

DIN EN ISO 24194



ICS 27.160

Einsprüche bis 2021-05-26

Entwurf

**Sonnenenergie –
Kollektorfelder –
Überprüfung der Leistungsfähigkeit (ISO/DIS 24194:2021);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 24194:2021**

Solar energy –
Collector fields –
Check of performance (ISO/DIS 24194:2021);
German and English version prEN ISO 24194:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-03-26 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nhrs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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

Gesamtumfang 76 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRs)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 24194:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NQIS EL0T (Griechenland) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 9488	siehe	DIN EN ISO 9488
ISO 9806	siehe	DIN EN ISO 9806

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 9488, *Sonnenenergie — Vokabular*

DIN EN ISO 9806, *Solarenergie — Thermische Sonnenkollektoren — Prüfverfahren*

Titel de: Sonnenenergie — Kollektorfelder — Überprüfung der Leistungsfähigkeit
(ISO/DIS 24194:2021)

Titel en: Solar energy — Collector fields — Check of performance
(ISO/DIS 24194:2021)

Titel fr:

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole	7
5 Verfahren für die Überprüfung der Leistung von thermischen Sonnenkollektorfeldern	11
5.1 Angabe einer Schätzung für die Wärmeleistung eines Kollektorfelds	11
5.2 Berechnen der Wärmeleistung	11
5.2.1 Gleichung 1	12
5.2.2 Gleichung 2	13
5.2.3 Gleichung 3	13
5.3 Angabe einer geschätzten Leistungsfähigkeit	13
5.4 Beschränkungen der Betriebsbedingungen	13
5.5 Verschattung	14
5.5.1 Verschattung auf festen in Reihen angeordneten Kollektoren	14
5.5.2 Schatten auf in Reihen angeordneten einachsigen nachgeführten Kollektoren	15
5.6 Kollektor-Einfallswinkel	18
5.7 Beispiel für die Aufstellung einer Gleichung für die Berechnung eines Schätzwerts für die Leistungsfähigkeit	18
5.8 Bestimmung potentieller gültiger Zeiträume	19
5.9 Überprüfung der geschätzten Leistungsfähigkeit	19
5.9.1 Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Kollektorfelds	19
6 Notwendige Messungen	21
6.1 Anforderungen an Messungen und Sensoren	22
6.1.1 Zeit	23
6.1.2 Messung der Sonnenstrahlung	23
6.1.3 Temperaturmessungen	25
6.1.4 Durchflussmessungen	26
6.1.5 Messung/Berechnung der Leistung	26
6.1.6 Messen der Windgeschwindigkeit	26
6.2 Gültige Datenpunkte	27
Anhang A 1 (informativ) Empfohlene Berichtsvorlage – Leistungsverfahren	28
Anhang A 2 (informativ) Empfohlene Berichtsvorlage – Tagesertragsverfahren	31
Anhang B 1 (informativ) Empfohlene Berichtsvorlage für die Angabe der geschätzten Leistungsfähigkeit – Leistungsverfahren	32
Anhang C (informativ) Verfahren für die Überprüfung der täglichen Leistungsfähigkeit von thermischen Sonnenkollektorfeldern	34
Literaturhinweise	40

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 24194:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180 „Solar energy“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NQIS EL0T gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 24194:2021 wurde von CEN als prEN ISO 24194:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 180, *Solar energy*, Unterkomitee SC 4, *Systems - Thermal performance, reliability and durability* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Dieses Dokument legt Verfahren für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit von thermischen Sonnenkollektorfeldern fest. Die gemessene Leistungsfähigkeit wird mit der berechneten Leistungsfähigkeit verglichen, und es werden Bedingungen für die Gültigkeit gegeben.

Für die Überprüfung stehen zwei Genauigkeitsniveaus zur Verfügung:

- Niveau I ermöglicht eine sehr genaue Schätzung (mit einem geringen Sicherheitsfaktor), es gelten jedoch Anforderungen für die Nutzung teurer Messgeräte.
- Niveau II ermöglicht eine weniger genaue Schätzung (mit einem größeren Sicherheitsfaktor), es können jedoch kostengünstigere Messgeräte verwendet werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt zwei Verfahren für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit von thermischen Sonnenkollektorfeldern fest. Bei den aufgestellten Kollektoren kann es sich um Flachkollektoren, Vakuum-Röhrenkollektoren und/oder nachgeführte konzentrierende Kollektoren handeln.

Die Überprüfung kann anhand der Wärmeleistungsabgabe des Kollektorfelds vorgenommen werden (dies wird im Hauptteil des Dokuments beschrieben).

Die Überprüfung kann auch anhand des täglichen Ertrags des Kollektorfelds vorgenommen werden (dies wird im informativen Anhang beschrieben).

Das Dokument legt für die beiden Verfahren fest, wie die gemessene Leistungsabgabe mit einer berechneten verglichen wird.

Dieses Dokument gilt für Kollektorfelder beliebiger Größe.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

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

ISO 9488, *Solar energy — Vocabulary*

ISO 9806, *Solar energy — Solar thermal collectors — Test methods*

3 Begriffe

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

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Reflektor

für die Reflexion von Strahlungsenergie vorgesehene Oberfläche

3.2

Querebene

die von der Normale der Kollektorebene und der Senkrechten der Konzentratorachse oder, bei flachen biaxialen Geometrien, der kürzesten Symmetrieachse aufgespannte Ebene

4 Symbole

A_G	Bruttofläche des Kollektors nach ISO 9488	m^2
A_{GF}	Bruttofläche des Kollektorfelds	m^2
a_1	Wärmeverlustkoeffizient bei $(\vartheta_m - \vartheta_a) = 0$	$W/(m^2 \cdot K)$
a_2	Abhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten von der Temperatur	$W/(m^2 \cdot K^2)$
a_3	Abhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten von der Windgeschwindigkeit	$J/(m^3 \cdot K)$
a_4	Abhängigkeit des Wärmeverlustkoeffizienten von der Himmelstemperatur	—
a_5	effektive Wärmekapazität. In einigen Veröffentlichungen und Datenblättern als C_{eff} bezeichnet	$J/(m^2 \cdot K)$
a_6	Abhängigkeit des verlustfreien Wirkungsgrads von der Windgeschwindigkeit	s/m
a_7	Abhängigkeit des IR-Strahlungsaustauschs von der Windgeschwindigkeit	$W/(m^2 \cdot K^4)$
a_8	Abhängigkeit von Strahlungsverlusten	$W/(m^2 \cdot K^4)$
b_u	Wirkungsgradkoeffizient des Kollektors (Windabhängigkeit)	s/m
C	effektive Wärmekapazität des Kollektors	J/K
C_R	geometrischer Konzentrationsfaktor	—
c_f	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgerfluids	$J/(kgK)$
$c_{f,i}$	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgerfluids am Kollektoreingang	$J/(kgK)$
$c_{f,e}$	spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgerfluids am Kollektorausgang	$J/(kgK)$
DNI	Bestrahlungsstärke der Sonnenstrahlung, die je Flächeneinheit auf eine Oberfläche auftrifft, die stets senkrecht zu den in direkter Linie aus Richtung der Sonne an ihrer gegenwärtigen Position einfallenden Strahlen gehalten wird	W/m^2
E_L	langwellige Bestrahlungsstärke ($\lambda > 3 \mu m$)	W/m^2
f_P	Sicherheitsfaktor, der die Wärmeverluste durch Rohre usw. im Kollektorkreislauf berücksichtigt	—
f_U	Sicherheitsfaktor, der die Messunsicherheit berücksichtigt	—
f_0	Sicherheitsfaktor, der andere Unsicherheiten wie zum Beispiel solche im Zusammenhang mit nicht idealen Bedingungen, etwa einer nicht idealen Strömungsverteilung und unvorhergesehener Wärmeverluste sowie Unsicherheiten im Modell/Verfahren selbst berücksichtigt	—

f_{safe}	$f_{\text{safe}} = f_P \cdot f_U \cdot f_O$	—
f_{sh}	Verschattungsfaktor	—
G	Zwischenraum zwischen benachbarten Kollektoren	m
G_{hem}	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene	W/m ²
G_b	Bestrahlungsstärke der direkten Sonneneinstrahlung (direkte Bestrahlungsstärke) in der Kollektorebene	W/m ²
G_d	Bestrahlungsstärke der diffusen Sonneneinstrahlung in der Kollektorebene	W/m ²
H_{hem}	Gesamtmenge der im Laufe eines Tages auf die Kollektorebene auftreffenden Strahlungsenergie	kWh/m ²
h	Sonnenhöhenwinkel. $\sin h = \cos \theta_z$	°
h_{min}	minimaler Sonnenhöhenwinkel	°
H_{sh}	Höhe der verschatteten Fläche	m
$K_{\text{hem}}(\theta_L, \theta_T)$	Einfallswinkelfaktor für die hemisphärische Sonnenstrahlung	—
$K_b(\theta_L, \theta_T)$	Einfallswinkelfaktor für die direkte Sonnenstrahlung	—
K_{θ_L}	Einfallswinkelfaktor für die Längsebene	—
K_{θ_T}	Einfallswinkelfaktor für die Querebene	—
K_d	Einfallswinkelfaktor für die diffuse Sonnenstrahlung	—
L	Länge eines Kollektors	m
L_{pipe}	Gesamtlänge des Rohrsystems ohne Kollektoren	m
L_{sh}	Länge der verschatteten Fläche	m
$\dot{m}$	Massenstrom des Wärmeträgerfluids	kg/s
N_c	Anzahl der Kollektoren in einer Reihe	—
P_x	x-Koordinate des Punkts C (C ist der Punkt, der den vom höchsten Punkt der der Sonne zugewandten Seite einer Kollektorreihe geworfenen Schatten erreichen würde, wenn sie unverschattet wäre)	—
P_y	y-Koordinate des Punkts C	—
$\dot{Q}_{\text{measured}}$	gemessene Wärmeleistung	W
$\dot{Q}_{\text{estimate}}$	geschätzte Wärmeleistung	W
$Q_{\text{cap,d}}$	täglicher Wärmeverlust der thermischen Solaranlage bei Nennleistung	J
$Q_{\text{estimate-sys,d}}$	geschätzter Tagesertrag der thermischen Solaranlage	J
$\dot{Q}_{\text{estimate-col,d}}$	mittlere tägliche Bruttowärmeleistung des Kollektorfelds	W

$Q_{HM,d}$	tägliche Ertragsmessung des Wärmezählers	J
$\dot{Q}_{pipe,d}$	mittlerer täglicher Wärmeverlust der Rohrleitungen	W
q_{l-pipe}	empirischer spezifischer Wärmeverlust je m Rohr	W/m
S	Mittenabstand benachbarter Reihen	m
T	absolute Temperatur	K
t	Zeit	s
t_s	Zeitpunkt des Messbeginns	s
t_e	Zeitpunkt des Messendes	s
u	Geschwindigkeit der Umgebungsluft (Windgeschwindigkeit)	m/s
u'	korrigierte Geschwindigkeit der Umgebungsluft $u' = u - 3$ m/s	m/s
V_f	Fluid-Nennvolumen des Kollektors	m ³
$\dot{V}$	Volumenstrom	m ³ /s
$\dot{V}_e$	Volumenstrom am Ausgang des Sonnenkollektors	m ³ /s
$\dot{V}_i$	Volumenstrom am Eingang des Sonnenkollektors	m ³ /s
V_{pipe}	Volumen des Rohrsystems ohne Kollektoren	l
W	Breite eines Kollektors	—
Δt	Zeitintervall	s
ΔT	Temperaturdifferenz zwischen Fluidausgang und -eingang ($\vartheta_e - \vartheta_i$)	K
β	Neigungswinkel zwischen der Kollektorebene und der Horizontalen. Anmerkung: Bei Kollektoren, die um eine Nord-Süd-Achse rotieren, ist β am Morgen bei Ausrichtung nach Osten positiv und am Nachmittag bei Ausrichtung nach Westen negativ.	—
γ	Oberflächen-Azimutwinkel, Abweichung der Projektion der Normale der Oberfläche auf die horizontale Ebene vom lokalen Meridian, wobei Null genau Süd, Ost negativen Werten und West positiven Werten entspricht	°
γ_s	Sonnenazimutwinkel, Winkelabweichung der Projektion der direkten Sonnenstrahlung auf die horizontale Ebene von der Südrichtung, wobei Ost negativen Werten und West positiven Werten entspricht	°
δ	Deklination, Winkelposition der Sonne am solaren Mittag in Bezug auf die Äquatorebene, wobei Nord positiven Werten entspricht	°
ϕ	geographische Breite, im Winkelmaß angegebener nördlicher oder südlicher Abstand vom Äquator, wobei Nord positiven Werten entspricht	°

η_b	Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der direkten Bestrahlungsstärke G_b	—
η_{hem}	Kollektorwirkungsgrad in Abhängigkeit von der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G_{hem}	—
$\eta_{0,b}$	Spitzenkollektorwirkungsgrad (η_b bei $\vartheta_m - \vartheta_a = 0$ K) in Abhängigkeit von der direkten Bestrahlungsstärke G_b	—
$\eta_{0,hem}$	Spitzenkollektorwirkungsgrad ($\eta_{0,hem}$ bei $\vartheta_m - \vartheta_a = 0$ K) in Abhängigkeit von der hemisphärischen Bestrahlungsstärke G_{hem}	—
$\eta_{hem,\dot{m}_i}$	Kollektorwirkungsgrad in Bezug auf den Massenstrom $\dot{m}_i$	—
ω	Stundenwinkel, Winkelabstand der Sonne in Ost- oder Westrichtung vom lokalen Meridian aufgrund der Rotation der Erde um ihre eigene Achse, 15° je Stunde; am Morgen negativ, am Nachmittag positiv	°
θ	Einfallswinkel	°
θ_L	longitudinaler Einfallswinkel, Winkel zwischen der Normale der Kollektorebene und der Projektion des einfallenden Sonnenlichts auf die Längsebene	°
θ_T	transversaler Einfallswinkel, Winkel zwischen der Normale der Kollektorebene und der Projektion des einfallenden Sonnenlichts auf die Querebene	°
θ_Z	Zenitwinkel, der Winkel zwischen der Vertikalen und der Linie zur Sonne, also der Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung auf eine horizontale Fläche. $\cos \theta_Z = \sin h$	°
ϑ_a	Umgebungslufttemperatur	°C
ϑ_{am}	gemessene Umgebungslufttemperatur	°C
ϑ_{as}	Umgebungslufttemperatur für die Standard-Stagnationstemperatur	°C
ϑ_e	Ausgangstemperatur des Kollektors	°C
ϑ_i	Eingangstemperatur des Kollektors	°C
ϑ_m	mittlere Temperatur des Wärmeträgerfluids im Kollektorkreislauf	°C
ϑ_{max_op}	maximale Betriebstemperatur	°C
ρ_i	Dichte des Wärmeträgerfluids bei der Eingangstemperatur des Kollektors	kg/m ³
$\rho_{i,sec}$	Dichte des Wärmeträgerfluids bei der Eingangstemperatur des Wärmetauschers	kg/m ³
σ	Stefan-Boltzmann-Konstante	W/(m ² K ⁴)

5 Verfahren für die Überprüfung der Leistung von thermischen Sonnenkollektorfeldern

5.1 Angabe einer Schätzung für die Wärmeleistung eines Kollektorfelds

Die geschätzte Wärmeleistung der Kollektorgruppe wird als Gleichung angegeben, die Kollektorparameter nach ISO 9806 sowie Betriebsbedingungen berücksichtigt. Die gemessene Wärmeleistung muss der nach dieser Gleichung berechneten Leistung entsprechen. Die gemessene und die berechnete Wärmeleistung werden nur unter einigen spezifischen Bedingungen miteinander verglichen, um zu große Unsicherheiten zu vermeiden, siehe 5.4.

Die Schätzung kann für Felder aus kombinierten Kollektortypen (zum Beispiel Kollektoren mit Einfach- und Doppelverglasung) angegeben werden:

- Wenn Größe sowie Eingangs- und Ausgangstemperatur für jedes Feld aus Kollektoren desselben Typs vorliegen, kann eine Schätzung für jedes dieser Felder angegeben werden.
- Eine Gesamtschätzung für Felder aus zwei oder mehr ähnlichen Kollektortypen kann angegeben werden, indem repräsentative Kollektorparameter gewählt werden.

ANMERKUNG Ähnliche Typen sind zum Beispiel Flachkollektoren mit Einzelverglasung und Flachkollektoren mit Doppelverglasung.

Bei Angabe einer Schätzung ist zu spezifizieren, ob sie anhand des Genauigkeitsniveaus I oder II zu überprüfen ist (siehe Einleitung und 6.1).

5.2 Berechnen der Wärmeleistung

Je nach Kollektortyp und Messung der Sonneneinstrahlung stehen drei verschiedene Gleichungen zur Auswahl:

- a) Gl. 1: einfache Gleichung unter Verwendung der auf die Kollektorebene auftreffenden Gesamtstrahlung, gültig für:
 - ausschließlich nicht konzentrierende Kollektoren
- b) Gl. 2: erweiterte Gleichung unter Verwendung der direkten und diffusen Sonnenstrahlung, gültig für:
 - nicht konzentrierende Kollektoren
 - konzentrierende Kollektoren mit einem niedrigen Konzentrationsfaktor $C_R < 20$
- c) Gl. 3: Gleichung unter Verwendung der direkten Sonnenstrahlung, speziell für konzentrierende Kollektoren mit einem hohen Konzentrationsfaktor, gültig für:
 - konzentrierende Kollektoren mit einem Konzentrationsfaktor $C_R \geq 20$

Die Schätzung wird unter Nennung der für die Berechnung der Wärmeleistung zu verwendenden Gleichung einschließlich spezifischer Werte für die Parameter in der Gleichung angegeben. Die drei möglichen Gleichungen werden in den folgenden drei Unterabschnitten angegeben.

Die Parameter für den Wirkungsgrad des Kollektormoduls $\eta_{0,\text{hem}}$, $\eta_{0,\text{b}}$, $K_b(\theta_L, \theta_T)$, K_d , a_1 , a_2 , a_5^1 und a_8 sollten auf zertifizierten² Testergebnissen beruhen. Bei Angabe einer Schätzung ist stets anzugeben, welche Gleichung für die Überprüfung der Leistungsfähigkeit verwendet werden muss:

- Einfache Überprüfung unter Verwendung der gesamten auf die Kollektorebene auftreffenden Strahlung bei der Überprüfung der Wärmeleistung (diese ISO-Norm, Gl. 1).
- Erweiterte Überprüfung unter Verwendung der direkten und diffusen auf die Kollektorebene auftreffenden Strahlung bei der Überprüfung der Wärmeleistung (diese ISO-Norm, Gl. 2).
- Erweiterte Überprüfung unter Verwendung nur der direkten auf die Kollektorebene auftreffenden Strahlung bei der Überprüfung der Wärmeleistung (diese ISO-Norm, Gl. 3).

ANMERKUNG Es ist stets sorgfältig zu berücksichtigen, ob die angegebene Kollektorfläche die Bruttofläche oder die Aperturfläche ist und ob die angegebenen Kollektorparameter sich auf die Bruttofläche oder die Aperturfläche beziehen.

5.2.1 Gleichung 1

Anhand von Gleichung (1) lässt sich eine einfache Schätzung der Leistung von nicht konzentrierenden Kollektoren errechnen:

$$\dot{Q}_{\text{estimate}} = A_{\text{GF}} \cdot [\eta_{0,\text{hem}} G_{\text{hem}} - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_5 (d\vartheta_m / dt)] \cdot f_{\text{safe}} \quad (1)$$

ϑ_m ist der Mittelwert aus Kollektorein- und -ausgangstemperatur.

Bei Verwendung von Gleichung (1) ist die Unsicherheit üblicherweise größer als bei Gleichung (2), weil die kollektorbezogenen Korrekturfaktoren für den Einfallswinkel nicht berücksichtigt werden.

Bei der Festlegung von f_{safe} werden die potentiellen Einflüsse des Wärmeverlusts der Rohre, der Messunsicherheiten und der Modellunsicherheiten usw. berücksichtigt.

f_{safe} setzt sich aus Faktoren für die spezifischen Einflüsse zusammen. So kann f_{safe} beispielsweise nach $f_{\text{safe}} = f_P \cdot f_U \cdot f_O$ berechnet werden, wobei gilt:

- f_P : Sicherheitsfaktor, der die Wärmeverluste durch Rohre usw. im Kollektorkreislauf berücksichtigt. Anhand einer Evaluierung der Rohrverluste abzuschätzen, üblicherweise nur wenige Prozent.
- f_U : Sicherheitsfaktor, der die Messunsicherheit berücksichtigt. Der Faktor ist zu schätzen – unter Berücksichtigung der Anforderungen nach 6.1 könnte je nach Genauigkeitsniveau ein Faktor von 0,9 bis 0,95 empfohlen werden.
- f_O : Sicherheitsfaktor für andere Unsicherheiten, zum Beispiel in Bezug auf nicht ideale Bedingen wie etwa:
 - nicht ideale Strömungsverteilung (Schätzwert, sollte nahe bei eins liegen).
 - unvorhergesehene Wärmeverluste (Schätzwert, sollte nahe bei eins liegen).
 - Unsicherheiten im Modell/Verfahren selbst (Schätzwert, sollte nahe bei eins liegen).

Anmerkung: Wenn Gleichung (1) verwendet wird, wird empfohlen, $f_O \leq 1$ zu setzen, da Gleichung (1) den Einfluss von Korrekturfaktoren für den Einfallswinkel nicht berücksichtigt.

f_{safe} : kombinierter Sicherheitsfaktor:

$$f_{\text{safe}} = f_P \cdot f_U \cdot f_O$$

¹ In älteren Solar-Keymark-Datenblättern wird a_5 als c_{eff} bezeichnet.

² Zum Beispiel Solar Keymark oder gleichwertig.

5.2.2 Gleichung 2

Eine erweiterte Gleichung für nicht konzentrierende Kollektoren oder Kollektoren mit einem niedrigen Konzentrationsfaktor ($C_R < 20$) kann verwendet werden, wenn die direkte und/oder diffuse Sonneneinstrahlung auf die Kollektorebene gemessen oder berechnet werden kann. Gleichung 2 berücksichtigt die Korrekturfaktoren für den Einfallswinkel für direkte und diffuse Sonnenstrahlung:

$$\dot{Q}_{\text{estimate}} = A_{\text{GF}} \cdot [\eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b + \eta_{0,b} K_d G_d - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_2(\vartheta_m - \vartheta_a)^2 - a_5 (d\vartheta_m / dt)] \cdot f_{\text{safe}} \quad (2)$$

ϑ_m ist der Mittelwert aus Kollektorein- und -ausgangstemperatur.

Im Hinblick auf den Sicherheitsfaktor f_{safe} siehe den letzten Teil von 5.2.1.

5.2.3 Gleichung 3

Gleichung 3 wird für konzentrierende Kollektoren mit einem hohen Konzentrationsfaktor ($C_R \geq 20$) und Nachführung in einer oder zwei Achsen verwendet, die hauptsächlich oder ausschließlich die direkte Sonnenstrahlung verwerten.

$$\dot{Q}_{\text{estimate}} = A_{\text{GF}} \cdot [\eta_{0,b} K_b(\theta_L, \theta_T) G_b - a_1(\vartheta_m - \vartheta_a) - a_5 (d\vartheta_m / dt) - a_8(\vartheta_m - \vartheta_a)^4] \cdot f_{\text{safe}} \quad (3)$$

ϑ_m ist der Mittelwert aus Kollektorein- und -ausgangstemperatur.

Im Hinblick auf f_{safe} siehe den letzten Teil von 5.2.1.

5.3 Angabe einer geschätzten Leistungsfähigkeit

Die geschätzte Leistungsfähigkeit wird durch Nennung der „Kollektorgleichung“ (Gleichung 1, 2 oder 3) sowie der für die Berechnung der Leistungsabgabe eingesetzten Parameter angegeben. Es ist anzugeben, ob die Überprüfung nach Niveau I oder Niveau II erfolgen muss. Anhang B enthält eine Vorlage für die Angabe der geschätzten Leistungsfähigkeit.

Alle Kollektorparameter und Sicherheitsfaktoren müssen auf dem Berichtsbogen (Anhang A1) und dem Bogen für die Schätzung der Leistungsfähigkeit (Anhang B1) angegeben werden.

5.4 Beschränkungen der Betriebsbedingungen

Um die Unsicherheiten zu limitieren, ist es wichtig, die Betriebsbedingungen einzugrenzen, für die Schätzung gilt. Die hier angegebenen Beschränkungen bedeuten, dass nur Messpunkte gültig sind, die erhoben wurden, während das Kollektorfeld nahe am stabilen Volleistungsbetrieb war.

Tabelle 1 — Beschränkungen der Betriebsbedingungen (Leistungsverfahren). Die gemessene und die berechnete Leistung dürfen nur miteinander verglichen werden, wenn die oben angegebenen Beschränkungen eingehalten werden.

Betriebsbedingung	Grenzwert			Anmerkungen
	Gl. 1	Gl. 2	Gl. 3	
Verschattung	keine			Siehe 5.4.
Einfallswinkel	$\leq 30^\circ$	—		Siehe 5.5.

Betriebsbedingung	Grenzwert			Anmerkungen
	Gl. 1	Gl. 2	Gl. 3	
Änderung der mittleren Kollektor-temperatur	$\leq 5 \text{ K}$			Um große Änderungen der Kollektortemperatur im Verlauf einer Stunde zu vermeiden
Umgebungs-temperatur	$\geq 5 \text{ °C}$			Um Schnee, Eis und Kondensation auf den Sonnenstrahlungssensoren zu vermeiden
Windgeschwindigkeit	$\leq 10 \text{ m/s}$			Muss gemessen werden, damit sie repräsentativ für die Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 1 bis 3 m über dem höchsten Punkt der Kollektoren ist
G_{hem}	$\geq 800 \text{ W/m}^2$	—	—	
G_b	—	$\geq 600 \text{ W/m}^2$	$\geq 600 \text{ W/m}^2$	

5.5 Verschattung

5.5.1 Verschattung auf festen in Reihen angeordneten Kollektoren

Um die Unsicherheiten zu begrenzen, ist es wichtig, Verschattungen auf den Kollektoren zu vermeiden. Schatten auf den Kollektoren können von den davor angeordneten Reihen oder von anderen Objekten geworfen werden.

Im Hinblick auf Verschattung durch vorgelagerte Reihe dürfen nur Datenpunkte einbezogen werden, für die der Sonnenhöhenwinkel (h) groß genug ist, um Verschattungen zu vermeiden – entsprechend $h > h_{\text{min}}$ in Bild 1.

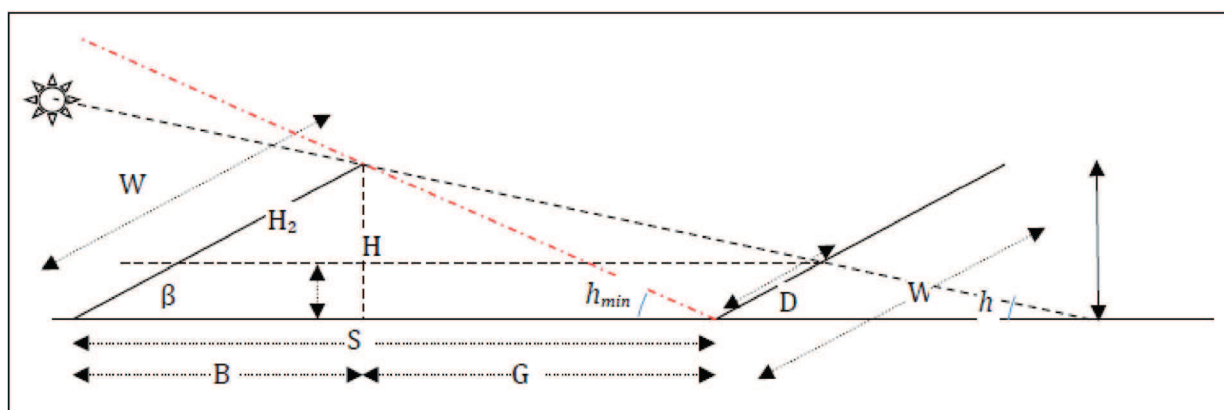


Bild 1 — Geometrie für in Reihen hintereinander angeordnete Kollektoren

Für feste (nicht nachgeführte) in Reihen hintereinander angeordnete Kollektoren kann h_{min} als fester Wert aus der Geometrie der Reihenanordnung berechnet werden, siehe Bild 1. Für nachgeführte Kollektoren variiert β – 5.5.2.

Die Sonnenhöhe h kann nach [1] abhängig vom Standort des Kollektorfelds sowie der Jahres- und Tageszeit berechnet werden.

$$\sin h = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (4)$$

Für feste Kollektoren kann h_{min} berechnet werden nach:

$$\tan h_{min} = \sin \beta / [S/W - \cos \beta] \quad (5)$$

Die Deklination δ kann nach [1] berechnet werden:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (6)$$

Dabei ist n die Nummer des Tages.

Schatten können auch von Gebäuden, Schornsteinen, Bäumen usw. geworfen werden. Datenpunkte, die erhoben wurden, während solche Schatten auf einen oder mehrere Teile des Kollektorfelds geworfen wurden, sind auszuschließen.

5.5.2 Schatten auf in Reihen angeordneten einachsigen nachgeführten Kollektoren

Einachsige nachgeführte Kollektoren zielen darauf ab, den Einfallswinkel in einer Rotationsachse kontinuierlich zu minimieren.

Bei auf ebenem Gelände aufgestellten Kollektoren kann der Winkel β der Kollektoren um ihre Rotationsachse auf die Neigung von festen Kollektoren umgerechnet werden.

Er hat stets einen positiven Wert, wenn die Nachführeinrichtung nach Süden ausgerichtet ist und die Nachführung in einer Rotation um die Ost-West-Achse besteht.

Wenn die Nachführung in einer Rotation um die Nord-Süd-Achse besteht, hat er am Morgen, wenn die Nachführeinrichtung nach Osten ausgerichtet ist, einen positiven Wert, und am Nachmittag, wenn die Nachführeinrichtung nach Westen ausgerichtet ist, einen negativen Wert.

Der Ausdruck für den Einfallswinkel in Gleichung (18) kann umgestellt werden, um den idealen Nachführwinkel zu finden:

$$\frac{d\theta}{d\beta}(\beta = \beta_{ideal}) = 0 \Rightarrow \beta_{ideal} = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(\gamma_s - \gamma)}{\tan(h)} \right) \quad (7)$$

Typischerweise ist die Rotationsachse einachsiger nachgeführter Kollektoren in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet. Ihr Oberflächen-Azimutwinkel γ ist dann $-\frac{\pi}{2}$.

Ebenso wie bei festen Kollektoren ist es auch hier wichtig, eine Selbstverschattung der Kollektoren von benachbarten Reihen zu vermeiden, um Unsicherheiten bei der Prüfung der Leistungsfähigkeit zu begrenzen. Die gegenseitige Verschattung kann durch die folgenden Bilder dargestellt werden:

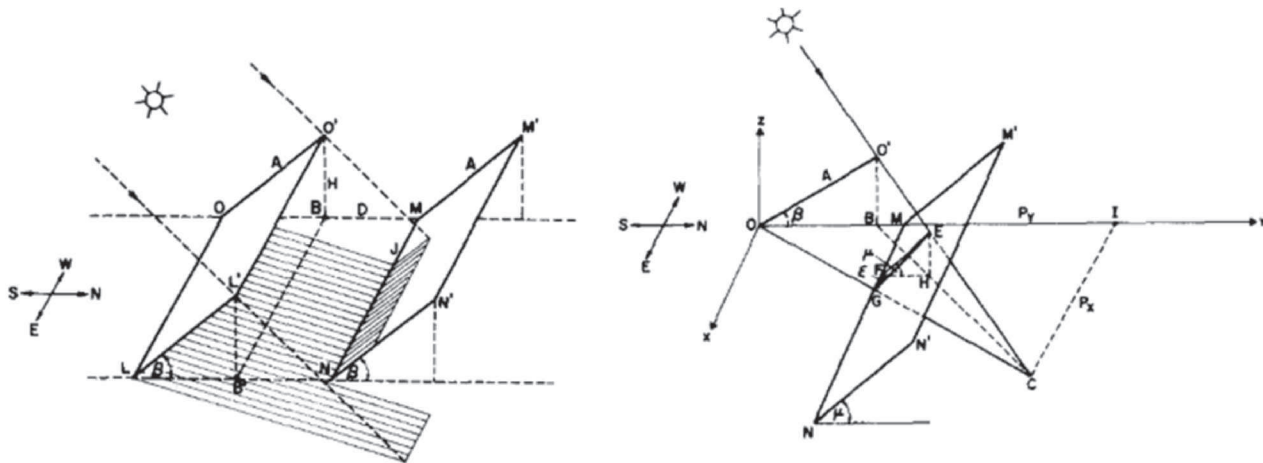


Bild 2 — Von einer Kollektorreihe auf eine andere geworfener Schatten (links), Koordinatensystem für dessen Charakterisierung (rechts)

Aus der obigen geometrischen Darstellung haben Appelbaum und Bany in [2] die folgenden Verschattungsmerkmale abgeleitet:

$$P_X = W \cdot |\sin(\beta)| \cdot \frac{|\sin(\gamma_s - \gamma)|}{\tan(h)} \quad (8)$$

$$P_Y = W \cdot \left(\cos(\beta) + |\cos(\gamma_s - \gamma)| \cdot \frac{|\sin(\gamma_s - \gamma)|}{\tan(h)} \right) \quad (9)$$

$$H_{sh} = \max \left(0; \min \left(W \cdot \left(1 - \frac{S}{P_Y} \right); W \right) \right) \quad (10)$$

$$L_{sh} = \max \left(0; \min \left(L \cdot N_c + G \cdot (N_c - 1) - S \cdot \frac{P_X}{P_Y}; L \cdot N_c + G \cdot (N_c - 1) \right) \right) \quad (11)$$

Dabei ist

- S der Mittenabstand benachbarter Reihen
- G der Zwischenraum zwischen benachbarten Kollektoren
- L Länge eines Kollektors
- W Breite eines Kollektors
- N_c Anzahl der Kollektoren in einer Reihe
- P_x x-Koordinate des Punkts C (C ist der Punkt, der den vom höchsten Punkt der der Sonne zugewandten Seite einer Kollektorreihe geworfenen Schatten erreichen würde, wenn er unverschattet wäre)
- P_y y-Koordinate des Punkts C
- H_{sh} Höhe der verschatteten Fläche
- L_{sh} Länge der verschatteten Fläche

Bei Abwesenheit von Schatten auf einer Kollektorreihe ist das Rechenergebnis für die Höhe der verschatteten Fläche H_{sh} entweder null oder negativ: $H_{sh} \leq 0$.

Diese Gleichung kann durch Einsetzen des Ausdrucks für P_y in Gleichung 10 gelöst werden. Die Lösung ergibt ein Intervall an idealen Nachführwinkeln, in denen keine Verschattung auftritt. Die Grenzen des Intervalls sind konstante ideale Nachführwinkel mit entgegengesetztem Vorzeichen, aber gleichem Betrag:

$$-\beta_{sh} \leq \beta_{ideal} \leq \beta_{sh} \quad (12)$$

β_{sh} ist ein fester idealer Nachführwinkel, der von der Geometrie der Reihenanordnung abhängt:

$$\beta_{sh} = \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{S^2}{W^2} - 1} \right) \quad (13)$$

Reale Nachführungssysteme sind aufgrund mechanischer Einschränkungen auf einen maximalen Nachführbereich beschränkt. Am Morgen findet keine Nachführung statt, solange der ideale Nachführwinkel besser als der Maximalwert ist, danach folgt die Nachführung dem idealen Verlauf und stoppt schließlich am Nachmittag, wenn der ideale Wert schlechter als der Maximalwert ist. Diese Beschränkung impliziert:

$$-\beta_{max} \leq \beta_{real} = \beta_{ideal} \leq \beta_{max} \quad (14)$$

Je nach Kollektorfeldd geometrie könnte der berechnete ideale Nachführwinkel (β_{sh}), bei dem keine Verschattung auftritt, besser als der maximale Nachführbereich (β_{max}) sein. In diesem speziellen Fall stoppt während des gesamten Jahres die Selbstverschattung am Morgen, wenn die Nachführung des Kollektors beginnt, und beginnt am Nachmittag, nachdem die Nachführung beendet ist, dazwischen wird der Kollektor auf seiner maximalen Position gehalten. In diesem Fall ist das Kollektorfeld im Hinblick auf die Verschattungsanalyse äquivalent zu einer Anlage mit festem Neigungswinkel.

Im oben genannten Fall ergeben sich für $H_{sh} \leq 0$ (keine Selbstverschattung auf dem Kollektorfeld) die folgenden Ergebnisse:

1) Wenn $\beta_{max} \geq \beta_{sh}$

$$\left| \left(\frac{\tan(h)}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \right)_{\beta=\beta_{real}} \right| \geq \left(\frac{\tan(h)}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \right)_{\beta=\beta_{sh}} \quad (15)$$

wenn

$$\left(\frac{\tan(h)}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \right)_{\beta=\beta_{sh}} = \frac{\sin(\beta_{sh})}{\frac{S}{W} - \cos(\beta_{sh})} \quad (16)$$

wobei

$$\beta_{max} \geq \beta_{sh} \quad (17)$$

2) Wenn $\beta_{max} < \beta_{sh}$

$$\left(\frac{\tan(h)}{\cos(\gamma_s - \gamma)} \right)_{\beta=real} = \frac{\sin(\beta_{max})}{\frac{S}{W} - \cos(\beta_{max})}$$

5.6 Kollektor-Einfallswinkel

Der Kollektor-Einfallswinkel kann nach [Literaturhinweis 1] berechnet werden:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cdot \cos \beta + \sin \theta_z \cdot \sin \beta \cdot \cos (\gamma_s - \gamma) \quad (18)$$

wobei der Zenitwinkel θ_z wie folgt berechnet werden kann:

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta \quad (19)$$

Oder, bei Verwendung von $\theta_z = \frac{\pi}{2} - h$: $\cos \theta = \sin h \cdot \cos \beta + \cos h \cdot \sin \beta \cdot \cos (\gamma_s - \gamma)$

- β Kollektorneigung
- δ Deklination; $\delta = 23,45 \sin [360/365 \cdot (284 + n)]$; wobei n die Nummer des Tages im Jahr ist
- γ_s Sonnenazimutwinkel
- γ Oberflächen-Azimutwinkel des Kollektors
- ϕ geographische Breite
- ω Stundenwinkel

ANMERKUNG Eine gute Quelle für eine detaillierte Beschreibung der Berechnung des Kollektor-Einfallswinkels ist [Solar Engineering of Thermal Processes, J.A.Duffie and W.A.Beckman, 4th Edition].

5.7 Beispiel für die Aufstellung einer Gleichung für die Berechnung eines Schätzwerts für die Leistungsfähigkeit

Verfügbare Strahlungsmesswerte:

- gesamte nur auf die Kollektorebene auftreffende Strahlung (G_{hem})

Kollektorfeldfläche:

- Kollektortyp: Flachkollektor
- Bruttomodulfläche: 13,2 m²
- Anzahl der Kollektormodule: 1 000
- $A_{\text{GF}} = 13\,200 \text{ m}^2$

Entsprechende Kollektorwirkungsgradparameter:

- $\eta_{0,\text{hem}} = 0,80$
- $a_1 = 3,0 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$
- $a_2 = 0,01 \text{ W}/(\text{K}^2 \cdot \text{m}^2)$
- $a_5 = 10,0 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \text{K})$

Sonstige Daten:

- Geschätzter Rohr-Wärmeverlust: 3 % $\rightarrow f_p = 0,97$
- Geschätzte Messunsicherheit: 5 % $\rightarrow f_U = 0,95$
- Sicherheitsfaktor für sonstige Dinge: $f_o = 0,95$ (es wird die einfache Gleichung 1 verwendet, da die diffuse Sonnenstrahlung nicht gemessen wird)
- $f_{\text{safe}} = f_p \cdot f_U \cdot f_o = 0,88$

Die diffuse Sonnenstrahlung wird nicht gemessen, also wird Gleichung (1) verwendet:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{estimate}} &= A_{\text{GF}} \cdot [\eta_{0,\text{hem}} G_{\text{hem}} - a_1 (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}}) - a_2 (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}})^2 - a_5 (d\vartheta_{\text{m}} / dt)] \cdot f_{\text{p}} \cdot f_{\text{U}} \cdot f_0 \\ &= 13\,200 \cdot [0,80 \cdot G - 3,0 \cdot (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}}) - 0,01 \cdot (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}})^2 - 10,0 \cdot a_5 (d\vartheta_{\text{m}} / dt)] \cdot 0,875 \quad [\text{W}] \\ &= 11\,550 \cdot [0,80 \cdot G - 3,0 \cdot (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}}) - 0,01 \cdot (\vartheta_{\text{m}} - \vartheta_{\text{a}})^2 - 10,0 \cdot a_5 (d\vartheta_{\text{m}} / dt)] \quad [\text{W}]\end{aligned}$$

ϑ_{m} ist der Mittelwert aus Kollektoreingangstemperatur (ϑ_{i}) und Kollektorausgangstemperatur (ϑ_{e}), gemessen nahe am Wärmetauscher, falls ein solcher im Kreislauf enthalten ist, siehe 6.2.3.1.

Es ist anzugeben, wo die Leistung gemessen werden muss: im Primär- oder im Sekundärkreislauf („nach“ dem Wärmetauscher) des Kollektors.

Bild 3 zeigt ein Beispiel für einen Vergleich.

ANMERKUNG Der Primärkreislauf enthält häufig einen bestimmten Anteil an Frostschutzmittel (Glykol). Dies kann in gewissem Umfang zu Unsicherheiten bei den physikalischen Parametern (Dichte und spezifische Wärmekapazität des Fluids) führen und kann daher ein guter Grund dafür sein, die Leistungsmessung im Sekundärkreislauf (nach dem Wärmetauscher) vorzunehmen, in dem üblicherweise reines Wasser mit bekannten physikalischen Parametern zirkuliert. Der Wärmeverlust des Wärmetauschers ist für die gültigen Datenpunkte üblicherweise unbedeutend gegenüber der gemessenen Leistung.

5.8 Bestimmung potentieller gültiger Zeiträume

Für die Überprüfung der geschätzten Leistungsfähigkeit dürfen nur Zeiträume ohne Verschattung (und bei Verwendung von Gl. 1 mit einem Einfallswinkel von weniger als 30°) verwendet werden.

5.9 Überprüfung der geschätzten Leistungsfähigkeit

5.9.1 Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Kollektorfelds

Die durchschnittliche gemessene Leistungsabgabe ($\dot{Q}_{\text{meas}}$) für alle gültigen Datenpunkte wird unter Verwendung der gemessenen Wetterdaten und der gemessenen Temperaturen im Kollektorkreislauf mit der durchschnittlichen berechneten Leistungsabgabe ($\dot{Q}_{\text{estimate}}$) nach Gleichung 1, 2 oder 3 verglichen.

Wenn die durchschnittliche gemessene Leistung (für mindestens 20 aufeinanderfolgende gültige Datenpunkte) mindestens so groß ist wie die durchschnittliche berechnete geschätzte Leistung, dann gilt die geschätzte Leistung als verifiziert:

$$\text{Mittelwert } [\dot{Q}_{\text{meas}}] \geq \text{Mittelwert } [\dot{Q}_{\text{estimate}}] \Rightarrow \text{Schätzung verifiziert}$$

Um auf Abweichungen zu überprüfen, sollte ein Diagramm der entsprechenden Datenpunkte für die gemessene und die berechnete Wärmeleistung erstellt werden.

5.9.1.1 Beispiel: Überprüfung der Leistungsfähigkeit des Kollektorfelds

Bild 3 enthält 27 fiktive gültige Datenpunkte für die entsprechende gemessene und die berechnete Leistung.

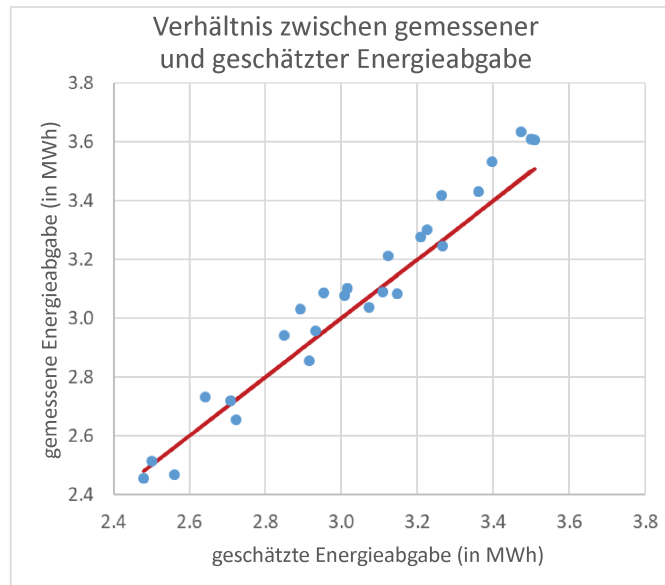


Bild 3 — Beispieldiagramm: Stündlich gemessene Energie aufgetragen über die entsprechende geschätzten stündlichen Werte (fiktive Daten)

Bild 4 zeigt einen Vergleich zwischen der durchschnittlichen stündlich gemessenen und der durchschnittlichen geschätzten Leistungsabgabe.

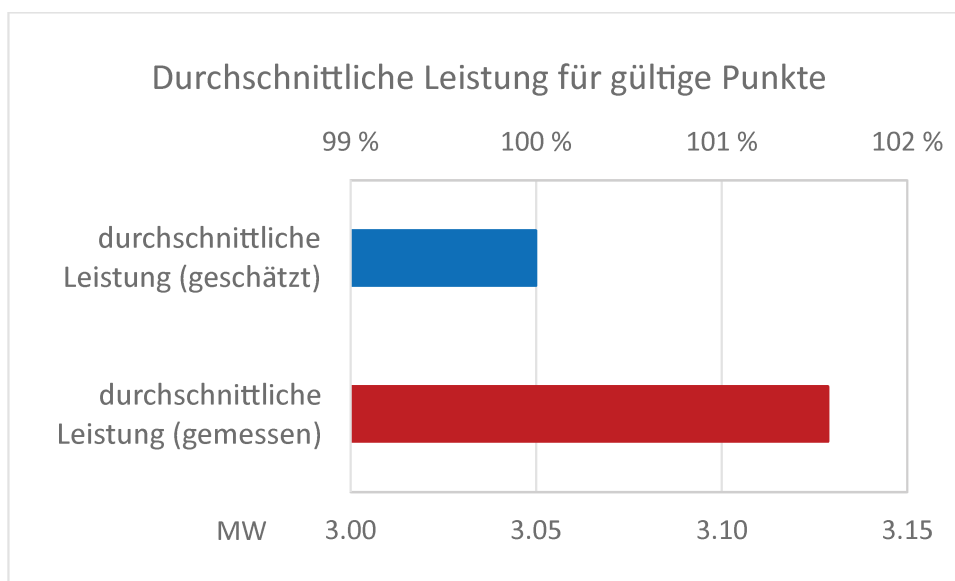


Bild 4 — Diagramm der durchschnittlichen gemessenen Wärmeleistung und der entsprechenden geschätzten durchschnittlichen Wärmeleistung

Es ist zu erkennen, dass:

$$\text{Mittelwert } [\dot{Q}_{\text{meas}}] \geq \text{Mittelwert } [\dot{Q}_{\text{estimate}}]$$

Die Schätzung ist daher verifiziert.

6 Notwendige Messungen

Für die Überprüfung der Schätzung der Leistungsfähigkeit eines Sonnenkollektorfelds müssen (mindestens) die folgenden Datenpunkte **unter Verwendung von Gl. 1** erhoben werden (siehe Bild 5 unten):

ϑ_e	Ausgangstemperatur des Kollektorfelds (gemessen im Kollektorkreislauf am Eingang des Wärmetauschers, falls ein solcher im Kreislauf enthalten ist)	[°C]
ϑ_i	Eingangstemperatur des Kollektorfelds (gemessen im Kollektorkreislauf am Ausgang des Wärmetauschers, falls ein solcher im Kreislauf enthalten ist)	[°C]
$\dot{Q}$	vom Kollektorfeld/Wärmetauscher gelieferte Wärmeleistung	[W]
G_{hem}	hemisphärische solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene	[W/m ²]
ϑ_a	Umgebungslufttemperatur (verschattet und belüftet)	[°C]

Bei Verwendung von Gl. 2 müssen auch die auf die Kollektorebene auftreffende direkte und diffuse Strahlung (G_b und G_d) bekannt sein; sodass mindestens einer dieser Werte gemessen werden muss – der andere könnte dann durch Subtraktion des Messwerts von G_{hem} berechnet werden.

Bei Verwendung von Gl. 3 muss die auf die (nachgeführte) Kollektorebene auftreffende direkte Strahlung gemessen werden.

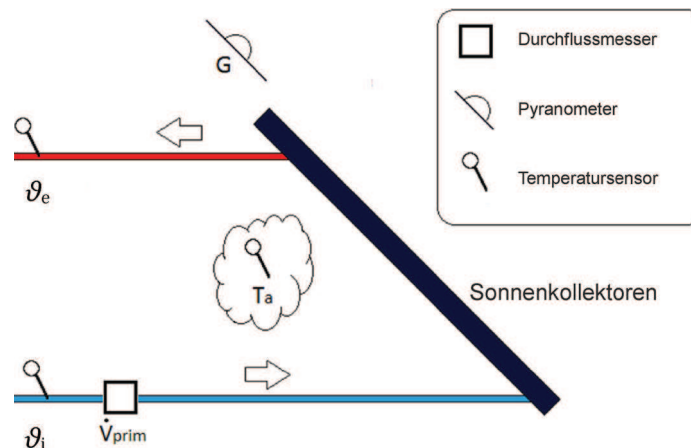


Bild 5 —Schematische Darstellung der Messpunkte. System ohne Wärmetauscher

(Quelle: PlanEnergi)

Alle Messinstrumente/Sensoren sollten wie in 6.1 angegeben sowie gemäß den Herstellerempfehlungen installiert werden.