

**DIN EN 62862-3-3
(VDE 0133-3-3)**
DIN

Diese Norm ist zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 27.160

Einsprüche bis 2018-03-12

Entwurf
**Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung –
Teil 3-3: Systeme und Komponenten –
Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren für Solarempfänger
(IEC 117/65/CD:2017)**

Solar thermal electric plants –
Part 3-3: Systems and components –
General requirements and test methods for solar receivers
(IEC 117/65/CD:2017)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-01-12 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 dke@vde.com 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 die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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 73 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	6
4 Leistungsprüfung des Empfängers.....	6
4.1 Allgemeines	6
4.2 Identifizierung und Geometrie	7
4.3 Anweisungen für die Herstellung.....	7
4.4 Prüfung des Wärmeverlustes	7
4.4.1 Ziel	7
4.4.2 Aufbau und Lage des Empfängerrohres	7
4.4.3 Prüfmethodik	8
4.4.4 Durchführung.....	8
4.4.5 Bewertung	11
4.4.6 Berechnungen	11
4.4.7 Kurvenmodelle für den Wärmeverlust und den Emissionsgrad	13
4.4.8 Prüfbericht	15
4.5 Prüfung zur optischen Beschreibung	15
4.5.1 Verfahren zur optischen Beschreibung der solaren Glasabdeckung und der Solarabsorber unter Anwendung von Spektrophotometern.....	16
4.5.2 Zerstörungsfreie optische Beschreibung (freigestellt).....	18
4.5.3 Prüfung des optischen Wirkungsgrades (freigestellt).....	20
4.6 Dauerhaftigkeitsprüfungen für den Empfänger	23
4.6.1 Allgemeines	23
4.6.2 Dauerhaftigkeitsprüfungen der Antireflex-Beschichtung der Glasumhüllung	23
4.6.3 Prüfung der Schlagfestigkeit (freigestellt)	26
4.6.4 Kondensationsprüfung	28
4.6.5 Prüfung mit schnellem äußeren/inneren Temperaturwechsel	29
4.6.6 Prüfung der Wärmebeständigkeit.....	29
Anhang A (informativ) Formular für einen Prüfbericht.....	32
A.1 Beschreibung des Empfängerrohres (vom Hersteller geliefert)	32
A.1.1 Allgemeine Festlegungen	32
A.1.2 Größe und Bauparameter des geprüften Empfängerrohres	32
A.1.3 Optische und thermische Parameter (Nenntemperatur)	32
A.1.4 Betriebsparameter	32

A.2	Prüfergebnisse – Prüfung der Abriebfestigkeit unter stationären Bedingungen	33
A.2.1	Prüfbedingungen	33
A.2.2	Ergebnisse	33
A.3	Prüfergebnisse – Schlagfestigkeitsprüfung: Verfahren 1	33
A.3.1	Prüfbedingungen	33
A.3.2	Durchführung	33
A.3.3	Prüfergebnisse	33
A.4	Prüfergebnisse – Schlagfestigkeitsprüfung: Verfahren 2	33
A.4.1	Prüfbedingungen	33
A.4.2	Durchführung	33
A.4.3	Prüfergebnisse	34
A.5	Zusammenfassung der Bedingungen und Ergebnisse der Dauerhaftigkeitsprüfungen	34
Anhang B (informativ) Formular für einen Prüfbericht für die Prüfung des Wärmeverlustes		35
B.1	Beschreibung des Empfängerrohres	35
B.1.1	Allgemeine Festlegungen	35
B.1.2	Größe und Bauparameter	35
B.1.3	Optische und thermische Parameter	35
B.1.4	Betriebsparameter	35
B.1.5	Schnittstellen	36
B.2	Prüfergebnisse	36
B.2.1	Einzelheiten der Prüfanordnung	36
B.2.2	Prüfung des Wärmeverlustes	36
B.2.3	Lineare Anpassung der Ergebnisse des Wärmeverlusts an die Absorbertemperatur	37
B.2.4	Lineare Anpassung der Daten des Emissionsgrades an die Absorbertemperatur	37
Literaturhinweise		38
Bilder		
Bild 1 – Exponentielle Anpassung bei Temperaturmessungen		10
Bild 2 – Beispiel für eine Wärmeverlustkurve		14
Bild 3 – Typischer Graph, der die Messergebnisse für den Wärmeverlust darstellt		15
Bild 4 – Messprinzip		19
Bild 5 – Schematische Darstellung der Einrichtung für die Abriebprüfung		24
Bild 6 – Zeichnung einer Drehbewegung des Empfängers in einer Abrieb-Prüfeinrichtung für ein Rohr oder Prüfstück		25
Tabellen		
Tabelle 1 – Anforderungen an die Überwachung		9
Tabelle 2 – Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messdauer		22
Tabelle 3 – Masse und Geschwindigkeit der Eiskugeln für die Prüfung		27
Tabelle 4 – Überwachte Parameter während der Wartezeit		31

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 117/65/CD:2017 „Solar thermal electric plants – Part 3-3: Systems and components – General requirements and test methods for solar receivers“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 117 „Solar thermal electric plants“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 374 „Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC [und/oder ISO] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Die deutsche Übersetzung wurde in [Abschnitt 3](#) an die aktuellen Standardtexte angepasst.

Solarthermische Anlagen zur Stromerzeugung – Teil 3-3: Systeme und Komponenten – Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren für Solarempfänger

Einleitung

Zum Einfügen einer Einleitung wird auf die ISO/IEC-Direktiven Teil 2:2011, 6.1.4, verwiesen.

Der Empfänger ist eine der wichtigsten und auch eine der empfindlichsten Komponenten eines Parabolrinnen-Kraftwerks. Große Parabolspiegel, die in langen Rinnen aneinandergereiht sind, konzentrieren die Sonnenstrahlung bis zu 80fach entlang des Brennpunktes der Spiegel auf die speziell beschichteten evakuierten Empfänger. Die erzeugte Wärme wird mittels eines Wärmeträgerfluids zu einer Energieerzeugungsanlage transportiert und in Elektrizität umgewandelt.

Die Qualität und die langfristige Stabilität der Leistung des Empfängers haben einen entscheidenden Einfluss darauf, wie effektiv Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt werden kann. Damit das Kraftwerk den höchsten Wirkungsgrad erzielt, muss der Empfänger so viel Sonnenstrahlung wie möglich absorbieren und sie mit auf ein Mindestmaß verringerten Wärmeverlusten in Wärme umwandeln.

Der Solarempfänger besteht hauptsächlich aus:

- Einem Absorberrohr aus Stahl. Das Wärmeträgerfluid fließt durch das Absorberrohr aus nichtrostendem Stahl. Eine hochwertige Beschichtung des Absorbers wandelt die Sonnenstrahlung in Wärme um und verringert gleichzeitig den Infrarotwärmeverlust auf ein Mindestmaß.
- Einem Glashüllrohr. Die Umhüllung besteht aus Borosilicatglas und ist mit einer Antireflexschicht beschichtet, um den solaren Transmissionsfaktor zu erhöhen.
- Einem evakuierten Raum (Ringraum) zwischen Absorberrohr und Glashüllrohr. Das Vakuum zwischen dem Absorber aus Stahl und der Glasumhüllung ist entscheidend, um die Gaswärmeleitung zu unterdrücken.
- Faltenbalg Die Faltenbälge sind notwendig, um die unterschiedlichen Wärmeausdehnungsraten des Stahlabsorbers und der Glasumhüllung auszugleichen. Im Gegensatz zur Glasumhüllung dehnt sich der heiße Absorber bei Betrieb beträchtlich aus.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt die technischen Anforderungen, Prüfungen, die Dauerhaftigkeit und die Sicherheit von technischen Leistungsparametern von solarthermischen Empfängern fest, die konzentrierte Sonnenstrahlung absorbieren und die Wärme an ein Fluid übertragen, das in solarthermischen Stromerzeugungsanlagen mit Sonnenkollektoren mit Linienfokussierung verwendet wird. Die behandelten Empfänger bestehen aus einem Absorberrohr und einem isolierenden Glashüllrohr.

ANMERKUNG Die meisten der in dieser Norm enthaltenen Prüfverfahren gelten für Solarempfänger, die sowohl in solarthermischen elektrischen Anlagen mit Parabolrinnenkollektoren als auch mit Fresnel-Kollektoren verwendet werden.

Diese Norm enthält die Festlegung der technischen Eigenschaften und die Beschreibung der Geometrie und der Leistungsparameter sowie die Prüfverfahren für die optische Beschreibung, Wärmeverluste und die Dauerhaftigkeit.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

ISO 9211-4:2012, *Optics and photonics – Optical coatings – Part 4: Specific test methods*

prIEC 62862-1-1^{N1)}, *Solar thermal electric plants – Terminology*.

ISO 9488:1999, *Solar energy – Vocabulary*

ISO 6270-2:2005, *Paints and varnishes – Determination of resistance to humidity – Part 2: Procedure for exposing test specimens in condensation-water atmospheres*

MIL-E-12397

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe, Symbole und Einheiten nach ISO 9488 und prIEC 62862-1-1^{N1)}.

4 Leistungsprüfung des Empfängers

4.1 Allgemeines

Da es sich bei den Empfängern um eine der wichtigsten Komponenten im Solarfeld handelt, wirken sich diese auch sehr stark auf die Leistung des gesamten Solarfeldes aus. Um die Leistung des Empfängers und des Solarfeldes über ihre Lebensdauer am besten simulieren zu können, ist es entscheidend, Prüfungen durchzuführen, die den Empfänger und seine Leistung charakterisieren.

^{N1)} Nationale Fußnote: im Entwurfsstadium.

4.2 Identifizierung und Geometrie

Der Empfänger trägt üblicherweise eine Markenbezeichnung für das Produkt und ist außerdem durch den Außendurchmesser des Rohres aus nichtrostendem Stahl festgelegt. Ein weiteres/weiteres wichtiges/wichtiger Identifizierungsmerkmal/Parameter ist die Länge des Empfängers, die möglicherweise in Abhängigkeit von der Rinne, für die der Empfänger ausgelegt ist, schwankt.

Zusätzliche Parameter, wie der Absorptionsgrad, der Emissionsgrad, der Transmissionsfaktor, der Vakuumwert, der nichtrostende Stahlwerkstoff, die Bemessungstemperatur und der Bemessungsdruck sowie das Wärmeträgerfluid, für das der Empfänger ausgelegt ist, können vom Hersteller bezogen werden.

Diese Parameter/Eigenschaften sollten als Teil des Berichts für den geprüften Empfänger aufgezeichnet werden.

4.3 Anweisungen für die Herstellung

Neben den in 4.2 festgelegten Parametern darf der Hersteller zusätzliche Anweisungen für die Verwendung/Vorbereitung des Empfängers/der Teile des Empfängers für die Prüfung geben, z. B. Reinigung der Proben vor optischen Messungen. Diese Anweisungen müssen, sofern sie sich auf die Prüfergebnisse auswirken, als Teil des Prüfverfahrens beachtet werden.

4.4 Prüfung des Wärmeverlustes

4.4.1 Ziel

Der Zweck dieser Prüfung ist die thermische Charakterisierung eines Solarempfängerrohres einschließlich Bestimmung der Wärmeverlustkurve und Berechnung des thermischen Emissionsgrades (freigestellt) auf der Grundlage von Prüfdaten.

Die Anwendung dieser Prüfung ist mit den Erfordernissen von solarthermischen Kraftwerksprojekten verbunden, bei denen Parabolrinnen-Technologie und analog dazu auch die Fresnel-Technologie eingesetzt werden. Sie ist grundsätzlich für Solarempfängerrohre anwendbar, die einen Teil eines Parabolrinnenkollektors oder eines Fresnel-Kollektors bilden.

4.4.2 Aufbau und Lage des Empfängerrohres

4.4.2.1 Allgemeines

Die Art und Weise, wie das Empfängerrohr auf dem Prüfstand installiert wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der Wärmeverlustprüfung, weshalb empfohlen wird, den Prüfstand nach der Beschreibung in den folgenden Abschnitten einzurichten. Die Prüfungen sind in Innenräumen durchzuführen, um jedweden möglichen Einfluss der Umgebung auf die Prüflinge auf ein Mindestmaß zu verringern.

Der allgemeine Grundsatz der Messung beruht auf der Umwandlung von Elektrizität in Wärme unter stationären Bedingungen. Unter diesen Bedingungen entspricht der Wärmeverlust der Leistung, die notwendig ist, um den Empfänger bei einer konstanten Temperatur zu halten. Die Ermittlung der Leistung, die bei unterschiedlichen Temperaturen erforderlich ist, führt zu der Wärmeverlustkennlinie des Empfänger-Prüflings.

Es gibt verschiedene Verfahren zur Erwärmung des Empfängers. Beispielsweise durch den Joule-Effekt, mittels elektrischer Heizelemente oder durch einen an einem Kupferrohr angebrachten Isolationswiderstand, das in das Absorberrohr eingeführt wird (ein Beispiel wird in den Literaturhinweisen in Dokument [\[6\]](#) gezeigt).

4.4.2.2 Prüfanordnung für das Empfängerrohr

Das zu prüfende Empfängerrohr ist horizontal in die Stützrahmenhalterungen des Prüfstandes einzubauen.

4.4.3 Prüfmethodik

4.4.3.1 Temperaturmessungen

Die Temperatur des Empfängerrohres ist an mindestens sechs Stellen entlang des Rohres zu messen, die von der Mitte aus symmetrisch angeordnet sind, wobei die Messfühler einen Abstand von höchstens 1 m voneinander haben dürfen. Zusätzliche Messfühler sind in der Nähe der Rohrenden anzubringen, um die Gradienten zu den Enden hin zu kontrollieren. Für die Messung der Temperatur der Glasoberfläche werden drei Messfühler empfohlen. Mindestens zwei symmetrische Thermoelemente sollten nach unten weisen.

Die Temperatur der Umgebungsluft muss $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ betragen. Der Messfühler für die Raumtemperatur muss in einem Abstand von höchstens zwei (2) Metern zum Prüfling an einer Stelle angebracht werden, an der er nicht durch örtliche Temperaturspitzen oder Luftströmungen beeinträchtigt wird. Die Lage der Messfühler ist im Bericht aufzuzeichnen.

Die Temperaturmessfühler sind entsprechend dem zu prüfenden Temperaturbereich zu kalibrieren. Die erweiterten Messunsicherheiten der mittleren Temperaturen jedes Messfühlers müssen kleiner sein als:

- $\pm 2\text{ °C}$ für das Absorberrohr;
- $\pm 2\text{ °C}$ für das Glashüllrohr;
- $\pm 1\text{ °C}$ für die Raum- oder Umgebungsluft.

ANMERKUNG 1 Für Unsicherheitsberechnungen wird auf ISO 9806:2013, Anhang D, verwiesen.

ANMERKUNG 2 Der Kontakt muss angemessen sein, um eine ordnungsgemäße Messung sicherzustellen. Korrekturverfahren zum Ausgleich des Einflusses von Temperaturgradienten in der Nähe der Messfühler könnten anwendbar sein.

Anmerkung Auf den Absorber oder das Glas aufgepresste Thermoelemente ergeben oftmals unangemessene Messwerte, da die Thermoelemente von der Lufttemperatur und der Strahlungstemperatur im Ringraum sowie von der Wärmeleitung entlang der Thermoelement-Drähte beeinflusst werden. Referenzmessungen können angewendet werden, um die Gültigkeit des Messaufbaus sicherzustellen oder die Messwerte zu korrigieren.

4.4.3.2 Messungen der Leistung

Die Messausrüstung für die elektrische Heizleistung muss eine Fehlergrenze von $XW -1\%$ des tatsächlichen Ablesewertes haben.

4.4.3.3 Die in der Prüfung verwendeten Leistungssensoren müssen kalibriert werden. Häufigkeit der Datenerfassung

Die Häufigkeit der Datenaufzeichnungen muss mindestens 20 Sekunden betragen und die Mindestanzahl der Aufzeichnungen muss sicherstellen, dass die Prüfung statistisch repräsentativ ist.

4.4.4 Durchführung

4.4.4.1 Messungen

Es sind mindestens folgende Daten zu messen. Vor der Prüfung:

- Die Länge des Metall-Absorberrohres des Empfängers gemessen bei Raumtemperatur unter Verwendung eines Maßbandes mit einer Fehlergrenze von mindestens 1 mm.
- (Innen- und Außen)-Durchmesser des Absorberrohres, gemessen bei Raumtemperatur unter Verwendung eines Messschiebers mit einer Fehlergrenze von mindestens 1/10 mm.
- Lage der Temperaturmessfühler unter Verwendung eines Maßbandes mit einer Fehlergrenze von mindestens 1 mm in Bezug auf eine bestimmte Endposition auf dem Absorberrohr.

Während der Prüfung:

- Temperaturen auf dem Absorberrohr;
- Temperatur des Glashüllrohres (freigestellt);
- Temperatur der Umgebungsluft;
- Elektrische Leistung, die von den Widerstandsheizelementen oder anderen verwendeten Heizelementen geliefert wird.

4.4.4.2 Vorherige Überprüfung des Empfängerrohres

Das Absorberrohr ist einer Sichtprüfung zu unterziehen und etwaige Beschädigungen sind aufzuzeichnen. Alle festgestellten Beschädigungen sind im Prüfbericht aufzuzeichnen.

4.4.4.3 Prüfbedingungen

Die Temperatur der Umgebungsluft muss $20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ betragen. Der Messfühler für die Raumtemperatur muss in einem Abstand von höchstens zwei Metern zum Prüfling an einer Stelle angebracht werden, an der er nicht durch örtliche Temperaturspitzen oder Luftströmungen beeinträchtigt wird.

4.4.4.4 Durchführung der Prüfung und Prüfdauer

Vor Beginn der Prüfung bei einer bestimmten Betriebstemperatur sollte besonders auf die Lage und den guten Kontakt der Thermoelemente auf dem Absorberrohr geachtet werden:

- Der während eines Messzeitraumes gemessene größte Unterschied zwischen den verschiedenen Absorbertemperaturen entlang des Rohres darf 4 % der gemessenen Temperaturen (°C) nicht überschreiten.

Während des Beharrungszustands muss für die Temperaturhomogenität S_T , die als Differenz aus der höchsten und der niedrigsten gemessenen Temperatur, dividiert durch die mittlere Temperatur festgelegt ist,

$$S_T = \frac{T_{\text{abs,max}} - T_{\text{abs,min}}}{T_{\text{abs,mean},\text{°C}}} \quad (1)$$

für alle Messungen Folgendes gelten:

$$S_T < 0,04 * T_{\text{abs,mean},\text{°C}}$$

- Dieses Kriterium der Gleichmäßigkeit muss für die gesamte Dauer des Beharrungszustands eingehalten werden.

Sobald die gemessenen Variablen ihre ausgewiesenen Werte erreicht haben, ist für mindestens 30 Minuten zu warten, wobei die Werte während dieser Zeit entsprechend den Stabilitätsanforderungen in der folgenden Tabelle stabil bleiben müssen. Die Adiabasie des Prozesses an den Enden des Rohres ist ebenfalls vor der Aufzeichnung der Daten zu überprüfen. Nach dieser Wartezeit sind für mindestens 15 Minuten Daten aufzuzeichnen. Dieser Zeitraum ist als ein Messzeitraum zu betrachten.

Während der Wartezeit und des Messzeitraumes ist die Stabilität der gemessenen Temperaturen nach den folgenden Anforderungen zu überwachen:

Tabelle 1 – Anforderungen an die Überwachung

Zu überwachender Parameter	Stabilitätsanforderung
Temperaturen des Absorberrohres	$\pm 0,5\text{ °C}$
Temperaturen des Glashüllrohres	--
Raumtemperaturen	$20\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$

– Messstrategie und Beharrungszustand

Es können zwei Messstrategien angewendet werden:

1. Geregelte Heizleistung

PI- oder PID-Regler können zur Regelung der elektrischen Eingangsleistung verwendet werden, um die Zieltemperatur und einen Beharrungszustand zu erreichen. Der Beharrungszustand ist erreicht, wenn die Sollwerte des Heizelementes sich nicht ändern und die Temperatur in der Mitte des Glases und die Temperatur des Absorbers innerhalb eines Zeitraumes von mindestens 15 Minuten um weniger als 0,5 °C schwanken.

2. Konstante Heizleistung

Ein quasi-stationärer Zustand kann auch unter Anwendung einer konstanten Heizleistung für eine ausreichende Zeitdauer erreicht werden. In einer begrenzten Zeit für die Messung können die Aufheizkurven des Absorbers $T_{\text{abs},i}(t)$ jeder Messstelle i mit einer Exponentialfunktion der folgenden Form modelliert werden

$$T_{\text{abs},i}(t) = T_{\text{abs},i,\infty} \times \left(1 \pm e^{\frac{1}{\tau_i}(t+c_i)} \right)$$

$T_{\text{abs},i,\infty}$, τ_i und c_i sind Anpassungsparameter und '+' wird zur Erhöhung und '-' zur Verringerung der Temperaturen verwendet. $T_{\text{abs},i,\infty}$ liefert die theoretische Temperatur im Beharrungszustand, die von der Modellanpassung abgeleitet wird. Das Modell gilt nur für einen angemessen kleinen Unterabschnitt der Gesamt-Aufheizkurve $T_{\text{abs},i}(t)$, in dem die Linearisierung der Wärmeverlustkurve und der Ergebnisse der Wärmekapazität zu angemessen kleinen Fehlern führen. Die Modellanpassung wird dann für eine Korrektur der Temperatur im quasi-stationären Zustand verwendet.

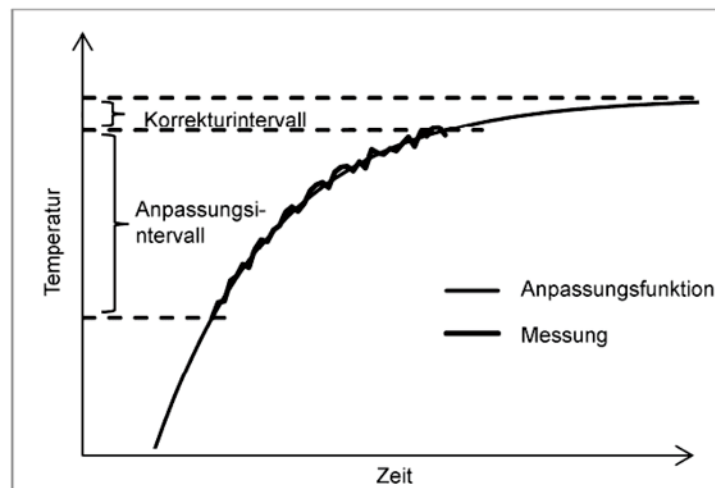


Bild 1 – Exponentielle Anpassung bei Temperaturmessungen

Wenn die Anpassungsfunktion zur Korrektur der gemessenen Daten verwendet wird, müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

- 4 K < Anpassungsintervall < 20 K
- Korrekturintervall < 2 K
- Der Effektivwert der Anpassung muss < 0,1 K sein.

In der Praxis kann die Strategie der geregelten Heizleistung mit der Strategie der konstanten Heizleistung kombiniert werden.

4.4.5 Bewertung

Nach Beendigung der Prüfung ist das Empfängerrohr zu überprüfen und etwaige festgestellte Beschädigungen sind aufzuzeichnen. Die festgestellten Beschädigungen sind im Prüfbericht aufzuzeichnen.

4.4.6 Berechnungen

Berechnungen sind unter Anwendung der Mittel des Messzeitraums durchzuführen.

Die Messunsicherheit ist nach ISO 9806:2013, Anhang D, zu berechnen.

4.4.6.1 Wärmeverlust (HL)

Der Koeffizient für den Wärmeverlust in einem Empfängerrohr ist festgelegt als:

$$HL = \frac{\sum Pow_i + HL_{ends}}{L_{HCE(25^\circ C)}} [W/m] \quad (2)$$

Dabei ist

Pow_i die von den Heizelementen i verbrauchte elektrische Leistung [W];

ANMERKUNG Falls Heizelemente verwendet werden, muss das die Summe aller Elemente innerhalb des Absorberrohres sein.

HL_{ends} Wärmeverlust an den Rohrenden [W/m].

ANMERKUNG 1 Wenn das System adiabatisch ist, kann HL_{ends} als Null betrachtet werden.

ANMERKUNG 2 Wenn die Enden nur isoliert sind, sollte das berechnet werden, was z. B. auf folgende Art und Weise erfolgen kann:

$$HL_{ends} = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) + \frac{kA}{\Delta x} (T_N - T_{N-1}) \quad (3)$$

Dabei ist/sind

$T_{1/2/N/N-1}$ die Temperaturen, die von Messfühlern an den Enden gemessen wurden [°C], wobei von N Messfühlern ausgegangen wird. Im Falle eines Prüfstandes auf der Grundlage von elektrischen Heizelementen werden die Messfühler an den Enden des Kupferrohres genommen;

k die Wärmeleitfähigkeit von Kupfer [W/m °C];

A die Fläche des Kupferrohres [m²];

Δx der Abstand zwischen den Messfühlern an den Enden [m];

$L_{HCE(25^\circ C)}$ die Länge des Empfängerrohres bei Raumtemperatur (25 °C ± 10 °C) [m]. Die Länge der Apertur des Empfängerrohres ist zu messen.

Die mittlere Temperatur des Absorbers wird durch Gewichtung der Strecke berechnet, die jeder Messfühler entlang des Absorberrohres abdeckt:

$$T_{abs} = \frac{\sum_i T_{abs_i} P_i}{\sum_i P_i} [^\circ C] \quad (4)$$

Dabei ist

T_{abs} die vom Messfühler i gemessene Temperatur des Absorberrohres [°C];
 p_i der angewendete Gewichtungsfaktor [-].

Die mittlere Temperatur des Glashüllrohres beträgt:

$$T_{\text{gl,o}} = \frac{\sum_i T_{\text{gl,o,i}} p_i}{\sum_i p_i} \quad (5)$$

Dabei ist

$T_{\text{gl,oi}}$ die vom Messfühler i gemessene Außentemperatur des Glashüllrohres [°C];
 p_i der angewendete Gewichtungsfaktor [-].

Die angewendeten Gewichtungsfaktoren zur Ermittlung der Absorber- und Glastemperaturen werden nach den folgenden Gleichungen bestimmt:

$$p_i = \frac{(d_{i-1} + d_{i+1})/2}{L_{\text{HCE}}} \quad (6)$$

Dabei sind

d_{i-1} und d_{i+1} die Abstände des Messfühlers i vom Messfühler $i-1$ bzw. $i+1$.

Für den ersten Messfühler gilt folgende Gleichung:

$$p_1 = \frac{(d_0 + d_2)/2}{L_{\text{HCE}} (25^\circ\text{C})} \quad (7)$$

Dabei ist

d_0 der Abstand des Messfühlers vom vorderen Ende des Absorberrohres.

Für den letzten Messfühler gilt (unter Annahme von N Messfühlern) folgende Gleichung:

$$p_N = \frac{(d_{N-1} + d_{N+1})/2}{L_{\text{HCE}} (25^\circ\text{C})} \quad (8)$$

Dabei ist

d_{N+1} der Abstand des Messfühlers zum Ende des Absorberrohres.

Der Emissionsgrad wird in mehreren Schritten beginnend mit den Prüfergebnissen berechnet (freigestellt):
 Zuerst wird die Außentemperatur des Absorberrohres berechnet:

$$T_{\text{abs,o}} = T_{\text{abs,i}} - \frac{HL \ln \left(\frac{r_{\text{abs,o}}}{r_{\text{abs,i}}} \right)}{2\pi k_{\text{abs}}} \quad (9)$$

Dabei ist

HL der während der Prüfung bei einer bestimmten Temperatur T_{abs} gemessene Wärmeverlust [W/m];
 $r_{\text{abs,o}}$ der Außenradius des Absorberrohres [m];

- $r_{\text{abs},i}$ der Innenradius des Absorberrohres [m];
 k_{abs} die Wärmeleitfähigkeit des Absorbers [m/°C];
 $T_{\text{abs},i}$ die Innentemperatur des Absorbers [°C] (auch als T_{abs} bezeichnet).

ANMERKUNG Die Radien $r_{\text{abs},i}$ und $r_{\text{abs},o}$ werden vom Hersteller geliefert, ebenso wie die Radien für das Glasrohr in der folgenden Gleichung.

Als zweites wird die Temperatur im Inneren des Glashüllrohres berechnet:

$$T_{\text{gl},i} = T_{\text{gl},o} + \frac{HL \ln \left(\frac{r_{\text{gl},o}}{r_{\text{gl},i}} \right)}{2\pi k_{\text{gl}}} \quad (10)$$

Dabei ist

- $r_{\text{gl},o}$ der Außenradius des Glashüllrohres [m];
 $r_{\text{gl},i}$ der Innenradius des Glashüllrohres [m];
 k_{gl} die Wärmeleitfähigkeit des Glases [m/°C];
 $T_{\text{gl},o}$ die Außentemperatur des Glashüllrohres [°C].

Freigestellt – Im Allgemeinen ist das Ergebnis für einen Messzeitraum ein Paar aus dem Wärmeverlust HL und der mittleren Absorbertemperatur T_{abs} . Beide haben die damit verbundenen Unsicherheiten $u(\text{HL})$ und $u(T_{\text{abs}})$. Bei der Auslegung des Wärmeverlustes HL in Abhängigkeit von der Temperatur T_{abs} ist es vorteilhaft, nur HL verbunden mit der Unsicherheit zu haben. Die Unsicherheit der Temperatur $u(T_{\text{abs}})$ und die Unsicherheit des Wärmeverlustes $u(\text{HL})$ können zu einer kombinierten Unsicherheit des Wärmeverlustes $u_c(\text{HL})$ wie folgt zusammengefasst werden

$$u_c^2(\text{HL}) = u^2(\text{HL}) + \left(\frac{\partial \text{HL}(T_{\text{abs}})}{\partial T_{\text{abs}}} \right)^2 \cdot u^2(T_{\text{abs}}) \quad (11)$$

Die partielle Ableitung $\partial \text{HL}(T_{\text{abs}}) / \partial T_{\text{abs}}$ kann z. B. aus den Interpolationspolynomen ermittelt werden.

4.4.6.2 Thermischer Emissionsgrad (freigestellt)

Als letztes wird der Emissionsgrad des Absorberrohres nach der folgenden Gleichung nach Forristal berechnet:

$$\varepsilon_{\text{abs}} = \frac{HL}{2\pi r_{\text{abs},o} \sigma \left(T_{\text{abs},o(\text{K})}^4 - T_{\text{gl},i(\text{K})}^4 \right) - HL \frac{1 - \varepsilon_{\text{gl}}}{\varepsilon_{\text{gl}}} \left(\frac{r_{\text{abs},o}}{r_{\text{gl},i}} \right)} \quad (12)$$

Dabei ist

- ε_{gl} der Emissionsgrad des Glases [–];
 σ die Stefan-Boltzmann-Konstante [–].

4.4.7 Kurvenmodelle für den Wärmeverlust und den Emissionsgrad

Die Parameter des Wärmeverlustes HL und des Emissionsgrades ε werden durch eine statistische Kurvenanpassung nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, um die nachfolgend beschriebenen Kurven zu ermitteln.

4.4.7.1 Wärmeverlustkurven

Die Prüfergebnisse ergeben den Wärmeverlust bei jeder Betriebstemperatur (T_{abs}) des Empfängerrohres. Die Wärmeverlustkurve wird durch die folgende Gleichung dargestellt:

$$HL = a_1 T_{\text{abs}} + a_2 T_{\text{abs}}^4 \quad (13)$$

Die Koeffizienten a_1 [$\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C})$] und a_2 [$\text{W}/(\text{m}^\circ\text{C}^4)$] sind Anpassungsparameter.

Die Wahl der Art der Anpassung der Gleichung in Abhängigkeit von der Temperatur und der Temperatur hoch vier geht auf den Wärmeübertragungsmechanismus des Rohres selbst zurück. Der erste Term in der Gleichung bezieht sich auf den Verlust durch Konvektion, während sich der zweite Term auf den Verlust durch Abstrahlung an die Umgebung bezieht.

ANMERKUNG Die Kurve ist eine empirische Anpassungskurve.

Der Prüfbericht muss eine grafische Darstellung der Versuchspunkte und des Wärmeverlustes im Empfängerrohr nach Gleichung (14) für T_{abs} im gemessenen Bereich enthalten.

Ein Beispiel für eine Wärmeverlustkurve ist in dem nachfolgenden Bild angegeben:

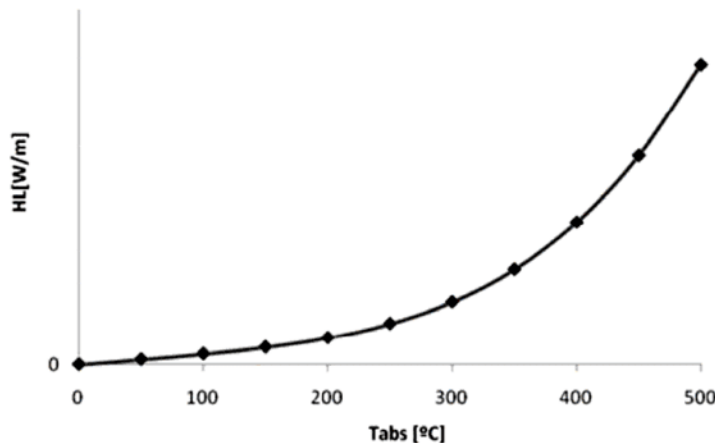


Bild 2 – Beispiel für eine Wärmeverlustkurve

4.4.7.2 Interpolation des Wärmeverlustes

Die Ergebnisse des Wärmeverlustes $HL(T_{\text{abs}})$ können auf die interessierenden Temperaturen interpoliert werden. Typische Werte sind 250 °C, 300 °C, 350 °C und 400 °C für Empfänger mit Öl als Wärmeträgerfluid und 250 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C und 550 °C für Empfänger mit geschmolzenem Salz als Wärmeträgerfluid. Die Interpolation ist mit kubischen Splines [8] mit „Not-a-knot“-Bedingung durchzuführen.

Die Messergebnisse der Paare von T_{abs} und HL werden im Folgenden als Knoten bezeichnet. Kubische Splines sind stückweise festgelegte Polynome dritter Ordnung. Jedes Polynom ist zwischen zwei benachbarten Knoten festgelegt. Daher gibt es bei N Knoten $N-1$ Polynome. Die Menge der Polynome muss die Knoten enthalten, um an den Knoten in der 1. Ableitung stetig zu sein und um an den Knoten der 2. Ableitung stetig zu sein. Mit diesen Anforderungen verbleiben zwei Freiheitsgrade für die Polynome. Daher ist es ein gängiger Ansatz, für die verbleibenden beiden Freiheitsgrade zu fordern, dass die 3. Ableitung am zweiten Knoten und am vorletzten Knoten stetig sein muss. Diese zusätzliche Anforderung wird auch als „Not-a-knot“-Bedingung bezeichnet.

Die Interpolation darf 15 K von der tatsächlichen Messung nicht überschreiten. Die Extrapolation darf 5 K von der tatsächlichen Messung nicht überschreiten.

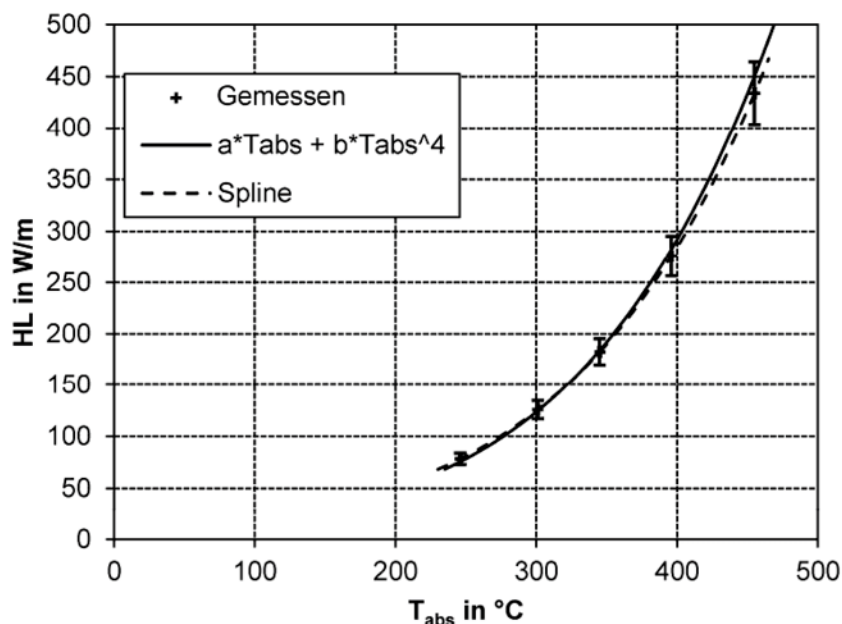


Bild 3 – Typischer Graph, der die Messergebnisse für den Wärmeverlust darstellt

4.4.7.3 Emissionsgradkurve (freigestellt)

Die Prüfergebnisse ergeben den Emissionsgrad bei den verschiedenen Temperaturen T_{abs} . Der Emissionsgrad wird durch die folgende Gleichung dargestellt:

$$\varepsilon_{\text{abs}} = b_1 + b_2 T_{\text{abs}}^2 \quad (14)$$

- Der Koeffizient b_1 (W/(m°C)) ist der Koeffizient des Emissionsgrades in Abhängigkeit von der Temperatur des Absorbers T_{abs} .
- Der Koeffizient b_2 (W/(m °C²)) ist der Koeffizient des Emissionsgrades in Abhängigkeit von der Temperatur des Absorbers zum Quadrat T_{abs}^2 .

Der Prüfbericht muss eine grafische Darstellung der Versuchspunkte und des Emissionsgrades des Absorberrohres nach [Gleichung \(15\)](#) für T_{abs} enthalten.

ANMERKUNG Diese Gleichung sollte nicht unterhalb der Mindestmesstemperatur angewendet werden. Die Ergebnisse der Prüfung und die während der Prüfung eingesetzten Mittel zur Bestimmung des Verbrauchs elektrischer Leistung, der Raumtemperatur und der Temperatur des Absorberrohres und des Glashüllrohres sind aufzuzeichnen. Alle Abweichungen sind im Bericht aufzuführen und es ist ein Foto/Diagramm des geprüften Probekörpers in seinem Endzustand beizufügen.

4.4.8 Prüfbericht

Siehe [Anhang B](#).

4.5 Prüfung zur optischen Beschreibung

Der Zweck dieser Prüfung ist die optische Beschreibung eines Solarempfängerrohres.

Die Anwendung dieser Prüfung ist mit den Erfordernissen von solarthermischen Kraftwerksprojekten verbunden, bei denen Parabolrinnen-Technologie und analog dazu auch die Fresnel-Technologie eingesetzt werden. Sie ist grundsätzlich für Solarempfängerrohre in Parabolrinnen- oder Fresnel-Kollektoren anwendbar.

4.5.1 Verfahren zur optischen Beschreibung der solaren Glasabdeckung und der Solarabsorber unter Anwendung von Spektrophotometern

4.5.1.1 Ziel

Der Zweck dieser Prüfung besteht darin, die Messung des spektralen hemisphärischen Reflexionsfaktors und Transmissionsfaktors von Werkstoffen zu behandeln, die in solarthermischen Technologien zur Berechnung des solaren Absorptionsgrades und des Transmissionsfaktors verwendet werden. Bei diesem Verfahren werden Spektrophotometer eingesetzt, die über Ulbricht-Kugeln verfügen. Das Verfahren zur Berechnung der solargewichteten Eigenschaften aus den gemessenen Spektralwerten wird ebenfalls festgelegt.

Der Anwendungsbereich dieser Prüfung umfasst die in solarthermischen Technologien (Parabolrinnen-Technologie und Fresnel-Technologie) als Absorber verwendeten Werkstoffe sowie auch den Glaswerkstoff mit oder ohne Antireflex-Beschichtung, der als Abdeckung in diesen Technologien verwendet wird.

4.5.1.2 Allgemeines

Bei diesem Verfahren werden Messungen des spektralen annähernd senkrechten / hemisphärischen Transmissionsfaktors (oder Reflexionsfaktors) über den Spektralbereich von 300 nm bis 2 500 nm mit einem Spektrophotometer mit Ulbricht-Kugeln durchgeführt. Der solare Transmissionsfaktor oder Absorptionsgrad wird durch Berechnung eines gewichteten Mittelwertes mit einer spektralen Standardbestrahlungsstärke nach den Festlegungen in IEC 62862-1-1 ermittelt.

Der solare Absorptionsgrad und Transmissionsfaktor sind Hauptparameter bei der Bewertung des optischen Wirkungsgrades von solarthermischen Kraftwerken. Dieses Prüfverfahren ist für die Bereitstellung nachvollziehbarer Daten ausgelegt, die für einen Vergleich der Ergebnisse zwischen verschiedenen Laboratorien oder zu verschiedenen Zeiten durch dasselbe Laboratorium sowie für einen Vergleich von Daten, die mit verschiedenen Werkstoffen gewonnen wurden, geeignet sind.

Anmerkung Für Anwendungen, die direkte Sonnenstrahlung nutzen, wird das Spektrum AM (Luftmasse) (en: Air Mass) 1,5 D zur Ermittlung des direkten solaren Reflexionsfaktors verwendet. Das Strahlungsspektrum AM 1,5 nach ASTM G173-03 ist zur Berechnung des solaren Reflexionsfaktors zu verwenden.

4.5.1.3 Messgeräteausrüstung

a) Spektrophotometer

Es ist ein Zweistrahl- oder Split-Beam-Spektrophotometer mit einem Ulbricht-Kugel-Zubehörteil erforderlich, das in der Lage ist, die spektralen Eigenschaften des Probekörpers oder Werkstoffs über den solaren Spektralbereich von 300 nm bis 2 500 nm zu messen. Das Spektrophotometer muss so konstruiert sein, dass der Probekörper sowohl für den Transmissionsfaktor als auch den Reflexionsfaktor in direkter Berührung mit der Blende der Kugel angeordnet werden kann, so dass die einfallende Strahlung annähernd senkrecht (Abweichungen von unter 15°) auf die Ebene des Probekörpers auftrifft. Auf diese Weise geht die spiegelnde Komponente der reflektierten Energie nicht durch eine Blende verloren. Das Eindringen von Umgebungslicht in die Kugel muss verhindert werden.

Die Innenseite der Ulbricht-Kugel muss mit einer stabilen, hochreflektierenden Beschichtung mit hoher diffuser Reflexion versehen sein. Werkstoffe wie z. B. Polytetrafluorethylen und BaSO₄ erfüllen die geforderten Merkmale. Das Verhältnis der Fläche der Öffnung zur Wandfläche der Kugel zuzüglich der Fläche der Öffnung muss kleiner als 4 % sein. Dieser geringe Anteil der Öffnung stellt eine gute Integration des Probensignals sicher, bevor es den Detektor der Kugel erreicht. Kugeln mit einer Größe ≥ 150 mm werden bevorzugt.

b) Referenzproben

Im Allgemeinen sind sowohl Referenz- als auch Arbeits- (Vergleichs)-Referenzproben erforderlich. Referenzproben sind das wichtigste Mittel für die Kalibrierung von Messgeräten und Arbeitsproben.

Für durchlässige Probekörper (Glas oder Antireflex-Beschichtungen auf Glas) ist die einfallende Strahlung als Normal zu verwenden, in Bezug zu welchem das durchfallende Licht beurteilt wird. Für sehr stark

durchlässige Probekörper ist eine Nulllinienkorrektur erforderlich. Lichtfallen, diffus reflektierender schwarzer Werkstoff oder eine Blockierung des Strahls können zu diesem Zweck angewendet werden.

4.5.1.4 Probekörper und Prüfbedingungen

Die Größe der erforderlichen Probekörper hängt von den Maßen der Ulbricht-Kugel ab. Der Probekörper muss groß genug sein, um die Blende der Kugel abzudecken. Bei gewölbten Probekörpern sollte der Teil, der die Blende der Kugel abdeckt, im Wesentlichen eben sein. In diesem Fall muss eine spezielle Halterung verwendet werden, welche die perfekte Einstellung zwischen der gewölbten Probe und der Blende der Kugel ermöglicht.

4.5.1.5 Durchführung

a) Messung

Für alle Messungen ist mindestens ein Wert alle 10 nm im Bereich zwischen 300 nm und 2 500 nm aufzuzeichnen.

Transmissionsfaktor: Beim Messen des Transmissionsfaktors werden der Probekörper und die Referenzöffnungen an der Rückseite der Kugel mit Oberflächen abgedeckt, welche die gleiche Beschichtung und die gleichen optischen Eigenschaften wie die Kugelwände aufweisen. Die Spektralkurven werden erst aufgezeichnet, ohne dass ein Probekörper vorhanden ist, und dann noch einmal mit dem Probekörper über der Strahleneingangsöffnung der Kugel für den Probekörper.

Zur Berechnung des spektralen Transmissionsfaktors wird die folgende Gleichung für den Fall angewendet, dass der Strahl nur durch eine der Seiten des Rohres oder durch einen halbumlaufenden Abschnitt der Rohre hindurchgeht:

$$\tau(\lambda) = (S_{\lambda} - Z_{\lambda}) / (100_{\lambda} - Z_{\lambda}) \quad (15)$$

Dabei ist

S_{λ} das Signal, das mit dem Probekörper über der Eingangsöffnung aufgezeichnet wird;

Z_{λ} der Nulllinien-Ablesewert bei blockiertem Probekörper-Strahl bei einem lichtundurchlässigen Werkstoff; und

100_{λ} die Linie, die aufgezeichnet wird, wenn sich kein Probekörper über der Probekörperstrahl-Eingangsöffnung befindet.

Absorptionsgrad: Um den Absorptionsgrad der Absorber-Prüflinge zu erhalten, ist es erforderlich, das Spektrum des hemisphärischen Reflexionsgrades aufzuzeichnen, wonach der Absorptionsgrad durch Subtraktion von 1 erhalten wird, d. h. in der nachfolgenden Beziehung ist $\tau_{\lambda} = 0$:

$$\alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \rho_{\lambda} = 1 \quad (16)$$

Messung des Reflexionsfaktors: Aufzeichnung der Nulllinie wie oben angegeben und des 100 %igen Spektralwertes, indem das Arbeitsnormal auf der Probenöffnung angeordnet wird. Aufzeichnung des spektralen Reflexionsfaktors des Prüflings, indem der Prüfling auf der Probenöffnung angeordnet wird. Die spiegelnde Komponente wird in die Messung des Reflexionsfaktors einbezogen.

Der spektrale Reflexionsfaktor $\rho(\lambda)$ wird für den Probekörper bei der Wellenlänge λ nach folgender Gleichung berechnet:

$$\rho(\lambda) = [(S_{\lambda} - Z_{\lambda}) / (100_{\lambda} - Z_{\lambda})] \rho'_{\lambda} \quad (17)$$

Dabei ist

S^{λ} der für den Probekörper aufgezeichnete Ablesewert;

Z_λ der Nulllinien-Ablesewert;

100_λ der Ablesewert der 100 %-Linie; und

ρ'_λ der kalibrierte spektrale Reflexionsfaktor für das Arbeitsnormal oder die Referenzprobe, jeweils bei der Wellenlänge λ .

b) Berechnung des solaren Absorptionsgrades und des solaren Transmissionsfaktors

Der solare Energietransmissionsfaktor und der solare Energieabsorptionsgrad werden durch Gewichtung über das entsprechende Sonnenspektrum nach den nachfolgenden Gleichungen berechnet, die in IEC 62862-1-1 enthalten sind.

$$\alpha_s = \frac{\int_{300}^{2500} \alpha(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int_{300}^{2500} E(\lambda) d\lambda} \quad \tau_s = \frac{\int_{300}^{2500} \tau(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int_{300}^{2500} E(\lambda) d\lambda} \quad (18)$$

Dabei ist

$\alpha(\lambda)$ der spektrale Absorptionsgrad;

$\tau(\lambda)$ der spektrale Transmissionsgrad;

$E(\lambda)$ die solare spektrale Bestrahlungsstärke.

Anmerkung Für Anwendungen, die direkte Sonnenstrahlung nutzen, wie z. B. solarthermische Energieerzeugungsanlagen (STE) (en: solar thermal electricity), wird das Spektrum AM 1,5D verwendet, um den direkten solaren Absorptionsgrad und den direkten solaren Transmissionsfaktor zu ermitteln.

4.5.1.6 Prüfbericht

Der Bericht muss folgende Angaben enthalten:

- Vollständige Identifizierung des geprüften Werkstoffs, Größe und Dicke des Probekörpers, Oberflächenkontur, sofern zutreffend.
- Solarer Transmissionsfaktor, Absorptionsgrad oder Reflexionsfaktor oder alle drei Größen, ermittelt auf 0,001 der Einheit oder 0,1 %.
- Identifizierung des verwendeten Messgerätes. Der Name des Herstellers und die Modellnummer einschließlich Änderungen, Zubehörteilen und der Größe der Ulbricht-Kugel reichen für ein handelsübliches Messgerät aus. Weitere Messgeräte müssen detailliert beschrieben werden einschließlich Abschätzungen ihrer Fehlergrenze.
- Vollständige Identifizierung der bei den Messungen verwendeten Normale.
- Für die Berechnung der solaren optischen Eigenschaft verwendete solare spektrale Referenz-Bestrahlungsstärke.

4.5.2 Zerstörungsfreie optische Beschreibung (freigestellt)

4.5.2.1 Ziel

Das Ziel dieser Prüfung ist die Beschreibung der optischen Eigenschaften des Parabolrinnenempfängerrohres, indem der solare spektrale Transmissionsfaktor des Glasrohres und der Reflexionsgrad des Absorberrohres in verschiedenen Abschnitten entlang des Empfängerrohres gemessen werden.

Mit diesem Verfahren werden Absolutmesswerte ermittelt, die nicht von Vergleichen mit anderen Rohren (unabhängig davon ob diese handelsüblich sind) abhängen.

4.5.2.2 ANMERKUNG Der Probekörper muss vor der Prüfung nach den Anweisungen des Herstellers gereinigt werden. Messgeräteausrüstung

a) Laborgeräte:

Der spektrale Reflexionsfaktor und der spektrale Transmissionsfaktor sind für quasi-parallele Strahlung und quasi-senkrechten Strahlungseinfall mit Messausrüstungen zu messen, die folgende Anforderungen erfüllen:

- Spektralbereich von 300 nm bis 2 500 nm alle 10 nm.
- Annähernd senkrechter Strahlungseinfall: Einfallswinkel von 6° bis 15° zur Normalen
- Mindestakzeptanzwinkel 12,5 mrad

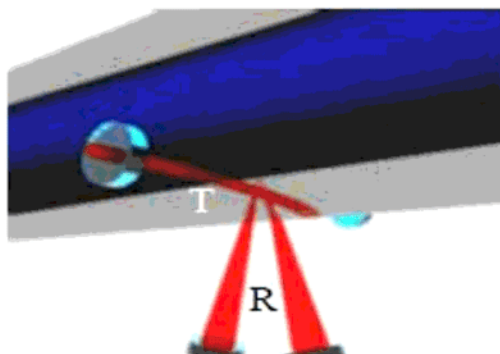


Bild 4 – Messprinzip

4.5.2.3 Prüfbedingungen

Die maximalen Schwankungen, die für die verschiedenen geprüften Stellen bezüglich der Umgebungslufttemperatur von 20 °C zulässig sind, betragen ± 10 °C.

Der Temperaturmessfühler wird in einem Abstand von höchstens 2 Metern und in einer Mindesthöhe von 2 Metern über dem Boden angeordnet, wobei zu vermeiden ist, den Messfühler in der Nähe von Wärme- oder Kältequellen anzubringen (z. B. Belüftungsöffnungen, Außenwände, in der Nähe von Wärmequellen usw.).

4.5.2.4 Durchführung

- Der spektrale Reflexionsfaktor und der spektrale Transmissionsfaktor sind entlang des Rohres an mindestens 10 Stellen zu messen.

4.5.2.5 Prüfergebnisse und Bericht

Die folgenden Ausdrücke sind zu verwenden:

$$\alpha_s = \frac{\sum_{\lambda_i}^{\lambda_2} (1 - \rho(\lambda_i)) E(\lambda_i) \Delta\lambda_i}{\sum_{\lambda_i}^{\lambda_2} E(\lambda_i) \Delta\lambda_i} \quad \tau_s = \frac{\sum_{\lambda_i}^{\lambda_2} \tau(\lambda_i) E(\lambda_i) \Delta\lambda_i}{\sum_{\lambda_i}^{\lambda_2} E(\lambda_i) \Delta\lambda_i} \quad (19)$$

Dabei ist

- $\rho(\lambda_i)$ der gemessene spektrale Reflexionsfaktor [-];
- $\tau(\lambda_i)$ der gemessene spektrale Transmissionsfaktor [-];
- λ_i die gemessenen Wellenlängen [nm];
- $\Delta\lambda_i$ das Intervall der entsprechenden Wellenlängen [nm];

$E\lambda_i$ die spektrale Verteilung der direkten solaren Bestrahlungsstärke AM 1,5 D (d. h. die Normen ISO 9845-1 oder ASTM G173 könnten angewendet werden). $S_{\lambda,i}$ muss durch Interpolation für die speziellen gemessenen Wellenlängen ermittelt und entsprechend über den Bereich der jeweiligen Wellenlängen aufaddiert werden.

Mindestens folgende Eigenschaften müssen im Bericht aufgeführt werden:

- Die Prüfbedingungen betreffend:
 - Raumtemperatur
 - Gemessene Wellenlängen
 - Verwendete Ausrüstung
 - Einfallswinkel zur Normalen
 - Akzeptanzwinkel
 - Solarer Absorptionsgrad und solarer Transmissionsfaktor
 - Für das Integral verwendetes Sonnenspektrum
 - Messgenauigkeit
 - Größe des Messpunktes
 - Angabe, wie der Probekörper gereinigt wurde

4.5.3 Prüfung des optischen Wirkungsgrades (freigestellt)

4.5.3.1 Ziel

Der Zweck der Prüfung des optischen Wirkungsgrades des Empfängers ist es, die Lichtabsorption der Sonnenstrahlung durch einen rohrförmigen Empfänger zu ermitteln, indem die Erhöhung der Enthalpie eines Fluidstroms durch das Rohr während der Prüfung bewertet wird. Die Prüfung wird in einem Sonnensimulator-Laborprüfstand durchgeführt. Diese Prüfung ist zerstörungsfrei und liefert in einer Messung den optischen Wirkungsgrad des Empfängers, worin der Absorptionsgrad, der Transmissionsfaktor und die nutzbare aktive Länge eingeschlossen sind.

Diese Prüfung ist mit einem Sonnensimulator anwendbar, dessen Konfiguration und Homogenität für die Länge und den Durchmesser der zu messenden Rohre angemessen sein müssen, d. h. es muss ein hoher Auffangfaktor für die Prüfstrahlung sichergestellt werden.

4.5.3.2 Allgemeines

Der optische Wirkungsgrad misst das Verhältnis der im Fluid absorbierten Energie zur Energie der einfallenden Strahlung. Eine Standardprobe ist als Messreferenz erforderlich. Eine solche Bezugsprobe ist ein Empfänger ähnlicher Geometrie oder ein abgeleitetes Sekundär- oder Arbeitsnormal mit beständigen Eigenschaften. Vergleichsprüfungen sind mit einer beliebigen Reihe von Proben ähnlicher Geometrie möglich. Die Beurteilung erfolgt durch Messung des Enthalpieflusses eines Wasserstroms bei Raumtemperatur des Fluids. Während der Messung wird das Absorberrohr mit einer konstanten Menge fokussierten Lichts bestrahlt.

Für die Prüfung ist eine Brennnlinie erforderlich, die kleiner als der Durchmesser des Absorberrohres und länger als die Gesamtlänge des Probekörpers ist, mit einheitlicher Intensitätsverteilung entlang der Brennnlinie.

Die Beurteilung wird für einen kalten Empfänger durchgeführt, so dass Änderungen der Geometrie bei erhöhten Betriebstemperaturen, die für diese Komponente typisch sind, korrigiert werden müssen, z. B. durch Bestimmung der Änderung der aktiven Länge des Empfänger infolge einer Dehnung oder Stauchung des Faltenbalgs und einer Bewegung der Dehnungsschutzhülse (en: bellow protection shield).

4.5.3.3 Messgeräteausrüstung

Ein Simulator muss die folgenden Eigenschaften haben:

- Bestrahlungsstärkebereich: Der Simulator muss in der Lage sein, eine mittlere Bestrahlungsstärke über dem Empfängerrohr zu erzeugen, die mindestens 10 % der Nennbestrahlungsstärke im tatsächlichen Betrieb entspricht (die Mindestbestrahlungsstärke muss 0,5 kW/m für den aktuellen Bereich für Empfänger mit einem Durchmesser des Absorbers von > 40 mm betragen).
- Räumliche Einheitlichkeit: Die Bestrahlungsstärke an einem Punkt auf der Apertur des Rohres darf zu keiner Zeit von der mittleren Bestrahlungsstärke um mehr als $\pm 10\%$ entlang der Länge des Rohres abweichen.
- Zeitstabilität: Zu keiner Zeit darf die Bestrahlungsstärke (Mittel über einen Zeitraum von 10 s) von der mittleren Bestrahlungsstärke um mehr als $\pm 5\%$ abweichen.
- Spektrum: Die spektrale Verteilung der simulierten Sonnenstrahlung muss annähernd der spektralen Verteilung des Sonnenspektrums bei der optischen Luftmasse 1,5 (en: optical air mass) entsprechen.

4.5.3.4 Probekörper und Prüfbedingungen

Vor der Prüfung werden die Proben nach den Anweisungen des Herstellers gereinigt. Dehnungsschutzhülsen werden nach den Anweisungen des Herstellers eingebaut (Originalteile, sofern verfügbar).

Die folgenden Daten sind zu messen:

- Geometrie des Empfängers
- Temperatur des Wärmeträgerfluids am Eintritt des Rohres
- Temperatur des Wärmeträgerfluids am Austritt des Rohres
- Durchflussrate des Wärmeträgerfluids
- Bestrahlungsstärke auf einem Prüf-Pyranometer
- Umgebungslufttemperatur
- Temperatur der Glasumhüllung (freigestellt)

4.5.3.5 Durchführung

Die Prüfung umfasst eine Vergleichsmessung des Enthalpieflusses des kalten Wasserstroms durch ein bestrahltes Empfängerrohr bei konstanten Prüfbedingungen im Sonnensimulator. Die Prüfung führt zu einem relativen kombinierten Wert des optischen Wirkungsgrades für die gesamte Länge des Empfängers unter dem Sonnensimulatorlicht, einschließlich der Eigenschaften des Glases und seiner Beschichtung sowie der Beschichtung des Absorbers.

Der Empfänger-Probekörper wird in der Brennnlinie des Prüfstandes angeordnet, und die Erhöhung der Enthalpie des durch den Empfänger fließenden Wassers wird bei Raumtemperatur gemessen. Druckverluste werden vernachlässigt. Am selben Tag wird die Enthalpieerhöhung bei einem Bezugs-Empfänger-Probekörper gemessen. Diese Bezugsmessung liefert die Einheit für den optischen Wirkungsgrad.

Die Enthalpieerhöhung ist im Beharrungszustand, üblicherweise für 5 min bis 15 min zu messen.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Empfänger über eine bestimmte Messdauer unter Bedingungen des Beharrungszustands gearbeitet hat wenn keiner der Versuchsparameter über den Messzeitraum um mehr als die in [Tabelle 2](#) angegebenen Grenzwerte von seinem Mittelwert abweicht. Um festzustellen, ob ein Beharrungszustand vorliegt, sind Mittelwerte jedes Parameters, die über aufeinander folgende Zeiträume von 10 s genommen werden, mit dem Mittelwert über die Messdauer zu vergleichen (der stationär sein muss).

Tabelle 2 – Zulässige Abweichung der gemessenen Parameter während einer Messdauer

Parameter	Zulässige Abweichung vom Mittelwert
Prüf-Bestrahlungsstärke	$\pm 1 \%$
Umgebungslufttemperatur (Innenraum)	$\pm 5 \text{ K}$
Massenstrom des Fluids	$\pm 1,5 \%$
Temperatur des Fluids am Kollektoreintritt	$\pm 0,2 \text{ °C}$

4.5.3.6 Berechnung der Leistung des Kollektors

Das Verhältnis des optischen Wirkungsgrades wird anhand der Prüfungen der Probe (Q_{sample}) und der Bezugsprobe ($Q_{\text{reference}}$) wie folgt berechnet:

$$Q = m_{\text{wf}} \cdot c_p (t_m) \cdot (t_{\text{out}} - t_{\text{in}}) \quad (20)$$

$$r_{\text{sample}} = Q_{\text{sample}} / Q_{\text{reference}}$$

Für die Prüfdauer wird der Mittelwert r aller Zeitintervalle berechnet.

Ein Wert der spezifischen Wärmekapazität, der der mittleren Temperatur des Fluids entspricht, ist zu verwenden. Wenn der Wert anhand einer Volumenstrommessung ermittelt wird, muss die Dichte der der Fluidtemperatur entsprechende Wert sein, der vom Durchflussmesser registriert wird.

Der Unterschied zwischen der Anfangstemperatur des Fluides in den Rohren und der Raumtemperatur darf 10 K nicht überschreiten. Bei einer Überschreitung müsste die Strahlung berücksichtigt werden und Wärmeverluste könnten nicht verworfen werden.

Wenn der optische Wirkungsgrad des Bezugs-Empfängers $\eta_{\text{rec,opt,reference}}$ bekannt ist, ist der optische Wirkungsgrad der Probe $\eta_{\text{rec,opt,sample}}$

$$\eta_{\text{rec,opt,sample}} = r_{\text{sample}} \cdot \eta_{\text{rec,opt,reference}} \quad (21)$$

Anmerkung Aufgrund der Ausdehnung des Absorberrohres mit steigender Temperatur, können sich die Länge des Empfängers und die aktive Länge in Abhängigkeit von der Temperatur ändern. Da der Empfänger hauptsächlich bei hohen Temperaturen betrieben wird, wird die Änderung des optischen Wirkungsgrades als geometrischer Effekt modelliert.

Der optische Wirkungsgrad wird approximiert mit

$$\eta_{\text{rec,opt}} \approx \alpha \tau \psi_{\text{net}} \quad (22)$$

Dabei ist

ψ_{net} der Anteil der aktiven Länge an der Länge des Empfängers, $\psi_{\text{net}} = l_{\text{active}} / l_{\text{rec}}$.

Es wird angenommen, dass der Absorptionsgrad α des Absorbers und der Transmissionsfaktor τ der Glasumhüllung mit der Temperatur konstant sind. Außerdem wird lediglich Strahlung mit senkrechtem Strahlungseinfall berücksichtigt. Die

Änderung des optischen Wirkungsgrades ist das Ergebnis einer Änderung der aktiven Länge l_{active} und der Länge des Empfängers l_{rec} in Abhängigkeit von der Temperatur:

$$\eta_{\text{rec,opt}}(T) \approx \alpha \tau \frac{l_{\text{active}}(T)}{l_{\text{rec}}(T)} \quad (23)$$