

**DIN EN 12975-2****DIN**

ICS 27.160

Ersatz für  
DIN EN 12975-2:2002-12

**Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile –  
Kollektoren –  
Teil 2: Prüfverfahren;  
Deutsche Fassung EN 12975-2:2006**

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

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

Gesamtumfang 135 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN

## **Nationales Vorwort**

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

### **Änderungen**

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

- a) Überarbeitung aufgrund technischer Erneuerungen des Prüfverfahrens

### **Frühere Ausgaben**

DIN 4757-3: 1980-11

DIN V 4757-3: 1995-11

DIN 4757-4: 1982-07

DIN V 4757-4: 1995-11

DIN EN 12975-2: 2002-12

**Deutsche Fassung**

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

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

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

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Februar 2006 angenommen.

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

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

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



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

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

# Inhalt

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

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

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

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

## Bilder

<b>Bild 1 — Empfohlene Fühlerpositionen für die Messung der Eintritts- und Austrittstemperaturen des Wärmeträgers .....</b>	<b>32</b>
<b>Bild 2 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs .....</b>	<b>35</b>
<b>Bild 3 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs .....</b>	<b>36</b>
<b>Bild 4 — Kollektorzeitkonstante .....</b>	<b>46</b>
<b>Bild 5 — Typische Einfallswinkel-Korrekturfaktoren <math>K_{\theta}</math> .....</b>	<b>48</b>
<b>Bild 6 — Typischer Einfallswinkel-Korrekturfaktor .....</b>	<b>60</b>
<b>Bild 7 — <math>t_m - t_a</math> als Funktion von <math>\theta^*</math> .....</b>	<b>68</b>
<b>Bild 8 — <math>G_b</math> als Funktion von <math>\theta_1</math> .....</b>	<b>68</b>
<b>Bild 9 — <math>G_d</math> als Funktion von <math>G^*</math> .....</b>	<b>69</b>
<b>Bild 30 — Windgeschwindigkeit als Funktion von <math>\theta^*</math> .....</b>	<b>69</b>
<b>Bild A.1 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung anorganischer Absorber .....</b>	<b>74</b>
<b>Bild A.2 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber für unabgedeckte Kollektoren .....</b>	<b>74</b>
<b>Bild A.3 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Heißöleinspeisung) .....</b>	<b>75</b>
<b>Bild A.4 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Prüfung unter Sonneneinstrahlung) .....</b>	<b>75</b>
<b>Bild A.5 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber (Prüfung mit Pressluft unter Sonneneinstrahlung) .....</b>	<b>76</b>
<b>Bild A.6 — Prinzipskizze für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit (im Freien oder im Simulator) .....</b>	<b>76</b>
<b>Bild A.7 — Prinzipskizze für die Expositionsprüfung .....</b>	<b>77</b>
<b>Bild A.8 — Prinzipskizze für die schnelle äußere Temperaturwechselprüfung .....</b>	<b>77</b>
<b>Bild A.9 — Prinzipskizze für die schnelle innere Temperaturwechselprüfung .....</b>	<b>78</b>
<b>Bild A.10 — Prinzipskizze für die Prüfung auf eindringendes Regenwasser .....</b>	<b>78</b>
<b>Bild A.11 — Prinzipskizze für die Prüfung der Frostbeständigkeit .....</b>	<b>79</b>
<b>Bild A.12 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Überdruck auf der Kollektorabdeckung) .....</b>	<b>79</b>
<b>Bild A.13 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Befestigungen zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse) .....</b>	<b>80</b>
<b>Bild A.14 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Montageelementen des Kollektors) .....</b>	<b>80</b>
<b>Bild A.15 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Stahlkugeln .....</b>	<b>80</b>
<b>Bild A.16 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Eiskugeln .....</b>	<b>81</b>
<b>Bild D.1 — Leistung je Kollektormodul (für <math>G = 1\,000\text{ W/m}^2</math>) .....</b>	<b>107</b>
<b>Bild E.1 — Leistung je Kollektormodul .....</b>	<b>111</b>

## Tabellen

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

## Vorwort

Dieses Dokument (EN 12975-2:2006) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2006, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2006 zurückgezogen werden.

Dieses Dokument ersetzt EN 12975-2:2001.

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

## Einleitung

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

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

Diese Norm gibt auch Verfahren zur Bestimmung der Wärmeleistung unabgedeckter Flüssigkeitskollektoren an. Unabgedeckte Kollektoren werden in den meisten Fällen für die Beheizung von Schwimmbecken oder für andere Nutzer im Niedertemperaturbereich eingesetzt. Im Allgemeinen werden die Kollektoren vor Ort zusammengebaut, wobei die Absorberstreifen untereinander mit Sammelleitungen verbunden werden. Die Flächen der Absorber betragen in der Regel 10 m<sup>2</sup> bis 100 m<sup>2</sup>. Bei unabgedeckten Absorbern werden vorgefertigte Module einer bestimmten Fläche nur selten verwendet. Deshalb sollte während der Prüfung die Verwendung eines realistischen Strömungsbildes sowie einer realistischen Durchflussgeschwindigkeit überprüft werden.

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

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

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

## 1 Anwendungsbereich

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

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

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

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

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

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

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

## 3 Begriffe

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

## 4 Symbole und Einheiten

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

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

$t_e$	Kollektoraustrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
$t_{in}$	Kollektoreintrittstemperatur des Wärmeträgers	°C
$t_m$	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	°C
$t_s$	atmosphärische oder Himmelstemperatur	°C
$t_{stg}$	Stagnationstemperatur	°C
$T$	absolute Temperatur	K
$T_a$	Umgebungslufttemperatur	K
$T_m^*$	reduzierte Temperaturdifferenz ( $= (t_m - t_a)/G^*$ )	m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup>
$T_s$	atmosphärische oder äquivalente Himmelsstrahlungstemperatur	K
$U$	gemessener Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors mit Bezug auf $T_m^*$	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
$U_L$	Gesamtwärmeverlustkoeffizient eines Kollektors bei einheitlicher Absorbertemperatur $t_m$	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
$u$	Umgebungsluftgeschwindigkeit	ms <sup>-1</sup>
$V_f$	Wärmeträgerinhalt des Kollektors	m <sup>3</sup>
$\Delta p$	Druckdifferenz zwischen Wärmeträgereintritt und -austritt	Pa
$\Delta t$	Zeitintervall	s
$\Delta T$	Temperaturdifferenz zwischen Wärmeträgeraustritt und -eintritt ( $t_e - t_{in}$ )	K
$\alpha$	solarer Absorptionsfaktor	
$\beta$	Neigungswinkel einer Ebene zur Horizontalen	Grad
$\gamma$	Azimutwinkel	Grad
$\varepsilon$	hemisphärische Emission	
$\omega$	solarer Stundenwinkel	Grad
$\theta$	Einfallswinkel	Grad
$\Phi$	geographische Breite	Grad
$\lambda$	Wellenlänge	µm
$\eta$	Kollektorwirkungsgrad mit Bezug auf $T_m^*$	
$\eta_0$	Konversionsfaktor ( $\eta$ bei $T_m^* = 0$ ) mit Bezug auf $T_m^*$	
$\sigma$	Stefan-Boltzmann-Konstante	Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>
$\rho$	Dichte des Wärmeträgers	kgm <sup>-3</sup>
$\tau_0$	Zeitkonstante des Kollektors	s
$\tau$	Transmissionsfaktor	
$(\tau\alpha)_e$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt	
$(\tau\alpha)_{de}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für diffuse Bestrahlungsstärke	
$(\tau\alpha)_{en}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Bestrahlungsstärke bei senkrechtem Einfall	
$(\tau\alpha)_{e\theta}$	effektives Transmissions-Absorptions-Produkt für direkte Bestrahlungsstärke bei dem Einfallswinkel $\theta$	

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 Grundleteratur oft als  $(mC)_e$  angegeben (siehe auch Anhang F).

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

## 5 Zuverlässigkeitsprüfung von Flüssigkeitskollektoren

### 5.1 Allgemeines

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

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

Tabelle 1 — Liste der Prüfungen

Abschnitt	Prüfung
5.2	Innendruck
5.3	Hochtemperaturbeständigkeit <sup>a, b</sup>
5.4	Exposition <sup>b</sup>
5.5	schneller äußerer Temperaturwechsel <sup>c</sup>
5.6	schneller innerer Temperaturwechsel <sup>c</sup>
5.7	eindringendes Regenwasser <sup>d</sup>
5.8	Frostbeständigkeit <sup>e</sup>
5.9	mechanische Belastung
5.10	Schlagfestigkeit (wahlweise Prüfung)
6.1-6.2-6.3	Wärmeleistung <sup>f</sup>
<p><sup>a</sup> Für organische Absorber muss die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit zuerst erfolgen, um die für die Innendruckprüfung erforderliche Stagnationstemperatur des Kollektors zu bestimmen.</p> <p><sup>b</sup> Die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit und die Expositionsprüfung müssen am selben Kollektor ausgeführt werden.</p> <p><sup>c</sup> Die beiden Prüfungen mit schnellem innerem und äußerem Temperaturwechsel dürfen mit der Expositionsprüfung oder der Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit kombiniert werden.</p> <p><sup>d</sup> Die Prüfung auf eindringendes Regenwasser ist nur für abgedeckte Kollektoren durchzuführen.</p> <p><sup>e</sup> Die Prüfung der Frostbeständigkeit ist nur für Kollektoren durchzuführen, für die Frostbeständigkeit angegeben ist.</p> <p><sup>f</sup> Die Prüfung der Wärmeleistung darf nur an einem Kollektor durchgeführt werden, der nicht für andere Prüfungen verwendet wurde</p>	

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

## 5.2 Innendruckprüfungen für Absorber

### 5.2.1 Anorganische Absorber

#### 5.2.1.1 Zweck

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

#### 5.2.1.2 Einrichtungen und Durchführung

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

#### 5.2.1.3 Prüfbedingungen

##### 5.2.1.3.1 Temperatur

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

##### 5.2.1.3.2 Druck

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

Der Prüfdruck muss 15 min aufrechterhalten werden.

##### 5.2.1.4 Ergebnisse

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

### 5.2.2 Absorber aus organischen Werkstoffen (Kunststoffe oder Elastomere)

#### 5.2.2.1 Zweck

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

## **5.2.2.2 Einrichtungen und Durchführung**

### **5.2.2.2.1 Allgemeines**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Der Absorber darf nach einem der folgenden Verfahren erhitzt werden:

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

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

#### 5.2.2.4 Organische Absorber – Pneumatische Druckprüfung bei hoher Temperatur

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

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

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

#### 5.2.2.3 Prüfbedingungen

##### 5.2.2.3.1 Temperatur

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

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 2 anzuwenden.

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

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

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

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

##### 5.2.2.3.2 Druck

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

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

#### 5.2.2.4 Ergebnisse

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

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

### 5.3 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

#### 5.3.1 Zweck

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

#### 5.3.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 5.3.3 Prüfbedingungen

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

**Tabelle 3 — Klimatische Referenzbedingungen für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit**

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

### 5.3.4 Ergebnisse

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

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

## 5.4 Expositionsprüfung

### 5.4.1 Zweck

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

### 5.4.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

Die Lufttemperatur muss mit einer Standardmessunsicherheit von 1 K und die globale Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene unter Verwendung eines Pyranometers der Klasse I oder besser nach ISO 9060 aufgezeichnet werden. Die globale Bestrahlungsstärke und die mittlere Lufttemperatur müssen mindestens alle 5 min registriert werden; die Niederschlagsmenge ist täglich zu registrieren. Die Expositionsprüfung des Kollektors ist fortzuführen, bis die Prüfbedingungen erfüllt sind.

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

### 5.4.3 Prüfbedingungen

Es sind die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 anzuwenden.

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

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

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

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

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

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

#### 5.4.4 Ergebnisse

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

### 5.5 Schneller äußerer Temperaturwechsel

#### 5.5.1 Zweck

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

#### 5.5.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

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

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

Der Kollektor ist zwei schnellen äußeren Temperaturwechseln auszusetzen.

### 5.5.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

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

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

Die Temperatur des versprühten Wassers muss weniger als 25 °C betragen und der Massenstrom muss zwischen  $0,03 \text{ kgs}^{-1}$  und  $0,05 \text{ kgs}^{-1}$  je  $\text{m}^2$  Aperturfläche liegen.

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

### 5.5.4 Ergebnisse

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

## 5.6 Schneller innerer Temperaturwechsel

### 5.6.1 Zweck

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

### 5.6.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

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

Der Kollektor muss zwei schnellen inneren Temperaturwechseln ausgesetzt werden.

### 5.6.3 Prüfbedingungen

Die Referenzbedingungen nach Tabelle 4 sind anzuwenden.

Folgende Betriebsbedingungen sind festgelegt:

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

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

Die Temperatur des Wärmeträgers muss unter 25 °C liegen. Der Massenstrom des Wärmeträgers sollte mindestens 0,02 kgs<sup>-1</sup> je m<sup>2</sup> der Aperturfläche betragen (falls vom Hersteller nicht anders festgelegt).

### 5.6.4 Ergebnisse

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

## 5.7 Prüfung auf eingedrungenes Regenwasser

### 5.7.1 Zweck

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

### 5.7.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

#### 5.7.2.1 Allgemeines

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

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

### 5.7.2.2 Nachweis von eingedrunenem Wasser

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

- a) durch Wiegen des Kollektors (Standardunsicherheit besser als 5 g/m<sup>2</sup> Kollektorfläche); oder
- b) durch Messung der Feuchte (Standardunsicherheit besser als 5 %); oder
- c) durch Messung des Kondensationsgrades.

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

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

### 5.7.3 Prüfbedingungen

Der Kollektor ist mit Wasser mit einer Temperatur von weniger als 30 °C und einem Massenstrom von über 0,05 kg s<sup>-1</sup> je m<sup>2</sup> besprühter Fläche zu besprühen. Die Prüfdauer muss 4 h betragen.

#### 5.7.3.1 Wiegeverfahren

Falls das Wiegeverfahren gewählt wurde, ist der Kollektor vor Beginn der Prüfung dreimal hintereinander auf die Waage zu stellen. Die registrierten Gewichte dürfen um höchstens ± 5 g/m<sup>2</sup> voneinander abweichen.

#### 5.7.3.2 Messverfahren zur Bestimmung der Feuchte

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

#### 5.7.3.3 Kondensationsgrad-Verfahren

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

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

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

#### **5.7.4 Ergebnisse**

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

### **5.8 Prüfung der Frostbeständigkeit**

#### **5.8.1 Zweck**

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

Es werden zwei Prüfverfahren empfohlen:

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

#### **5.8.2 Prüfeinrichtung und Durchführung**

##### **5.8.2.1 Frostbeständige Kollektoren**

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

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

Die Wassertemperatur muss während der Prüfung überwacht werden.

##### **5.8.2.2 Kollektoren mit Ablassschutz**

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

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

Die Temperatur der Kältekammer ist zyklisch zu verändern.

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

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

### 5.8.3 Prüfbedingungen

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

#### 5.9.1.1 Zweck

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

#### 5.9.1.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

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

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

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

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

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

#### 5.9.1.3 Prüfbedingungen

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

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

#### **5.9.1.4 Ergebnisse**

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

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

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

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

### **5.9.2 Unterdruckprüfung des Kollektors**

#### **5.9.2.1 Zweck**

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

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

#### **5.9.2.2 Prüfeinrichtung und Durchführung**

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

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

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

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

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

### 5.9.2.3 Prüfbedingungen

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

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

### 5.9.2.4 Ergebnisse

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

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

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

## 5.10 Prüfung der Schlagfestigkeit (wahlweise)

### 5.10.1 Zweck

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

### 5.10.2 Prüfeinrichtung und Durchführung

#### 5.10.2.1 Allgemeines

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

#### 5.10.2.2 Verfahren 1

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

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

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

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

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

### **5.10.2.3 Verfahren 2**

Die Prüfeinrichtung besteht aus folgenden Teilen:

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

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

Die Prüfung ist wie folgt durchzuführen:

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

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

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

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

### 5.10.3 Prüfbedingungen

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

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

### 5.10.4 Ergebnisse

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

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

## 5.11 Endkontrolle

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

## 5.12 Prüfbericht

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

## 6 Prüfung der Wärmeleistung von Flüssigkeitskollektoren

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

## **6.1 Abgedeckte Sonnenkollektoren unter stationären Bedingungen (einschließlich Druckabfall)**

### **6.1.1 Einbau und Standort des Kollektors**

#### **6.1.1.1 Allgemeines**

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

#### **6.1.1.2 Kollektorbefestigungsrahmen**

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

#### **6.1.1.3 Neigungswinkel**

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

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

#### **6.1.1.4 Kollektorausrichtung bei Aufstellung im Freien**

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

#### **6.1.1.5 Schatten aus direkter Sonnenstrahlung**

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

#### **6.1.1.6 Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung**

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

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

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

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

#### **6.1.1.7 Thermische Bestrahlungsstärke**

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

#### **6.1.1.8 Luftgeschwindigkeit**

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

### **6.1.2 Messgeräte**

#### **6.1.2.1 Messung der solaren Bestrahlungsstärke**

##### **6.1.2.1.1 Pyranometer**

###### **6.1.2.1.1.1 Allgemeines**

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

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

###### **6.1.2.1.1.2 Maßnahmen gegen die Wirkung von Temperaturgradienten**

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

#### **6.1.2.1.1.3 Maßnahmen gegen die Wirkung von Luftfeuchte und Feuchtigkeit**

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

#### **6.1.2.1.1.4 Vorkehrungen gegen die Beeinflussung der Pyranometergenauigkeit durch Infrarotstrahlung**

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

#### **6.1.2.1.1.5 Einbau von Pyranometern im Freien**

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

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

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

#### **6.1.2.1.1.6 Verwendung von Pyranometern in Sonnenstrahlungssimulatoren**

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

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

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

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

### 6.1.2.1.2 Messung des Einstrahlwinkels direkter Sonnenstrahlung

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

### 6.1.2.2 Messung der Wärmestrahlung

#### 6.1.2.2.1 Messung der thermischen Bestrahlungsstärke im Freien

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

#### 6.1.2.2.2 Bestimmung der thermischen Bestrahlungsstärke im Raum und in Sonnenstrahlungssimulatoren

##### 6.1.2.2.2.1 Messung

Die thermische Bestrahlungsstärke kann mit einem Pyrgeometer nach 6.1.2.2.1 für Messungen im Freien gemessen werden. Pyrgeometer müssen gut belüftet sein, um den Einfluss der Sonnenstrahlung oder der simulierten Sonnenstrahlung möglichst gering zu halten. Für Prüfungen im Raum muss die thermische Bestrahlungsstärke mit einer Standardmessunsicherheit von  $10 \text{ Wm}^{-2}$  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 globalen Einstrahlung können mit einem Pyrheliometer mit und ohne Glasfilter durchgeführt werden.

6.1.2.3 Temperaturmessungen

6.1.2.3.1 Allgemeines

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

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

6.1.2.3.2.1 Geforderte Genauigkeit

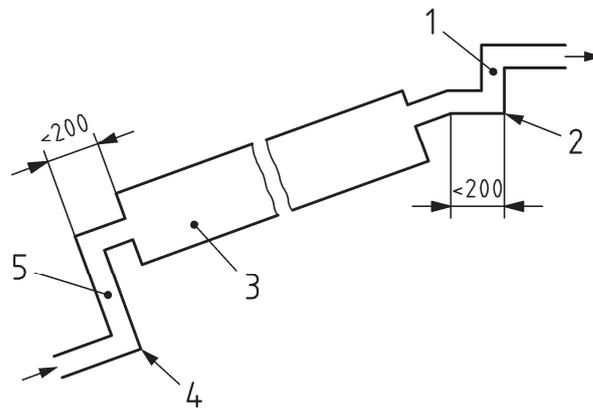
Die Messung der Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt ist mit einer Standardmessunsicherheit von 0,1 K durchzuführen. Um jedoch zu überprüfen, dass die Temperatur mit der Zeit nicht abweicht, ist eine viel bessere Auflösung des Temperatursignals bis  $\pm 0,02$  K erforderlich.

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

6.1.2.3.2.2 Einbau der Temperaturfühler

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

Abmessungen in Millimeter



Legende

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

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

### 6.1.2.3.3 Bestimmung der Temperaturdifferenz $\Delta T$ des Wärmeträgers

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

### 6.1.2.3.4 Messung der Umgebungslufttemperatur ( $t_a$ )

#### 6.1.2.3.4.1 Geforderte Genauigkeit

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

#### 6.1.2.3.4.2 Einbau der Temperaturfühler

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

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

### 6.1.2.4 Messung des Massenstromes des Wärmeträgers im Kollektor

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

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

### 6.1.2.5 Messung der Luftgeschwindigkeit

#### 6.1.2.5.1 Allgemeines

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

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

#### **6.1.2.5.2 Geforderte Genauigkeit**

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

#### **6.1.2.5.3 Anordnung von Messfühlern zur Messung der Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor**

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

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

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

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

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

#### **6.1.2.6 Abgelaufene Zeit**

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

#### **6.1.2.7 Messgeräteausrüstung/Datenaufzeichnungsgeräte**

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

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

#### **6.1.2.8 Kollektorfläche**

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

### 6.1.2.9 Flüssigkeitsinhalt im Kollektor

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

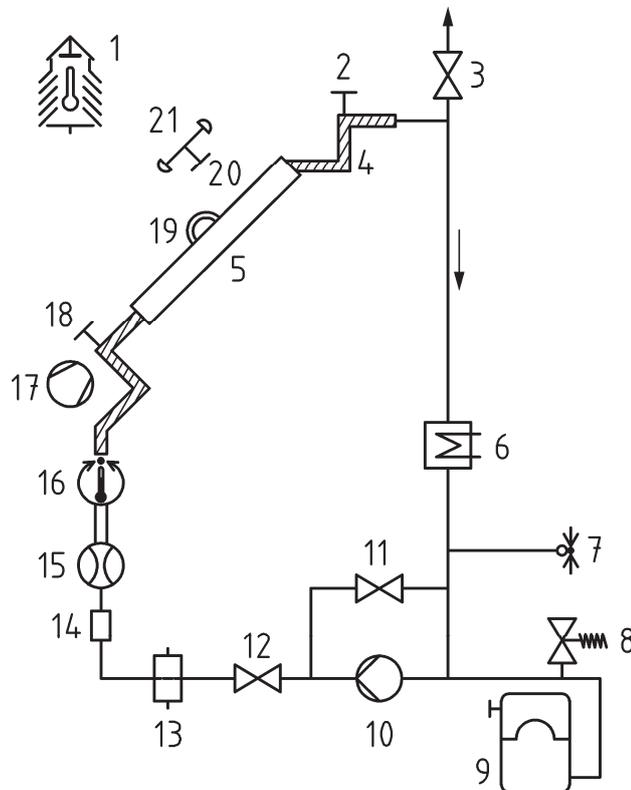
Die Temperatur des Wärmeträgers muss mit einer Grenzabweichung von  $\pm 2$  K auf Umgebungstemperatur gehalten werden.

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

### 6.1.3 Prüfaufbau

#### 6.1.3.1 Allgemeine Betrachtung

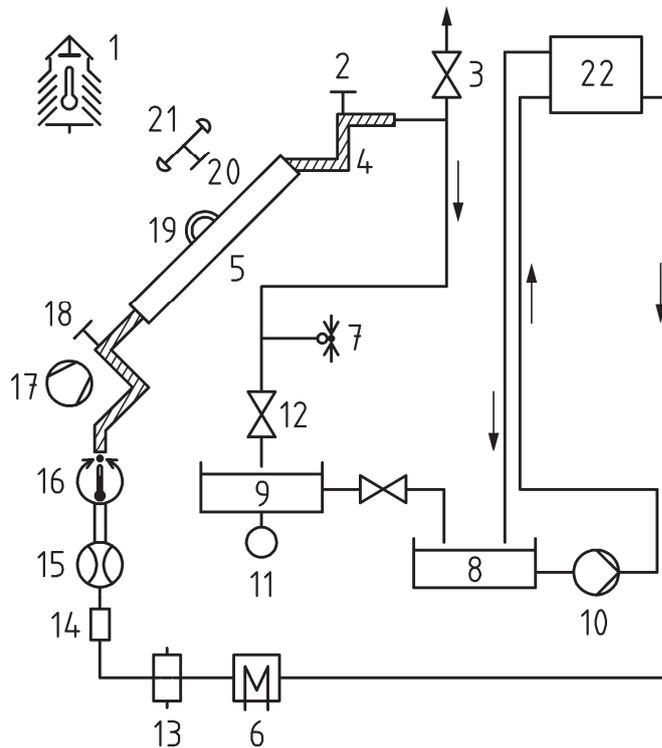
In den Bildern 2 und 3 sind Beispiele von Prüfanordnungen für die Prüfung von Sonnenkollektoren mit einer Flüssigkeit als Wärmeträger dargestellt. Die Abbildungen sind nur schematische Darstellungen und nicht maßstabsgerecht.



#### Legende

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

**Bild 2 — Beispiel eines geschlossenen Prüfkreislaufs**



**Legende**

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

**Bild 3 — Beispiel eines offenen Prüfkreislaufs**

**6.1.3.2 Wärmeträger**

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

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

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

### 6.1.3.3 Rohrleitungen und Rohrverbinder

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

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

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

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

ANMERKUNG 2 Entsprechend üblicher Praxis müssen dem Durchflussmessgerät und der Pumpe in Strömungsrichtung Filter vorgeschaltet werden (eine Filternenngröße von 200  $\mu\text{m}$  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 Drift der Kollektoreintrittstemperatur zu verhindern.

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

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

### 6.1.4 Prüfung der Leistung im Freien unter stationären Bedingungen

#### 6.1.4.1 Prüfstand

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

#### 6.1.4.2 Vorbereitung des Kollektors

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

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

Der ungefüllte Kollektor muss 5 h lang einer Bestrahlungsstärke von mehr als 700 Wm<sup>-2</sup> ausgesetzt werden.

#### 6.1.4.3 Prüfbedingungen

Während der Prüfung muss die hemisphärische Bestrahlungsstärke in der Aperturbene des Kollektors größer als 700 Wm<sup>-2</sup> sein.

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

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

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

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

Der Mittelwert der Geschwindigkeiten der Umgebungsluft parallel zur Kollektorapertur muss 3 ms<sup>-1</sup> ± 1 ms<sup>-1</sup> betragen, wobei räumliche Abweichungen über dem Kollektor und zeitliche Schwankungen während der Prüfdauer zu berücksichtigen sind.

Falls nicht anders festgelegt, muss der Massenstrom des Wärmeträgers auf einen Wert von etwa 0,02 kgs<sup>-1</sup> je m<sup>2</sup> Kollektoraperturfläche eingestellt werden. Dieser Massenstrom ist während jeder Prüfperiode innerhalb von ± 1 % des Einstellwertes konstant zu halten und darf von einer Prüfperiode zur anderen um höchstens ± 10 % vom Einstellwert abweichen.

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

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

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

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

#### 6.1.4.4 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seiner Leistung ist der Kollektor bei klarem Himmel über seinen Betriebstemperaturbereich zu prüfen. Für mindestens vier Eintrittstemperaturen des Wärmeträgers, die gleichmäßig über den Betriebstemperaturbereich des Kollektors verteilt sind, sind Messdaten zu ermitteln, die den nachfolgend angegebenen Anforderungen genügen. Zur genauen Bestimmung von  $\eta_0$  ist möglichst eine Eintrittstemperatur zu wählen, bei der die mittlere Flüssigkeitstemperatur im Kollektor innerhalb von  $\pm 3$  K der Temperatur der Umgebungsluft entspricht. Falls Wasser als Wärmeträger verwendet wird, muss die höchste Temperatur mindestens bei etwa 80 °C liegen. Falls die Prüfbedingungen es zulassen, wird als höchster Wert von  $T_m^*$  mindestens 0,09 empfohlen.

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

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

#### 6.1.4.5 Messungen

Folgende Größen sind zu messen:

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

**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) Bestrahlungsstärke während der Prüfung	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Umgebungstemperatur (im Raum)	$\pm 1 \text{ K}$
Umgebungstemperatur (im Freien)	$\pm 1,5 \text{ K}$
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 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 der Leistungsabgabe des Kollektors**

**6.1.4.8.1 Allgemeines**

Die tatsächliche Nutzwärmeleistung  $\dot{Q}$  wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_f \Delta T \tag{3}$$

Für  $c_f$  muss der Wert verwendet werden, der für die mittlere Temperatur des Wärmeträgers gilt. Falls  $\dot{m}$  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  $20^\circ$  ist, ist für einfach verglaste Flachkollektoren die Verwendung eines Einfallswinkel-Korrekturfaktors nach 6.1.7 nicht erforderlich.

Die aufgefangene Sonnenenergie ist  $A \cdot G$ , wobei im Fall des Bezugs auf die Absorberfläche für die Fläche  $A_A$  und im Fall des Bezugs auf die Aperturfläche  $A_a$  zu verwenden ist. Unter Berücksichtigung des Kollektorwirkungsgrades kann die tatsächliche Nutzwärmeleistung  $\dot{Q}$  auch dargestellt werden als

$$\dot{Q} = A G \eta \tag{4}$$

### 6.1.4.8.3 Reduzierte Temperaturdifferenz

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

Der Momentanwirkungsgrad  $\eta$  ist durch statistische Kurvenermittlung unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen, um eine Kurve des Momentanwirkungsgrades folgender Form zu erhalten:

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

Üblicherweise ist eine Kurve 2. Ordnung, 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 Kurve 2. Ordnung nicht verwendet werden. Die Prüfbedingungen müssen auf den in Anhang D angegebenen Vordrucken angegeben werden.

Sofern erforderlich, sind Tabellen der Messungen der Kollektorleistung zulässig.

#### 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:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (8)$$

#### 6.1.4.8.4.3 Umrechnung der Kennwerte der Wärmeleistungsprüfung

Zur Umrechnung der Kennwerte der Wärmeleistungsprüfung sind die folgenden Grundumrechnungen vorzunehmen:

$$\eta_{0A} = \eta_{0a} \frac{A_a}{A_A} \quad (9)$$

$$a_{1A} = a_{1a} \frac{A_a}{A_A} \quad (10)$$

$$a_{2A} = a_{2a} \frac{A_a}{A_A} \quad (11)$$

**6.1.4.8.5 Kollektorleistung**

Unter Verwendung der Gleichungen 4 und 8 kann die Kollektorleistung je Modul dargestellt werden als:

$$\dot{Q} = A \cdot G \cdot \left( \eta_0 - a_1 \frac{(t_m - t_a)}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_a)}{G} \right) \tag{4.1}$$

Dabei ist die Fläche  $A_A$  bei Bezug auf die Absorberfläche des Kollektors und  $A_a$  bei Bezug auf die Aperturfläche des Kollektors.

Die Kollektorleistung je Modul ist dann grafisch als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Wärmeträger- und Umgebungstemperatur ( $t_m - t_a$ ) bei  $G = 1\,000\text{ W/m}^2$  darzustellen. Das Produkt  $AG\eta_0$  ist als  $W_{\text{peak}}$  zu bezeichnen.

**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  $700\text{ Wm}^{-2}$  zu erzeugen. Für besondere Prüfungen dürfen auch Werte im Bereich von  $300\text{ Wm}^{-2}$  bis  $1\,000\text{ Wm}^{-2}$  verwendet werden, vorausgesetzt, dass die in Tabelle 5 angegebenen Genauigkeitsanforderungen erreicht werden können und die Werte der Bestrahlungsstärke im Prüfbericht angegeben werden.

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 optischen Luftmasse von 1,5 entsprechen.

Wenn Kollektoren spektralselektive Absorber oder Abdeckungen enthalten, muss eine Kontrolle durchgeführt werden, um für den Kollektor die Wirkung der spektralen Unterschiede auf das  $(\tau\alpha)$ -Produkt zu bestimmen. Falls 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.

$$\text{Effektivwert } (\tau\alpha) = \frac{\int_{0,3\mu\text{m}}^{3\mu\text{m}} \tau(\lambda) a(\lambda) G(\lambda) d\lambda}{\int_{0,3\mu\text{m}}^{3\mu\text{m}} G(\lambda) \lambda} \tag{12}$$

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 6.1.2.2).

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

Die genaue Einstellung des Simulators muss so sein, dass für mindestens 80 % der simulierten Sonnenstrahlung die Einfallswinkel in einem Bereich liegen, in dem der Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Kollektors von 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  $60^\circ$  enthalten ist.

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

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 6.1.1 sind zu erfüllen.

Mit einem Sonnenstrahlungssimulator ist ein Gebläse zu verwenden, um einen Luftstrom nach 6.1.1.8 zu erzeugen.

### 6.1.5.4 Vorbereitung des Kollektors

Es ist das Verfahren nach 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 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 6.1.5.6 durchzuführen. Diese Messwerte dürfen dann verwendet werden, um Prüfperioden zu bestimmen, aus denen zufrieden stellende Messdaten abgeleitet werden können.

### 6.1.5.6 Messungen bei Prüfungen in Sonnenstrahlungssimulatoren

#### 6.1.5.6.1 Allgemeines

Die Messungen sind nach 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 von wesentlicher Bedeutung, 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 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 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 6.1.4.6 bereits festgelegt wurde.

#### 6.1.5.8 Prüfbedingungen

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

- Die thermische Bestrahlungsstärke in der Ebene der Kollektorapertur darf die eines schwarzen Strahlers bei Raumtemperatur um höchstens 5 % der globalen Bestrahlungsstärke überschreiten.
- Die Temperatur der vom Gebläse abgegebenen Luft darf von der Temperatur der Umgebungsluft höchstens um  $\pm 1$  K abweichen.

#### 6.1.5.9 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse

Die Analyse nach 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 Betriebsbedingungen 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.

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 effektiven Wärmekapazität

Die effektive Wärmekapazität des Kollektors  $C$  (angegeben in  $\text{JK}^{-1}$ ) 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 Kollektorbestandteile (Glas, Absorber, enthaltene Flüssigkeit, Wärmedämmung) zu berechnen.

$$C = \sum_i p_i m_i c_i \quad (13)$$

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	$0,35 \times a_1$

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

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

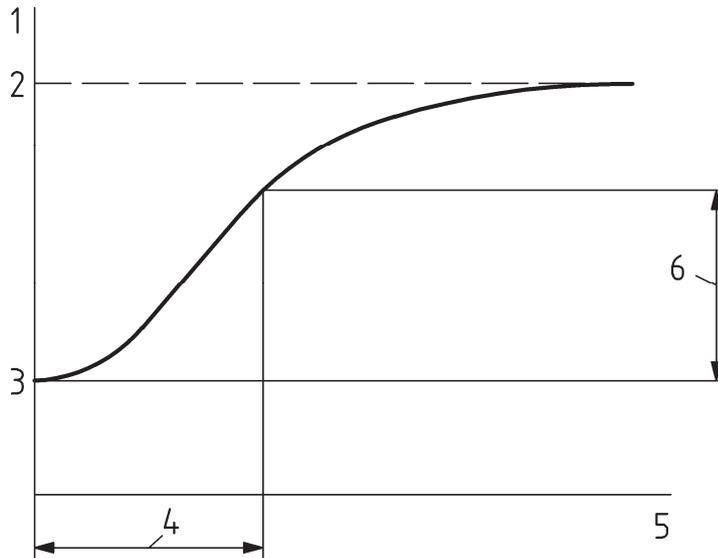
**6.1.6.3 Prüfverfahren für die Kollektorzeitkonstante (wahlweise)**

Die Prüfung ist entweder im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator durchzuführen. In jedem Fall muss die solare Bestrahlungsstärke in der Ebene der Kollektorapertur mehr als  $700 \text{ Wm}^{-2}$  betragen. Der Wärmeträger muss den Kollektor mit der gleichen Durchflussmenge durchströmen, wie sie zur Prüfung des Kollektorwirkungsgrades 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 6.1.2 zu messen:

- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt ( $t_{in}$ );
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektorausritt ( $t_e$ );
- Umgebungstemperatur ( $t_a$ ).

**6.1.6.4 Berechnung der Kollektorzeitkonstante (wahlweise)**

Die Differenz zwischen der Temperatur des Wärmeträgers am Kollektorausritt und der Umgebungstemperatur ( $t_e - t_a$ ) 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  $\tau_c$
- 5 Zeit
- 6  $0,632 ((t_e - t_a)_2 - (t_e - t_a)_0)$

**Bild 4 — Kollektorzeitkonstante**

Die Zeitkonstante  $\tau_c$  des Kollektors ist definiert als der Zeitraum zwischen dem Entfernen der Abdeckung und dem Punkt, an dem die Kollektoraustrittstemperatur auf 63,2 % des gesamten Anstiegs von  $(t_e - t_a)_0$  bis  $(t_e - t_a)_2$  angestiegen ist. 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 Einfallswinkel-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 (14) ein weiterer Faktor eingeführt wird, der als Einfallswinkel-Korrekturfaktor  $K_\theta$  bezeichnet wird.

$$\eta = F'K_\theta(\tau\alpha)_{en} - a_1 \frac{t_m - t_a}{G} - a_2 G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (14)$$

Deshalb gilt:

$$(\tau\alpha)_e = K_\theta(\tau\alpha)_{en} \quad (15)$$

Bild 5 zeigt für zwei Sonnenkollektoren den Verlauf von  $K_\theta$  in Abhängigkeit vom Einfallswinkel.

Bei Kollektoren (z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren und CPC-Kollektoren), deren Einfallswinkeleffekte abhängig von der Einfallsrichtung sind, ist es erforderlich, die Einfallswinkeleffekte aus mehr als einer Richtung zu messen, um den Einfallswinkel-Korrekturfaktor vollständig zu beschreiben.

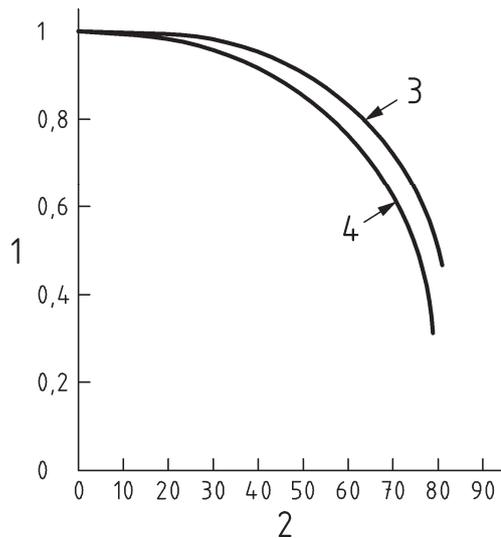
Der komplexe Einfallswinkel-Korrekturfaktor kann geschätzt werden, indem dieser als Produkt der getrennten Einfallswinkel-Korrekturfaktoren,  $K_{\theta L}$  und  $K_{\theta T}$  für zwei rechtwinklig symmetrische Ebenen angesehen wird Gleichung (15.1).

$$K_\theta = K_{\theta L} \cdot K_{\theta T} \quad (15.1)$$

Die Längsebene (Index L) läuft parallel zur optischen Achse des Kollektors und die Transversalebene (Index T) liegt senkrecht zur optischen Achse. Die Winkel  $\theta_L$  und  $\theta_T$  sind die Projektionen des Einfallswinkels  $\theta$  auf die Längs- bzw. Transversalebene.

Für die Beziehung zwischen  $\theta$ ,  $\theta_L$  und  $\theta_T$  gilt die folgende Gleichung:

$$\tan^2 \theta = \tan^2 \theta_L + \tan^2 \theta_T \quad (15.2)$$



**Legende**

- 1 Einfallswinkel-Korrekturfaktor  $K_{\theta}$
- 2 Einfallswinkel (Grad)
- 3 Einfach abgedeckter  $K_{\theta}$ -Kollektor
- 4 Doppelt abgedeckter Kollektor

**Bild 5 — Typische Einfallswinkel-Korrekturfaktoren  $K_{\theta}$**

Die Bedeutung des Einfallswinkel-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  $\eta$  mit der Ordinate  $y$  gleich  $F'(\tau\alpha)_{en}$ . Um den Wert von  $K_{\theta}$  zu bestimmen, muss eine getrennte Messung durchgeführt werden, so dass unter Verwendung von Gleichung (14) 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 Einfallswinkel-Korrekturfaktors**

Zur Messung des Einfallswinkel-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 gegenüberliegenden 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 Einfallswinkel-Korrekturfaktors kann nach einem von zwei Verfahren erfolgen. Im Verlauf einer jeden Prüfperiode muss der Kollektor jedoch ständig so ausgerichtet sein, dass der Einfallswinkel innerhalb von  $\pm 2,5^{\circ}$  dem Einfallswinkel entspricht, für den die Prüfung durchgeführt wird. Die solare Bestrahlungsstärke auf die Aperturebene muss größer als  $300 \text{ W/m}^2$  sein.

Während der Messung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors in einer Ebene eines optisch asymmetrischen Kollektors sollte der Einfallswinkel innerhalb der anderen Ebene auf einem Wert gehalten werden, bei dem der Einfallswinkel-Korrekturfaktor um nicht mehr als 2 % von dem bei üblichen Einfall abweicht.

ANMERKUNG 1 Es sollte darauf geachtet werden, dass die Messung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors nicht durch unangemessene Neigungswinkel beeinträchtigt wird.

ANMERKUNG 2 Bei Einfallswinkeln von 50° führt eine Abweichung von ± 1° zu einem Fehler von 2 % bei Messung der solaren Bestrahlungsstärke.

### 6.1.7.3.2 Verfahren 1

Dieses Verfahren ist für Prüfungen im Raum unter Verwendung eines Sonnenstrahlungssimulators mit Merkmalen nach 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 Umgebungstemperatur zu regeln. Der Wirkungsgrad ist nach 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 die 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 Einfallswinkel 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 im Allgemeinen nach dem in 6.1.4.4 beschriebenen Verfahren 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 Einfallswinkel-Korrekturfaktors des Kollektors

Unabhängig davon, welches experimentelle Verfahren nach 6.1.7.3 verwendet wird, sind die Werte des thermischen Wirkungsgrades des Kollektors für jeden Wert des Einfallswinkels 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  $K_0$  für eine andere Gruppe von Einstrahlwinkeln fordern kann). Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers wird sehr nahe an der Temperatur der Umgebungsluft gehalten, so dass  $(t_m - t_a) \approx 0$  beträgt. Zwischen  $K_0$  und dem Wirkungsgrad besteht folgende Beziehung:

$$K_0 = \frac{\eta}{F'(\tau\alpha)_{en}} \quad (16)$$

Da der Wert  $F'(\tau\alpha)_{en}$  als Schnittpunkt der Wirkungsgradkurve mit der y-Achse bereits vorliegt, können die Werte von  $K_{\theta}$  für unterschiedliche Einfallswinkel berechnet werden (siehe 6.1.7.3). Falls es nicht möglich ist, die mittlere Temperatur des Wärmeträgers auf die Umgebungslufttemperatur  $\pm 1$  K zu regeln, ist jeder Wert für  $K_{\theta}$  nach folgender Formel zu berechnen:

$$K_{\theta} = \frac{\eta + a_1 \frac{t_m - t_a}{G} + a_2 G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2}{F'(\tau\alpha)_{en}} \quad (17)$$

Wegen der genaueren Ergebnisse sollte Gleichung (17) allgemein verwendet werden.

Alternativ kann in die grafische Darstellung, die die nach 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 (17) verwendet werden, um die verschiedenen Werte von  $K_{\theta}$  zu berechnen.

### 6.1.8 Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor

Falls die Bestimmung des Druckabfalls über den Kollektor benötigt wird, sollte dies in Übereinstimmung mit Anhang L erfolgen.

## 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 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 wärmeisolierten 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 oben liegende Oberfläche matt weiß zu streichen und die Rückseite zu belüften.

**ANMERKUNG** Als geeigneter Werkstoff für die wärmeisolierte 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<sup>2</sup> geliefert wird, ist eine ausreichende Anzahl von Modulen miteinander zu verbinden, damit ein Prüfsystem entsteht, dessen Apertur mindestens 3 m<sup>2</sup> beträgt. Falls der Kollektor in Form von Streifen geliefert wird, muss die aufgebaute Mindestmodulfläche 3 m<sup>2</sup> betragen (Bruttofläche).

### 6.2.1.3 Neigungswinkel

Der Kollektor ist bei Neigungswinkeln zu prüfen, bei denen der Einfallswinkel  $\theta$  der direkten Sonnenstrahlung weniger als 30° beträgt, oder bei Neigungswinkeln, bei denen der Einfallswinkel-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 Einfallswinkel-Korrekturfaktor für zwei Winkel zu überprüfen.

ANMERKUNG Bei den meisten unabgedeckten Kollektoren ist der Einfluss des Neigungswinkels und des Einfallswinkels der Strahlung auf den Kollektorwirkungsgrad gering. Unabgedeckte Kollektoren werden üblicherweise mit geringer 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 6.1.1.4 auszurichten.

### 6.2.1.5 Schatten aus direkter Sonnenstrahlung

Der Kollektor ist nach 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 6.1.1.6 eingehalten werden.

### 6.2.1.7 Thermische 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  $- 100 \text{ Wm}^{-2}$  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  $0 \text{ ms}^{-1}$  und  $3,5 \text{ ms}^{-1}$  liegen, wobei die in Tabelle 7 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 6.1.2.1 angegebene Festlegung.

#### **6.2.2.2 Messung der Wärmestrahlung**

##### **6.2.2.2.1 Messung der langwelligen Bestrahlungsstärke**

Zur Messung der globalen hemisphärischen langwelligen Strahlung ist ein in der Ebene des Kollektors montiertes Pyrgeometer zu verwenden.

##### **6.2.2.2.2 Maßnahmen gegen die Wirkung von Temperaturgradienten**

Das für die Prüfungen verwendete Pyrgeometer ist in derselben Ebene wie der Kollektorabsorber anzuordnen. Zum Erreichen des Gleichgewichtszustandes vor Beginn der Messungen benötigt das Pyrgeometer mindestens 30 min.

##### **6.2.2.2.3 Maßnahmen gegen die Wirkung von Luftfeuchte und Feuchtigkeit**

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

##### **6.2.2.2.4 Vorkehrungen gegen die Erwärmung durch kurzwellige Strahlung**

Der Einfluss der Erwärmung durch kurzwellige Sonnenstrahlung ist möglichst gering zu halten.

### 6.2.2.3 Temperaturmessungen

Die Temperaturen sind nach 6.1.2.3 zu messen.

### 6.2.2.4 Messung der Durchflussmenge des Wärmeträgers

Die Massenströme des Wärmeträgers sind nach 6.1.2.4 zu messen.

### 6.2.2.5 Messung der Luftgeschwindigkeit

#### 6.2.2.5.1 Allgemeines

Die Luftgeschwindigkeit ist nach 6.1.2.5.1 zu messen.

#### 6.2.2.5.2 Geforderte Genauigkeit der Luftgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit der über die Vorderseite des Kollektors strömenden Umgebungsluft ist mit einer Standardunsicherheit von  $0,25 \text{ ms}^{-1}$  zu messen. Bei Prüfungen im Freien ist die Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft selten konstant und häufig treten Windstöße auf. Deshalb ist während der Prüfdauer die Messung einer mittleren Luftgeschwindigkeit erforderlich. Diese kann entweder durch Bildung des arithmetischen Mittels aus Einzelwerten oder durch Integration über die Prüfdauer bestimmt werden.

ANMERKUNG Es ist zu berücksichtigen, dass die Anfahrgeschwindigkeiten der Anemometer zwischen  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  und  $1 \text{ ms}^{-1}$  liegen. Für Luftgeschwindigkeiten, die weniger als  $1 \text{ ms}^{-1}$  betragen, können deshalb erhebliche Fehler auftreten.

#### 6.2.2.5.3 Einbau der Messfühler

Die Windgeschwindigkeit ist während des Einstellens des Gebläses zu messen. Dabei ist ein Handanemometer in einer Höhe zwischen 10 mm und 50 mm über der Kollektoraperturfläche zu verwenden. Ein dauerhaft eingebautes Anemometer muss an einer Kante des Kollektors angeordnet sein, um den Betrieb des Gebläses zu überwachen. Dieses Anemometer muss auf einer Platte montiert sein, so dass eine ununterbrochene Fläche entsteht, die von der Kollektorkante bis 0,3 m hinter dem Anemometer zum Windgenerator hin ausgerichtet ist.

ANMERKUNG Der registrierte Wert der Windgeschwindigkeit ist nicht die Windgeschwindigkeit über der Kollektorapertur.

Eine Reihe von Messungen ist an neun Stellen durchzuführen, die gleichmäßig über der Kollektorfläche verteilt sind. Anschließend ist ein Mittelwert zu ermitteln. Bei einem Kollektor, der keine rückseitige Wärmedämmung aufweist oder nicht auf einer simulierten Dachfläche montiert ist, ist die Luftgeschwindigkeit über der Vorder- und Rückseite zu messen. Für die Datenkorrelation ist die mittlere Luftgeschwindigkeit zwischen Vorder- und Rückseite zu verwenden.

Während der Prüfung ist die Luftgeschwindigkeit an einer geeigneten Stelle, die relativ zur mittleren Luftgeschwindigkeit über dem Kollektor kalibriert wurde, zu überwachen. Das Anemometer darf während der Prüfungen keinen Schatten auf den Kollektor werfen.

### 6.2.2.6 Druckmessungen

Der Druck am Kollektoreintritt und der Druckabfall über den Kollektor sind mit einem Gerät zu messen, dessen Fehlergrenze 5 % des gemessenen Wertes oder  $\pm 10 \text{ Pa}$  beträgt. Falls der Kollektor in Form von Modulen geliefert wird, ist der Druckabfall je Modul anzugeben. Für Absorber in Streifenform ist der Druck je laufendem Streifenmeter anzugeben.

### 6.2.2.7 Verstrichene Zeit

Die verstrichene Zeit ist nach 6.1.2.6 zu messen.

#### **6.2.2.8 Messgeräteausrüstung/Datenaufzeichnungsgeräte**

Messgeräteausrüstung und Datenaufzeichnungsgeräte müssen 6.1.2.7 entsprechen.

#### **6.2.2.9 Kollektorfläche**

Für die Kollektorfläche gilt 6.1.2.8.

#### **6.2.2.10 Flüssigkeitsinhalt des Kollektors**

Für den Flüssigkeitsinhalt des Kollektors gilt 6.1.2.9.

#### **6.2.3 Prüfaufbau**

Der Prüfaufbau ist nach 6.1.3 durchzuführen.

#### **6.2.4 Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Betrieb im Freien**

##### **6.2.4.1 Prüfaufbau**

Der Prüfaufbau ist nach 6.1.4.1 durchzuführen.

##### **6.2.4.2 Vorbereitung des Kollektors**

Der Kollektor ist nach 6.1.4.2 vorzubereiten.

##### **6.2.4.3 Prüfbedingungen**

Während der Prüfung muss die Nettobestrahlungsstärke an der Kollektoraperturfläche mehr als  $650 \text{ Wm}^{-2}$  betragen.

ANMERKUNG Falls der Hersteller den Betrieb hinsichtlich der größten Bestrahlungsstärke einschränkt, jedoch mindestens  $800 \text{ Wm}^{-2}$  zulässt, kann dies mit der Prüfung gefordert werden. Der Höchstwert sollte im Prüfbericht deutlich angegeben werden.

Der Einfallswinkel direkter Sonnenstrahlung in der Kollektorapertur muss in einem Bereich liegen, in dem der Einfallswinkel-Korrekturfaktor höchstens  $\pm 2 \%$  von seinem Wert bei senkrechter Einstrahlung abweicht. Um die Kollektorleistung bei anderen Winkeln zu charakterisieren, ist ein Einfallswinkel-Korrekturfaktor des Einfallswinkels zu bestimmen.

Der Mittelwert der Umgebungsluftgeschwindigkeit muss in dem im 6.1.5.5 festgelegten Bereich liegen, wobei räumliche Abweichungen über dem Kollektor und zeitliche Schwankungen während der Prüfdauer berücksichtigt werden müssen.

Falls nicht anders angegeben, ist der Massenstrom des Wärmeträgers auf einen Wert von etwa  $0,04 \text{ kgs}^{-1}$  je  $\text{m}^2$  Kollektorbruttofläche einzustellen. Dieser Wert ist in einer Prüfperiode innerhalb von  $\pm 1 \%$  des Sollwertes konstant zu halten und darf von einer Prüfperiode zur anderen höchstens um  $\pm 10 \%$  vom Sollwert abweichen.

Unter Befolgung der Herstellerangaben darf bei einem niedrigeren Massenstrom geprüft werden.

Bei manchen Kollektoren kann der empfohlene Massenstrom des Wärmeträgers in der Nähe des Übergangsbereiches zwischen laminarer und turbulenter Strömung liegen. Dies kann eine Instabilität der inneren Wärmedurchgangszahl und folglich Schwankungen bei der Messung des Kollektorwirkungsgrades verursachen. Um einen solchen Kollektor in reproduzierbarer Weise zu beschreiben, kann die Verwendung eines höheren Massenstromes erforderlich werden, dies muss jedoch mit den Prüfergebnissen eindeutig angegeben werden.

Gemessene Temperaturdifferenzen des Wärmeträgers unter  $1 \text{ K}$  dürfen in den Prüfergebnissen wegen der damit verbundenen Messgerätefehler nicht angegeben werden.

#### 6.2.4.4 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seiner Wirkungsgradkurve ist der Kollektor bei klarem Himmel über seinen Betriebstemperaturbereich zu prüfen. Werte, die die nachfolgend angegebenen Anforderungen erfüllen, sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Zur korrekten Bestimmung von  $\eta_0$  muss eine Eintrittstemperatur so gewählt werden, dass die mittlere Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor innerhalb von  $\pm 3$  K der Temperatur der Umgebungsluft entspricht.

ANMERKUNG 1 Unter Berücksichtigung der Bedingung, dass die Eintrittstemperatur der Flüssigkeit höher als die Taupunkttemperatur der Umgebungsluft sein muss, sollte die Eintrittstemperatur so gewählt werden, dass  $T_m = T_a \pm 3$  K gilt. Die Eintrittstemperatur sollte jedoch in keinem Fall unter der Taupunkttemperatur liegen.

**Tabelle 7 — Bereich der Prüfbedingungen für die Wärmeleistungsprüfung**

Mess- stelle	Nettobestrahlungs- stärke Wm <sup>-2</sup>	$T_m$ (mittlere Temperatur) K	Luftgeschwindigkeit parallel zum Kollektor ms <sup>-1</sup>
1	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	< 1
2	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
3	> 650	$T_m = T_a \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$
4	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{\max}) \pm 3$ K	< 1
5	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{\max}) \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
6	> 650	$T_m = T_a + 0,5 (\Delta t_{\max}) \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$
7	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{\max} \pm 3$ K	< 1
8	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{\max} \pm 3$ K	$1,5 \pm 0,5$
9	> 650	$T_m = T_a + \Delta t_{\max} \pm 3$ K	$3 \pm 0,5$

$\Delta t_{\max}$  ist die erwartete höchste Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Absorbentemperatur und der Umgebungstemperatur unter realen Betriebsbedingungen.

ANMERKUNG 2 Bei üblichen Anwendungen für Schwimmbecken wird dieses  $\Delta t_{\max}$  üblicherweise auf etwa 10 K oder weniger begrenzt.

Für jede Eintrittstemperatur des Wärmeträgers müssen mindestens zwei verschiedene Messwerte ermittelt werden. Falls die Prüfbedingungen es zulassen, ist für jede Eintrittstemperatur des Wärmeträgers die gleiche Anzahl von Messwerten vor und nach dem solaren Mittag zu bestimmen. Letzteres ist nicht erforderlich, wenn die Kollektoren so bewegt werden, dass sie der Sonne in Azimut und Sonnenhöhe mit Hilfe einer automatischen Nachführung folgen.

Während einer Prüfung sind die Messungen nach 6.2.4.5 durchzuführen. Diese Messwerte können anschließend verwendet werden, um Prüfperioden festzustellen, aus denen zufrieden stellende Messdaten abgeleitet werden können.

**6.2.4.5 Messungen**

Es sind folgende Größen zu messen:

- Bruttofläche des Kollektors  $A_G$  und Absorberfläche  $A_A$ , gemessen bei Betriebsdruck;
- Flüssigkeitsinhalt;
- globale solare Bestrahlungsstärke auf der Kollektorfläche;
- diffuse solare Bestrahlungsstärke auf der Kollektorfläche (nur im Freien);
- langwellige thermische Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene (oder Taupunkttemperatur  $t_{dp}$ );
- Geschwindigkeit der Umgebungsluft;
- Umgebungslufttemperatur;
- Eintrittstemperatur des Wärmeträgers am Kollektor;
- Austrittstemperatur des Wärmeträgers am Kollektor;
- Durchflussmenge des Wärmeträgers.

**6.2.4.6 Prüfperiode (stationäre Bedingungen)**

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.4.6 unter Berücksichtigung von Tabelle 8.

**Tabelle 8 — Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messperiode**

Parameter	Symbol	Abweichung vom Mittelwert
Gesamte kurzweilige Sonneneinstrahlung	$G$	$\pm 50 \text{ Wm}^{-2}$
Langwellige thermische Bestrahlungsstärke	$E_L$	$\pm 20 \text{ Wm}^{-2}$
Umgebungslufttemperatur	$t_a$	$\pm 1 \text{ K}$
Massenstrom des Wärmeträgers	$\dot{m}$	$\pm 1 \%$
Eintrittstemperatur des Wärmeträgers am Kollektor	$t_{in}$	$\pm 0,1 \text{ K}$
Geschwindigkeit der Umgebungsluft	$u$	$\pm 0,5 \text{ ms}^{-1}$

**6.2.4.7 Angabe der Ergebnisse**

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.4.7.

**6.2.4.8 Berechnung der Kollektorleistung**

**6.2.4.8.1 Allgemeines**

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.4.8.1 mit folgenden Zusätzen:

Die Prüfergebnisse müssen verwendet werden, um den Wirkungsgrad  $\eta$  nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{AG''} \quad (18)$$

Dabei ist  $G''$  die gesamte einfallende Bestrahlungsstärke, die nach folgender Gleichung bestimmt wird:

$$G'' = G + (\varepsilon / \alpha)(E_L - \sigma T_a^4) \quad (19)$$

Für  $(\varepsilon / \alpha)$  ist 0,85 zu setzen, außer wenn der Hersteller einen gemessenen Wert angeben kann.

$E_L$  ist die in der Kollektorebene gemessene langwellige Bestrahlungsstärke.

Die nutzbare Ausgangsleistung  $\dot{Q}$  wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\dot{Q} = \dot{m} c_f (t_e - t_{in}) \quad (20)$$

Für  $c_f$  ist ein Wert zu verwenden, der sich auf die mittlere Wärmeträgertemperatur bezieht.

Falls der Massenstrom des Wärmeträgers  $\dot{m}$  aus Messungen des Volumenstromes abgeleitet wird, ist für den Wärmeträger bei der Temperatur im Durchflussmessgerät die Dichte zu bestimmen.

Die Prüfdaten müssen mittels statistischer Kurvenermittlung unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate korreliert werden, um für den Wirkungsgrad eine Funktionskurve folgender Form zu erhalten:

$$\eta = \eta_0 (1 - b_u u) - (b_1 - b_2 u) \frac{(t_m - t_a)}{G''} \quad (21)$$

Die Koeffizienten  $\eta_0$ ,  $b_u$ ,  $b_1$  und  $b_2$  sind durch Anpassung einer Kurve zu ermitteln.

Falls keine Einrichtung zur Messung der langwelligen Bestrahlungsstärke  $E_L$  zur Verfügung steht, kann das folgende Langwellenmodell für klaren Himmel verwendet werden, um die Himmelsemittanz  $\varepsilon_s$  aus der gemessenen Taupunkttemperatur  $t_{dp}$  zu bestimmen.

$$\varepsilon_s = 0,711 + 0,56 \frac{t_{dp}}{100} + 0,73 \left( \frac{t_{dp}}{100} \right)^2 \quad (22)$$

Dabei ist die Taupunkttemperatur  $t_{dp}$  mit einer Standardmessunsicherheit von 0,5 K zu messen.

Die langwellige Bestrahlungsstärke wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$E_s = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \quad (23)$$

Falls der Kollektor geneigt ist, findet ein Austausch der Wärmestrahlung sowohl mit dem Himmel als auch mit dem Erdboden statt.

An einem Kollektor mit dem Neigungswinkel  $\beta$  beträgt die relative langwellige Bestrahlungsstärke  $E_\beta$ :

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1 + \cos \beta}{2} + \varepsilon_g \sigma T_a^4 \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (24)$$

Bei einem Kollektor, dessen Neigung weniger als 45° beträgt, hat die Temperatur des Erdbodens nur einen geringen Einfluss auf die langwellige Strahlung, da der Strahlungsaustauschfaktor zwischen einem Kollektor und dem Erdboden für  $\beta = 45^\circ$  nur 0,15 beträgt.

In diesem Fall kann Gleichung (24) angegeben werden als:

$$E_\beta = \varepsilon_s \sigma T_a^4 \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad (25)$$

So wird bei Aufstellung des Kollektors im Freien die langwellige Bestrahlungsstärke  $E_L$  in der Kollektorebene in Gleichung (19) gleich  $E_\beta$ .

ANMERKUNG 1 Positive  $E_L$ -Werte entsprechen zum Erdboden gerichteter Strahlung auf eine Fläche mit einer Temperatur von 0 K.

ANMERKUNG 2 Bei der Berechnung von  $E_s$  sollte Gleichung 23 verwendet werden.

#### **6.2.4.8.2 Vom Kollektor aufgefangene Sonnenenergie**

Die vom Kollektor aufgefangene Sonnenenergie ist  $AG''$  und in diesem Fall wird

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{AG''} \quad (26)$$

#### **6.2.4.8.3 Reduzierte Temperaturdifferenz**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.4.8.3, wenn  $G$  durch  $G''$  ersetzt wird.

#### **6.2.4.8.4 Modell des Momentanwirkungsgrades**

##### **6.2.4.8.4.1 Allgemeines**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.4.8.4.1, wenn  $G$  durch  $G''$  ersetzt wird.

##### **6.2.4.8.4.2 Momentanwirkungsgrad**

Wenn  $G$  durch  $G''$  ersetzt wird, gilt die Festlegung nach 6.1.4.8.4.2.

#### **6.2.4.8.5 Grafische Darstellung der Kollektorleistung**

Wenn  $G$  durch  $G''$  ersetzt wird, gilt die Festlegung nach 6.1.4.8.5.

### **6.2.5 Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand mittels Sonnenstrahlungssimulator**

#### **6.2.5.1 Allgemeines**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.5.1.

#### **6.2.5.2 Sonnenstrahlungssimulator zur Prüfung des Wirkungsgrades im stationären Zustand**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.5.2.

#### **6.2.5.3 Prüfaufbau**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.5.3.

#### 6.2.5.4 Vorbereitung des Kollektors

Es gilt die Festlegung nach 6.1.5.4.

#### 6.2.5.5 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seiner Wirkungsgradkurve ist der Kollektor über seinen Betriebstemperaturbereich zu prüfen. Zur korrekten Bestimmung von  $\eta_0$  muss eine Eintrittstemperatur so gewählt werden, dass die mittlere Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor innerhalb von  $\pm 3$  K der Temperatur der Umgebungsluft entspricht.

Der Bereich der Bedingungen für die Wärmeleistungsprüfung ist in Tabelle 7 angegeben.

Für jede Eintrittstemperatur des Wärmeträgers sind mindestens zwei unabhängige Messwerte zu ermitteln.

Während einer Prüfung müssen die Messungen nach 6.2.4.5 durchgeführt werden.

#### 6.2.5.6 Messungen während der Prüfung in Sonnenstrahlungssimulatoren

Es gilt die in 6.1.5.6 angegebene Festlegung.

#### 6.2.5.7 Prüfperiode

Die Messungen sind nach 6.1.5.7 durchzuführen.

#### 6.2.5.8 Prüfbedingungen

Die Prüfbedingungen sind 6.1.5.8 zu entnehmen.

#### 6.2.5.9 Berechnung und Angabe der Ergebnisse

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.5.9.

### 6.2.6 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität und der Zeitkonstante eines Kollektors

#### 6.2.6.1 Allgemeines

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

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

Die effektive Wärmekapazität hängt jedoch leider von den Betriebsbedingungen ab und stellt keinen Kollektorparameter mit einem eindeutigen Wert dar. Bei der Messung der effektiven Wärmekapazität von Kollektoren mit verschiedenen Prüfverfahren hat sich gezeigt, dass bei Verwendung sehr unterschiedlicher Verfahren ähnliche Resultate erzielt werden können.

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

**6.2.6.2 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität**

Die effektive Wärmekapazität des Kollektors  $C$  (angegeben in  $\text{JK}^{-1}$ ) ist als die Summe der Produkte der Massen  $m_i$  aller Kollektorbestandteile (Absorber, Wärmeträger) je  $\text{m}^2$  des Kollektors (angegeben in  $\text{kgm}^{-2}$ ) mal deren spezifische Wärme  $c_i$  (angegeben in  $\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ ) zu berechnen.

$$C = \sum_i m_i c_i \tag{27}$$

Die effektive Wärmekapazität kann auch mit Hilfe der in Anhang G beschriebenen Verfahren gemessen werden.

**6.2.6.3 Prüfverfahren für die Kollektorzeitkonstante**

Es ist das Prüfverfahren nach 6.1.6.3 anzuwenden.

**6.2.6.4 Berechnung der Kollektorzeitkonstante**

Die Zeitkonstante ist nach 6.1.6.4 zu berechnen.

**6.2.7 Einfallswinkel-Korrekturfaktor (wahlweise)**

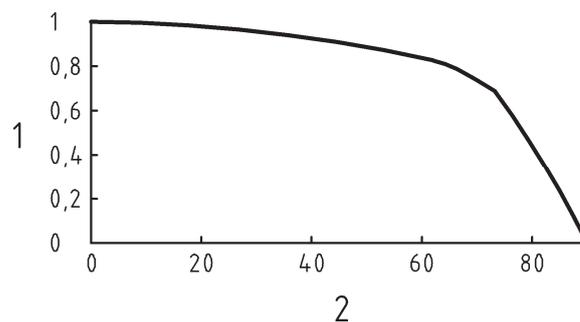
**6.2.7.1 Allgemeines**

Falls die direkte Bestrahlung nicht annähernd senkrecht einfällt, kann in Gleichung (21) der Wirkungsgrad  $\eta_0$  durch  $K_\theta \eta_0$  ersetzt werden, wobei  $K_\theta$  der Einfallswinkel-Korrekturfaktor ist.

$$\eta = K_\theta \eta_0 (1 - b_u u) - (b_1 - b_2 u) \frac{(t_m - t_a)}{G''} \tag{28}$$

Bild 6 zeigt einen typischen Verlauf von  $K_\theta$  über dem Einfallswinkel für einen ungedeckten Sonnenkollektor.

Für diejenigen Kollektoren, bei denen die Einfallswinkeleffekte abhängig von der Einfallsrichtung sind, gelten die Festlegungen in 6.1.7.1.



**Legende**

- 1 Einfallswinkel-Korrekturfaktor  $K_\theta$
- 2 Einfallswinkel, in Grad

**Bild 6 — Typischer Einfallswinkel-Korrekturfaktor**

Die Bedeutung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors für die in diesem Abschnitt ausgeführten Prüfverfahren besteht darin, dass die Werte des thermischen Wirkungsgrades für den Kollektor bei oder in der Nähe senkrechter Einstrahlbedingungen bestimmt werden. Aus diesem Grunde ist der Schnittpunkt der Wirkungsgradkurve  $\eta$  mit der Ordinate  $y$  gleich  $\eta_0$ .

Um den Wert von  $K_\theta$  zu bestimmen, ist eine getrennte Messung durchzuführen, so dass unter Verwendung von Gleichung (28) die Leistung des Kollektors für einen großen Bereich von Betriebsbedingungen und/oder Tageszeiten vorherbestimmt werden kann.

### 6.2.7.2 Sonnenstrahlungssimulator für die Messung der Einfallswinkel-Korrekturfaktoren

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.7.2.

### 6.2.7.3 Durchführung der Prüfung

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.7.3.

### 6.2.7.4 Berechnung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors

Unabhängig von dem in 6.2.7.3 verwendeten experimentellen Verfahren müssen die Werte des thermischen Wirkungsgrades des Kollektors für jeden Wert des Einfallswinkels bestimmt werden.

Für unbedeckte Kollektoren ist nur ein Einfallswinkel von  $50^\circ$  erforderlich.

**ANMERKUNG** Eine Bemessungsnorm, die dieses Prüfverfahren verwendet, kann die Messung von  $K_\theta$  für eine andere Gruppe von Einfallswinkeln fordern.

Die mittlere Temperatur des Wärmeträgers muss sehr nahe an der Temperatur der Umgebungsluft gehalten werden, so dass  $(t_m - t_a) \approx 0$  beträgt.

Zwischen  $K_\theta$  und dem Wirkungsgrad besteht folgende Beziehung:

$$K_\theta = \frac{\eta(\theta)}{\eta_0} \quad (29)$$

Da  $\eta_0$  bereits als Schnittpunkt der Wirkungsgradkurve mit der  $y$ -Achse ermittelt wurde, können Werte von  $K_\theta$  für unterschiedliche Einfallswinkel berechnet werden (siehe 6.2.7.3). Falls es nicht möglich ist, die mittlere Temperatur des Wärmeträgers innerhalb von  $\pm 1$  K der Umgebungslufttemperatur einzustellen, ist der Wert für  $K_\theta$  nach folgender Formel zu berechnen:

$$K_\theta = \frac{\eta(\theta) + (b_1 + b_2 u) \left( \frac{t_m - t_a}{G''} \right)}{\eta_0} \quad (30)$$

Wegen der genaueren Ergebnisse sollte im Allgemeinen Gleichung (17) verwendet werden. Alternativ kann in die grafische Darstellung der Wirkungsgradkennlinie, die nach 6.2.4 oder 6.2.5 ermittelt wurde, jeder Datenpunkt aufgetragen werden. Anschließend wird durch jeden Punkt parallel zur Wirkungsgradkennlinie 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 würden. Deshalb können diese Werte zusammen mit Gleichung (28) verwendet werden, um die verschiedenen Werte von  $K_\theta$  zu berechnen.

### **6.2.8 Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor**

Falls die Bestimmung des Druckabfalls über den Kollektor benötigt wird, sollte dies in Übereinstimmung mit Anhang L erfolgen.

## **6.3 Abgedeckte und unabgedeckte Sonnenkollektoren unter quasi-dynamischen Bedingungen**

### **6.3.1 Montage und Standort des Kollektors**

#### **6.3.1.1 Allgemeines**

Die Kollektoren sind nach 6.1.1.1 anzuordnen und zu montieren.

#### **6.3.1.2 Kollektormontage**

Abgedeckte Kollektoren sind nach 6.1.1.2 und unabgedeckte Kollektoren nach 6.2.1.2 zu montieren.

#### **6.3.1.3 Neigungswinkel**

Für abgedeckte Kollektoren gilt 6.1.1.3 und für unabgedeckte Kollektoren gilt 6.2.1.3.

#### **6.3.1.4 Ausrichtung des Kollektors bei Aufstellung im Freien**

Der Kollektor ist bei Aufstellung im Freien so zu montieren, dass er innerhalb von  $\pm 5^\circ$  zum Äquator hin ausgerichtet ist.

**ANMERKUNG** Die azimutale Abweichung des Kollektors (oder Pyranometers) von der Südrichtung sollte berücksichtigt werden, wenn der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlung auf die Kollektorapertur berechnet wird. Größere Abweichungen von der Südrichtung können zulässig sein, sie werden jedoch auf Bild 8 zu einer winkelunsymmetrischen Strahlungsverteilung führen (siehe 6.3.4.6.2). Dies kann eine gewisse Verzerrung der Abhängigkeit des Kollektoreinfallswinkels bewirken. Der wahre Einfallswinkel sollte mit einer Standardunsicherheit unter  $\pm 1^\circ$  berechnet werden.

Bei konzentrierenden Kollektoren sollte möglichst die Nachführeinrichtung des Herstellers verwendet werden. Nichtabbildende stationäre Kollektoren sollten so eingebaut werden, dass die direkte Sonnenstrahlung innerhalb des Akzeptanzwinkels einfällt.

#### **6.3.1.5 Schatten aus direkter Sonneneinstrahlung**

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.1.5.

#### **6.3.1.6 Diffuse und reflektierte Sonnenstrahlung**

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.1.6. Der letzte Absatz von 6.1.1.6 über Prüfungen mit Sonnenstrahlungssimulatoren ist nicht anwendbar.

#### **6.3.1.7 Thermische Bestrahlungsstärke**

Die Leistung einiger Kollektorenarten hängt in besonderem Maße von der thermischen Bestrahlungsstärke ab. Die Temperatur der dem Kollektor benachbarten Flächen muss so genau wie möglich der Umgebungslufttemperatur entsprechen, um den Einfluss der Wärmeeinstrahlung möglichst gering zu halten. So dürfen z. B. bei Aufstellung im Freien im Sichtfeld des Kollektors keine Schornsteine, Kühltürme oder heiße Abgasleitungen vorhanden sein. Die Abschirmung ist sowohl auf der Vorder- als auch der Rückseite des Kollektors wichtig.

### 6.3.1.8 Geschwindigkeit der Umgebungsluft

Für abgedeckte Kollektoren gelten die Festlegungen nach 6.1.1.8 und für unabgedeckte Kollektoren gelten die Festlegungen nach 6.2.1.8.

## 6.3.2 Messgeräteausrüstung

### 6.3.2.1 Messung der Sonnenstrahlung

Die Messungen sind nach 6.1.2.1 durchzuführen.

#### 6.3.2.1.1 Pyranometer

Es gelten die Festlegungen nach 6.1.2.1.1 mit Ausnahme von 6.1.2.1.1.5.

### 6.3.2.2 Messung der Wärmestrahlung

Die Messungen sind nach 6.2.2.2 durchzuführen.

### 6.3.2.3 Temperaturmessungen

Die Messungen sind nach 6.1.2.3 durchzuführen.

### 6.3.2.4 Messung des Massenstromes des Wärmeträgers im Kollektor

Die Messungen sind nach 6.1.2.4 durchzuführen.

### 6.3.2.5 Messung der Luftgeschwindigkeit

#### 6.3.2.5.1 Allgemeines

Die Messungen sind nach 6.1.2.5.1 durchzuführen.

#### 6.3.2.5.2 Geforderte Genauigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit der über die Vorderseite des Kollektors strömenden Umgebungsluft ist mit einer Standardunsicherheit von  $0,5 \text{ ms}^{-1}$  (abgedeckte Kollektoren) und  $0,25 \text{ ms}^{-1}$  (unabgedeckte Kollektoren) zu messen. Bei Prüfungen im Freien ist die Strömungsgeschwindigkeit der Umgebungsluft selten konstant und häufig treten Windstöße auf. Deshalb ist während der Prüfdauer die Messung einer mittleren Luftgeschwindigkeit erforderlich. Dies kann durch Integration über die Prüfdauer erreicht werden.

#### 6.3.2.5.3 Einbau von Messfühlern

Falls bei der Prüfung im Freien die mittlere Luftgeschwindigkeit am Aufstellungsort unter  $2 \text{ ms}^{-1}$  liegt, ist ein Gebläse zu verwenden. Zur kontinuierlichen Messung der Luftgeschwindigkeit sind Anemometer anzubringen. Dieses Anemometer muss auf einer Platte montiert sein, sodass eine ununterbrochene Fläche entsteht, die von der Kollektorkante bis  $0,3 \text{ m}$  hinter dem Anemometer zum Windgenerator gerichtet ist. Die Gleichmäßigkeit der Luftgeschwindigkeit im Bereich der Kollektorapertur ist zu überprüfen, da zwischen beiden Enden des Kollektors die Luftgeschwindigkeit unterschiedlich sein kann. Deshalb muss in einem Abstand von  $100 \text{ mm}$  vor der Kollektorapertur in gleichmäßig über die Kollektorfläche verteilten Abständen eine Reihe von Luftgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden. Anschließend ist ein auf die kontinuierliche Messung bezogener Mittelwert zu ermitteln.

In Gegenden mit starkem Wind sind die Messungen der Windgeschwindigkeit in Kollektornähe und in mittlerer Höhe des Kollektors durchzuführen. Der Messfühler ist ohne Abschirmung dem Wind direkt auszusetzen und darf während der Prüfungen keinen Schatten auf den Kollektor werfen.

**6.3.2.6 Druckmessungen**

Die Druckmessungen sind nach 6.2.2.6 durchzuführen.

**6.3.2.7 Verstrichene Zeit**

Die verstrichene Zeit ist nach 6.1.2.6 zu messen.

**6.3.2.8 Messgeräteausrüstung/Datenaufzeichnungsgeräte**

Die Messgeräteausrüstung muss 6.1.2.7 entsprechen.

**6.3.2.9 Kollektorfläche**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.2.8.

**6.3.2.10 Flüssigkeitsinhalt im Kollektor**

Es gilt die Festlegung nach 6.1.2.9.

**6.3.3 Prüfaufbau**

Der Prüfaufbau erfolgt nach 6.1.3.

**6.3.4 Prüfung des Wirkungsgrades im Freien**

**6.3.4.1 Prüfaufbau**

Der Prüfaufbau erfolgt nach 6.1.4.1.

**6.3.4.2 Vorbereitung des Kollektors**

Der Kollektor ist nach 6.1.4.2 vorzubereiten.

**6.3.4.3 Prüfbedingungen**

Nachfolgend werden Prüfanforderungen für ein Prüfverfahren angegeben, das als quasi-dynamisch (QDT) bezeichnet werden kann. Um das Verständnis und die Akzeptanz für diesen Lösungsansatz zu erleichtern, sind die empfohlenen Prüfsequenzen und weitere hier angegebene Prüfanforderungen eng mit den allgemein anerkannten Prüfverfahren für den stationären Test thermischer Sonnenkollektoren nach den Abschnitten 6.1 und 6.2 verknüpft. Für beide Lösungsansätze gilt im Grunde die gleiche Forderung hinsichtlich der Verfügbarkeit geeigneter Prüfdaten und deshalb ermöglichen die empfohlenen Prüfsequenzen die Bestimmung herkömmlicher Parameter auch für den stationären Fall, indem die ermittelten Messdatenreihen, die den Anforderungen für den stationären Fall entsprechen, selektiert werden. Das Prüfverfahren und die empfohlenen Prüfsequenzen erlauben die Zusammenfassung und Bewertung der effektiven Wärmekapazität, des Einfallswinkel-Korrekturfaktors (IAM), der Windgeschwindigkeit sowie der Abhängigkeit des Kollektorwirkungsgrades von der Himmelstemperatur. In der Phase der Bestimmung der Kollektorparameter wird das Model der tatsächlichen Nutzleistung verwendet.

Der Mittelwert der Umgebungsluftgeschwindigkeit muss größer als  $1 \text{ ms}^{-1}$  und kleiner als  $4 \text{ ms}^{-1}$  sein, wobei räumliche Abweichungen über dem Kollektor und zeitliche Schwankungen während der Prüfdauer berücksichtigt werden müssen. Bei Bedarf dürfen Gebläse verwendet werden, um ausreichende Windgeschwindigkeiten zu erreichen.

Falls nicht anders festgelegt, ist der Massenstrom des Wärmeträgers auf einen Wert von etwa  $0,02 \text{ kgs}^{-1}$  je  $\text{m}^2$  Kollektorbezugsfläche  $A$  einzustellen. Dieser Wert muss in jeder Prüfperiode innerhalb von  $\pm 1 \%$  dem

Sollwert entsprechen; der Wert darf von einer Prüfperiode zur anderen höchstens um  $\pm 10\%$  vom Sollwert abweichen. Unter Befolgung der Herstelleranweisungen darf bei anderen Durchflussmengen geprüft werden.

Bei manchen Kollektoren kann die empfohlene Durchflussmenge des Wärmeträgers in der Nähe des Übergangsbereiches zwischen laminarer und turbulenter Strömung liegen. Dies kann eine Instabilität der inneren Wärmedurchgangszahl und folglich Schwankungen bei der Messung des Kollektorwirkungsgrades verursachen. Um einen solchen Kollektor in reproduzierbarer Weise zu charakterisieren, kann die Verwendung einer höheren Durchflussmenge erforderlich sein. Dies ist jedoch mit den Prüfergebnissen eindeutig anzugeben.

Gemessene Temperaturdifferenzen des Wärmeträgers unter 1,0 K dürfen wegen der damit verbundenen Messgerätefehler in den Prüfergebnissen nicht angegeben werden.

**ANMERKUNG** Da das quasi-dynamische Verfahren auf der Minimierung des Fehlers der Kollektorleistung basiert (nicht des Wirkungsgrades wie bei der stationären Prüfung nach 6.1 und 6.2), wird der relative Fehler kleiner Fluidtemperaturdifferenzen keine weiteren Probleme verursachen. In einer späteren Überarbeitung dieser Norm ist es deshalb möglich, dass die Begrenzung der Temperaturdifferenz auf 1 K aufgehoben wird und mehr Werte aus jedem Prüfungstag verwendet werden können.

#### 6.3.4.4 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung seines Wirkungsgrades ist der Kollektor unter Bedingungen im Freien bei Betriebstemperatur zu prüfen. Für mindestens vier gleichmäßig über den Betriebstemperaturbereich des Kollektors verteilte Eintrittstemperaturen des Wärmeträgers sind Messpunkte zu ermitteln, die die nachfolgenden Anforderungen erfüllen.

Zur korrekten Bestimmung von  $\eta_0$  ist wenn möglich eine Eintrittstemperatur so zu wählen, dass die mittlere Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor bei solarem Mittag innerhalb von  $\pm 3$  K der Temperatur der Umgebungsluft entspricht. Die Eintrittstemperatur muss über der Taupunkttemperatur gehalten werden, so dass eine Kondensation von Wasser auf dem Absorber verhindert wird, andernfalls wären fehlerhafte Prüfergebnisse die Folge. Die Wetterbedingungen müssen mit denen für Prüfsequenz 1 und 2 nach 6.3.4.6 übereinstimmen.

Die zweite und dritte Eintrittstemperatur sind so zu wählen, dass bei Messung um den solaren Mittag die mittlere Temperatur des Wärmeträgers im Kollektor in gleichen Abständen zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Betriebsbereich des Kollektors liegt. Bei unabgedeckten Kollektoren sind nur drei Eintrittstemperaturen des Wärmeträgers erforderlich. Die zweite Temperatur ist dann so zu wählen, dass sie möglichst in der Mitte des Betriebstemperaturbereiches des Kollektors liegt. Die Wetterbedingungen müssen mit denen für Prüfsequenz 3 nach 6.3.4.6 übereinstimmen.

Je nach Kollektortyp ist die höchste Eintrittstemperatur so zu wählen wie in 6.1.4.4 und 6.2.4.4 festgelegt.

Die Veränderung der Eintrittstemperatur sollte nach Abschluss jeder Prüffolge erfolgen. Die während dieses Temperatursprungs aufgezeichneten Daten dürfen nicht in die Prüfdaten einfließen. Die Eintrittstemperatur ist während einer Prüfsequenz innerhalb von  $\pm 1$  K konstant zu halten.

**ANMERKUNG 1** Falls ein Vergleich mit den Parametern des stationären Zustandes durchgeführt werden soll, müssen für jede Eintrittstemperatur des Wärmeträgers mindestens 4 Messwerte ermittelt werden. Falls die Prüfbedingungen es zulassen, ist für jede Eintrittstemperatur des Wärmeträgers vor und nach dem solaren Mittag eine gleiche Anzahl von Messwerten zu bestimmen.

**ANMERKUNG 2** Da das hier verwendete Kollektormodell die Kollektorleistung genauer beschreibt, ist die Bedeutung von vier Messstellen sowie unabhängigen Messdaten eingeschränkt oder eliminiert. Bei einer späteren Überarbeitung dieses Verfahrens sollten nur drei Messpunkte berücksichtigt werden. Die vollständigere Beschreibung des Kollektors hat auch eine geringere Anzahl von Einschränkungen beim Kollektorentwurf zur Folge und mit diesem Prüfverfahren wird ein größerer Bereich von Kollektoren erfasst.

Während einer Prüfung sind Messungen nach 6.3.4.5 durchzuführen. Die Messwerte können anschließend verwendet werden um Prüfperioden festzulegen, aus denen zuverlässige Messwerte abgeleitet werden können.

### **6.3.4.5 Messungen und Datenerfassung**

#### **6.3.4.5.1 Messungen**

Es sind folgende Messungen durchzuführen:

- Aperturfläche  $A_a$ , Absorberfläche  $A_A$  und Bruttokollektorfläche  $A_G$ ;
- Flüssigkeitsinhalt;
- globale solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorapertur;
- diffuse solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorapertur;
- langwellige Einstrahlung in der Kollektorapertur;
- Einfallswinkel direkter Sonnenstrahlung, dieser kann auch durch Berechnung bestimmt werden;
- Azimut- und Neigungswinkel der Kollektorapertur (Standardunsicherheit  $\pm 1^\circ$ );
- Geschwindigkeit der Umgebungsluft;
- Umgebungslufttemperatur;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt;
- Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt;
- Massenstrom des Wärmeträgers.

#### **6.3.4.5.2 Anforderungen hinsichtlich der Datenerfassung**

Abtastzeit: 1 s bis 6 s.

Zeit für Mittelwertbildung: 5 min bis 10 min.

Jede Datenzeile (Datenaufzeichnung) muss eine eindeutige Zeitmarke (Standardunsicherheit:  $\pm 1$  min) enthalten, die die Berechnung des Einfallswinkels der Sonnenstrahlung auf den Kollektor für jede solche Datenzeile (Periode) ermöglicht (siehe auch 6.3.1.4).

Die folgenden Berechnungen sollten gleichzeitig durchgeführt und in die Messdatenbank übernommen werden:

- Nutzwärmeleistung des Kollektors oder  $Q$ ;
- die Ableitung von  $t_m$  nach der Zeit im Kollektor, d. h.  $dt_m/dt$ , mit  $(t_m \text{ neu} - t_m \text{ alt}) / (\text{Abtastintervall für } t_{in} \text{ und } t_e)$ .

Die Berechnung der zeitlichen Ableitung  $dt_m/dt$  sollte online erfolgen, da sie einen starken Einfluss auf das Endergebnis hat.

Abtastzeit und Zeitintervall für Mittelwertbildung wie für Messwerte.

ANMERKUNG Falls das Messsystem die gleichzeitige Berechnung der Ausgangsleistung des Kollektormodells mit erwarteten Kollektorparametern ermöglicht, stellt dies ein sehr nützliches Werkzeug zum Erkennen von Messfehlern oder Problemen dar. Wenn dies nicht der Fall ist, wird allgemein empfohlen nach jedem Prüftag die gemessene Leistung gegen die berechnete Leistung in einem Diagramm aufzutragen.

### 6.3.4.6 Prüfperiode

#### 6.3.4.6.1 Allgemeines

Die empfohlene Prüffolge umfasst 4 bis 5 Tage. Die tatsächliche Anzahl von Tagen wird wie bei jeder Prüfung von Kollektoren im Freien von den tatsächlichen Wetterbedingungen am Prüfort abhängen. Die aufgezeichneten Daten müssen alle wichtigen normalen Betriebsbedingungen umfassen (ausreichende Variabilität und dynamischer Bereich), damit sich ungekoppelte Kollektorparameter ergeben. Dies wird ähnlich wie bei dem stationären Verfahren (siehe 6.1 und 6.2) durch Verändern der Eintrittstemperatur des Kollektors innerhalb seines Bemessungsbereiches erreicht. Falls nach vier bis fünf Tagen ausreichende Daten aufgezeichnet wurden, müssen diese nach 6.3.4.6.2 für jeden Prüftag bewertet werden.

#### 6.3.4.6.2 Beschreibung der Prüfsequenzen

Die Mindestlänge einer Prüfsequenz entsprechend der Anforderungen nach 6.3.4.3 muss 3 h betragen. Die Prüffolge unter  $\eta_0$ -Bedingungen nach 6.3.4.4 sollte bei möglichst klarem Himmel durchgeführt werden. Einbezogen werden müssen Einfallswinkelwerte von mehr als  $60^\circ$  bis hinunter zu Werten, bei denen die Differenz des Einfallswinkel-Korrekturfaktors der Bestrahlungsstärke des Strahles um nicht mehr als 2 % von dem Wert der üblichen Bestrahlungsstärke abweicht.

Eine Prüfsequenz sollte bei teilweise bedecktem Himmel, einschließlich heiterem wie auch klarem Himmel durchgeführt werden. Dabei kann es sich um eine Prüfsequenz bei erhöhter Betriebstemperatur oder bei  $\eta_0$ -Bedingungen nach 6.3.4.4 handeln.

Die relative Reihenfolge der unterschiedlichen Prüfsequenzen ist unkritisch, sie kann jedoch an das am Prüfort tatsächlich herrschende Wetter angepasst werden.

#### 6.3.4.6.3 Wahlweise Prüfung: Abhängigkeit vom Neigungswinkel

Falls die Abhängigkeit des Neigungswinkels bewertet werden muss, ist ein weiterer Prüftag hinzuzufügen.

Im Verlauf dieses Tages ist der Kollektor beim zweiten geforderten Neigungswinkel und bei hohen Betriebstemperaturen zu prüfen (Tagestyp 4). Diese zusätzlichen Prüfdaten dürfen gemeinsam und gleichzeitig mit allen anderen Kollektorparametern mit erweiterter MLR bewertet werden.

ANMERKUNG Erweiterte MLR siehe Anmerkung 2 in 6.3.4.8.1.

#### 6.3.4.6.4 Bewertung der Prüfdaten

Nachfolgend werden Angaben zur Bewertung der aufgezeichneten Daten aufgeführt.

Es wird daran erinnert, dass für die Bewertung der Eignung der Messdaten die folgenden Kriterien erfüllt sein sollten:

—  $T_{\text{out}} - T_{\text{in}} > 1 \text{ K}$

—  $T_{\text{in}}$  konstant innerhalb  $\pm 1 \text{ K}$

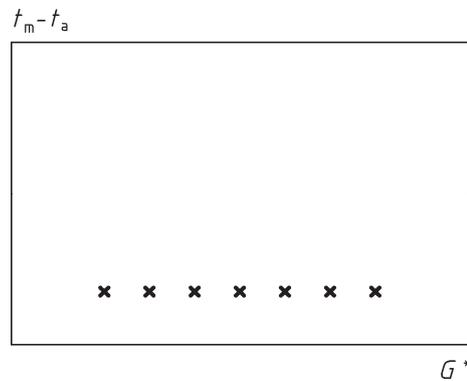
— Massenstrom des Wärmeträgers konstant innerhalb von  $\pm 1 \%$  vom Sollwert während des Prüftages oder der Prüffolge und höchstens  $\pm 10 \%$  von einer Prüffolge zur anderen

Während der Bewertung der Prüfdaten ist eine Vorbereitungszeit von mindestens dem Vierfachen der Zeitkonstanten des Kollektors (sofern bekannt) oder von mindestens 15 min (sofern die Zeitkonstante nicht bekannt ist) bei richtiger Temperatur des Wärmeträgers am Einlass zu überspringen, um sicherzustellen, dass der Ausgangszustand der Kollektoren ausgeklungen ist und das Ergebnis der Parameteridentifikation nicht beeinflusst.

Es wird des Weiteren angemerkt, dass Ausreißer, die nicht erklärt werden können, aus der Datenbasis ausgeschlossen werden müssen.

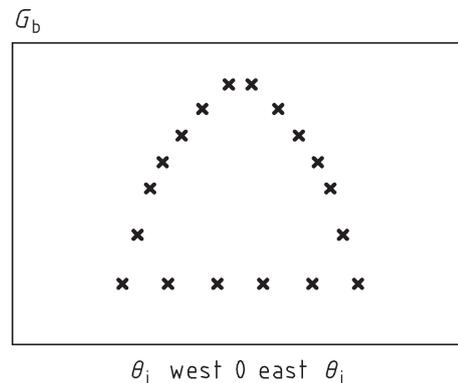
Die meisten Anforderungen werden aus Gründen der Klarheit in Form idealisierter Diagramme angegeben, in denen wichtige Beziehungen zwischen unterschiedlichen Prüfbedingungen dargestellt sind. Das schließt die erforderlichen Dynamikbereiche der Daten ein, um zuverlässige und entkoppelte Kollektorparameter zu erhalten. Diese Diagramme müssen aufgestellt werden, um die Qualität der zur Parameterbestimmung verwendeten Prüfdaten zu bewerten, und sie sind im Prüfbericht anzugeben.

Bild 7 zeigt  $t_m - t_a$  als Funktion von  $G^*$ , um zu überprüfen, ob ausreichend Angaben unter  $\eta_0$ -Bedingungen und bei höheren Einlasstemperaturen erhalten wurden. Diese Daten ergeben alle erforderlichen Informationen zur Bestimmung von  $F'(\tau\alpha)_{en}$  und zu den Wärmeverlusten des Kollektors.



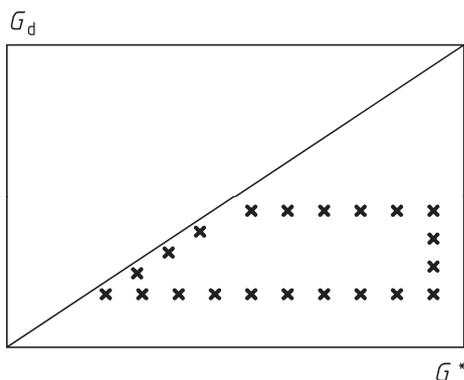
**Bild 7 —  $t_m - t_a$  als Funktion von  $\theta^*$**

Bild 8 und Bild 9 zeigen, ob die Daten ausreichend Angaben bei großem und kleinem Einfallswinkel der Bestrahlungsstärke des Strahles einschließen, um  $K_{\theta b}(\theta)$  zu beschreiben und ob ausreichend Angaben bei großen diffusen Strahlungspegeln erhalten wurden, um  $K_{\theta d}$  zu beschreiben.



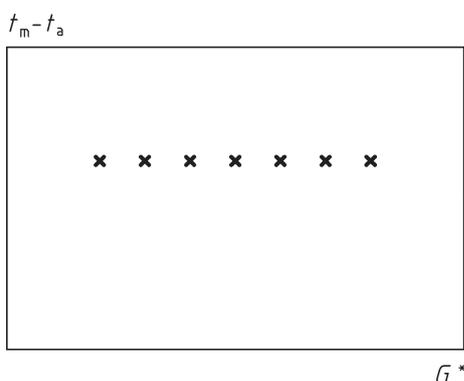
**Bild 8 —  $G_b$  als Funktion von  $\theta_i$**

ANMERKUNG Die Messdaten mit höheren  $G_b$ -Werten (obere Kurve) ergeben  $K_{\theta b}(\theta)$ . Die niedrigeren Werte ergeben  $K_{\theta d}$ .

Bild 9 —  $G_d$  als Funktion von  $G^*$ 

Sofern die Abhängigkeit des Kollektors von der Windgeschwindigkeit betrachtet wurde, ist Bild 10 einzubeziehen. Bild 10 stellt die Idealverteilung der Funktion der Windgeschwindigkeit über  $G^*$  dar.

Die Windgeschwindigkeiten nach 6.3.4.3 sollten berücksichtigt werden.

Bild 10 — Windgeschwindigkeit als Funktion von  $G^*$ 

#### 6.3.4.7 Angabe der Prüfergebnisse

Die Prüfergebnisse sind unter Verwendung der in Anhang D und Anhang E angegebenen Vordrucke in einem Bericht anzugeben, wobei der Text nach Abschnitt 6.3 abzufassen ist (siehe auch 6.3.4.8.4). Die Messungen müssen so zusammengestellt werden, dass sich eine Gruppe von Datenpunkten ergibt, die die Anforderungen hinsichtlich der Prüfbedingungen erfüllen und ausreichende Informationen hinsichtlich der Prüfdaten vermitteln. Zusätzlich zu den Angaben nach Anhang D und Anhang E sind die zur Bestimmung der Kollektorparameter verwendeten Messdaten in vier Diagrammen, 1 bis 4, nach den Bildern 7 bis 10 von 6.3.4.6.4 darzustellen. Im Prüfbericht muss auch ein Diagramm 5 enthalten sein, in dem die gemessenen Werte der Kollektorleistung gegen die berechneten Werte aufgetragen sind. In Diagramm 5 müssen alle zur Bestimmung der Kollektorparameter verwendeten Prüfdaten enthalten sein (siehe auch Anmerkung in 6.3.4.5.2). Der Einfallswinkel-Korrekturfaktor (IAM),  $K_{\theta b}(\theta)$ , muss in Diagramm 6 nach Bild 5 oder Bild 6 angegeben werden.

Zusätzlich zu den Leistungsparametern des Kollektors nach Anhang D oder Anhang E sollten auch alle nach Gleichung (32) ermittelten quasi-dynamischen Leistungsparameter im Prüfbericht aufgenommen werden.

**6.3.4.8 Bestimmung der Parameter und Berechnung der Nutzwärmeleistung des Kollektors**

**6.3.4.8.1 Hilfsmittel zur Bestimmung der Kollektorparameter**

Die Multiple Lineare Regression (MLR) stellt ein sehr schnelles nicht-iteratives Matrixverfahren dar, das in den meisten Standardprogrammen mit statistischen Funktionen wie Tabellenkalkulationsprogrammen oder noch spezialisierteren statistischen Programmen wie MINITAB oder SISS enthalten ist. Linear bedeutet in diesem Zusammenhang, dass das Modell als Summe von Ausdrücken darzustellen ist, bei denen die Parameter  $p_n$  vor den Ausdrücken als Multiplikatoren auftreten.

BEISPIEL 
$$Y_{out} = p_0 + p_1 \cdot f(x_1, x_2) + p_2 \cdot g(x_1, x_3, x_4) + p_3 \cdot h(x_2, x_5) \tag{31}$$

Die in diesem Ausdruck auftretenden Untermodelle  $f(x..)$ ,  $g(x..)$  und  $h(x..)$  können in hohem Maße nichtlinear sein.

Das MLR-Verfahren lässt die völlig freie Auswahl von Daten aus der Prüfdatenbank in Übereinstimmung mit einer beliebigen Prüffestlegung zu, bevor die Bestimmung der Parameter durch MLR erfolgt.

Diese Auswahl kann innerhalb einiger Tage nach den Messungen erfolgen.

ANMERKUNG 1 Das bedeutet z. B., dass Prüfdaten mit  $G^* > 700 \text{ Wm}^{-2}$ ,  $dt_m/dt < 0,002 \text{ Ks}^{-1}$ ,  $u > 2 \text{ ms}^{-1}$  und  $t_a - t_s > 10 \text{ K}$  für die Bestimmung der Parameter durch MLR ausgewählt werden können, falls diese Prüfanforderungen in Betracht gezogen werden. Selbst bei einer sehr großen Datenbank werden für die Bestimmung der Parameter nur einige Sekunden Rechenzeit benötigt, wodurch MLR auch in Forschung und Entwicklung sehr vielseitig einsetzbar ist.

ANMERKUNG 2 Seit einigen Jahren ist auch eine besondere Form der MLR (erweiterte MLR) geprüft worden, die es ermöglicht, den gleichen Parameter in unterschiedlichen Untergruppen der Datenbank zu bestimmen. Dies ermöglicht z. B. die Bestimmung des verlustfreien Kollektorwirkungsgrades für jeden Winkel zwischen zwei Achsen  $\theta_L$  und  $\theta_t$ , ohne dass eine Gleichung erforderlich ist. Der Ausdruck  $K_{0b}(\theta_i)$  wird verallgemeinert und durch  $K_{0b}(\theta_L, \theta_t)$  in Gleichung (32) ersetzt. Die Parameter können weiterhin mit der üblichen MLR-Software in einem Durchlauf bestimmt werden. Das ist sehr nützlich für besondere Kollektoren wie ETC, CPC oder unabgedeckte Kollektoren mit runden, separaten Absorberröhren, die nicht mit Hilfe üblicher IAM-Gleichungen modelliert werden können. Die abgeleiteten IAM-Ergebnisse können in Simulationsprogrammen wie TRNSYS, WATSUN oder MINSUN direkt verwendet werden. Kürzlich fand man ebenfalls heraus, dass der Wärmeverlustfaktor in aufeinander folgenden Bereichen von  $\Delta T$  bestimmt werden kann. Damit wird das Problem überwunden, dass zwischen den  $\Delta T$ - und  $\Delta T^2$ -Ausdrücken eine leichte Korrelation besteht. Der Wärmeverlustkoeffizient kann auf diese Weise auch für Kollektoren modelliert werden, die besondere Wärmeverlusteffekte aufweisen, wie Kollektoren mit Wärmeröhren oder andere besondere Konstruktionen.

Andere, nichtlineare Verfahren können als Werkzeug zur Beschreibung der Parameter neben dem MLR-Verfahren verwendet werden; Voraussetzung ist jedoch, dass diese Verfahren – wie das MLR-Verfahren – in der Lage sind, den Fehler bei der Ausgangsleistung des Kollektors zu minimieren.

**6.3.4.8.2 Kollektormodell**

Dieses Modell ist grundsätzlich das gleiche wie das in 6.1 und 6.2 für den stationären Fall verwendete Modell, jedoch mit einigen zusätzlichen Korrekturgliedern. Hier wird die Abhängigkeit von der direkten und diffusen Strahlung, der Windgeschwindigkeit, der Himmelstemperatur, den Einwirkungen des Einstrahlwinkels und dem effektiven thermischen Wirkungsgrad abgebildet. Weitere Informationen sind im Anhang H enthalten.

$$\begin{aligned} \dot{Q} / A = & F'(\tau\alpha)_{en} K_{0b}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{en} K_{0d} G_d - c_6 u G^* - c_1(t_m - t_a) - c_2(t_m - t_a)^2 \\ & - c_3 u(t_m - t_a) + c_4(E_L - \sigma T_a^4) - c_5 dt_m / dt \end{aligned} \tag{32}$$

wobei im Fall des Bezugs auf die Absorberfläche für die Fläche  $A_A$  und im Fall des Bezugs auf die Aperturfläche  $A_a$  zu verwenden ist (siehe Anhang J).

ANMERKUNG Im Strahlungsteil ist die Anwendung von Grad Kelvin bequemer. In den übrigen Ausdrücken werden jedoch Grad Celsius eingesetzt (siehe Abschnitt 4).

### 6.3.4.8.3 Verwendung des Kollektormodells für unterschiedliche Kollektortypen

Das Kollektormodell nach 6.3.4.8.2 sollte die meisten der auf dem Markt verfügbaren Kollektorkonstruktionen umfassen, mit Ausnahme von ICS-Kollektoren. Ob für einen bestimmten Kollektortyp (oder eine Kollektorkonstruktion) das vollständige Kollektormodell angewandt werden sollte oder nicht, wird im Allgemeinen vom Ergebnis der Parameteridentifikation bestimmt; die Verwendung von  $F'(\tau\alpha)_{\text{en}}$ ,  $K_{\theta\text{b}}(\theta)$ ,  $K_{\theta\text{d}}$  und die Koeffizienten  $c_1$ ,  $c_2$  und  $c_5$  sind jedoch für alle Kollektortypen obligatorisch.

ANMERKUNG 1 Für nachgeführte Konzentrator Kollektoren kann die Einbeziehung von  $K_{\theta\text{d}}$  unter Umständen ohne Bedeutung sein und sollte deshalb durch das  $T$ -Verhältnis der Regression bestimmt werden, wie nachfolgend angegeben. Dann sollten  $K_{\theta\text{b}}(\theta) = 1,0$  und  $K_{\theta\text{d}} = 0$  in Gleichung (32) eingesetzt und die Parameteridentifikation wiederholt werden.

Ob die Koeffizienten  $c_3$ ,  $c_4$  und  $c_6$  in das Kollektormodell einzubeziehen sind, wird durch das  $T$ -Verhältnis (Parameterwert/Standardabweichung des Parameterwertes) der Parameteridentifikation bestimmt. Für die bei den Prüfergebnissen angegebenen Parameter sollte das  $T$ -Verhältnis größer als 2 sein. Bei einem  $T$ -Verhältnis unter 2 (ausreichende Variabilität der Eingangsdaten vorausgesetzt) ist der Koeffizient gleich null zu setzen und die Parameterbestimmung sollte mit dem angepassten Kollektormodell wiederholt werden.

Für ungedeckte Kollektoren ist das vollständige Kollektormodell zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Empirisch wurde festgestellt, dass das vollständige Kollektormodell, das Wärmekapazität und Korrekturfaktoren für diffuse Strahlung und Einfallswinkel enthält, sehr genau ist. Falls zwischen Modell und Messdaten Widersprüche auftreten, ist das Problem in den meisten Fällen beim Kollektor, dem Prüfaufbau oder den Messungen zu suchen.

### 6.3.4.8.4 Grafische Darstellung der Prüfergebnisse

Um Konformität mit den Prüfungen nach 6.1 und 6.2 herzustellen, sind die Prüfergebnisse in Form einer Leistungskurve als Funktion der Temperaturdifferenz zwischen der mittleren Temperatur des Wärmeträgers und der Umgebungstemperatur ( $t_m - t_a$ ) darzustellen, die aus der Leistungsfunktion, Gleichung (32), unter Verwendung des Wertes  $G^* = 1\,000\text{ Wm}^{-2}$  und eines diffusen Anteils von 15 %, d. h.  $G_d = 150\text{ Wm}^{-2}$ , berechnet werden. Der Parameter  $dt_m/dt$  wird gleich null und  $\theta_1$  gleich 15 gesetzt ( $dt_m/dt = 0$  und  $\theta_1 = 15$ ), um auf stationäre Betriebsbedingungen um den solaren Mittag anzugleichen (Gleichung 32.1). Falls im Kollektormodell für abgedeckte Kollektoren nach 6.3.4.8.3 die Abhängigkeit der Wärmeverluste von der Windgeschwindigkeit und der verlustfreie Kollektorwirkungsgrad verwendet werden ( $c_3 > 0$  und  $c_6 > 0$ ), sollte in der Gleichung die Windgeschwindigkeit  $u = 3\text{ ms}^{-1}$  gesetzt werden. Falls im Kollektormodell die Abhängigkeit des Wärmeverlustfaktors von der Himmelstemperatur verwendet wird ( $c_4 > 0$ ), sollte in der Gleichung ( $E_L - \sigma T_a^4$ ) =  $-100\text{ Wm}^{-2}$  gesetzt werden.

$$\begin{aligned} \dot{Q} = (AG^*)(F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta\text{b}}(15) \cdot 0,85 + F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta\text{d}} \cdot 0,15 - c_6 \cdot (3\text{m/s}) - c_1 (t_m - t_a) \\ - c_2 (t_m - t_a)^2 - c_3 (3\text{m/s})(t_m - t_a) - c_4 (100\text{W/m}^2)) \end{aligned} \quad (32.1)$$

Die grafische Darstellung der Prüfergebnisse für ungedeckte Kollektoren sollte in gleicher Weise erfolgen, jedoch unter Bezugnahme auf Anhang E.

Das Produkt  $(AG^*)(F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta\text{b}}(15) \cdot 0,85 + F(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\theta\text{d}} \cdot 0,15)$  ist zu verwenden als  $W_{\text{peak}}$ .

ANMERKUNG Der Wert von  $(E_L - \sigma T_a^4)$  ist normalerweise negativ, da die effektive Himmelsstrahlungstemperatur niedriger als die Umgebungslufttemperatur ist. Die netto langwellige Einstrahlung von minus  $100 \text{ Wm}^{-2}$  entspricht den Bedingungen bei etwa heiterem Himmel, wenn  $t_a = 20 \text{ °C}$  und  $t_s = 0 \text{ °C}$  betragen.

### 6.3.5 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität

#### 6.3.5.1 Allgemeines

Die effektive Wärmekapazität  $C$  und die Zeitkonstante eines Kollektors stellen wichtige Parameter dar, die dessen instationäres Verhalten bestimmen. Ein Kollektor kann üblicherweise als Kombination von Massen mit unterschiedlichen Temperaturen betrachtet werden. Beim Betrieb eines Kollektors reagiert jede Kollektorkomponente auf einen Wechsel der Betriebsbedingungen anders. Deshalb ist es nützlich, eine effektive Wärmekapazität für den gesamten Kollektor zu berücksichtigen.

Die Bestimmung von  $c_5$  (siehe Gleichung (32)) erfordert einen ausreichend großen Schwankungsbereich von  $dt_m/dt$ . Da bei einer Prüfung nach 6.1 und 6.2 die Eintrittstemperatur auf Grund der Kompatibilitätsanforderung fest vorgegeben ist, kann dies während der Prüfung nur durch Schwankung der Bestrahlungsstärke erreicht werden.

#### 6.3.5.2 Verfahren

Die effektive Wärmekapazität dargestellt als  $c_5$  und gleich  $C/A$ , ist ein obligatorischer Teil des Kollektormodells, Gleichung (32), und wird gleichzeitig mit allen anderen Kollektorparametern bestimmt.

Es ist wesentlich, dass während der Prüfung eine ausreichend große Veränderlichkeit der Sonnenstrahlung vorhanden ist, so dass die Wirkung der Wärmekapazität bedeutsam ist. Nach allen bisher vorliegenden empirischen Daten haben teilweise wolkige Bedingungen eine zur Bestimmung von  $c_5$  ausreichende Veränderlichkeit von  $dt_m/dt$  zur Folge. Während des teilweise wolkigen Tages sollte  $dt_m/dt$  den Wert von  $\pm 0,005 \text{ Ks}^{-1}$  übersteigen. Falls der unwahrscheinliche Fall eintritt, dass dies während der Prüfperiode nicht erfüllt wird, müssen die zur Bestimmung verwendeten Messdaten durch einen zusätzlichen Prüftag mit teilweise wolkigen Bedingungen, Tagestyp 2 nach 6.3.4.6.1, ergänzt werden.

### 6.3.6 Einfallswinkel-Korrekturfaktor auf den Kollektor

Die Einfallswinkel-Korrekturfaktoren des Kollektors (IAM), dargestellt als  $K_{\theta b}(\theta)$  für direkte Strahlung und  $K_{\theta d}$  für diffuse Strahlung (siehe auch Anmerkung 1 in 6.3.4.8.3), sind obligatorische Teile des Kollektormodells, Gleichung (32), und werden gleichzeitig mit allen anderen Kollektorparametern bestimmt.

Die grundsätzliche Darstellung der IAM-Abhängigkeit von Flachkollektoren muss mit folgender Gleichung durchgeführt werden

$$K_{\theta b}(\theta) = 1 - b_0 \left( \left( \frac{1}{\cos \theta_1} \right) - 1 \right) \quad (33)$$

wie z. B. in ASHRAE 93-77 beschrieben.

Bei Kollektoren (z. B. Vakuum-Röhrenkollektoren und CPC-Kollektoren), deren Einfallswinkeleffekte abhängig von der Einfallsrichtung sind, ist es erforderlich, die Einfallswinkeleffekte aus mehr als einer Richtung zu messen, um den Einfallswinkel-Korrekturfaktor vollständig zu beschreiben.

Der komplexe Einfallswinkel-Korrekturfaktor kann geschätzt werden, indem dieser als Produkt der getrennten Einfallswinkel-Korrekturfaktoren,  $K_{\theta L}$  und  $K_{\theta T}$  für zwei rechtwinklig symmetrische Ebenen angesehen wird (Gleichung 33.1).

$$K_{\theta b}(\theta) = K_{\theta L} \cdot K_{\theta T} \quad (33.1)$$

Die Längsebene (Index L) läuft parallel zur optischen Achse des Kollektors und die Transversalebene (Index T) liegt senkrecht zur optischen Achse. Die Winkel  $\theta_L$  und  $\theta_T$  sind die Projektionen des Einfallswinkels  $\theta$  auf die Längs- bzw. Transversalebene.

Für die Beziehung zwischen  $\theta$ ,  $\theta_L$  und  $\theta_T$  gilt die folgende Gleichung:

$$\tan^2 \theta = \tan^2 \theta_L + \tan^2 \theta_T \quad (33.2)$$

Während der Messung des Einfallswinkel-Korrekturfaktors in einer Ebene eines optisch asymmetrischen Kollektors sollte der Einfallswinkel innerhalb der anderen Ebene auf einem Wert gehalten werden, bei dem der Einfallswinkel-Korrekturfaktor um nicht mehr als 2 % von dem bei üblichen Einfall abweicht.

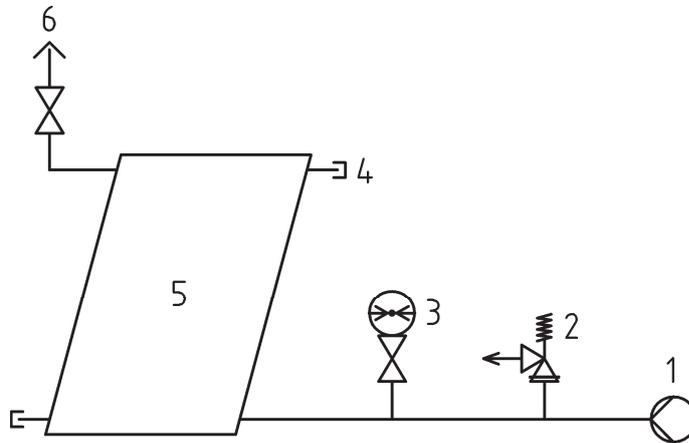
Für Kollektoren mit besonderer IAM-Abhängigkeit siehe auch Anmerkung in 6.3.4.8.1.

$K_{\theta d}$  muss als Kollektorkonstante dargestellt werden.

Für allgemeine Informationen siehe auch 6.1.7.

## Anhang A (normativ)

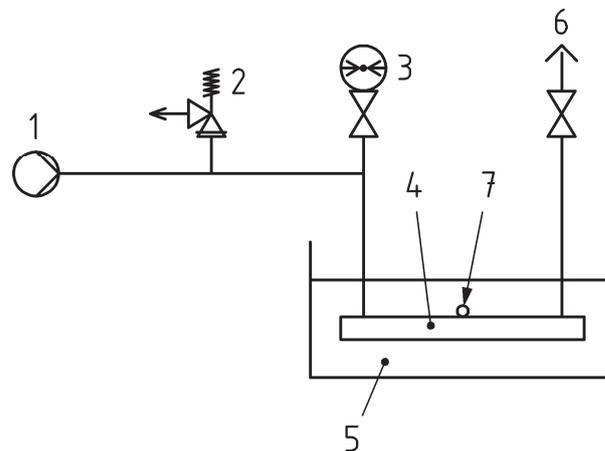
### Prinzipiskizzen für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen



#### Legende

- 1 Hydraulischer Druckgeber
- 2 Sicherheitsventil
- 3 Druckmessgerät
- 4 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet
- 5 Kollektor mit anorganischem Absorber
- 6 Entlüftungsventil

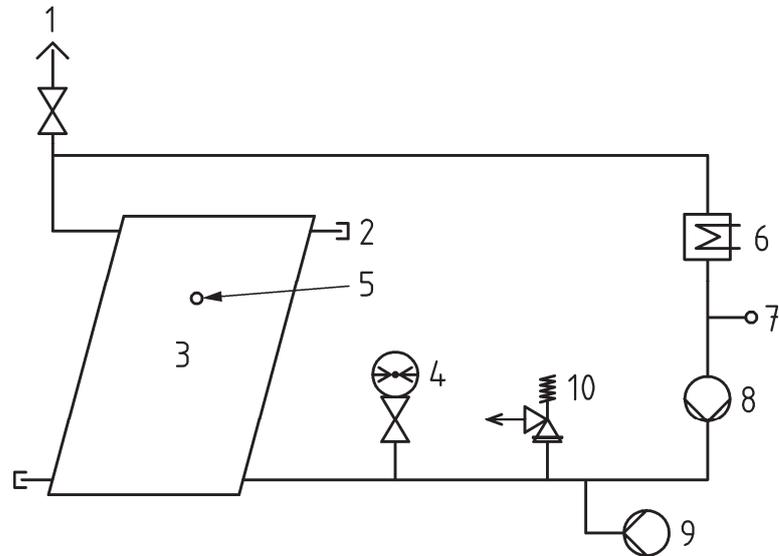
**Bild A.1 — Prinzipiskizze für die Innendruckprüfung anorganischer Absorber**



#### Legende

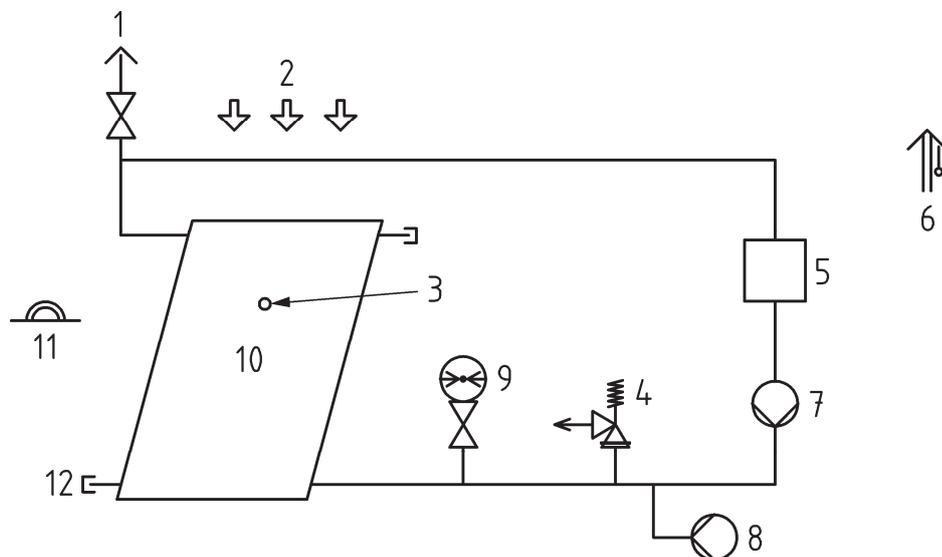
- 1 Hydraulischer oder pneumatischer Druckgeber
- 2 Sicherheitsventil
- 3 Druckmessgerät
- 4 Organischer Absorber
- 5 Beheiztes Wasserbad
- 6 Entlüftungsventil (nur für hydraulische Absorber)
- 7 Am Absorber befestigter Temperaturfühler

**Bild A.2 — Prinzipiskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber für unabgedeckte Kollektoren**

**Legende**

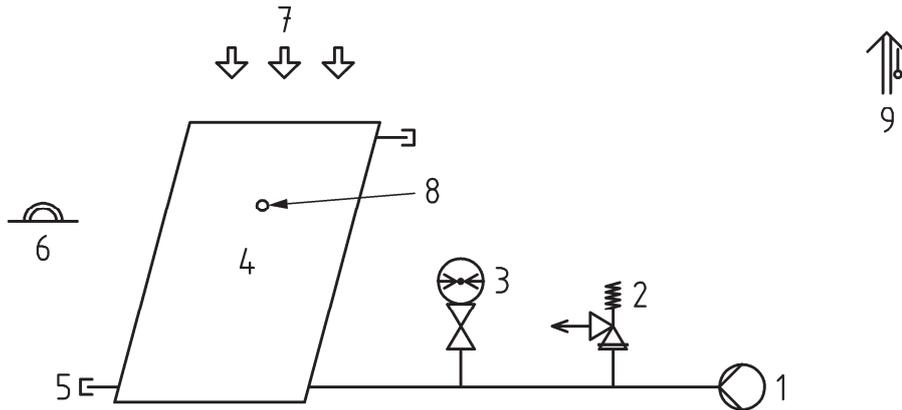
- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1 Entlüftungsventil                           | 6 Heißölquelle             |
| 2 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet | 7 Temperaturfühler         |
| 3 Kollektor mit organischem Absorber          | 8 Umwälzpumpe              |
| 4 Druckmessgerät                              | 9 Hydraulische Druckquelle |
| 5 Am Absorber befestigter Temperaturfühler    | 10 Sicherheitsventil       |

**Bild A.3 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Heißöleinspeisung)**

**Legende**

- |  |  |
|--|--|
| 1 Entlüftungsventil                          | 7 Umwälzpumpe                                  |
| 2 Natürliche oder simulierte Sonnenstrahlung | 8 Hydraulische Druckquelle                     |
| 3 Am Absorber befestigter Temperaturfühler   | 9 Druckmessgerät                               |
| 4 Sicherheitsventil                          | 10 Kollektor mit organischem Absorber          |
| 5 Ölquelle                                   | 11 Pyranometer in der Kollektorebene           |
| 6 Fühler für die Umgebungstemperatur         | 12 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet |

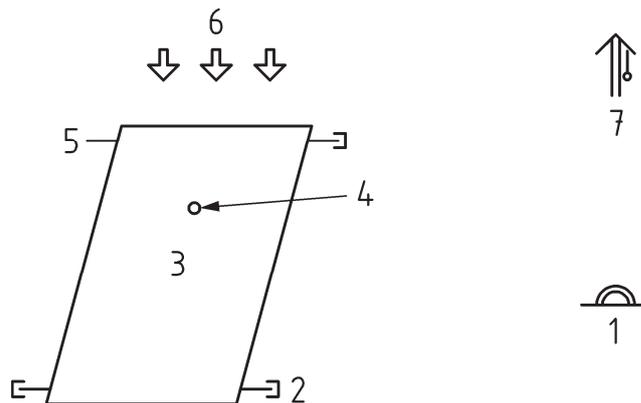
**Bild A.4 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber zur Verwendung mit Wärmeträgern auf Ölbasis (Prüfung unter Sonneneinstrahlung)**



**Legende**

- |   |  |
|---|--|
| 1 Druckluftanschluss                          | 6 Pyranometer in der Kollektorebene          |
| 2 Sicherheitsventil                           | 7 Natürliche oder simulierte Sonnenstrahlung |
| 3 Druckmessgerät                              | 8 Am Absorber befestigter Temperaturfühler   |
| 4 Kollektor mit organischem Absorber          | 9 Fühler für die Umgebungstemperatur         |
| 5 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet |  |

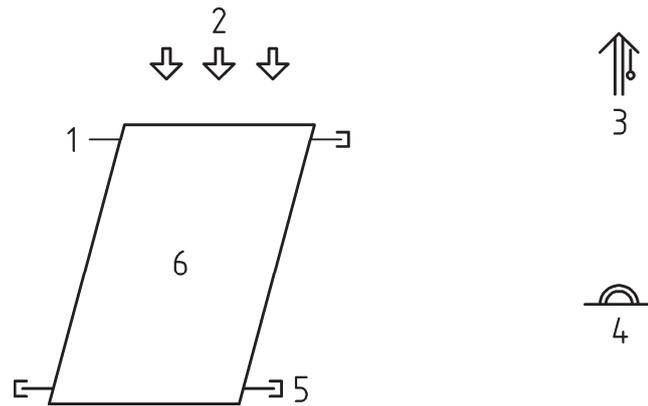
**Bild A.5 — Prinzipskizze für die Innendruckprüfung organischer Absorber (Prüfung mit Pressluft unter Sonneneinstrahlung)**



**Legende**

- |   |  |
|---|--|
| 1 Pyranometer in der Kollektorebene           | 5 Offener Anschlussstutzen                   |
| 2 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet | 6 Natürliche oder simulierte Sonnenstrahlung |
| 3 Kollektor                                   | 7 Fühler für die Umgebungstemperatur         |
| 4 Am Absorber befestigter Temperaturfühler    |  |

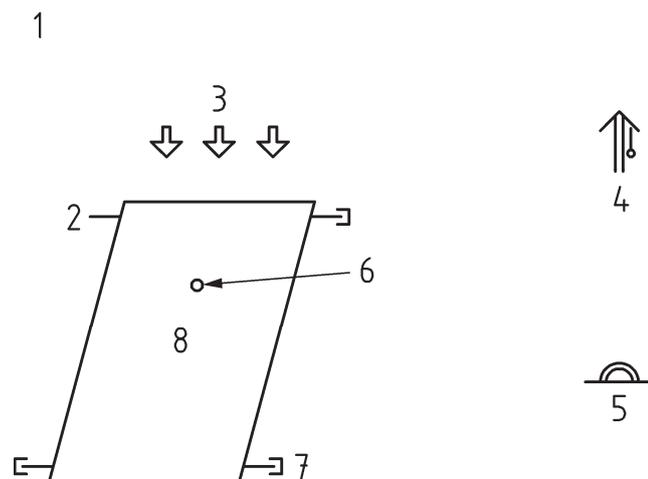
**Bild A.6 — Prinzipskizze für die Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit (im Freien oder im Simulator)**



**Legende**

- 1 Offener Anschlussstutzen
- 2 Sonnenstrahlung
- 3 Fühler für die Umgebungstemperatur
- 4 Pyranometer in der Kollektorebene
- 5 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet
- 6 Kollektor

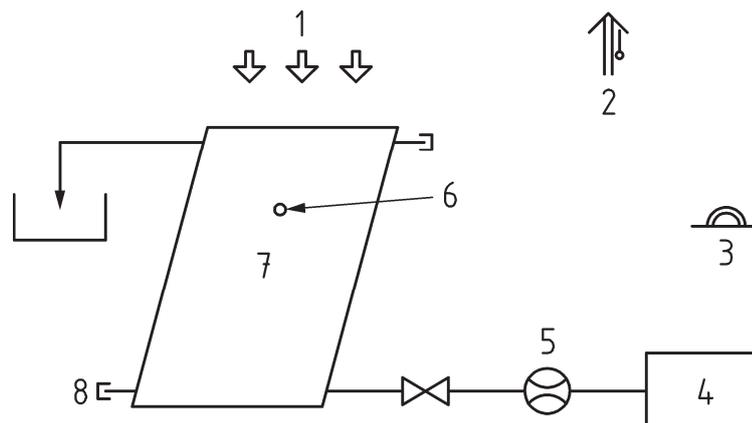
**Bild A.7 — Prinzipskizze für die Expositionsprüfung**



**Legende**

- 1 Alle Seiten mit Wasser besprühen
- 2 Offener Anschlussstutzen
- 3 Natürliche oder simulierte Sonnenstrahlung
- 4 Fühler für die Umgebungstemperatur
- 5 Pyranometer in der Kollektorebene
- 6 Am Absorber befestigter Temperaturfühler
- 7 Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet
- 8 Kollektor

**Bild A.8 — Prinzipskizze für die schnelle äußere Temperaturwechselprüfung**

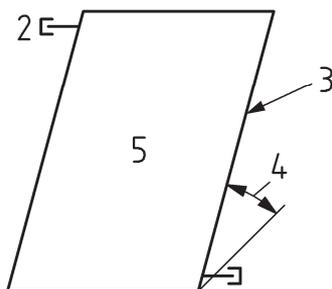


**Legende**

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
| 1 | Natürliche oder simulierte Sonnenstrahlung | 5 | Durchflussmessgerät                         |
| 2 | Fühler für die Umgebungstemperatur         | 6 | Am Absorber befestigter Temperaturfühler    |
| 3 | Pyranometer in der Kollektorebene          | 7 | Kollektor                                   |
| 4 | Quelle des Wärmeträgers                    | 8 | Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet |

**Bild A.9 — Prinzipskizze für die schnelle innere Temperaturwechselprüfung**

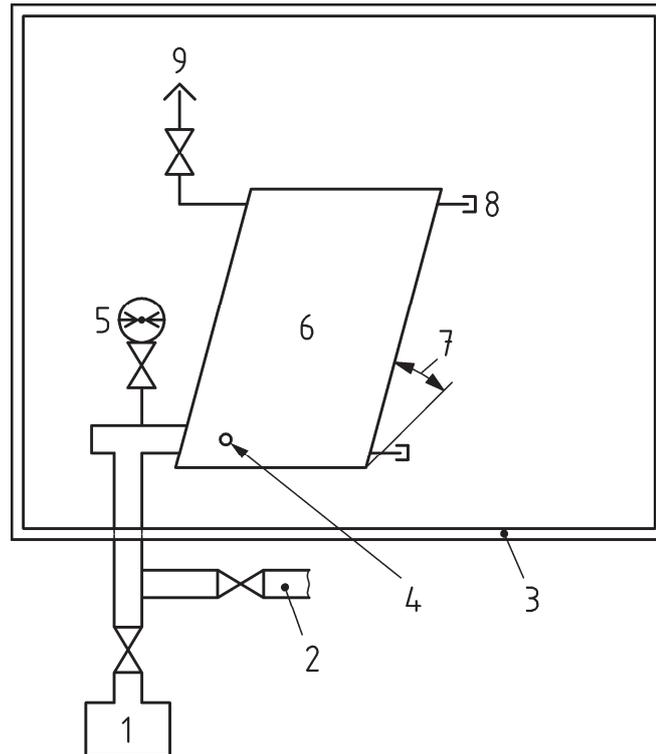
1



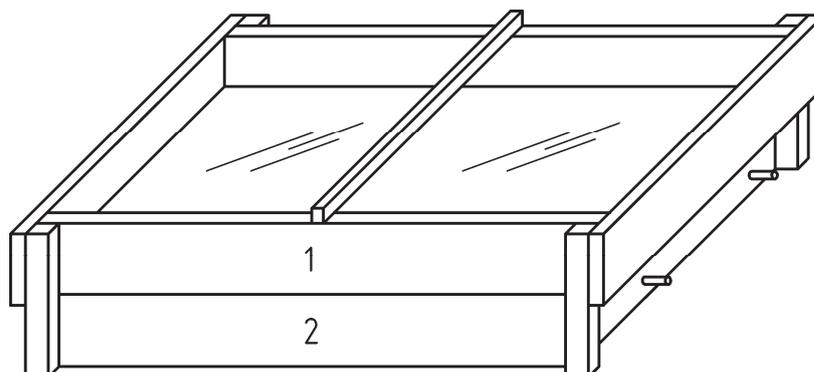
**Legende**

- |   |  |
|---|--|
| 1 | Alle Seiten mit Wasser besprühen   |
| 2 | Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet  |
| 3 | Zu schützende Unterseite bei Kollektoren, die für den Einbau in Dacheindeckungen vorgesehen sind |
| 4 | Neigungswinkel   |
| 5 | Kollektor  |

**Bild A.10 — Prinzipskizze für die Prüfung auf eindringendes Regenwasser**

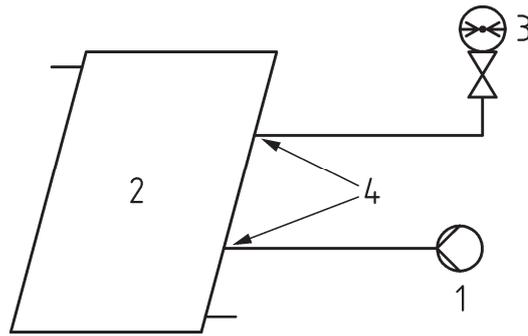
**Legende**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 | Wasserquelle  | 5 | Druckmessgerät                              |
| 2 | Ablassrohr (nur für Anlagen mit externer Kollektorentleerung) | 6 | Kollektor                                   |
| 3 | Kammer für Temperaturwechselbeanspruchung                     | 7 | Neigungswinkel                              |
| 4 | Temperaturfühler  | 8 | Anschlussstutzen, mit Hutmutter abgedichtet |
|   |   | 9 | Entlüftungsventil                           |

**Bild A.11 — Prinzipskizze für die Prüfung der Frostbeständigkeit****Legende**

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | Holzrahmen für Kies |
| 2 | Kollektor           |

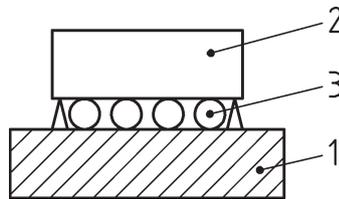
**Bild A.12 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Überdruck auf der Kollektorabdeckung)**



**Legende**

- 1 Pressluftanschluss
- 2 Kollektor
- 3 Druckmessgerät
- 4 Löcher im Luftspalt zwischen Kollektorabdeckung und Absorber

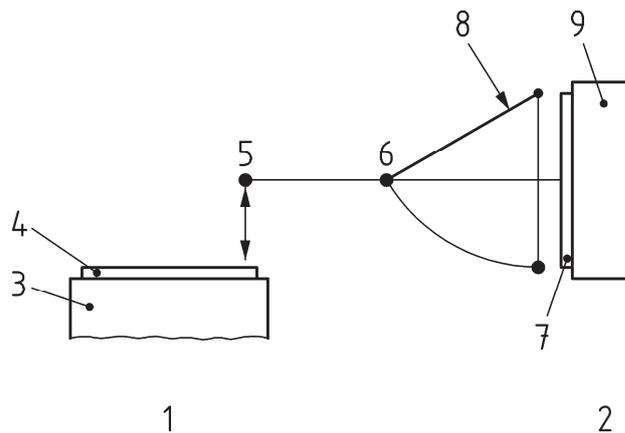
**Bild A.13 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Befestigungen zwischen Kollektorabdeckung und Kollektorgehäuse)**



**Legende**

- 1 Steife Unterlage
- 2 Kollektor
- 3 Luftkissen zum Aufbringen der Druckbelastung

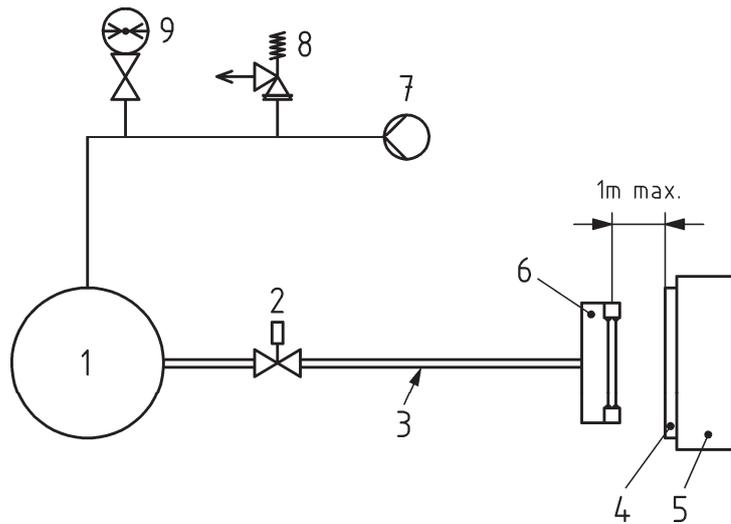
**Bild A.14 — Prinzipskizze für die mechanische Prüfung (Unterdruck auf den Montageelementen des Kollektors)**



**Legende**

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1 Alternative A (senkrecht fallende Stahlkugel) | 6 Stahlkugel     |
| 2 Alternative B (Pendel)                        | 7 Kollektor      |
| 3 Starrer Rahmen                                | 8 Pendel         |
| 4 Kollektor                                     | 9 Starrer Rahmen |
| 5 Stahlkugel                                    |                  |

**Bild A.15 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Stahlkugeln**



### Legende

- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1 | Reservoir                              | 6 | Photoelektrisches Geschwindigkeitsmesssystem |
| 2 | Großes, schnell öffnendes Magnetventil | 7 | Pressluftanschluss                           |
| 3 | Lauf                                   | 8 | Sicherheitsventil                            |
| 4 | Kollektor                              | 9 | Druckmessgerät                               |
| 5 | Starrer Rahmen                         |   |  |

**Bild A.16 — Prinzipskizze für die Prüfung der Schlagfestigkeit mittels Eiskugeln**

**Anhang B**  
(normativ)

**Prüfprotokolle für Dauerhaftigkeits- und Zuverlässigkeitsprüfungen**

**Kennzeichnung des Kollektors**

Hersteller:

Handelsname:

Kollektortyp:      Unabgedeckt/Abgedeckt/Vakuumkollektor

Herstellungsjahr:

Seriennummer:

Zeichnungsnummer:

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

**B.1 Protokoll der Prüfreihefolge und Zusammenfassung der Hauptergebnisse**

Alle größeren Schäden am Kollektor einschließlich eindringendes Regenwasser sollten in Tabelle B.1 zusammengefasst angegeben werden. Die vollständigen Einzelheiten sollten auf den Vordrucken für die Einzelprüfergebnisse angegeben werden.

**Tabelle B.1**

Prüfung	Datum		Zusammenfassung der Hauptergebnisse
	Beginn	Ende	
Innendruck			
Hochtemperaturbeständigkeit			
Exposition			
schneller Temperaturwechsel, außen	erster		
	zweiter		
schneller Temperaturwechsel, innen	erster		
	zweiter		
Eindringender Regen			
Frostbeständigkeit			
Mechanische Belastung			
Wärmeleistung			
Schlagfestigkeit (wahlweise)			
Endüberprüfung			

**Bemerkungen:**.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

## B.2 Innendruckprüfung für anorganische Absorber

ANMERKUNG Für die Innendruckprüfung von Absorbern aus organischen Werkstoffen siehe Abschnitt B.3.

### B.2.1 Technische Daten des Kollektors

#### B.2.1.1 Kollektortyp:

- abgedeckt
- unabgedeckt

**B.2.1.2 Vom Hersteller festgelegter höchster Kollektorbetriebsdruck:** kPa

### B.2.2 Prüfbedingungen

Prüftemperatur: ..... °C

Prüfdruck: ..... kPa

Prüfdauer: ..... min

### B.2.3 Prüfergebnisse

Einzelheiten hinsichtlich beobachteter oder gemessener Undichtheiten, Ausbauchungen oder Verdrehungen sowie Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....

### B.3 Innendruckprüfung für Absorber aus organischen Werkstoffen

ANMERKUNG Siehe Abschnitt B.2 für Innendruckprüfung für anorganische Absorber.

#### B.3.1 Technische Daten des Kollektors

##### B.3.1.1 Kolleortyp:

- abgedeckt
- unabgedeckt

**B.3.1.2 Vom Hersteller festgelegter höchster Kollektorbetriebsdruck:** kPa

**B.3.1.3 Berechnete Stagnationstemperatur des Kollektors:** °C

Einzelheiten der Berechnung angeben, mit Angabe der verwendeten Eingangsdaten (bei Bedarf weitere Seite hinzufügen)

#### B.3.2 Prüfbedingungen

##### B.3.2.1 Medium zur Druckerzeugung im Absorber:

- Öl
- Luft
- Anderes (festlegen)

##### B.3.2.2 Verfahren zum Aufheizen des Absorbers:

- Wasserbad
- Heizer in Wärmeträgerkreislauf
- natürliche Sonnenbestrahlung
- simulierte Sonnenbestrahlung

**B.3.2.3 Gemessene Prüftemperatur des Absorbers:** °C

**B.3.2.4 Endprüfdruck:** kPa

**B.3.2.5 Prüfdauer beim Endprüfdruck:** min

Kollektor-Referenznummer: .....

**B.3.2.6**

Zwischenprüfdrücke kPa	Dauer der Prüfung bei jedem Zwischendruck min

**B.3.2.7 Für Absorberprüfung unter Einstrahlung**

Neigungswinkel des Kollektors (zur Horizontalen, in Grad): ..... °

Mittlere Bestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mittlere Umgebungstemperatur während der Prüfung: ..... °C

Mittlere Windgeschwindigkeit während der Prüfung: ..... m/s

**B.3.3 Prüfergebnisse**

Einzelheiten hinsichtlich beobachteter oder gemessener Undichtheiten, Ausbauchungen oder Verwindungen und der Prüfdruck, bei dem diese Fehler auftraten, sowie Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

## B.4 Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit

### B.4.1 Verfahren zum Aufheizen der Kollektoren:

- Prüfung im Freien
- Im Sonnenstrahlungssimulator

### B.4.2 Prüfbedingungen

#### B.4.2.1 Allgemeines

Neigungswinkel des Kollektors (zur Horizontalen, in Grad): ..... °

Mittlere Bestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mittlere Umgebungslufttemperatur: ..... °C

Mittlere Windgeschwindigkeit in der Umgebung: ..... m/s

Mittlere Absorbtemperatur: ..... °C

Dauer der Prüfung: ..... min

#### B.4.2.2 Erforderliche Zusatzinformationen bei Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren

Die Kolleortemperatur wurde an nachfolgend angegebener Stelle gemessen:

#### B.4.2.3 Erforderliche Zusatzinformationen bei Messung der Absorbtemperatur mit Hilfe einer besonderen Flüssigkeit (nach 5.3.2, Anmerkung 2)

Der Absorber wurde teilweise gefüllt mit ..... und der mittlere Druck betrug ..... Pa; dem entspricht die in B.4.2 angegebene mittlere Absorbtemperatur.

### B.4.3 Prüfergebnisse

Einzelheiten hinsichtlich beobachteter oder gemessener Leistungsminderungen, Verwindungen, Schrumpfung oder Gasbildung sowie Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden:

.....

.....

.....

.....

.....

.....



Kollektor-Referenznummer: .....

**B.5.3 Klimatische Bedingungen für alle Prüftage**

**Tabelle B.2**

<b>Datum</b>	<i>H</i> MJ/m <sup>2</sup>	<i>t<sub>a</sub></i> °C	<b>Regen</b> mm	<b>Datum</b>	<i>H</i> MJ/m <sup>2</sup>	<i>t<sub>a</sub></i> °C	<b>Regen</b> mm
<b>Gesamt:</b> .....Tage mit <i>H</i> > ..... MJ/m <sup>2</sup>							

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

**B.5.4 Zeitabschnitte, in denen die Werte der Bestrahlungsstärke und der Umgebungslufttemperatur höher sind, als die Werte nach Tabelle 4**

Tabelle B.3

Datum	$G$ W/m <sup>2</sup>	$t_a$ °C	Zeitabschnitte min
Gesamt:			

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

**B.5.5 Ergebnisse der Überprüfung**

Jedes mögliche Problem ist nach folgender Einteilung zu bewerten:

- 0 – kein Problem
- 1 – geringes Problem
- 2 – schweres Problem
- \* – Überprüfung zur Einstellung der Bedingung war nicht möglich

<b>Kollektorbauteil</b>	<b>Mögliches Problem Bewertung</b>
a) Kollektorgehäuse/Befestigungsteile	Rissbildung/Verwerfung/Korrosion/eindringendes Regenwasser .....
b) Montageelemente/Tragwerk	Festigkeit/Sicherheit .....
c) Verschlüsse/Dichtungen	Rissbildung/Haftung/Elastizität .....
d) Abdeckung/Reflektor	Rissbildung/Haarrisse/Ausbeulen/Abblättern ..... Verwerfung/ Ausgasen
e) Absorberbeschichtung	Rissbildung/Haarrisse/Blasenbildung .....
Absorberrohre und Kopfstücke	Verformung/Korrosion/Undichtheit/sich lösende Verbindungen .....
Absorberbefestigung	Verformung/Korrosion .....
f) Wärmedämmung	Wasseraufnahme/Ausgasen/Schwindung .....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

## B.6 Schnelle äußere Temperaturwechselprüfung:

### B.6.1 Prüfbedingungen

#### B.6.1.1 Allgemeines

Prüfung durchgeführt:

- im Freien  im Sonnenstrahlungssimulator

Prüfung kombiniert mit Expositionsprüfung:

- Ja  Nein

Prüfung kombiniert mit Hochtemperaturbeständigkeitsprüfung:

- Ja  Nein

Neigungswinkel des Kollektors (zur Horizontalen, in Grad): ..... °

Mittlere Bestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mindestbestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mittlere Umgebungslufttemperatur: ..... °C

Mindest-Umgebungslufttemperatur: ..... °C

Zeitdauer, während der vor dem äußeren Temperaturwechsel die geforderten Betriebsbedingungen eingehalten wurden: ..... min

Massenstrom des Sprühwassers: ..... kg/(sm<sup>2</sup>)

Temperatur des Sprühwassers: ..... °C

Sprühdauer: ..... min

Absorbtemperatur unmittelbar vor dem Besprühen: ..... °C

#### B.6.1.2 Erforderliche Zusatzinformationen bei Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren

Die Kollektortemperatur wurde an nachfolgend angegebener Stelle gemessen:

#### B.6.1.3 Erforderliche Zusatzinformationen bei Messung der Absorbtemperatur mit Hilfe einer besonderen Flüssigkeit (nach 5.5.2, Anmerkung 2)

Der Absorber wurde teilweise gefüllt mit ..... und der mittlere Druck betrug ..... Pa; dem entspricht die in B.6.1.1 angegebene Absorbtemperatur.

**B.6.2 Prüfergebnisse**

In Bezug auf Risse, Verdrehung, Kondensation, eindringendes Wasser oder Vakuumverlust sowie Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden, sind alle Einzelheiten anzugeben, die bei einer Überprüfung des Kollektors nach der Prüfung festgestellt wurden.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

## B.7 Schnelle innere Temperaturwechselprüfung:

### B.7.1 Prüfbedingungen

#### B.7.1.1 Allgemeines

Prüfung durchgeführt:

- im Freien  im Sonnenstrahlungssimulator

Prüfung kombiniert mit Expositionsprüfung:

- Ja  Nein

Prüfung kombiniert mit Hochtemperaturbeständigkeitsprüfung:

- Ja  Nein

Neigungswinkel des Kollektors (zur Horizontalen, in Grad): ..... °

Mittlere Bestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mindestbestrahlungsstärke während der Prüfung: ..... W/m<sup>2</sup>

Mittlere Umgebungslufttemperatur während der Prüfung: ..... °C

Mindest-Umgebungslufttemperatur: ..... °C

Zeitdauer, während der vor dem inneren Temperaturwechsel die geforderten Betriebsbedingungen eingehalten wurden: ..... min

Massenstrom des Wärmeträgers: ..... kg/(sm<sup>2</sup>)

Temperatur des Wärmeträgers: ..... °C

Fließdauer des Wärmeträgers: ..... min

Absorbtemperatur unmittelbar vor dem Fließen des Wärmeträgers: ..... °C

#### B.7.1.2 Erforderliche Zusatzinformationen bei Prüfung von Vakuum-Röhrenkollektoren

Die Kollektortemperatur wurde an nachfolgend angegebener Stelle gemessen:

#### B.7.1.3 Erforderliche Zusatzinformationen bei Messung der Absorbtemperatur mit Hilfe einer besonderen (nach 5.5.2, Anmerkung 2)

Der Absorber wurde teilweise gefüllt mit ..... und der mittlere Druck betrug ..... Pa; dem entspricht die in B.7.1.1 angegebene Absorbtemperatur.

**B.7.2 Prüfergebnisse**

In Bezug auf Risse, Verdrehung, Kondensation, eindringendes Wasser oder Vakuumverlust sowie Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden, sind alle Einzelheiten anzugeben, die bei einer Überprüfung des Kollektors nach der Prüfung festgestellt wurden.

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

**B.8 Prüfung auf eindringendes Regenwasser**

**B.8.1 Prüfbedingungen**

**B.8.1.1 Kollektormontage**

Kollektor montiert auf:

- offenem Rahmen
- simuliertem Dach

Neigungswinkel des Kollektors (zur Horizontalen, in Grad): .....

**B.8.1.2 Zum Warmhalten des Absorbers angewandtes Verfahren:**

- Warmwasserkreislauf
- Aussetzen des Kollektors der Sonnenstrahlung

**B.8.1.3 Besprühen mit Wasser**

Massenstrom des Sprühwassers: ..... kg/(sm<sup>2</sup>)

Sprühdauer: ..... h

**B.8.2 Prüfergebnisse**

Fläche mit sichtbaren Anzeichen eingedrungenen Wassers (in Prozent der Aperturfläche): .....

Bei eindringendem Wasser ist im Einzelnen anzugeben, an welchen Stellen Wasser eingedrungen ist und welche Zeit bis zum Verschwinden der Anzeichen des eingedrungenen Regenwassers vergangen ist.

.....

.....

Es sind sämtliche Fehler anzugeben, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden:

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....

**B.9 Frostbeständigkeitsprüfung**

**B.9.1 Kollektortyp**

- Frostbeständigkeit mit Wasserfüllung
- Entleerung

**B.9.2 Prüfbedingungen**

**B.9.2.1 Neigungswinkel des Kollektors bei der Prüfung (zur Horizontalen, in Grad):** °

**B.9.2.2 Einzelheiten der Frost-Tau-Wechsel**

Anzahl der Frost-Tau-Wechsel	Frostbedingungen		Taubedingungen	
	Prüftemperatur °C	Dauer min	Prüftemperatur <sup>a</sup> °C	Dauer min
1				
2				
3				

<sup>a</sup> Bei frostbeständigen Kollektoren ist dies die Temperatur des Kollektorinhalts, z. B. Wasser, Eis. Bei Kollektoren mit Entleerung ist dies die im Inneren des Absorbers in der Nähe der Eintrittsöffnung gemessene Temperatur.

**B.9.2.3 Abkühlgeschwindigkeit der Klimakammer:** K/h

**B.9.2.4 Aufheizgeschwindigkeit der Klimakammer:** K/h

**B.9.3 Prüfergebnisse**

In Bezug auf Undichtheiten, Bruchstellen, Verdrehung oder Verformung sowie sämtliche Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden, sind Einzelheiten anzugeben.

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....

## **B.10 Mechanische Belastungsprüfung**

### **B.10.1 Überdruckprüfung der Kollektorabdeckung**

#### **B.10.1.1 Zum Aufbringen der Druckbelastung verwendetes Verfahren**

- Belastung durch Kies oder ähnliches Material
- Belastung durch Wasser
- Saugnäpfe
- Druckeinwirkung auf die Kollektorabdeckung

#### **B.10.1.2 Prüfbedingungen**

Maximale Druckbelastung:

#### **B.10.1.3 Prüfergebnisse**

Angabe von Einzelheiten zu Schäden, die nach der Prüfung an der Kollektorabdeckung aufgetreten sind, und des Wertes der Druckbelastung, durch die der Schaden verursacht wurde sowie sämtlicher Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**B.10.2 Zugprüfung der Befestigung zwischen Abdeckung und Kollektorgehäuse**

**B.10.2.1 Zum Aufbringen der Druckbelastung verwendetes Verfahren**

- Saugnäpfe
- Druckeinwirkung auf das Kollektorgehäuse

**B.10.2.2 Prüfbedingungen**

Maximale Druckbelastung:

**B.10.2.3 Prüfergebnisse**

Angabe von Einzelheiten zu Schäden, die nach der Prüfung an der Kollektorabdeckung oder der Abdeckungs-  
befestigung aufgetreten sind, und des Wertes der Druckbelastung, die den Schaden verursacht hat, sowie  
sämtlicher Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....

**B.10.3 Zugprüfung der Kollektorbefestigungen**

**B.10.3.1 Zum Aufbringen der Druckbelastung verwendetes Verfahren**

- Saugnäpfe  Luftkissen

**B.10.3.2 Prüfbedingungen**

Maximale Druckbelastung: Pa

**B.10.3.3 Prüfergebnisse**

Angabe von Einzelheiten zu Schäden, die nach der Prüfung an den Kollektorbefestigungen oder den Befestigungspunkten aufgetreten sind, und des Wertes der Druckbelastung, die den Schaden verursacht hat, sowie sämtlicher Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Kollektor-Referenznummer: .....

### B.11 Prüfung der Schlagfestigkeit mit Stahlkugeln

#### B.11.1 Prüfbedingungen

Kugeldurchmesser: mm

Masse der Kugel: g

Prüfung durchgeführt mit:

- vertikalem Aufschlag (fallende Kugel)
- horizontalem Aufschlag (Pendel)

#### B.11.2 Durchführung der Prüfung

Fallhöhe m	Anzahl der Fallversuche

#### B.11.3 Prüfergebnisse

Angabe von Einzelheiten jeglicher Beschädigung des Kollektors sowie von sämtlichen Fehlern, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden.

.....

.....

.....

.....

.....

Kollektor-Referenznummer: .....

## **B.12 Prüfung der Schlagfestigkeit mit Eiskugeln**

### **B.12.1 Prüfbedingungen**

Kugeldurchmesser: ..... mm

Masse der Kugel: ..... g

Geschwindigkeit der Kugel: ..... m/s

### **B.12.2 Durchführung der Prüfung**

Anzahl der Schläge: .....

### **B.12.3 Prüfergebnisse**

Angabe von Einzelheiten jeglicher Beschädigung des Kollektors sowie von sämtlichen Fehlern, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als "größere Fehler" bezeichnet werden.

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Kollektor-Referenznummer: .....
---------------------------------

### B.13 Ergebnisse der Endüberprüfung

Jedes mögliche Problem ist nach folgender Einteilung zu bewerten:

- 0 – kein Problem
- 1 – geringes Problem
- 2 – schweres Problem
- \* – Überprüfung zur Einstellung der Bedingung war nicht möglich

	<b>Kollektorbauteil</b>	<b>Mögliches Problem</b>	<b>Bewertung</b>
a)	Kollektorgehäuse/Befestigungsteile	Rissbildung/Verwerfung/Korrosion/eindringendes Regenwasser	.....
b)	Montageelemente/Tragwerk	Festigkeit/Sicherheit	.....
c)	Verschlüsse/Dichtungen	Rissbildung/Haftung/Elastizität	.....
d)	Abdeckung/Reflektor	Rissbildung/Haarrisse/Ausbeulen/Abblättern/Verwerfung/Ausgasen	.....
e)	Absorberbeschichtung	Rissbildung/Haarrisse/Blasenbildung	.....
	Absorberrohre und Kopfstücke	Verformung/Korrosion/Undichtheit/sich lösende Verbindungen	.....
	Absorberbefestigung	Verformung/Korrosion	.....
f)	Wärmedämmung	Wasseraufnahme/Ausgasen/Schwindung	.....

## Anhang C (normativ)

### Stagnationstemperatur von Flüssigkeitskollektoren

#### C.1 Allgemeines

Dieser Anhang gibt ein Verfahren zur Berechnung der Stagnationstemperatur eines Kollektors an, d. h. der Temperatur des Kollektors in Zeiten hoher Werte der Sonnenstrahlung und der Umgebungstemperaturen, wenn ihm keine Nutzwärmeleistung entnommen wird.

Die Stagnationstemperatur ist für eine bestimmte solare Bestrahlungsstärke  $G_s$  und eine gewählte Umgebungstemperatur  $t_{as}$  zu bestimmen.

Die berechnete Stagnationstemperatur wird zur Bestimmung der Prüftemperatur für folgende Prüfungen verwendet:

- Innendruckprüfung von Kollektoren mit organischem Absorber (siehe 5.2.2);
- Prüfung der Hochtemperaturbeständigkeit unter Verwendung eines heißen Wärmeträgerkreislaufs (siehe 5.3).

#### C.2 Bestimmung der Stagnationstemperatur

Die Stagnationstemperatur  $t_{stg}$  für die ausgewählten Werte der solaren Bestrahlungsstärke  $G_s$  und der Umgebungstemperatur  $t_{as}$  wird durch Extrapolation aus den folgenden, für den stationären Fall gemessenen Werten berechnet:

- solare Bestrahlungsstärke  $G_m$  (natürlich oder simuliert) in der Kollektorebene;
- Umgebungslufttemperatur  $t_{am}$ ;
- Absorbentemperatur  $t_{sm}$ ;

während der Kollektor unter stationären Bedingungen ohne Wärmeentnahme vom Kollektor (Stagnationsbedingungen) der verfügbaren Sonnenbestrahlungsstärke und Umgebungstemperatur (im Freien oder in einem Sonnenstrahlungssimulator) ausgesetzt ist.

Der Ausdruck zur Bestimmung der Stagnationstemperatur für die ausgewählten Parameter ( $G_s$  und  $t_{as}$ ) ist:

$$t_{stg} = t_{as} + \frac{G_s}{G_m} (t_{sm} - t_{am}) \quad (C.1)$$

Er beruht auf der Annäherung, dass der Quotient  $(t_{sm} - t_{am})/G_m$  im stationären Fall unter Stagnationsbedingungen konstant bleibt.

Diese Näherung ist nur zulässig, wenn der während der Prüfung verwendete Wert der Bestrahlungsstärke  $G_m$  innerhalb von 10 % der Bestrahlungsstärke entspricht, die für Stagnationsbedingungen  $G_s$  festgelegt wurde.

## Anhang D (normativ)

### Prüfbericht für Leistungsprüfungen von abgedeckten Sonnenkollektoren

#### D.1 Allgemeines

Kollektor-Referenznummer:

Prüfung durchgeführt von:

Adresse:

Datum, Tel., Fax:

#### D.2 Beschreibung des Sonnenkollektors

Name des Herstellers:

Handelsname:

Seriennummer:

Kollektortyp: abgedeckt/Vakuum

Zeichnungs-Nr.:

Herstellungsjahr:

Massenstrombereich bis: kg/s

Betriebsdruck: kPa

Stagnationstemperatur bei 1 000 W/m<sup>2</sup>  
und 30 °C Umgebungstemperatur: °C

Kollektorbefestigung:

#### Kollektor:

Typ:

Flachkollektor/Vakuumkollektor/Unterdruckkollektor, Bruttofläche:

Aperturfläche:

Absorberfläche:

#### Maße der Kollektoreinheit:

Länge: mm Absorberfläche: m<sup>2</sup>

Breite: mm Aperturfläche: m<sup>2</sup>

Höhe: mm Bruttofläche: m<sup>2</sup>

Leergewicht:

Flüssigkeitsinhalt:

Anzahl der Abdeckungen:

Werkstoffe der Abdeckung:

Dicke der Abdeckung:

Solarer Durchlassgrad der Abdeckung:

**Absorber:**

Werkstoff:

Finnenbreite:

Finnendicke:

solarer Absorptionsgrad,  $\alpha$ :

hemisphärischer Emissionsgrad,  $\varepsilon$ :

Oberflächenbehandlung:

Bauart:

Anzahl der Steigleitungen:

Durchmesser oder Maße der Steigleitungen:

Abstand zwischen den Steigleitungen:

Maße:

**Wärmedämmung und Gehäuse:**

Dicke der Wärmedämmung:

Dämmstoff:

Gehäusewerkstoff:

Dichtungsmaterial:

**Grenzwerte:**

Maximale Betriebstemperatur:

Maximaler Betriebsdruck:

Weitere Grenzwerte:

Fotografie des Kollektors

Bemerkungen zur Kollektorkonstruktion

Schematische Darstellung der Kollektorbefestigung

Schematische Darstellung des Prüfkreislaufes

Wärmeträgermedium:                      Wasser/Öl/anderes

Spezifikationen (Additive usw.):

Annehmbare alternative Wärmeträgerflüssigkeiten:

**D.3 Prüfergebnisse**

**Wärmeleistung wurde auf der Grundlage der folgenden Prüfverfahren geprüft:**

- 6.1 Im Freien – Verfahren unter stationären Bedingungen       6.1 Im Raum - Verfahren unter stationären Bedingungen       6.3 Im Freien – Quasidynamisches Verfahren

**Prüfung im Freien**

**Prüfung im Raum**

Geographische Breite:

mittlere solare Bestrahlungsstärke:

Geographische Länge:

Lampentyp:

Kollektorazimut:

Schutz vor langwelliger Strahlung: ja      nein

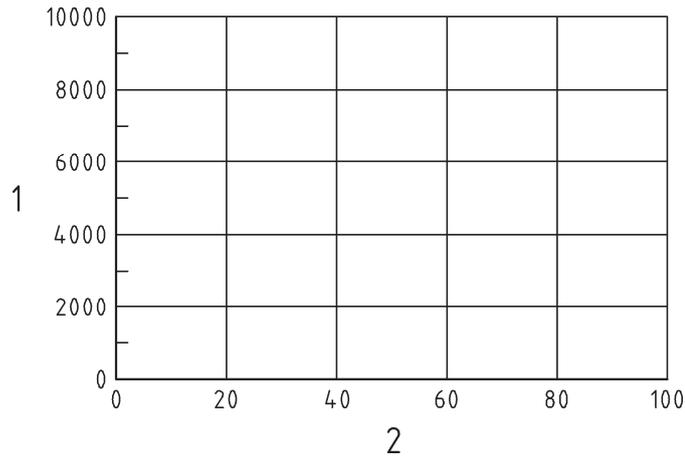
Kollektorneigung:

Ausrichtung der Absorberröhren während der Prüfung (horizontal oder vertikal):

Spitzenleistung ( $G = 1\,000\text{ W/m}^2$ ) je Kollektormodul:..... $W_{peak}$

**Leistung je Kollektormodul (W):**

<b>Bestrahlungsstärke</b>			
$T_m - T_a$ , in K	400 W/m <sup>2</sup>	700 W/m <sup>2</sup>	1 000 W/m <sup>2</sup>
10			
30			
50			
ANMERKUNG Die angegebenen Werte gelten für senkrechten Einfall.			



**Legende**

- 1 Leistung je Kollektormodul [W]
- 2  $(t_m - t_a)$  [K]

**Bild D.1 — Leistung je Kollektormodul (für  $G = 1\ 000\ \text{W/m}^2$ )**

**Kurve des Momentanwirkungsgrades basierend auf (Absorber/Apertur)-Fläche und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers**

**Bezugsfläche: Absorberfläche  $A_A$**

**Bezugsfläche: Aperturfläche  $A_a$**

**Absorberfläche** für die Kurve in  $\text{m}^2$ :

**Aperturfläche** für die Kurve in  $\text{m}^2$ :

Der Momentanwirkungsgrad wird definiert durch:

$$\eta_A = \frac{\dot{Q}}{A_A G} \quad (\text{D. 1})$$

$$\eta_a = \frac{\dot{Q}}{A_a G} \quad (\text{D. 2})$$

Massenstrom während der Prüfungen:  $\text{kgs}^{-1}$

Bruttokollektorfläche:  $\text{m}^2$

Ausgleichskurve 2. Ordnung für die Messdaten:

$$\eta_A = \eta_{0A} - a_{1A} \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2A} G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (\text{D.3})$$

$$\eta_a = \eta_{0a} - a_{1a} \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_{2a} G \left( \frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (\text{D.4})$$

Auf der Basis der Absorberfläche		Standard- abweichung	Auf der Basis der Aperturfläche		Standard- abweichung
$\eta_{0A}$			$\eta_0$		
$a_{1A}$			$a_1$		
$a_{2A}$			$a_2$		

Im Falle von 6.3 sollten Prüfergebnisse nach Anhang J diesem Dokument hinzugefügt werden.

**Zeitkonstante**

$$\tau_c = s$$

**Effektive Wärmeleistung**

$$C = JK^{-1}$$

Bestimmung:

Berechnung:

Im Raum:

Im Freien:

**Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor**

Winkel:

$$K_\theta:$$

**Beobachtete Schäden**

Einzelheiten hinsichtlich vorhandener Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als „größere Fehler“ bezeichnet werden

Lieferung der Probe:

Beginn der Prüfung:

Ende der Prüfung:

Prüfinstitut: .....

Datum: .....

## Anhang E (normativ)

### Prüfbericht für Leistungsprüfungen von unabgedeckten Sonnenkollektoren

#### E.1 Allgemeines

Kollektor-Referenznummer:

Prüfung durchgeführt von:

Adresse:

Datum, Tel., Fax:

#### E.2 Beschreibung des Sonnenkollektors

Name des Herstellers:

Handelsname:

Seriennummer:

Kollektortyp:

Zeichnungs-Nr.:

Herstellungsjahr:

Massenstrombereich bis: kg/s

Betriebsdruck: kPa

Stagnationstemperatur bei 1 000 W/m<sup>2</sup>  
und 30 °C Umgebungstemperatur: °C

Kollektorbefestigung:

##### **Kollektor:**

Typ:

Flachkollektor/Vakuumkollektor/Unterdruckkollektor

Bruttofläche:

Aperturfläche:

Absorberfläche:

**Maße der Kollektoreinheit:**

Länge:	mm	Absorberfläche:	m <sup>2</sup>
Breite:	mm	Aperturfläche:	m <sup>2</sup>
Höhe:	mm	Bruttofläche:	m <sup>2</sup>

Leergewicht:

Flüssigkeitsinhalt:

**Absorber:**

Werkstoff:

Finnenbreite:

Finnendicke:

solarer Absorptionsgrad,  $\alpha$ :

Hemisphärischer Emissionsgrad,  $\varepsilon$ :

Oberflächenbehandlung:

Bauart:

Anzahl der Steigleitungen:

Durchmesser oder Maße der Steigleitungen:

Abstand zwischen den Steigleitungen:

Maße:

**Grenzwerte:**

Maximale Betriebstemperatur:

Maximaler Betriebsdruck bei 45 °C:

Maximaler Betriebsdruck bei maximaler Betriebstemperatur:

Andere Grenzwerte:

Fotografie des Kollektors

Bemerkungen zur Kollektorkonstruktion

Schematische Darstellung der Kollektorbefestigung

Momentanwirkungsgrad

Wärmeträgermedium: Wasser/Öl/andere

Spezifikationen (Zusätze usw.):

Annehmbare alternative Wärmeträger:

### E.3 Prüfergebnisse

Wärmeleistung wurde auf der Grundlage der folgenden Prüfverfahren geprüft:

6.1 Im Freien – Verfahren unter stationären Bedingungen

6.1 Im Raum - Verfahren unter stationären Bedingungen

6.3 Im Freien – Quasidynamisches Verfahren

#### Prüfung im Freien

Geographische Breite:

Geographische Länge:

Kollektorneigung:

Kollektorazimut:

Spitzenleistung ( $G = 1\,000\text{ W/m}^2$ ) je Kollektoreinheit: .....  $W_{\text{peak}}$

#### Prüfung im Raum

mittlere solare Bestrahlungsstärke:

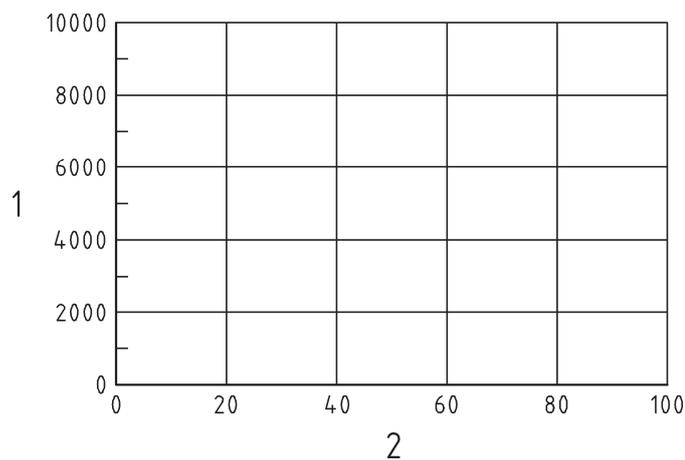
Lampentyp:

Schutz vor langwelliger Strahlung: ja    nein

#### Leistung je Kollektormodul (W):

Bestrahlungsstärke			
$T_m - T_a = 2\text{ K}$	400 W/m <sup>2</sup>	700 W/m <sup>2</sup>	1 000 W/m <sup>2</sup>
$u < 1\text{ m/s}$			
$u = 1,5 \pm 0,5\text{ m/s}$			
$u = 3 \pm 0,5\text{ m/s}$			

Die Ausgangsleistung je Kollektoreinheit ist für die folgenden Windverhältnisse nach Bild E.1 grafisch darzustellen:  $u < 1\text{ ms}^{-1}$ ,  $u = 1,5 \pm 0,5\text{ ms}^{-1}$  und  $u = 3 \pm 0,5\text{ ms}^{-1}$



#### Legende

- 1 Leistung je Kollektormodul [W]
- 2  $(t_m - t_a)$  [K]

Bild E.1 — Leistung je Kollektormodul

Kurve des Momentanwirkungsgrades basierend auf Kollektor-Fläche und mittlerer Temperatur des Wärmeträgers.

Der Momentanwirkungsgrad wird definiert durch:

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{AG'} \quad (\text{E.1})$$

Kollektorfläche für die Kurve:  $\text{m}^2$

Massenstrom während der Prüfungen:  $\text{kg s}^{-1}$

$$\eta = \eta_0 (1 - b_{u,u}) - (b_1 - b_2 u) \frac{(t_m - t_a)}{G''} \quad (\text{E.2})$$

Auf der Basis der Absorberfläche		Auf der Basis der Aperturfläche	
$\eta_{0A}$		$\eta_{0a}$	
$b_{uA}$		$b_{ua}$	
$b_{1A}$		$b_{1a}$	
$b_{2A}$		$b_{2a}$	

Im Falle von 6.3 sollten Prüfergebnisse nach Anhang J diesem Dokument hinzugefügt werden.

**Zeitkonstante**

$$\tau_c = \text{s}$$

**Effektive Wärmeleistung**

$$C = \text{JK}^{-1}$$

Bestimmung:

Berechnung:

Im Raum:

Im Freien:

**Einstrahlwinkel-Korrekturfaktor**

Winkel:

$$K_\theta:$$

**Beobachtete Schäden**

Einzelheiten hinsichtlich vorhandener Fehler, die nach 5.3.1 von EN 12975-1:2006 als „größere Fehler“ bezeichnet werden

Lieferung der Probe:

Beginn der Prüfung:

Ende der Prüfung:

Prüfinstitut:.....

Datum:.....

## Anhang F (normativ)

### Darstellung der Koeffizienten $c_1$ bis $c_6$ des Kollektormodells nach 6.3

**Koeffizient  $c_1$**  ist der Wärmedurchgangskoeffizient bei  $(t_m - t_a) = 0$  [Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]

$c_1$  wird als  $F'U_0$  dargestellt

**Koeffizient  $c_2$**  ist der Koeffizient zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit des Wärmedurchgangskoeffizienten [Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]

$c_2$  ist gleich  $F'U_1$

**Koeffizient  $c_3$**  ist der Koeffizient zur Bestimmung des windabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten [Jm<sup>-3</sup>K<sup>-1</sup>]

$c_3$  ist gleich  $F'U_u$

**Koeffizient  $c_4$**  ist der Koeffizient zur Berechnung des von der Himmelstemperatur abhängigen Wärmeverlustkoeffizienten [-]

$c_4$  ist gleich  $F'\varepsilon$

**ANMERKUNG** Die Darstellung der Abhängigkeit des Kollektors von der langwelligen Bestrahlungsstärke wird auf die gleiche grundsätzliche Weise durchgeführt wie in 8.8 von ISO 9806-3:1995 für die Prüfung ungedeckter Kollektoren. Die gesamte langwellige Bestrahlungsstärke ist definiert als  $(E_L - \sigma T_a^4)$ , wobei  $E_L$  die gemessene langwellige thermische Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene ist.

Zwischen ISO 9806-3 und dieser Norm besteht jedoch ein rein mathematischer Unterschied, wodurch  $G''$  und der  $\delta\alpha$ -Koeffizient in der Gleichung eliminiert werden. Physikalisch betrachtet sind die Korrekturen für die langwellige Strahlung gleich. In dieser Norm wird der Korrekturfaktor für die langwellige Strahlung als separater Wärmeverlustausdruck behandelt, er ist nicht wie in ISO 9806-3 in einem effektiven Strahlungsausdruck  $G''$  enthalten. Der Hauptgrund dafür besteht darin, dass die Kollektorgleichung dadurch vereinfacht wird, dass bei diesem Ansatz auch die Wirkung des Einfallswinkels und die Wirkung der diffusen Strahlung berücksichtigt werden. Andernfalls müsste  $\alpha$  für diese Wirkungen korrigiert werden. In ISO 9806-3 werden diese Faktoren nicht berücksichtigt, und die Gleichung wird durch die Verwendung von  $G'$  und des Faktors  $\delta\alpha$  vereinfacht.

**Koeffizient  $c_5$**  ist die effektive Wärmekapazität [Jm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>]

$c_5$  ist gleich  $CLA$  (die Definition von  $C$  ist in 6.1.6.2 angegeben).

**ANMERKUNG** In der Grundliteratur wird  $C$  oft als  $(mC)_e$  bezeichnet.

**Koeffizient  $c_6$**  ist der Koeffizient zur Bestimmung des windabhängigen Konversionsfaktors [sm<sup>-1</sup>]

$c_6$  ist als eine Kollektorkonstante dargestellt

$K_{ob}(\theta)$  ist der Einfallswinkel-Korrekturfaktor (IAM) für direkte Strahlung [-]

Die grundsätzliche Darstellung der IAM-Abhängigkeit erfolgt mit Gleichung

$$K_{\theta_b} = 1 - b_0 \left( \left( \frac{1}{\cos \theta_1} \right) - 1 \right) \quad (\text{F.1})$$

wie z. B. nach ASHRAE 93-77 beschrieben.

Für Kollektoren mit besonderer IAM-Abhängigkeit siehe 6.3.4.8.1, Anmerkung 2.

$K_{\theta_b}$  ist der Einfallswinkel-Korrekturfaktor für diffuse Strahlung [-]

$K_{\theta_d}$  ist als Kollektorkonstante dargestellt

## Anhang G (normativ)

### Messung der effektiven Wärmekapazität

#### G.1 Prüfaufbau

Der Kollektor wird nach 6.1.1 eingebaut und zur Messung der Wärmekapazität an einen Prüfkreislauf angeschlossen.

Die Messungen der effektiven Wärmekapazität können im Raum erfolgen, wo lediglich der Wärmeverlust gemessen wird. Sie können auch im Freien bei klarem Himmel und unter stationären Bedingungen durchgeführt werden oder in einem Sonnenstrahlungssimulator.

#### G.2 Prüfung im Raum

##### G.2.1 Allgemeines

Der Wärmeträger durchströmt den Kollektor von oben nach unten mit konstanter Eintrittstemperatur, bis stationäre Bedingungen erreicht sind. Dabei wird ein Massenstrom verwendet, der dem bei der Prüfung des Kollektorwirkungsgrades verwendeten Massenstrom ähnlich ist.

Die Eintrittstemperatur des Wärmeträgers wird sprunghaft um etwa 10 K erhöht; die Messungen werden fortgesetzt, bis erneut stationäre Bedingungen erreicht wurden. Dieser Vorgang wird viermal wiederholt und aus der effektiven Wärmekapazität wird der arithmetische Mittelwert berechnet.

##### G.2.2 Messungen

Die folgenden Größen werden gemessen:

- a) Massenstrom des Wärmeträgers;
- b) Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoreintritt;
- c) Temperatur des Wärmeträgers am Kollektoraustritt;
- d) Umgebungslufttemperatur.

**ANMERKUNG** Bei der Prüfung von Kollektoren mit niedriger Wärmekapazität muss die zur Messung der Temperaturen des Wärmeträgers gewählte Abtastrate u. U. größer sein, als sie gewöhnlich für die Prüfung des Kollektorwirkungsgrades ist, damit das Übergangsverhalten des Kollektors entsprechend verfolgt werden kann.

##### G.2.3 Berechnung der effektiven Wärmekapazität

Das Übergangsverhalten des Kollektors zwischen den beiden stationären Zuständen 1 und 2 im Raum wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$C \frac{dt_m}{dt} = -\dot{m}c_f \Delta T - AU(t_m - t_a) \quad (\text{G.1})$$

Dabei ist

$$\Delta T = (t_e - t_{in}) \text{ (negativ)} \quad (\text{G.2})$$

und  $t_{in}$  und  $t_e$  sind die Temperaturen des Wärmeträgers am Kollektoreintritt bzw. am Kollektorausritt bei der neuen Flussrichtung des Wärmeträgers.

Die Integration der Gleichung über die Periode zwischen den beiden stationären Zuständen ergibt

$$C(t_{m2} - t_{m1}) = -\int_{t_1}^{t_2} \dot{m}c_f \Delta T dt - AU \int_{t_1}^{t_2} (t_m - t_a) dt \quad (\text{G.3})$$

Da

$$t_m = t_{in} + \frac{\Delta T}{2} \quad (\text{G.4})$$

ist, lässt sich  $(t_m - t_a)$  ausdrücken als

$$t_m - t_a = (t_{in} - t_a) + \frac{\Delta T}{2} \quad (\text{G.5})$$

Die Kombination der beiden Gleichungen ergibt nach Umformung folgende Gleichung für die Wärmekapazität des Kollektors:

$$C = \frac{-\dot{m}c_f \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt - AU \left[ \int_{t_1}^{t_2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}} \quad (\text{G.6})$$

## G.2.4 Bestimmung der effektiven Wärmekapazität aus experimentellen Daten

Aus den Prüfergebnissen werden  $(t_{in} - t_a)$  und  $\Delta T$  als Funktion der Zeit dargestellt. Die Flächen unter den Kurven zwischen den beiden stationären Zuständen sind

$$\int_{t_1}^{t_2} (t_m - t_a) dt \text{ bzw. } \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt$$

Die Wärmeübergangszahl  $U$  des Kollektors kann bereits während der Wärmeverlustmessung bei Prüfung im Raum bestimmt worden sein.  $AU$  kann jedoch direkt aus den beiden stationären Zuständen abgeleitet werden, weil im stationären Fall gilt:

$$0 = -\dot{m}c_f \Delta T - AU(t_m - t_a) \quad (\text{G.7})$$

und daraus folgend

$$AU = -\frac{\dot{m}c_f \Delta T}{t_m - t_a} \quad (\text{G.8})$$

$AU$  wird für beide stationären Zustände bewertet und der arithmetische Mittelwert gebildet.

Ein Wert der effektiven Wärmekapazität wird durch Einfügen dieser experimentellen Werte in Gleichung (G.6) bestimmt.

### G.3 Prüfverfahren für Prüfungen im Freien oder mit Sonnenstrahlungssimulator

Der Wärmeträger fließt mit konstanter Temperatur, bis stationäre Bedingungen erreicht sind, wobei der Massenstrom etwa dem für die Wirkungsgradprüfung des Kollektors definierten Massenstrom gleicht. Die Apertur des Kollektors sollte von direkter Sonnenstrahlung (natürlich oder simuliert) durch eine die Sonnenstrahlung reflektierende Abdeckung abgeschirmt werden.

Die Abdeckung wird entfernt und die Messungen werden kontinuierlich durchgeführt, bis erneut stationäre Bedingungen erreicht sind. Dieser Vorgang wird viermal wiederholt, und aus der abgeleiteten effektiven Wärmekapazität wird ein Mittelwert gebildet.

Zu den in G.2.2 angegebenen Messungen wird die (natürliche oder simulierte) Sonnenbestrahlungsstärke  $G$  gemessen.

Das Übergangsverhalten des Kollektors zwischen zwei stationären Zuständen 1 und 2 wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$C \frac{dt_m}{dt} = A\eta_0 G - \dot{m}c_f \Delta T - AU(t_m - t_a) \quad (G.9)$$

dabei ist, wie in Abschnitt G.2.3

$$\Delta T = (t_e - t_{in}) \text{ (positiv)}$$

Die Integration der Gleichung (G.9) über die Periode zwischen den beiden stationären Zuständen ergibt folgende Gleichung für die Wärmekapazität des Kollektors:

$$C = \frac{A\eta_0 \int_{t_1}^{t_2} G dt - \dot{m}c_f \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt - AU \left[ \int_{t_1}^{t_2} (t_{in} - t_a) dt + \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \right]}{t_{m2} - t_{m1}} \quad (G.10)$$

Aus den Prüfergebnissen werden  $(t_{in} - t_a)$ ,  $\Delta T$  und  $G$  als Funktion der Zeit dargestellt. Die Flächen unter den Kurven zwischen den beiden stationären Zuständen sind jeweils:

$$\int_{t_1}^{t_2} (t_{in} - t_a) dt, \int_{t_1}^{t_2} \Delta T dt \text{ bzw. } \int_{t_1}^{t_2} G dt$$

Der Schnittpunkt mit der y-Achse  $\eta_0$  und die Neigung  $U$  der linearen Form des Momentanwirkungsgrades  $\eta$  sind aus den Prüfungen bekannt.

Ein Wert für die effektive Wärmekapazität wird durch Einsetzen dieser experimentellen Werte in Gleichung (G.10) bestimmt.

## Anhang H (informativ)

### Vergleich zwischen den beiden Kollektormodellen nach 6.1 und 6.3

Für den Vergleich wird zuerst das in 6.1 verwendete Kollektormodell für den stationären Fall beschrieben. Dieses Modell ist sowohl für Prüfzwecke (ISO 9806-1 und ASHRAE 93-77) als auch für Simulationszwecke häufig verwendet worden. Die Grundgleichung stellt ein stationäres Modell für den Betrieb bei annähernd senkrechtem Einfallswinkel dar und kann in folgender Form angegeben werden:

$$\dot{Q} / A = F'(\tau\alpha)_{\text{en}} G^* - c_1(t_m - t_a) - c_2(t_m - t_a)^2 \quad (\text{H.1})$$

Die Sonneneinstrahlung wird mit  $G^*$  bezeichnet; sie könnte jedoch auch mit  $G_b$  bezeichnet werden, um darauf hinzuweisen, dass in der Prüffolge ausschließlich hohe Sonneneinstrahlungswerte akzeptiert werden und somit ein niedriger diffuser Anteil. Für nichtstationäre Bedingungen wird keine Korrektur vorgenommen, und deshalb sind für jeden Messpunkt sehr stabile Eintritts- und Strahlungsbedingungen erforderlich.

Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass der Einfallswinkel annähernd senkrecht ist, so dass sein Einfluss vernachlässigt werden kann.

Ferner werden in 6.1 weitere optionale Prüfverfahren für die Bestimmung der Abhängigkeit des Konversionsfaktors vom Einfallswinkel und die effektive Wärmekapazität des Kollektors angegeben. Aus diesem Grunde kann die vollständige Gleichung des Momentanwertes aus allen Optionen nach 6.1 angegeben werden als:

$$\dot{Q} / A = F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\text{ob}}(\theta) G^* - c_1(t_m - t_a) - c_2(t_m - t_a)^2 - c_5 dt_m / dt \quad (\text{H.2})$$

Als ein erster Schritt im Ansatz nach 6.3 wird der erste Ausdruck der Gleichung in zwei Teile aufgeteilt, wodurch sich die Summe aus dem Konversionsfaktor für direkte Strahlung und dem der diffusen Strahlung ergibt. Man kann auch aus  $F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\text{ob}}(\theta) G^*$  die Summe  $F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\text{ob}}(\theta) G_b + F'(\tau\alpha)_{\text{en}} K_{\text{od}} G_d$  bilden, während der Rest der Gleichung unverändert bleibt.

Um die Prüfung einer wesentlich größeren Reihe von Kollektoren zu ermöglichen sowie eine viel bessere Charakterisierung des Kollektors aus derselben Prüfung und mit demselben Verfahren zu erreichen, wird zusätzlich eine Korrektur, die die Windabhängigkeit berücksichtigt angewandt. Für abgedeckte Kollektoren während der Prüfung wird dies im Verfahren nach 6.1 durch Einschränkung der Prüfanforderungen hinsichtlich Windgeschwindigkeit auf Werte zwischen  $2 \text{ ms}^{-1}$  und  $4 \text{ ms}^{-1}$  vorgenommen. Bei ungedeckten Kollektoren wird aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegen die Windgeschwindigkeit ein eigenes Prüfverfahren (siehe 6.2) erforderlich. Dieses Prüfverfahren schreibt vor, dass für jeden Kollektor drei verschiedene Wirkungsgradfunktionen bei drei gegebenen Windgeschwindigkeiten zu messen sind. Dadurch wird die Kollektorprüfung teuer und zeitaufwändig. Im Hinblick auf Prüforte mit wechselnden klimatischen Bedingungen kann es außerdem schwierig sein, solche Prüfungen im Freien durchzuführen.

Bei diesem Ansatz wird die Windabhängigkeit durch zwei Ausdrücke dargestellt, die der Grundgleichung hinzugefügt werden. Der eine Ausdruck ( $-c_6 u G^*$ ) berücksichtigt den Einfluss auf den Konversionsfaktor und der andere ( $-c_3 u (t_m - t_a)$ ) den Einfluss auf die Wärmeverluste. Nach abschließender Addition eines Ausdrucks, der die Abhängigkeit der Wärmeverluste von der langwelligen Bestrahlungsstärke ( $+c_4(E_L - \sigma T_a^4)$ ) berücksichtigt, und wie für die ungedeckten Kollektoren dargestellt wird (siehe Anhang F), ist das Kollektormodell vollständig und kann wie in Gleichung (7) ausgedrückt werden. Gleichung (7) gibt die Leistung des Kollektors je  $\text{m}^2$  der verwendeten Bezugsfläche an.

## Anhang I (informativ)

### Eigenschaften von Wasser (siehe DIN V 4757-4:1995-11)

#### I.1 Dichte von Wasser (bei 1 bar), in kg/m<sup>3</sup>

$$\rho(\vartheta) = a_0 + a_1\vartheta + a_2\vartheta^2 + a_3\vartheta^3 + a_4\vartheta^4$$

$$(0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ °C})$$

mit

$$a_0 = 999,85$$

$$a_1 = 6,187 \cdot 10^{-2}$$

$$a_2 = -7,654 \cdot 10^{-3}$$

$$a_3 = 3,974 \cdot 10^{-5}$$

$$a_4 = -1,110 \cdot 10^{-7}$$

Die Abweichung der polynomischen Werte von den in Tabellen veröffentlichten Werten ist stets kleiner als 0,02 %. R<sup>2</sup> ist gleich 0,999 98.

#### I.2 Spezifische Wärmekapazität von Wasser (bei 1 bar), in kJ/(kg K)

$$c_p(\vartheta) = a_0 + a_1\vartheta + a_2\vartheta^2 + a_3\vartheta^3 + a_4\vartheta^4 + a_5\vartheta^5$$

$$(0 \leq \vartheta \leq 99,5 \text{ °C})$$

mit

$$a_0 = 4,217$$

$$a_1 = -3,358 \cdot 10^{-3}$$

$$a_2 = 1,089 \cdot 10^{-4}$$

$$a_3 = -1,675 \cdot 10^{-6}$$

$$a_4 = 1,309 \cdot 10^{-8}$$

$$a_5 = -3,884 \cdot 10^{-11}$$

Die Abweichung der polynomischen Werte von den in Tabellen veröffentlichten Werten ist stets kleiner als 0,02 %. R<sup>2</sup> ist gleich 0,999 4.

## Anhang J (informativ)

### Zusammenfassender Leistungsprüfbericht für das quasi-dynamische Prüfverfahren

**Kennzeichnung:**

Hersteller:

Handelsname:

Seriennummer:

Kollektortyp:

Zeichnungsnummer:

**Maße der Kollektoreinheit:**

Länge:       mm

Absorberfläche:       m<sup>2</sup>

Breite:       mm

Aperturfläche:       m<sup>2</sup>

Höhe:        mm

Bruttofläche (Gehäuse):       m<sup>2</sup>

**Allgemeine Angaben:**

Gewicht:

kg

Wärmeträger:

Volumendurchflussbereich:

bis l/h

Betriebsdruck:

bar

Stagnationstemperatur bei 1 000 Wm<sup>-2</sup>  
und 30 °C Umgebungstemperatur:

°C

Thermische Leistung auf der Basis von:

Aperturfläche:

Absorberfläche:

	Wert	Standardabweichung		Wert	Standardabweichung
$F'(\tau\alpha)_{en}$			$F'(\tau\alpha)_{en}$		
$K_{\theta d}$			$K_{\theta d}$		
$b_0$			$b_0$		
$c_1$			$c_1$		
$c_2$			$c_2$		
$c_3$			$c_3$		
$c_4$			$c_4$		
$c_5$			$c_5$		
$c_6$			$c_6$		

**Tabelle J.1 — Einfallswinkel-Korrekturfaktor,  $K_{\theta b}(\theta)$**

$\theta$	10	20	30	40	50	60	70	80
$K_{\theta b}(\theta)$								

Dieser Prüfbericht sollte in Verbindung mit dem Prüfbericht nach Anhang D oder Anhang E vervollständigt werden.

Geprüft von:

Datum:

## Anhang K (informativ)

### Allgemeine Leitlinien zur Abschätzung der Unsicherheit bei der Prüfung des Wirkungsgrades bei Sonnenkollektoren

#### K.1 Einleitung

Das Ziel dieses Anhangs ist es, eine allgemeine Leitlinie zur Abschätzung der Unsicherheit der Ergebnisse der Kollektorprüfung nach der vorliegenden Norm bereitzustellen. Im Rahmen ihrer Akkreditierung oder während der Anwendung von Produktzertifizierungssystemen sind Prüflaboratorien oftmals angehalten eine Aussage über die Unsicherheit der Ergebnisse quantitativer Prüfungen anzugeben. Ziel dieses Anhangs ist es nicht, festzulegen, ob und in welchen Fällen die Berechnung der Unsicherheit der Prüfergebnisse notwendig ist.

Die Leitlinie betrifft nur die Prüfung des Kollektorstromwirkungsgrades wegen i) der großen Bedeutung dieser Prüfung für den Nutzer und ii) der Eigenheiten der Berechnungen, da das Endergebnis der Wirkungsgradprüfung nicht aus einer einzelnen Messung abgeleitet werden kann sondern aus der Auswertung von einer großen Anzahl von anfänglichen Messungen.

Es wird angemerkt, dass die vorgestellte Methode eine der möglichen Ansätze für die Abschätzung der Unsicherheit darstellt und andere Vorgehensweisen eingeführt werden können. Es liegt in der Verantwortung jedes Laboratoriums für die Bestimmung der Unsicherheit einen wissenschaftlich gültigen Ansatz zu wählen und wenn angebracht nach den Empfehlungen der Akkreditierungsstelle anzuwenden. Für eine detaillierte Durchsicht der unterschiedlichen Aspekte der Bestimmung von Unsicherheiten bei der Prüfung von Sonnenkollektoren siehe auch (Mathioulakis *et al.*, 1999; Sabatelli *et al.*, 2002; Müller-Schöll und Frei, 2000).

#### K.2 Messunsicherheiten bei der Wirkungsgradprüfung von Sonnenkollektoren

Das wesentliche Ziel der Prüfung des Wirkungsgrades von Sonnenkollektoren ist die Bestimmung des Kollektorstromwirkungsgrades unter bestimmten Bedingungen. Genauer gesagt wird davon ausgegangen, dass das Verhalten des Kollektors mit einem stationären oder quasi-dynamischen Einknoten-Modell mit  $M$  Parametern beschrieben werden kann:

$$\eta = c_1 p_1 + c_2 p_2 + \dots + c_M p_M \quad (\text{K.1})$$

mit:

- $\eta$  als Kollektorstrommomentanwirkungsgrad;
- $p_1, p_2, \dots, p_M$  sind Größen deren Werte durch Prüfung experimentell bestimmt werden;
- $c_1, c_2, \dots, c_M$  sind charakteristische Konstanten des Kollektors die durch Prüfung bestimmt werden.

Im Fall des stationären Modells z. B.  $M = 3$ ,  $c_1 = \eta_0$ ,  $c_2 = U_1$ ,  $c_3 = U_2$ ,  $p_1 = 1$ ,  $p_2 = (T_m - T_a)/G$  und  $p_3 = (T_m - T_a)^2/G$ .

Abhängig vom verwendeten Modell werden während der experimentellen Phase die Leistung, die solare Leistung und die wesentlichen klimatischen Größen in Form von  $J$  stationären oder quasi-dynamischen Zustandspunkten gemessen. Aus diesen anfänglichen Messungen werden die Werte der Parameter  $\eta$ ,  $p_1$ ,  $p_2, \dots, p_M$  für jeden Beobachtungspunkt  $j$ ,  $j = 1 \dots J$  abgeleitet. Die experimentelle Prüfverfahrensweise führt grundsätzlich zur Bildung einer Gruppe von  $J$  Beobachtungen die für jeden der  $J$  Messpunkte  $\eta_j, p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{Mj}$  beinhaltet.

Für die Bestimmung der Unsicherheiten ist es wesentlich, die entsprechenden kombinierten Unsicherheiten  $u(\eta_j)$ ,  $u(p_{1j})$ , ...  $u(p_{Mj})$  für jeden Beobachtungspunkt zu berechnen. Es sollte beachtet werden, dass die Unsicherheiten  $u(\eta_j)$ ,  $u(p_{1j})$ , ...  $u(p_{Mj})$  praktisch nie konstant und gleich für alle Punkte sind und das jeder Messpunkt seine eigene Standardabweichung besitzt.

Zur Berechnung der Standardabweichung (Quadrat der Standardunsicherheit) für jeden Punkt  $j$ , können die folgenden Regeln angewandt werden (ISO, GUM:1995):

- 1) Standardunsicherheiten von experimentellen Daten werden unter Verwendung von Typ A und Typ B Unsicherheiten bestimmt. Nach den Empfehlungen des ISO GUM sind die erstgenannten Unsicherheiten diejenigen die mit statistischen Methoden bestimmt werden, wohingegen die letztgenannten mit anderen Mitteln bestimmt werden.
- 2) Die Unsicherheit  $u(s)$  verbunden mit der Messung  $s$  ist das Ergebnis der Kombination der Typ B Unsicherheit  $u_B(s)$ , der charakteristischen Eigenschaft des Kalibrierbaus und der Typ A Unsicherheit  $u_A(s)$ , die die Schwankung während der Datenaufnahme repräsentiert. Im Fall von mehr als einer unabhängigen Unsicherheitsquelle (Typ B oder Typ A)  $u_k$ , wird die Gesamtunsicherheit nach dem allgemeinen Gesetz der kombinierten Unsicherheiten berechnet:

$$u = \left( \sum_k u_k^2 \right)^{1/2} \tag{K.2}$$

- 3) Typ B Unsicherheit  $u_B(s)$  wird von der Kombination der Unsicherheiten der gesamten Messkette gebildet, dabei werden alle verfügbaren Daten wie Sensorunsicherheit, Unsicherheit der Datenerfassung, Unsicherheiten aufgrund möglicher Unterschiede zwischen der Messgröße und dem vom Messgerät erkannten Wert berücksichtigt. Relevante Informationen sollten den Kalibrierzertifikaten oder den technischen Daten der verwendeten Geräte entnommen werden.
- 4) Typ A Unsicherheiten sind naturgemäß von den besonderen Bedingungen der Messung abhängig und berücksichtigen die Schwankungen des Messwertes während der Messung. Typ A Unsicherheiten  $u_A(s)$  werden durch eine statistische Analyse der experimentellen Daten gewonnen. In manchen Fällen (z. B. im Fall des stationären Modells) ist die beste Abschätzung  $S$  das arithmetische Mittel  $s$  der  $I$ -fach wiederholten Beobachtung  $s_i$  ( $i = 1 \dots I$ ) und ihre Typ A Unsicherheit ist die Standardabweichung vom Mittelwert:

$$s = \frac{\sum_{i=1}^I s_i}{I}, \text{ und } u_A(s) = \left( \frac{\sum_{i=1}^I (s_i - s)^2}{I(I-1)} \right)^{1/2} \tag{K.3}$$

In manchen anderen Fällen (z. B. im Fall des quasi-dynamischen Modells wo keine arithmetische Mittel von Wiederholungsmessungen verwendet werden) kann die Unsicherheit  $u_A(s)$  gleich null gesetzt werden.

- 5) Unter dem Begriff *kombinierte Standardunsicherheit* wird die Standardunsicherheit eines Ergebnisses verstanden bei dem das Ergebnis aus den Werten einer Anzahl anderer Größen ermittelt wird. In den meisten Fällen wird die Messgröße  $Y$  indirekt aus  $P$  anderen direkt gemessenen Größen  $X_1, X_2, \dots, X_p$  durch eine funktionale Beziehung  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_p)$  bestimmt. Die Standardunsicherheit der Schätzung  $y$  berechnet sich nach dem *Fehlerfortpflanzungsgesetz* zu:

$$u(y) = \left( \sum_{i=1}^P \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 (u(x_i))^2 + 2 \sum_{i=1}^{P-1} \sum_{j=i+1}^P \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \text{cov}(x_i, x_j) \right)^{1/2} \tag{O.4}$$

Ein Beispiel einer solchen indirekten Bestimmung im Fall der Prüfung des Wirkungsgrads eines Sonnenkollektors ist die Bestimmung des momentanen Wirkungsgrads  $\eta$ . Dieser wird aus den Werten der solaren Bestrahlungsstärke in Kollektorebene  $G$ , dem Massenstrom des Wärmeträgers  $m$ , der Temperaturdifferenz  $\Delta T$ , der Kollektorfläche  $A$  und der spezifischen Wärmekapazität  $c_f$  bestimmt. Somit wird in diesem Fall die Standardunsicherheit  $u(\eta)$  jedes einzelnen Werts  $\eta_j$  des momentanen Wirkungsgrads durch die Kombination der Standardunsicherheiten der Werte der anfänglich gemessenen Größen berechnet wobei deren Beziehung zu der abgeleiteten Größe  $\eta$  berücksichtigt wird.

### K.3 Parameteridentifikation und Unsicherheiten der Ergebnisse der Wirkungsgradprüfung

Um die Werte der Koeffizienten  $c_1, c_2, \dots, c_M$  zu erhalten, für die das Modell nach Gleichung (K.1) für die Reihe der  $J$  Beobachtungen die größte Genauigkeit ergibt, wird während der Analyse der Daten zur Parameteridentifikation das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate auf die Modellgleichung angewandt.

Da in der Realität die typische Abweichung sowie alle Beobachtungen praktisch niemals konstant sind, aber jeder Datenpunkt  $(\eta_j, p_{1,j}, p_{2,j}, \dots, p_{M,j})$  seine eigene Standardabweichung  $\sigma_j$  hat, ist die Verwendung der Methode der gewichteten kleinsten Fehlerquadrate (**weighted least square WLS**) eine interessante Lösung. Diese berechnet auf der Basis der gemessenen Größen und ihrer Unsicherheiten nicht nur die Modellparameter sondern auch deren Unsicherheiten. Im Fall der WLS wird die Maximum-likelihood-Schätzung der Modellparameter durch die Minimierung der Chi-Quadrat Funktion erhalten:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^J \frac{(\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j}))^2}{u_j^2} \quad (\text{K.5})$$

wobei  $u_j^2$  die Varianz der Differenz  $\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j})$  ist:

$$u_j^2 = \text{Var}(\eta_j - (c_1 p_{1,j} + c_2 p_{2,j} + \dots + c_M p_{M,j})) = (u(\eta_j))^2 + c_1^2 (u(p_{1,j}))^2 + \dots + c_M^2 (u(p_{M,j}))^2 \quad (\text{K.6})$$

Die Bestimmung der Koeffizienten  $c_1, c_2, \dots, c_M$  und ihrer Standardabweichungen durch Minimierung der Chi-Quadrat-Funktion ist auf Grund der Nichtlinearität in Gleichung (K.5) kompliziert. Eine Strategie ist es daher, die Unsicherheiten numerisch zu bestimmen. Ein Verfahren für den Fall eines  $M$ -Parameter Modells wird unten vorgestellt (Press *et al.*, 1996).

$K$  sei eine Matrix deren  $J \times M$  Komponenten  $k_{j,m}$  aus  $M$  einfachen Funktionen konstruiert sind und für  $J$  experimentelle Werte von  $p_1, \dots, p_M$ , gewichtet sind mit der Unsicherheit  $u_j$ :

$$k_{j,m} = \frac{p_{m,j}}{u_j}, K = \begin{vmatrix} \frac{p_{1,1}}{u_1} & \dots & \frac{p_{1,M}}{u_1} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{p_{1,J}}{u_J} & \dots & \frac{p_{M,J}}{u_J} \end{vmatrix} \quad (K.7)$$

$L$  sei ebenso ein Vektor der Länge  $J$  dessen Komponenten  $l_j$  zur Parameteridentifikation aus den Werten von  $\eta_j$  konstruiert werden, gewichtet mit der Unsicherheit  $u_j$ :

$$l_j = \frac{\eta_j}{u_j}, L = \begin{vmatrix} \eta_1 \\ u_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \eta_j \\ u_j \end{vmatrix} \quad (K.8)$$

Die Gleichung des kleinsten Quadrat-Problems kann geschrieben werden als:

$$(K^T \cdot K) \cdot INV(C) = K^T \cdot L \quad (K.9)$$

wobei  $C$  ein Vektor ist, dessen Elemente die identifizierten Koeffizienten sind.

Vor der Tatsache, dass für die Berechnung der Varianzen  $u_j^2$  die Kenntnis der Koeffizienten  $c_1, c_2, \dots, c_M$  benötigt wird, ist eine mögliche Lösung der Koeffizienten als Anfangswerte zu verwenden, die mit der Standardmethode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt wurden. Diese Anfangswerte können in Gleichung (K.6) für die Berechnung von  $u_j^2, J = 1 \dots J$  und die Formation der Matrix  $K$  und des Vektors  $L$  verwendet werden.

Die Lösung von Gleichung (K.9) ergibt die neuen Werte der Koeffizienten  $c_1, c_2, \dots, c_M$ , wobei jedoch nicht erwartet werden kann, dass diese merklich von den Anfangswerten  $u_j^2$  abweichen, die mit der Standardmethode der kleinsten Fehlerquadrate ermittelt wurden.

Darüber hinaus ist  $Z = INV(K^T \cdot K)$  eine Matrix, deren Diagonalelemente  $z_{k,k}$  die Quadrate der Unsicherheiten (Varianzen) und die Nichtdiagonalelemente  $z_{k,l} = z_{l,k}, k \neq l$  die Kovarianzen der identifizierten Koeffizienten sind:

$$u(c_m) = \sqrt{z_{m,m}}, m = 1, \dots, M \quad (K.10)$$

$$Cov(c_k, c_l) = z_{k,l} = z_{l,k}, k = 1, \dots, M \text{ und } l = 1, \dots, M \text{ und } k \neq l \quad (K.11)$$

Es sollte beachtet werden, dass die Kenntnis der Kovarianz der identifizierten Koeffizienten notwendig ist, falls in einem nächsten Schritt die Berechnung der Unsicherheit  $u(\eta)$  der vorhergesagten Werte  $\eta$  unter Verwendung der Gleichungen (K.1) und (K.4) gewünscht ist.

Gleichung (K.9) kann durch normale numerische Methoden, wie z. B. den Gauss-Jordan-Algorithmus gelöst werden. Dies ist auch unter Verwendung der Matrizenoperationen der üblicherweise verwendeten Tabellenkalkulationssoftware möglich.

## Anhang L (informativ)

### Bestimmung des Druckabfalls über einem Kollektor

#### L.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  $(20 \pm 2)$  °C betragen.

#### L.2 Prüfaufbau

Der Kollektor ist nach 6.1.1 einzubauen und mit einem Prüfkreislauf zu verbinden, der im Wesentlichen mit 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 6.1.3.3 der Auswahl geeigneter Rohrverbindungen am Wärmeträgereintritt und -austritt des Kollektors besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Im Fall von unabgedeckten Kollektoren darf die Strömungsrichtung vom Hersteller empfohlen werden.

#### L.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.

#### L.4 Durchführung der Prüfung

##### a) Abgedeckte Sonnenkollektoren

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  $0,005 \text{ kgs}^{-1}$  bis  $0,03 \text{ kgs}^{-1}$  je  $\text{m}^2$  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.

##### b) Unabgedeckte Sonnenkollektoren

Der Druckabfall zwischen den Wärmeträgereintritts- und -austrittsanschlüssen des Kollektors ist zu bestimmen, wenn die Temperatur des Kollektors und des Wärmeträgers nahe der Umgebungstemperatur ist und für einen Bereich von Massenströmen zu bestimmen, wie er gewöhnlich unter wirklichen Betriebsbedingungen verwendet wird.

Da sich die Anordnung der Streifen und Sammler während der Prüfung normalerweise von derjenigen in typischen Installationen unterscheidet ist der Druckverlust der Streifen und des Sammlers getrennt voneinander zu bestimmen. Dies kann durch zwei aufeinander folgende Druckverlustmessungen an einem kurzen Absorberstreifen mit Sammler (mindestens 3 m) und einem langen Absorberstreifen mit Sammler (z. B. 15 m) erreicht werden.

Die Differenz der beiden Druckverlustkurven kann dann durch die Differenz der beiden Streifenlängen geteilt werden. Die resultierende Kurve ist der ungestörte Druckverlust je Meter Streifen.

Die Prüfung sollte unter einem konstanten Druck, der dem angestrebten Betriebsdruck entspricht, durchgeführt werden.

Falls hinsichtlich des Massenstroms keine besonderen Empfehlungen des Herstellers vorliegen, müssen die Druckabfallmessungen über einen Massenstrombereich ausgeführt werden, der sich von  $0,02 \text{ kgs}^{-1}$  bis  $0,1 \text{ kgs}^{-1}$  je  $\text{m}^2$  Kollektorfläche erstreckt.

Es sind mindestens fünf Messungen bei gleichmäßig über den Massenstrombereich verteilten Werten durchzuführen. Das Nullniveau ist ebenfalls zu überprüfen.

## **L.5 Messungen**

Die folgenden Werte sind nach 6.1.2 zu messen:

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

Der Druckabfall des Wärmeträgers über dem Kollektor ist mit einer Vorrichtung zu messen, die eine Standardunsicherheit des Messwertes von 5 % oder  $\pm 10 \text{ Pa}$  hat, je nachdem, welcher Wert größer ist.

## **L.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. Der durch die Rohrverbinder verursachte Druckverlust muss dazu verwendet werden den gemessenen Druckverlust des Kollektors zu korrigieren.

## **L.7 Prüfbedingungen**

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

Die Eintrittstemperatur des Wärmeträgers ist während der Messungen innerhalb von  $\pm 5 \text{ K}$  ( $\pm 1 \text{ K}$  bei unabgedeckten Kollektoren) konstant zu halten. Während der Prüfung muss die Kollektortemperatur innerhalb von  $\pm 10 \text{ K}$  der Temperatur der Umgebungsluft entsprechen. Druckabfallprüfungen bei anderen Temperaturen können wichtig für Wärmeträger auf Ölbasis sein.

## **L.8 Berechnung und Darstellung der Ergebnisse**

Der Druckabfall ist für jede durchgeführte Prüfung als Funktion des Massenstromes unter Verwendung der in Anhang D (abgedeckte Kollektoren) oder Anhang E (unabgedeckte Kollektoren) angegebenen Vordrucke grafisch darzustellen.

## Literaturhinweise

- [1] ISO 9845-1:1992, *Solar energy — Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions — Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5*
- [2] ISO 9459-1:1993, *Solar heating — Domestic water heating systems — Part 1: Performance rating procedure using indoor test methods*
- [3] ISO 9459-2:1995, *Solar heating — Domestic water heating systems — Part 2: Outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems*
- [4] ISO 5167-1:2003, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full — Part 1: General principles and requirements (ISO 5167-1:2003)*
- [5] ISO GUM:1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurements*, ISO ed., Switzerland
- [6] AFNOR P 50 -51, 1980, *Liquid Circulation Solar Collectors Determination of Thermal Performance*
- [7] ASHRAE 41-7, *Standard Measurements Guide American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329, March 1974
- [8] ASHRAE 93 - 86, *Method of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 345 East 47th Street, New York, 1978
- [9] ASHRAE, *Handbook of Applications, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 1791 Tullie Circle N.E., Atlanta, GA 30329, 1978
- [10] ASTM E 424 - 71, *Standard methods of test for solar energy transmittance and reflectance (terrestrial) of sheet materials*
- [11] ASTM E-892, *Terrestrial Solar Spectral Irradiance Tables at Air Mass 1.5 for a 37° Tilted Surface*
- [12] ASME, *Instruments and Apparatus, Part 2, Pressure Measurement, Supplement to the ASME Power Test Codes*, American Society of Mechanical Engineers, 345 East 47th Street, New York 10017, July 1964
- [13] BS 6757, *Methods of Test for the Thermal Performance of Solar Collectors*
- [14] Benedict, R. P. *Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements*, Wiley, New York, 1969
- [15] Bernier, M.A., *Correcting for Header Heat Losses when Testing Solar Collectors*, Proceedings Intersol 85, ISES Congress, June 1985
- [16] Bliss, R.W., *The Derivation of Several 'Plate - Efficiency Factors' Useful in the Design of Flat — Plate Solar Heat Collectors*, Solar Energy Vol. 3, No. 4, p. 55, 1959
- [17] Chinnery, D.N.W., *Solar Water Heating in South Africa*, Bulletin No. 44 (Report no. 248), National Building Research Institute, Council for Scientific and Industrial Research, Pretoria, South Africa, 1971
- [18] Coulson, K.L., *Solar and Terrestrial Radiation, Methods and Measurements*, Academic Press, New York, 1975
- [19] Duffie, J.A., and Beckman, W.A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, New York, 1991

- [20] Faison, T.K., Davis, J.C., Achenback, P.R., *Performance of Louvered Devices as Air Mixers*, NBS Building Science Series 27, March 1970. (Available from the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20401, SD Catalog No. C13.29/2:27)
- [21] Gillett, W.B., Moon, J.E., *Solar Collectors — Test Methods and Design Guidelines*, Reidel, Dordrecht, 1985
- [22] Green, A.A., Gillett, W.B., *The significance of longwave radiation on flat plate collector testing*, Proc. IEE Conf. Future Energy Concepts, London, 1979
- [23] Harrison, S.J., *The effects of Irradiance Level on Thermal Performance Tests of Solar Collectors*. Proceedings Intersol 85, ISES Congress, June 1985
- [24] Hill, J.E., Jenkins, J.P., Jones, D.E., *Testing of Solar Collectors According to ASHRAE Standard 93 – 77*, ASHRAE Transactions, Vol. 84, Parll, 1978
- [25] Hill, J.E., Streed, E.R., *Testing and Rating of Solar Collectors*, Chapter X in 'Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings', ASHRAE GRP 170, ASHRAE, New York, 1977
- [26] Hill, J.E., Streed, E.R., Kelly, G.E., Geist, J.C., Kusuda, T., *Development of Proposed Standards for Testing Solar Collectors and Thermal Storage Devices*, NBS Technical Note 899, National Bureau of Standards, Washington, D.C. 20234, February 1976
- [27] Hill, J.E., Wood, B.P., Reed, K.A., *Testing Solar Collectors*, Adv. Solar Energy, 1985
- [28] Hottel, H.C., Woertz, B.B., *The Performance of Flat Plate Solar Heat Collectors*, ASME Trans., 64, 91, 1942
- [29] *Instruments for Climatological Observations*, Circular B, United States Weather Bureau Service, 11th Edition, January, 1962
- [30] Mather, G.R. Jr., Beekley D.C. *Performance of an Evacuated Tubular Collector using Non-Imaging Reflectors*, Proceedings of Storing the Sun Conference, Vol. 2, 1976
- [31] Mather, G.R. Jr., *ASHRAE 93 – 77 Instantaneous and All-day Testing of the Sunpak Evacuated Tube Collector*, ASME JSEE, 102, 1980
- [32] Mathioulakis E., Voropoulos K. and Belessiotis V., *Assessment of uncertainty in solar collector modeling and testing*, Solar Energy, Vol. 66(5), 1999, pp. 337-347
- [33] Mathioulakis, K. Voropoulos and V. Belessiotis, *Uncertainty in solar collector modeling and testing*, Proceedings of ISES Solar World Congress, Jerusalem, June 1999
- [34] Müller-Schöll, C and Frei, U., *Uncertainty Analyses in Solar Collector Measurement*, Proceedings of Eurosun 2000, Copenhagen
- [35] Newton, A.B., Gilman, S.H., *Solar Collection Performance Manual*, ASHRAE SP32 (ISBN 0-910110-04-2)
- [36] Oliphant, M.V., *Measurement of Wind Speed Distributions across a Solar Collector*, Solar Energy, 24, 403, 1980
- [37] Press W., Teukolsky S.A., Vetterling W.T. and Flannery B.P., *Numerical recipes*, 2nd edn., Cambridge University Press, Oxford, 1996
- [38] Proctor, D.A., *Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part I Attainable Accuracy*, Solar Energy, 32, 377 - 386, 1984

- [39] Proctor, D.A., *Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part II Equation of Collector Thermal Constants*, Solar Energy, 32, 387 - 394, 1984
- [40] Proctor, D.A., *Generalised Method for Testing all Classes of Solar Collectors. Part III Linearised Efficiency Expressions*, Solar Energy, 32, 395 - 399, 1984
- [41] Proctor, D., *Solar Simulator Design and Collector Testing*, Proceedings Workshop on Solar Simulators organised by IEA and European Commission, Ispra, Italy, 9-11 Feb. 1982, pp. 66-69, 150-151, 191-192
- [42] Proctor, D., Czarnecki, T.C., *The Effect of Aging on a 22 year old Solar Water Heater*, Solar Energy, 35, 175, 1985
- [43] Proctor, D., *The Design of a Meter to Measure the Mass Flow — Specific Heat Product of a Heat Transfer Fluid*, ASME Journal of Solar Engineering, 108, 177, 1986
- [44] Proctor, D., *Daily Thermal Characteristics for Some Evacuated — Tubular Solar Collectors*, Solar Energy, 33, 451, 1985
- [45] Proctor, D., James, S.R., *Analysis of the Sanyo Evacuated Solar Collector*, Results from the IEA Task III Programme, Solar Energy, 35, 387, 1985
- [46] Putman, W.J., Evans, D.L., Wood, B.D., *The Effect of Different Sky Conditions on the Optical Performance of Flat — Plate and Stationary Concentrating Collectors*, DSET Report 82 – 1201S, SER1 Subcontract XX – 1 – 1178 – 1, December 1982. Also Proceedings of the ASME Solar Energy Division Sixth Annual Conference, April 1984. pp. 209-219
- [47] Sabatelli V., Marano D., Braccio G. and Sharma V. K., *Efficiency test of solar collectors: uncertainty in the estimation of regression parameters and sensitivity analysis*, Energy Conversion and Management, Vol. 43(17), 2002, pp. 2287-2295
- [48] Souka, A.F., Safwat, H.H., *Optimum Orientations for the Double Exposure*, Flat Plate Collector and its Reflectors, Solar Energy, 10, 1966
- [49] Watmuff, J.H., Charters, W.W.S., Proctor, D., *Solar and Wind Induced External Coefficients — Solar Collectors*, COMPLES Int. Revue d'Heliotechnique 2' Semestre 1977, p. 56
- [50] Whillier, A., *Prediction of Performance of Solar Collectors*, Chapter VII of Applications of Solar Energy for Heating and Cooling of Buildings, ASHRAE GRP 170, ASHRAE, New York, 1977
- [51] Wood, B.D., Fiore, P., Christopherson, C.R., *Application of ASHRAE 93 - 77 for Testing Concentrating Collectors for the Purpose of Predicting All-day Performance*, Proceedings ISES Congress, May 1979
- [52] Albrecht, H., *Auswertung von Leistungsmessungen an sechs hocheffizienten Sonnenflachkollektoren*, Diplomarbeit, ausgeführt am ITW, Universität Stuttgart (1991), Matr.-Nr.: 1297676 (Evaluation of thermal performance measurements on 6 high efficient solar collectors; including comparison between steady-state and fully dynamic measurement parameters)
- [53] H.E.B. Andersson. *Solfångares tidskonstanter. En teoretisk genomgång.* (The Time Constant of Solar Collectors. A Theoretical Investigation. Swedish National Testing and Research Institute, SP-C 1979:12. Borås Sweden (1979)
- [54] V.G. Chant, R. Håkansson. *The MINSUN Simulation and Optimisation Program.* Application and Users Guide. IEA SH&C Task VII, Ottawa September 1985 (1985)
- [55] W.S. Duff et. al. *Experimental Results from Eleven Evacuated Collector Installations.* IEA SH&C Task VI. Document IEA-SHAC-TVI-4. (1988)

- [56] W. L. Gemmel, M. Chandrashekar, K. H. Vanoli, *Detailed Modelling of Evacuated Collector Systems*, IEA SH&C Task VI (1986)
- [57] K. Grandin. *Angular Resolved Absorptance of an Absorber Surface and Angular Resolved Transmittance of a Structured Cover Glazing*. Uppsala University. UPTEC 92107R (1992)
- [58] O. Guisan. A. Mermoud, B. Lachal, O. Rudaz, *Characterisation of Evacuated Collectors, Arrays and Collection Subsystems*. IEA SH&C Task VI (1986)
- [59] P. Isakson, The PFC-model. *A Plug flow Solar Collector Model for TRNSYS*. Nordic Solar Energy R&D Meeting . June 19-20 1991. Borlänge Sweden (1991)
- [60] W. Spirkel, *Dynamische Vermessung von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung*. (Dynamic testing of Solar Domestic Hotwater Systems). Dipl.-Phys. Thesis. VDI Verlag, Reihe 6: Energieerzeugung, Nr 241, München (1990)
- [61] J. Mushawek and W. Spirkel. *Dynamic Solar Collector Performance Testing*. Solar Energy Materials and Solar Cells. 30 (1993) 95-105 North Holland
- [62] M. Guigas, R. Kübler, N. Fisch, *Untersuchung von hocheffizienten Flachkollektoren mit Hilfe einer instationären Testmethode*. (Evaluation of High Performance Flat Plate Collectors with a Dynamic Test Method). Proc. Erstes Symposium Thermische Solarenergie, 1991, Kloster Banz, pp. 290-295 (1991)
- [63] T. Pauschinger. *Procedure for Testing Solar Collectors under Non Stationary Conditions*. ITW Universität Stuttgart, (1994)
- [64] B. Perers. *An improved Dynamic Solar Collector Test Method for Determination of Non Linear Optical and Thermal Characteristics with Multiple Regression*. Journal of the Int. Solar Energy Society, vol. 59, No. 4-6, pp. 163-178, 1997
- [65] B. Perers. *Data Requirement Specification for IEA SH&C Task 14 Subtask DCST Collector Testing Group*. Vattenfall Utveckling. (1993)
- [66] B. Perers, *Dynamic Method for Solar Collector Array Testing and Evaluation with Standard Database and Simulation Programmes*. Journal of the Int. Solar Energy Society Vol. 50. No. 6, pp. 517- 526, (1993)
- [67] B. Perers, B. Karlsson. P. Kovacs. *Short Term Dynamic Testing and Longterm Collector Performance Prediction using Standard Spreadsheet and Simulation Programmes*. ISES Conference, Budapest, (1993)
- [68] B. Perers. B. Karlsson. *External Reflectors for Large Solar Collector Arrays, Simulation Model and Experimental Results*. Journal of the Int. Solar Energy Society Vol 51. no. 5, 327-337. (1993)
- [69] B. Perers, *Linjärparaboliska solfångare för svenskt klimat. Mätning utvärdering och kostnadsanalys*. (Parabolic Through Collectors for the Swedish Climate. Measurements, Evaluation and Cost Analysis). Studsvik AB Sweden. STUDSVIK/ED-90/12. (1990)
- [70] B. Perers, P. Holst, *The Södertörn Solar District Heating Test Plant. Results 1982-1985*. Studsvik AB, Sweden. (STUDSVIK-87/1) (1987)
- [71] B. Perers. *Performance Testing of Unglazed Collectors. Wind and Long wave Radiation Influence*. Paper Presented to IEA SH&C Task III. Studsvik (1987)
- [72] B. Perers. *Influence of Variations in Wind Speed and Long Wave Radiation on the Performance of Solar Collectors*. Paper Presented to IEA SH&C Task 14. Vattenfall Utveckling AB. (1994)
- [73] G. Rockendorf, T. Barkmann. *Comparison of Collector Parameters from an In stationary and a Steady State Collector Test*. ISFH Haameln/Emmerthal. (1994)

- [74] WMO, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, 5th edn., WMO-8, Secretariat to the World Meteorological Organization, Geneva, 1983, Chapter 9
- [75] ISO 9806-1, *Test methods for solar collectors — Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop*
- [76] ISO 9806-2, *Test methods for solar collectors — Part 2: Qualification test procedures*
- [77] 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*
- [78] ISO 9846, *Solar energy — Calibration of a pyranometer using a pyrhelimeter*
- [79] ISO 9847, *Solar energy — Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer*
- [80] ISO/TR 9901, *Solar energy — Field pyranometers — Recommended practice for use*
- [81] ISO 9808, *Solar water heaters — Elastomeric materials for absorbers, connecting pipes and fittings — Method of assessment*
- [82] ISO 9553, *Solar energy — Methods of testing preformed rubber seals and sealing compounds used in collectors*