1} und $3,5 \text{ ms}^{-1}$ liegen, wobei die in Tabelle B.1 festgelegte Grenzabweichung gilt. Falls dies unter natürlichen Bedingungen nicht erzielt werden kann, ist ein Gebläse zu verwenden. Falls ein Gebläse verwendet wird, muss der Turbulenzgrad im Bereich von 20 % bis 40 % liegen, um natürliche Windbedingungen zu simulieren. Der Turbulenzgrad ist an der Vorderkante des Kollektors, 100 mm über der Kollektoroberfläche zu messen. Der Turbulenzgrad ist unter Verwendung eines linearisierten Hitzdrahtanemometers zu überwachen, dessen Frequenzgang mindestens bis 100 Hz reicht. Falls der Absorber nicht direkt auf einem Dach oder einer Trägerplatte montiert ist, ist die Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft an der Vorder- und Rückseite des Absorbers zu kontrollieren und zu überwachen.

6.2.2 Messgeräte

6.2.2.1 Messung der Sonnenstrahlung

Es gilt die in Abschnitt 6.1.2.1 angegebene Festlegung.