

Solarthermische Anlagen

Teil 4: Sonnenkollektoren
Bestimmung von Wirkungsgrad, Wärmekapazität
und Druckabfall

Vornorm

DIN V
4757-4

ICS 27.160

Deskriptoren: Heiz- und Raumlufttechnik, Solaranlage, Sonnenkollektor, Prüfverfahren

Ersatz für

DIN 4757-4 : 1982-07

Solar heating systems – Part 4: Solar collectors; Determination of efficiency, heat capacity and pressure drop

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	7.5 Luftgeschwindigkeit	8
1 Anwendungsbereich	2	7.6 Kalibrierung	8
1.1 Allgemeines	2	7.6.1 Kalibrierung des Meßstandes	8
1.2 Voraussetzungen	2	7.6.2 Kalibrierung der Sensoren und Meßgeräte (Meßumformer)	8
2 Normative Verweisungen	3	8 Durchführung der Prüfung	8
3 Begriffe, Formelzeichen, Benennungen, Einheiten	3	8.1 Vorbereitungen zur Prüfung	8
4 Grundlagen der Meßverfahren	4	8.1.1 Stillstandbedingungen	8
4.1 Wirkungsgrad	4	8.1.2 Aperturfläche	8
4.2 Wärmekapazität	4	8.1.3 Inspektion, Montage und Anschluß an den Kreislauf	8
4.3 Druckabfall	4	8.2 Durchführung zur Bestimmung der Wirkungsgradcharakteristik	8
5 Kollektoraufstellung	4	8.3 Meß- und Kontrollgrößen	9
5.1 Allgemeine Anforderungen	4	8.4 Stabilitätsanforderungen für die Meßperiode zur Bestimmung eines Meßpunktes	9
5.2 Aufstellung zur Außenprüfung	4	8.5 Prüfbedingungen	9
5.3 Aufstellung zur Innenprüfung	5	8.5.1 Bestrahlungsstärke	9
6 Prüfstands Aufbau	5	8.5.2 Einstrahlwinkel	9
6.1 Schematische Darstellung	5	8.5.3 Windgeschwindigkeit	9
6.2 Gestell	6	8.5.4 Massenstrom	9
6.3 Wärmetechnischer Aufbau	6	8.6 Messung des Einstrahlwinkel-Korrekturfaktors ..	10
6.4 Windsimulation	6	8.7 Bestimmung der Kollektorkapazität	10
6.5 Werkstoffe	6	8.8 Messung des Druckabfalls	10
6.6 Zusätzliche Geräte für den Wärmeträgerkreis ..	6	8.8.1 Meßgrößen	10
6.7 Bestrahlungseinrichtung für Innenprüfungen ..	6	8.8.2 Vorbereitung	10
6.7.1 Örtliche Homogenität	6	8.8.3 Prüfbedingungen	10
6.7.2 Zeitliche Konstanz	6	8.9 Bestimmung des Wärmeträgervolumens	10
6.7.3 Spektralverteilung	6	9 Auswertung der Messungen	10
7 Anforderungen an die Meßeinrichtungen	7	9.1 Bestimmung des Wirkungsgrades	10
7.1 Messung der Bestrahlungsstärke	7	9.2 Interpretation der Koeffizienten der Wirkungsgrad-Kurve	10
7.1.1 Pyranometer (Messung der kurzwelligen Bestrahlungsstärke)	7	9.3 Umrechnung der Wirkungsgradkoeffizienten auf andere Bezugsflächen	11
7.1.1.1 Allgemeine Anforderungen für Außen- und Innenprüfungen	7	9.4 Dokumentation der Meßergebnisse der Wirkungsgradkurve	11
7.1.1.2 Bestimmung der diffusen Bestrahlungsstärke	7	9.5 Auswertung der Messungen des Einstrahlwinkelkorrekturfaktors	11
7.1.1.3 Bestimmung der Bestrahlungsstärke und ihrer Verteilung bei simulierter Solarstrahlung	7	9.6 Dokumentation der effektiven Wärme- kapazität C des Sonnenkollektors	11
7.1.2 Messung der langwelligen Bestrahlungsstärke	7	9.7 Darstellung der Messungen zur Druckverlustbestimmung	11
7.1.2.1 Außenprüfungen	7	10 Prüfung	11
7.1.2.2 Bestimmung der langwelligen IR-Strahlung bei Test unter simulierter Solarstrahlung	7	10.1 Prüfstellen	11
7.2 Durchflußmessung	7	10.2 Prüfbericht	11
7.3 Temperaturmessungen	7	10.2.1 Angaben im Prüfbericht	11
7.3.1 Umgebungslufttemperatur	7	10.2.2 Anlagen zum Prüfbericht	11
7.3.2 Temperaturdifferenzmessung am Sonnenkollektor	8	10.3 Kennzeichnung	11
7.3.3 Weitere Temperaturmessungen	8	Anhang A (normativ)	12
7.4 Druckabfall des Wärmeträgers im Kollektor ..	8	Anhang B (normativ)	15
		Anhang C (informativ)	19

Fortsetzung Seite 2 bis 19

Normenausschuß Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Vorwort

Ab 1.1.1999 werden Messungen nach DIN 4757-4, Ausgabe 07.82, ungültig.

Die Kollektorleistungsmessungen nach dieser Vornorm unterscheiden sich von den Messungen nach DIN 4757-4, Ausgabe Juli 1982. Während in der vorliegenden Vornorm eine vollständige Wirkungsgradkurve unter Bestrahlung aufgezeichnet wird, wurden in der Fassung von 1982 die Koeffizienten k_1 und k_2 nach der Wärmeverlustmethode bestimmt. Damit entspricht die Meßprozedur der ISO 9806-1:1994.

Bei der Wärmeverlustmethode strömt ein Fluid durch einen nichtbestrahlten Kollektor und kühlt sich dabei ab. Aus den somit an die Umgebung abgeführten Wärmeleistungen (Wärmeverluste) werden mit Hilfe der Temperaturdifferenz zwischen Fluid und Umgebung die Koeffizienten der Wirkungsgradkurve k_1 und k_2 bestimmt. Dagegen werden nach der vorliegenden Vornorm alle Koeffizienten der Wirkungsgradkurve (η_0 , k_1 und k_2) unter solarer Bestrahlung gemessen.

Aufgrund der unterschiedlichen Wärmeflußrichtungen

alte Norm: Wärmefluß vom erhitzten Fluid über den kühleren Absorber an die Umgebung (ohne Bestrahlung)

neue Vornorm: Wärmefluß vom bestrahlten, erhitzten Absorber an das Fluid (Nutzwärmeanteil) sowie an die Umgebung (Verlustwärmeanteil)

sind die Wärmeverlustkoeffizienten beider Verfahren nicht direkt vergleichbar. Nach der vorliegenden Vornorm werden höhere Wärmeverlustkoeffizienten als nach der Fassung von 1982 ermittelt. Die Unterschiede zwischen alter Norm und neuer Vornorm hängen in erster Linie von der Kollektorkonstruktion ab, eine Umrechnung der Ergebnisse ist mit einfachen Mitteln nicht möglich.

Eine theoretische und experimentelle Analyse der Unterschiede beider Verfahren enthält [3].

Weiterhin wird die Prüfung nach der vorliegenden Vornorm bei einer Luftgeschwindigkeit von etwa 3 m/s durchgeführt, während in der alten Norm jeweils eine Wärmeverlustmessung mit natürlicher und erzwungener Konvektion vorgeschrieben war (Luftgeschwindigkeit 0 und 4 m/s).

DIN 4757 besteht aus

- Teil 1: Sonnenheizungsanlagen mit Wasser oder Wassergemischen als Wärmeträger; Anforderungen an die sicherheitstechnische Ausrüstung
- Teil 2: Sonnenheizungsanlagen mit organischen Wärmeträgern; Anforderungen an die sicherheitstechnische Ausrüstung
- Teil 3: Solarthermische Anlagen – Teil 3: Sonnenkollektoren; Begriffe, Sicherheitstechnische Anforderungen; Prüfung der Stillstandstemperatur (Vornorm)
- Teil 4: Solarthermische Anlagen – Teil 4: Sonnenkollektoren; Bestimmung von Wirkungsgrad, Wärmekapazität und Druckabfall (Vornorm)

Änderungen

Gegenüber DIN 4757 : 1982-07 wurden folgende Änderungen aufgenommen:

- a) Die Vornorm gilt jetzt für Flach- und Röhrenkollektoren.
- b) Für die Bestimmung der Aperturfläche wurden im Anhang B Beispiele aufgenommen.
- c) Die Meßprozeduren wurden ISO 9806-1 angepaßt.

Frühere Ausgaben

DIN 4757-4: 1982-07

1 Anwendungsbereich

1.1 Allgemeines

Diese Vornorm gilt für abgedeckte Sonnenkollektoren, die mit flüssigen Wärmeträgern betrieben werden und in solarthermischen Anlagen nach DIN 4757-1 Verwendung finden. Es werden Meßverfahren zur Bestimmung der photothermischen und hydraulischen Eigenschaften von Sonnenkollektoren festgelegt.

Die photothermischen Eigenschaften eines Sonnenkollektors können quantitativ durch die mathematische Beschreibung seines Wirkungsgrades als Funktion der meteorologischen und der systemtechnischen Betriebsgrößen dargestellt werden.

Zweck dieses Teils der Vornorm ist die experimentelle Bestimmung der charakteristischen Kenngrößen der Kollektor-Wirkungsgradfunktion zur Beschreibung der stationären thermischen Leistung sowie des Druckverlusts.

Angewandt werden diese charakteristischen Kenngrößen vor allem zur Bestimmung der Ertragsprognose anhand von

Simulationsprogrammen, zum unmittelbaren Vergleich unterschiedlicher Kollektoren sowie zu ihrer Optimierung.

1.2 Voraussetzungen

Bevor die thermischen und hydraulischen Eigenschaften eines Kollektors nach den in dieser Vornorm beschriebenen Verfahren bestimmt werden, ist der zu prüfende Kollektor mit einer Bestrahlungsstärke $> 800 \text{ W/m}^2$ mindestens 5 Stunden im ungefüllten Zustand bei einer Lufttemperatur $\vartheta_L > 10^\circ\text{C}$ zu belasten.

Die Bestimmung der thermischen und hydraulischen Eigenschaften eines Kollektors ist mit dem für den Kollektor empfohlenen Wärmeträger durchzuführen. Die Stoffwerte des verwendeten Wärmeträgers (spezifische Wärmekapazität und Dichte) müssen mit einer maximalen Abweichung von $\pm 1\%$ bekannt sein. Die Temperaturabhängigkeit der Stoffwerte sowie die den angegebenen Werten zugrundeliegenden Meßverfahren sind in Anlehnung an DIN 4754 anzugeben. Bei Kollektoren, die gemäß DIN 4757-1 mit wasserähnlichen Gemischen (Anteil des Wassers $> 50\%$) betrieben werden, darf die Bestimmung des Wirkungsgrades und des Druckabfalls mit Wasser (Trinkwasserqualität) durchgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

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

DIN 1942

Abnahmeversuche an Dampferzeugern (VDI-Dampferzeugerregeln)

DIN 4704-1

Prüfung von Raumheizkörpern, Prüfregeln

DIN 4754

Wärmeübertragungsanlagen mit organischen Wärmeträgern – Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfung

DIN 4757-1

Sonnenheizungsanlagen mit Wasser oder Wassergemischen als Wärmeträger – Anforderungen an die sicherheitstechnische Ausführung

DIN V 4757-3

Solarthermische Anlagen – Teil 3: Sonnenkollektoren; Begriffe; Sicherheitstechnische Anforderungen; Prüfung der Stillstandstemperatur

DIN IEC 751

Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Meßwiderstände; Identisch mit IEC 751, Ausgabe 1983 (Stand 1986); Deutsche Fassung HD 459 S2:1988

ISO 9060

Solar energy – specification and classification of instruments measuring hemispherical solar and direct solar radiation

ISO 9806-1

Thermal performance test for solar collectors – Part 1: Glazed liquid heating collectors

E VDI/VDE 3511-1

Technische Temperaturmessungen – Grundlagen und Übersicht über besondere Temperaturmeßverfahren

E VDI/VDE 3512-3

Meßanordnung für Druckmessungen

[1] World Meteorological Organization, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, No. 8, 5th edition, WMO, Geneva, 1983.

[2] P. Ambrosetti, H. E. B. Andersson, L. Liedquist, C. Fröhlich, Ch. Wehrli, H. D. Talarek: "Results of an Outdoor and Indoor Pyranometer Comparison", Internationale Energie Agentur, Solar Heating and Cooling Programme, Task III, Document No. III.A.3; Forschungszentrum Jülich, April 1986.

[3] G. Rockendorf, K. Vanoli: Ein Vergleich von Kollektorleistungstests nach DIN 4757 und der ASHRAE-Methode; Tagungsband 8. Int. Sonnenforum, Berlin, Bd. 1, S. 550 ff. (1992).

3 Begriffe, Formelzeichen, Benennungen, Einheiten

Formelzeichen	Benennung	Einheit
A_e	Aperturfläche (Eintrittsfläche für Strahlung bei Kollektoren gemäß Anhang B)	m^2
A_a	Absorberfläche	m^2

(fortgesetzt)

(fortgesetzt)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
A_b	Bruttofläche	m^2
k_1 k_2	Hilfsgrößen zur Beschreibung der Verlust-Wärmeflußdichte; Wärmedurchgangskoeffizienten	$W/m^2 \cdot K$ $W/(m \cdot K)^2$
C	Wärmekapazität	J/K
C_A	Wärmekapazität des gesamten Absorbers	J/K
C_F	Wärmekapazität des Wärmeträgers	J/K
C_G	Effektive Wärmekapazität des Kollektors	J/K
c_A	spezifische Wärmekapazität des gesamten Absorbers	J/(kg K)
c_F	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers	J/(kg K)
c_Z	spezifische Wärmekapazität der Zwischenbauteile des Kollektors	J/(kg K)
E	Bestrahlungsstärke	W/m^2
E_g	globale Bestrahlungsstärke	W/m^2
H	Bestrahlung	J/m^2
k_{eff}	effektiver Wärmedurchgangskoeffizient für Sonnenkollektoren	$W/(m^2 K)$
$K(\phi)$	Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Winkelabhängigkeit des Konversionsfaktors η_o	–
$\dot{m}$	Massenstrom des Wärmeträgers	kg/s
m	Masse	kg
m_A	Masse des Absorbers	kg
m_F	Masse des Wärmeträgers im Kollektor	kg
m_Z	Masse der Zwischenbauteile des Kollektors	kg
φ	Einstrahlwinkel gegenüber der Kollektornormalen	Grad
Q_n	Nutzwärmeleistung des Sonnenkollektors	W
t, t_1, t_2	Zeit, zeitliche Integrationsgrenzen	s, min, h
σ	Stephan-Boltzmann-Konstante	$W/m^2 K^4$
ϑ_e	Temperatur des Wärmeträgers bei Eintritt in den Kollektor (Eintrittstemperatur)	$^{\circ}C$

(fortgesetzt)

(abgeschlossen)

Formelzeichen	Benennung	Einheit
ϑ_a	Temperatur des Wärmeträgers bei Austritt aus dem Kollektor (Austrittstemperatur)	°C
ϑ_{Him}	Himmelstemperatur	°C
ϑ_m	mittlere Temperatur des Wärmeträgers	°C
ϑ_s	Stillstandtemperatur	°C
ϑ_L	Umgebungslufttemperatur	°C
$\dot{V}$	Volumenstrom	m ³ /s
V	Volumen	m ³
V_F	Volumen des Wärmeträgers	m ³
β	Neigungswinkel zur Horizontalen	Grad
γ	Sonnenhöhenwinkel	Grad
Δp	Druckverlust	Pa
η	Wirkungsgrad	—
$\eta_0(\phi)$	Konversionsfaktor bei Einstrahlwinkel ϕ	—
η_0	Konversionsfaktor bei Einstrahlwinkel $\phi = 0^\circ$	—
ρ	Dichte	kg/m ³
ρ_F	Dichte des Wärmeträgers	kg/m ³
ρ_{F20}	Dichte des Wärmeträgers bei 20°C	kg/m ³
w	Luftgeschwindigkeit	m/s

Indizes		b	brutto
A	Absorber	e	Eintritt
F	Wärmeträgerfluid	g	global
G	Gesamt	m	mittlerer Wert
Him	Himmel	0	Null
L	Luft	n	nutzbar
Z	Zwischenbauteile	s	Stillstand
a	Austritt	v	Verlust

4 Grundlagen der Meßverfahren

4.1 Wirkungsgrad

Der stationäre Wirkungsgrad ist definiert als das Verhältnis der Nutzleistung $\dot{Q}_n$ unter stationären Betriebsbedingungen zur einfallenden Strahlungsleistung $A_e \cdot E_e$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_n}{E_e \cdot A_e} \quad (4.1)$$

Die funktionale Abhängigkeit des Wirkungsgrades von den meteorologischen und den systemtechnischen Betriebs-

größen kann durch folgende mathematische Beziehung dargestellt werden:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\Delta \vartheta}{E_e} - k_2 \cdot \frac{(\Delta \vartheta)^2}{E_e} \quad (4.2)$$

mit

$$\Delta \vartheta = \vartheta_m - \vartheta_L \quad (4.3)$$

und

$$\vartheta_m = \frac{1}{2} (\vartheta_e + \vartheta_a) \quad (4.4)$$

Die Koeffizienten η_0 , k_1 und k_2 haben folgende Bedeutung:
 η_0 : Wirkungsgrad bei $\vartheta_m = \vartheta_L$

Die Koeffizienten k_1 und k_2 beschreiben den Wärmeverlust des Kollektors. Zur Bestimmung eines effektiven, temperaturabhängigen Wärmedurchgangskoeffizienten wird folgende Gleichung herangezogen:

$$k_{eff} = k_1 + k_2 \cdot \Delta \vartheta \quad (4.5)$$

Die vorliegende Vornorm schreibt ein Meßverfahren vor, bei dem in einer Außen- oder Innenprüfung unter natürlicher bzw. künstlicher Bestrahlung der stationäre Wirkungsgrad als Funktion der Betriebsbedingungen bestimmt wird.

4.2 Wärmekapazität

Die effektive Wärmekapazität eines Kollektors bestimmt sein instationäres thermisches Verhalten. Für die praktische Anwendung wird die effektive Wärmekapazität aus dem Wärmeträgervolumen, dem konstruktiven Aufbau und den Werkstoffen eines Kollektors berechnet.

4.3 Druckabfall

Der Druckabfall des strömenden Wärmeträgers im Kollektor ist eine Kenngröße, die u. a. für die Ermittlung der notwendigen Pumpenleistung im Kollektorkreislauf benötigt wird.

5 Kollektoraufstellung

5.1 Allgemeine Anforderungen

Die Eintrittsfläche des Kollektors muß mindestens 1 m² betragen. Andernfalls sind zwei oder mehrere gleiche Kollektoren nach Herstellerangaben zu verschalten. Die Eintrittsfläche von fest installierten Kollektoren muß gegenüber der Horizontalen um $(45^\circ \pm 5^\circ)$ geneigt sein (andere Neigungswinkel können zusätzlich vermessen werden, wenn aus bestimmten Gründen eine Verwendung des Sonnenkollektors mit einem anderen Neigungswinkel vorgesehen ist).

Der Kollektor soll mit seiner Unterkante in einer Mindesthöhe von 500 mm über der Prüfstandstellfläche aufgestellt werden. Die Bestrahlung der Eintrittsfläche und die Verlustwärmeabgabe des Kollektors dürfen nicht durch die Prüfstandsaufbauten beeinflusst werden. Die Aufstellung des Kollektors ist so zu wählen, daß die natürliche Luftumströmung nicht beeinflusst wird.

Der Kollektor soll so aufgestellt werden, daß während der Messung kaum reflektierte kurzwellige Strahlung von umgebenden Flächen auf diesen trifft. Diese Flächen sollten diffus und mit einem Reflexionsgrad von weniger als 0,3 strahlen.

5.2 Aufstellung zur Außenprüfung

Die Aufstellung des Kollektors im Freien muß derart erfolgen, daß während der Prüfung keinerlei Abschattung auftritt.

Der Kollektor ist so auszurichten, daß während der Messung der Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlung zur Kollektornormalen den Meßbedingungen nach 8.5.2 entspricht. Dies läßt sich z. B. durch ein bewegliches Gestell erreichen.

5.3 Aufstellung zur Innenprüfung

Der Kollektor ist in einem geschlossenem Raum unter künstlicher Bestrahlung bei konstanten Umgebungsbedin-

gungen aufzustellen (nach 6.7). Die Anforderungen an die IR-Strahlung im Bereich $\lambda > 3 \mu\text{m}$ werden in Abschnitt 7 näher behandelt.

6 Prüfstandsaufbau

6.1 Schematische Darstellung

Der Kollektorprüfstand für die Prüfung ist schematisch in Bild 1 dargestellt.

Zeichenerklärung:

- 1 Sonnenkollektor
- 2 Wärmedämmung
- 3 Fühler zur Messung der Austrittstemperatur ϑ_a
- 4 Entlüftungsventil
- 5 Sicherheitsventil
- 6 Ausdehnungsgefäß
- 7 Durchfluß-Regelventil
- 8 Pumpe
- 9 Automatischer Luftabscheider
- 10 Temperaturregler
- 11 Filter
- 12 Schauglas
- 13 Fühler zur Messung der Eintrittstemperatur am Durchflußmeßgerät
- 14 Durchflußmeßgerät
- 15 Fühler zur Messung der Eintrittstemperatur ϑ_e
- 16 Gebläse
- 17 Differenzdruckmesser
- 18 1. Pyranometer zur Messung der Globalstrahlung
- 19 2. Pyranometer zur Messung der Globalstrahlung
- 20 Anemometer
- 21 Pyranometer mit Schattenring zur Messung der diffusen Einstrahlung
- 22 Belüfteter und strahlungsgeschützter Umgebungstemperturfühler

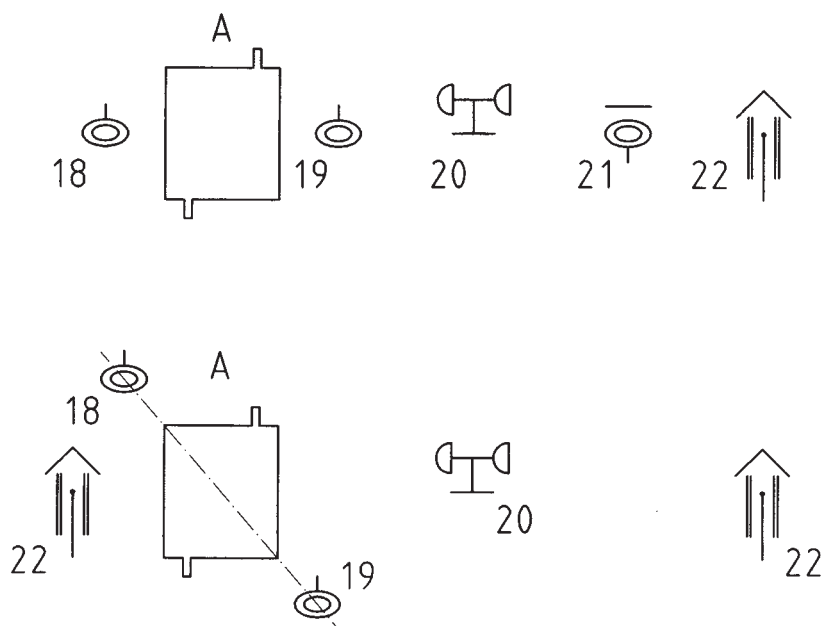
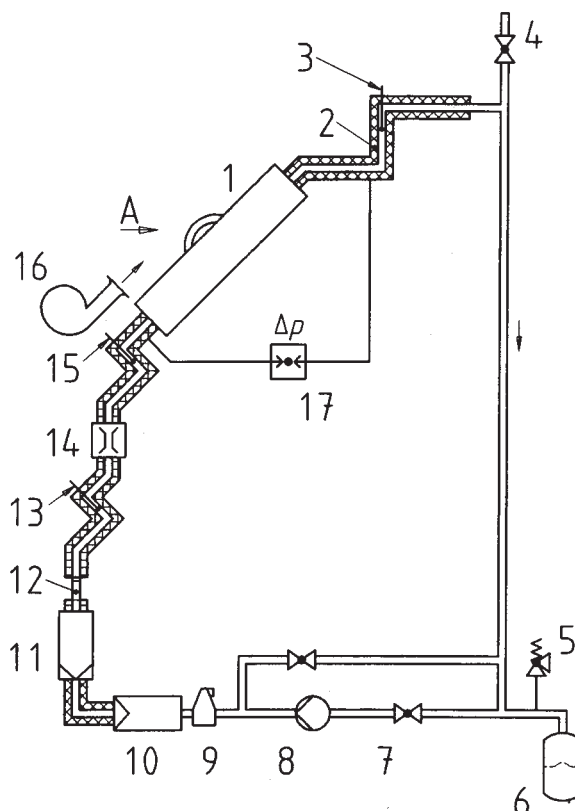


Bild 1: Schematische Darstellung des Kollektor-Prüfstandes

6.2 Gestell

Der Kollektor ist auf einem geeigneten, stabilen Gestell zu befestigen. Dabei sind alle Anforderungen nach Abschnitt 5 zu erfüllen.

6.3 Wärmetechnischer Aufbau

Außen- und Innenmessung beinhalten beide eine sorgfältige thermische Messung der vom Wärmeträger im Kollektor aufgenommenen Wärmemenge. Durch geeignete Geräte ist sicherzustellen, daß die Kollektoreintrittstemperatur während des Versuchs auf $\pm 0,1\text{ K}$ konstant gehalten wird. Die spezifische Wärmekapazität und Dichte des Wärmeträgers muß bei den gemessenen Temperaturen mit einer Abweichung von weniger als $\pm 1\%$ bekannt sein. Bei Einsatz organischer Wärmeträger wird empfohlen, diese Größen vor oder während der Messung experimentell zu bestimmen. Für Wasser können die Koeffizienten entsprechend der im Anhang C aufgeführten Polynome verwendet werden, die auf den Daten des VDI-Wärmeatlas beruhen.

Der Wärmeträger kann einen offenen oder einen geschlossenen Kreislauf durchströmen. Die in Abschnitt 7 aufgeführten Einrichtungen zur Messung des Durchflusses und der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abfluß sind mit hoher Sorgfalt zu installieren, da Meßfehler an diesen Stellen sich wesentlich auf das Meßergebnis auswirken. Die Temperaturfühler müssen in Durchflußrichtung gesehen hinter einer Verwirbelungsstelle liegen, um eine gute Vermischung sicherzustellen. Insbesondere sind Temperaturmeßstellen, Zuleitungen und Absorber sorgfältig zu entlüften (ein automatischer Luftabscheider ist erforderlich). Es ist oft zweckmäßig, nach Aufheizen und Ausgasen des Wärmeträgers den Absorber vor Prüfbeginn mit einem hohen Wärmeträgerdurchsatz zu durchströmen, gegebenenfalls mit wechselnder Strömungsrichtung, so daß Luftblasen zum Zwecke der Entlüftung mitgerissen werden. Mit den thermischen Messungen darf erst begonnen werden, nachdem der Wärmeträger vollständig ausgegast ist und ein blasenfreies Durchströmen des Absorbers sichergestellt ist (Kontrolle durch ein Sichtglas, z. B. Schwebekörper-Durchflußgeber, siehe 6.6).

6.4 Windsimulation

Bei Innen- und Außenprüfung ist ein Gebläse von vorn oder seitlich so einzurichten, daß in einem Abstand von 50 mm über der Oberkante der äußersten Abdeckung die mittlere Luftgeschwindigkeit bei $(3 \pm 1)\text{ m/s}$ liegt. Die Unterseite ist nicht anzublasen.

6.5 Werkstoffe

Für sämtliche Armaturen, Rohrleitungen und Dichtungen müssen Werkstoffe verwendet werden, die bei den Prüfbedingungen des Kollektors mechanisch, thermisch und chemisch beständig sind.

6.6 Zusätzliche Geräte für den Wärmeträgerkreis

An den jeweiligen in Bild 1 angegebenen Stellen sind ein Differenzdruckmesser und eine Pumpe anzubringen. Eine Vorrichtung zum Konstanthalten der Durchflußmenge des Wärmeträgers (Massenstromvariation $\pm 1\%$) sowie z. B. ein Thermostat zur Stabilisierung der Eintrittstemperatur (maximal zulässige Variation der Eintrittstemperatur $\pm 0,1\text{ K}$) sind im Wärmeträgerkreis zu installieren. Ein Ausdehnungsgefäß, Entlüfter und ein Sicherheitsventil sind bei geschlossenem Kreislauf einzubauen, um zu gewährleisten, daß sich der Wärmeträger ungehindert in der Versuchseinrichtung ausdehnen kann. Ferner sind innerhalb der Versuchsanordnung Filter sowie ein Sichtglas (bzw. Schwebekörper-Durchflußgeber) zu installieren, um zu überprüfen, daß der durch den Sonnenkollektor hindurchfließende Wärmeträger keine Verschmutzungen und Luftblasen aufweist.

6.7 Bestrahlungseinrichtung für Innentests

Die Einrichtung zur Erzeugung der Bestrahlung muß in der Lage sein, eine Bestrahlungsstärke E_e in der Aperturfläche von mindestens 800 W/m^2 zu gewährleisten. Die örtliche Verteilung der Bestrahlungsstärke in Höhe der Apertur muß durch eine geeignete Meßeinrichtung bestimmt werden. Aus der örtlichen Verteilung wird der Mittelwert $\bar{E}_e(x, y)$ berechnet.

6.7.1 Örtliche Homogenität

Die örtliche Bestrahlungsstärke in der Aperturebene darf an keiner Stelle um mehr als 15 % vom Mittelwert abweichen.

$$\left| \frac{E_e - \bar{E}_e}{\bar{E}_e} \right| \leq 0,15$$

6.7.2 Zeitliche Konstanz

Die mittlere Bestrahlungsstärke in der Aperturebene darf während der Messung eines Wirkungsgrad-Meßpunktes (siehe 8 und 9) um maximal $\pm 50\text{ W/m}^2$ schwanken.

6.7.3 Spektralverteilung

Die Spektralverteilung der simulierten Solarstrahlung muß einem typischen terrestrischen Solarspektrum bei einer mittleren Sonnenhöhe entsprechen (z. B. AM 1.5 bzw. AM 2). Um gegenüber dem Sonnenspektrum völlig untypische Spektralverteilungen auszuschließen, sind die Mindestanforderungen an das Spektrum der simulierten Solarstrahlung einzuhalten (siehe Erläuterungen).

In Anlehnung an ISO 9806-1 ist sicherzustellen, daß das effektive Transmissions-Absorptionsprodukt $(\tau \cdot \alpha)_{\text{eff}}$ bei dem gegebenen Kollektor für das Solarstrahlungsspektrum AM 1.5 um nicht mehr als 1 % von dem entsprechenden Wert für simulierte Strahlung abweicht:

$$(\tau \alpha)_{\text{eff}} = \frac{\int_{0,3\text{ }\mu\text{m}}^{3\text{ }\mu\text{m}} \tau(\lambda) \cdot \alpha(\lambda) \cdot E_e(\lambda) d\lambda}{\int_{0,3\text{ }\mu\text{m}}^{4\text{ }\mu\text{m}} E_e(\lambda) d\lambda} \quad (6.1)$$

Dazu ist in Gleichung 6.1 für $E_e(\lambda)$ nacheinander die Spektralverteilung des Simulators und der Sonne (AM 1.5) einzusetzen. Das spektrale Profil der Transmission $\tau(\lambda)$ und der Absorption $\alpha(\lambda)$ der verwendeten Materialien müssen (z. B. anhand von Datenblättern der jeweiligen Materialhersteller) zur Verfügung gestellt oder gesondert gemessen werden.

Wenn die derart bestimmten $(\tau \alpha)_{\text{eff}}$ -Werte um mehr als 1 % voneinander abweichen, ist eine Korrektur des nach den Abschnitten 8 und 9 gemessenen η_0 -Wertes nach folgender Beziehung

$$\eta_{0, \text{kor}} = \eta_{0, \text{mess}} \cdot \frac{\tau \alpha_{\text{eff, AM 1.5}}}{\tau \alpha_{\text{eff, Simulator}}} \quad (6.2)$$

vorzunehmen (siehe 8 und 9).

Diese Form der Korrektur ist möglich bis zu einer Abweichung der unkorrigierten $(\tau \alpha)_{\text{eff}}$ -Werte von + 5 %. Liegt eine starke Winkelabhängigkeit von η_0 vor (siehe 8.8 und 9.5), so muß ein entsprechender Vermerk im Prüfbericht erfolgen; gegebenenfalls sind zusätzliche Messungen unter Außenbedingungen durchzuführen (siehe 8.6). In Anlehnung an