

DIN EN 12975-3-1**DIN**

ICS 27.160

Einsprüche bis 2011-10-15

Entwurf

**Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile –
Kollektoren –
Teil 3-1: Qualifizierung der Beständigkeit von Solarabsorberflächen;
Deutsche Fassung prEN 12975-3-1:2011**

Thermal solar systems and components –
Solar collector materials –
Part 3-1: Qualification of solar absorber surface durability;
German version prEN 12975-3-1:2011

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-08-15 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nhrs@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 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 36 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12975-3-1:2011) wurde im Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat von ELOT (Griechenland) gehalten wird.

Der Arbeitsausschuss NA 041-01-56 AA „Solaranlagen“ im Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. war an der Erstellung dieser Europäischen Norm beteiligt.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 2409	siehe DIN EN ISO 2409
ISO 2819	siehe DIN EN ISO 2819
ISO 4624	siehe DIN EN ISO 4624
ISO 10062	siehe DIN EN ISO 10062

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 2409, *Beschichtungsstoffe – Gitterschnittprüfung*

DIN EN ISO 2819, *Metallische Überzüge auf metallischen Grundwerkstoffen - Galvanische und chemische Überzüge - Überblick über Methoden der Haftfestigkeitsprüfung*

DIN EN ISO 4624, *Beschichtungsstoffe - Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit*

DIN EN ISO 10062, *Korrosionsprüfungen in künstlicher Atmosphäre mit sehr niedrigen Konzentrationen von Schadgas(en)*

Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile — Kollektoren — Teil 3-1: Qualifizierung der Beständigkeit von Solarabsorberflächen

Thermal solar systems and components — Solar collectors — Part 3-1: Qualification of solar absorber surface durability

ICS:

Deskriptoren

Inhalt

Seite

Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe	6
4 Anforderungen und Klassifizierung.....	7
5 Prüfverfahren zur Bewertung von Werkstoffeigenschaften als Maß der Absorberleistung.....	8
5.1 Probenahme und Vorbereitung der Probekörper.....	8
5.2 Solarer Absorptionsgrad	8
5.3 Wärmeemissionsgrad	9
5.4 Haftfestigkeit	9
6 Prüfungen zur Bewertung der Wärmebeständigkeit von Absorberflächen	9
6.1 Kurzbeschreibung	9
6.2 Prüfgerät	10
6.3 Verfahren zur Durchführung von Hochtemperaturprüfungen	11
6.4 Qualifizierungsverfahren	11
7 Prüfung zur Bestimmung der Kondenswasserbeständigkeit der Absorberfläche.....	12
7.1 Kurzbeschreibung	12
7.2 Prüfgerät	13
7.3 Verfahren zur Durchführung von Prüfungen bei konstanter Kondensation	14
7.4 Qualifizierungsverfahren	15
8 Prüfung zur Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit der Absorberfläche in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil.....	16
8.1 Kurzbeschreibung	16
8.2 Prüfgerät	17
8.3 Vergleichsprobekörper	18
8.4 Verfahren zur Durchführung der Prüfung auf Korrosionsbeständigkeit in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil	18
8.5 Bestimmung der kürzesten zulässigen Ausfallzeiten in der Prüfung unter Verwendung von Vergleichsproben	19
8.6 Qualifizierungsverfahren	19
9 Prüfbericht.....	20
Anhang A (normativ) Verfahren zur Bestimmung des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der Absorberfläche	21
A.1 Bewertung des solaren Absorptionsgrades	21
A.1.1 Anwendungsbereich	21
A.1.2 Prüfgerät	21
A.1.3 Messung der Werte des Reflexionsgrades	21
A.1.4 Bewertung der Werte des spektralen Absorptionsgrades	21
A.1.5 Bewertung des solaren Absorptionsgrades	22
A.1.6 Entscheidende Faktoren bei der Bewertung des solaren Absorptionsgrades	22
A.2 Bewertung des Wärmeemissionsgrades	22
A.2.1 Anwendungsbereich	22
A.2.2 Prüfgerät	23
A.2.3 Bewertung des Wärmeemissionsgrades	23
A.2.4 Entscheidende Faktoren bei der Bewertung des Wärmeemissionsgrades mittels Spektralmessung	24

Anhang B (normativ) Temperatur und Ausfallzeit in der Bewertung der Wärmebeständigkeit von Absorberflächen	25
Anhang C (normativ) Eigenschaften von Temperatur/Kondensation und Ausfallzeit in Zusammenhang mit dem Qualifizierungsschema für die Bewertung der Kondenswasserbeständigkeit von Absorberflächen	29
Anhang D (informativ) Geeignete Prüfgerätausführungen für die Qualifizierungsprüfung von Solarabsorberflächen.....	32
Literaturhinweise	34

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12975-3-1:2011) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 312 „Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom ELOT gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Einleitung

Um einen Werkstoff in einer gegebenen Anwendung effektiv auszuwählen, zu verwenden und zu erhalten, muss seine Zersetzung unter Betriebsbedingungen vor Gebrauch vorausgesagt werden. Vorzugsweise sollte die Beständigkeit des Werkstoffs quantitativ als eine zu erwartende Lebensdauer ausgedrückt werden. Beständigkeit ist in diesem Fall die Fähigkeit eines Werkstoffs, Zersetzung zu widerstehen, die durch alle äußeren Umweltfaktoren verursacht wird, welche die Leistung des Werkstoffs unter Betriebsbedingungen beeinflussen können. Als Lebensdauer ist der Zeitraum nach dem Einbau festgelegt, in welchem spezifische Werkstoffeigenschaften, die für die Leistungsfähigkeit des Werkstoffs wichtig sind, zulässige Mindestwerte erfüllen oder übertreffen.

Die Lebensdauer eines Werkstoffs ist somit nicht allein von dessen physikalischen und chemischen Eigenschaften abhängig, sondern auch von der Anforderung an seine Leistung in der betrachteten Anwendung sowie von äußeren Umweltfaktoren, welche die Leistung unter Betriebsbedingungen beeinflussen. Die ausschlaggebende Frage bei der Gestaltung ist, ob von einem spezifischen Werkstoff eine Lebensdauer zu erwarten ist, deren Länge einen bestimmten Wert, die sogenannte Nenn-Lebensdauer, überschreitet; letztere wird von Kostenbetrachtungen in Bezug auf die Lebensdauer unter Berücksichtigung der gesamten Anlage bestimmt. Die Bewertung der Lebensdauer kann auf der Grundlage von Rückmeldungsdaten aus der praktischen Anwendung oder von Ergebnissen der sogenannten Qualifizierungs- oder Zulassungsprüfungen der Beständigkeit erfolgen.

Das gegenwärtig empfohlene Qualifizierungsverfahren für die Beständigkeit von Solarabsorberflächen beruht auf der Durchführung einer Reihe von Kurzzeit-Prüfungen der Beständigkeit. Während einer Prüfung wird die optische Leistung der geprüften Absorberfläche durch Messung ihres solaren Absorptionsgrades und Wärmeemissionsgrades bestimmt. Anhand des Verlustes optischer Leistung der Absorberfläche wird deren Ausfallzeit in der durchgeführten Prüfung bewertet und mit der durch die Nenn-Lebensdauer des Absorbers festgelegten, kürzesten zulässigen Ausfallzeit verglichen. Die Nenn-Lebensdauer, die Leistungsanforderung, welche die Ausfallzeit hinsichtlich des Verlustes optischer Leistung definiert, sowie die Klassifizierung von Art und Ausmaß umweltbedingter Beanspruchung werden unter der Annahme festgelegt, dass die zu prüfende Absorberfläche in einen Flachkollektor für Warmwasseranlagen in Wohngebäuden eingebaut wird.

Das empfohlene Qualifizierungsverfahren kann vorzugsweise bei der Entwicklung und Validierung neuer Arten von Absorberflächen verwendet werden. Ausgehend von den Prüfergebnissen kann darauf geschlossen werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine geprüfte Absorberfläche die Anforderungen an eine zulässige Lebensdauer auch in der Praxis erfüllt. Das empfohlene Verfahren zur Beständigkeitsprüfung erzielt nachweislich Ergebnisse, die sowohl qualitativ als auch quantitativ recht gut mit den tatsächlichen Beobachtungen auf den Absorberflächen übereinstimmen, welche für längere Zeiträume in Sonnenkollektoren geprüft wurden, die unter typischen Bedingungen für Warmwasseranlagen in Wohngebäuden arbeiten.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Bestimmung des Langzeit-Verhaltens und der Lebensdauer von selektiven Solarabsorbern für Sonnenkollektoren, die unter typischen Bedingungen für Warmwasseranlagen in Wohngebäuden arbeiten.

Diese Europäische Norm legt ein Ausfallkriterium für Solarabsorber auf Grundlage der Veränderungen in dessen optischer Leistung fest. Die betrachteten optischen Eigenschaften sind der solare Absorptionsgrad und der Wärmeemissionsgrad.

Diese Europäische Norm legt Verfahren zur Beständigkeitsprüfung mit Schwerpunkt auf Hochtemperaturbeständigkeit, Wasserkondensation auf der Absorberfläche und Luft mit hoher Feuchte und Schwefeldioxidanteil fest.

2 Normative Verweisungen

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

ISO 2409, *Paints and varnishes — Cross-cut test*

ISO 4624, *Paints and varnishes — Pull-off test for adhesion*

ISO 9226, *Corrosion of metals and alloys — Corrosivity of atmospheres — Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity*

ISO 10062, *Corrosion tests in artificial atmosphere at very low concentrations of polluting gas(es)*

ISO 8407, *Corrosion of metals and alloys — Removal of corrosion products from corrosion test specimens*

ISO 9845-1, *Solar Energy — Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions — Part 1: Direct normal and hemispherical irradiance for air mass 1.5*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Nenn-Lebensdauer
Beanspruchungsdauer unter Betriebsbedingungen nach dem Einbau, in welcher die Absorberfläche die Leistungsanforderung erwartungsgemäß erfüllt

3.2 Ausfallzeit
Beanspruchungsdauer während der Prüfung, in welcher die Absorberfläche die Leistungsanforderung erfüllt

3.3 solarer Absorptionsgrad, α_s
Anteil der Sonnenstrahlungsenergie, der von einer Absorberfläche absorbiert wird

3.4 Wärmeemissionsgrad, ε
Wärmeemissionsgrad ist das Verhältnis zwischen der Energie je Flächeneinheit, die eine Oberfläche bei einer gegebenen Temperatur abstrahlt und der entsprechenden Energie, die ein idealer schwarzer Körper bei der gleichen Temperatur abstrahlt

3.5**Funktion des Leistungskriteriums, PC**

die Funktion des Leistungskriteriums ist die Leistungsänderung einer Absorberfläche und wird als Änderungen des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades definiert

4 Anforderungen und Klassifizierung

4.1 Für die Klassifizierung der Beständigkeit der Absorberfläche gilt die folgende Leistungsanforderung:

$$PC = -\Delta\alpha_s + 0,50 \Delta\varepsilon \leq 0,05 \quad (1)$$

Dabei ist

$\Delta\alpha_s$ die Änderung des solaren Absorptionsgrades, definiert als

$$\Delta\alpha_s = \alpha_{s,t} - \alpha_{s,i} \quad (2)$$

dabei entspricht $\alpha_{s,t}$ dem Wert des solaren Absorptionsgrades zum tatsächlichen Prüfzeitpunkt oder bei Betrieb; und

dabei entspricht $\alpha_{s,i}$ dem Anfangswert des solaren Absorptionsgrades;

$\Delta\varepsilon$ die Veränderung des Wärmeemissionsgrades

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_t - \varepsilon_i \quad (3)$$

dabei entspricht ε_t dem Wert des Wärmeemissionsgrades zum tatsächlichen Prüfzeitpunkt oder bei Betrieb; und

dabei entspricht ε_i dem Anfangswert des Wärmeemissionsgrades.

ANMERKUNG 1 Diese Funktion des Leistungskriteriums basiert vorrangig auf der Position gemittelter Leistungswerte typischer Warmwasseranlagen in Wohngebäuden; siehe Verweisung [1]. Allerdings wird in dem in Bezug genommenen Prüfverfahren entsprechend IEA-Task 10 eine leicht abweichende Definition für PC verwendet, und zwar $PC = -\Delta\alpha_s - 0,25 \cdot \Delta\varepsilon$. Von der IEA-Arbeitsgruppe MSTC durchgeführte Untersuchungen haben allerdings erwiesen, dass ein Gewichtungsfaktor von 0,5 für den Wärmeemissionsgrad geeigneter ist; siehe Verweisung [6].

ANMERKUNG 2 Höhere Werte der PC-Funktion können verwendet werden, sofern als besser geeignet angesehen. $PC \leq 0,10$ sollte bedeuten, dass die optische Leistung der Absorberfläche und dadurch auch die Leistung der solaren Warmwasseranlage in Wohngebäuden auf einen Wert verringert werden darf, der 90 % des ursprünglichen Wertes während der Nenn-Lebensdauer entspricht. Zu weiteren Einzelheiten siehe Verweisung [1].

4.2 Vor der Prüfung der Beständigkeit einer Absorberfläche sind alle nach 5.1 entnommenen und vorbereiteten Probekörper hinsichtlich ihres nach 5.2 bestimmten Wertes für den solaren Absorptionsgrad sowie ihres nach 5.3 bestimmten Wertes für den Wärmeemissionsgrad zu beschreiben.

Zur Qualifizierung für die Prüfung muss die Standardabweichung bei dem Satz Probekörper bei den ermittelten Werten für den solaren Absorptionsgrad weniger als 0,01 und bei den ermittelten Werten für den Wärmeemissionsgrad weniger als 0,04 betragen.

4.3 Bei beschichteten Absorberflächen sind drei zusätzliche Probekörper vorzubereiten, und die Haftfestigkeit der Beschichtung auf diesen Probekörpern ist nach 5.4 zu bewerten.

Bei der Qualifizierung des Absorbers für die Prüfung muss die Haftfestigkeit der Beschichtung bei allen Probekörpern $> 0,15$ MPa betragen.

ANMERKUNG 3 Bei ausreichend genauer Betrachtung kann die Haftfestigkeit der Beschichtung durch ein einfacheres Verfahren bewertet werden. Das Verfahren nach ISO 2409, *Paints and varnishes — Cross-cut test* ist anwendbar, und die Anforderung für die zufrieden stellende Haftfestigkeit kann auf einen Wert von 1 festgelegt werden. Andernfalls ist ein geeignetes Verfahren nach ISO 2819, *Metallic coatings on metallic substrates — Electrodeposited and chemically deposited coatings — Review of methods available for testing adhesion* anwendbar.

4.4 Bei einer Absorberfläche, die hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit zu qualifizieren ist, muss das Verfahren zur Beständigkeitsprüfung nach Abschnitt 6 angewendet werden.

Eine Absorberfläche mit ausreichender Wärmebeständigkeit muss die Anforderungen an die Prüfergebnisse nach 6.4 erfüllen.

4.5 Bei einer Absorberfläche, die hinsichtlich ihrer Kondenswasserbeständigkeit bei der Verwendung in einem luftdurchlässigen Sonnenkollektor mit mehr oder weniger ungesteuerter Lüftung zu qualifizieren ist, muss das Verfahren zur Beständigkeitsprüfung nach Abschnitt 7 angewendet werden.

Eine Absorberfläche mit ausreichender Kondenswasserbeständigkeit muss die Anforderungen an die Prüfergebnisse nach 7.4 erfüllen.

4.6 Bei einer Absorberfläche, die hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen Zersetzung zu qualifizieren ist, welche durch Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil als Luftschadstoff verursacht wird, ist das Verfahren zur Beständigkeitsprüfung nach Abschnitt 8 anzuwenden (optional).

Eine Absorberfläche sollte für die Verwendung in zwei Sonnenkollektorklassen qualifiziert werden, die zwei unterschiedliche Schweregrade bezüglich atmosphärischer Korrosivität repräsentieren.

Sonnenkollektor Typ A: Luftdichter Sonnenkollektor oder Sonnenkollektor mit gesteuerter Lüftung im Spalt zwischen Absorberfläche und Abdeckplatte. Die Ober- und Unterseite des Kollektorrahmens sollte mit Lüftungsöffnungen versehen sein. Die atmosphärische Korrosivität auf der Unterseite des Kollektors kann unter Betriebsbedingungen typischerweise einer Korrosionsgeschwindigkeit von Zink von 0,1 g/m² je Jahr entsprechen.

Sonnenkollektor Typ B: Luftdurchlässiger Sonnenkollektor mit mehr oder weniger ungesteuerter Lüftung. Die atmosphärische Korrosivität auf der Unterseite des Kollektors entspricht unter Betriebsbedingungen typischerweise einer Korrosionsgeschwindigkeit von Zink von 0,3 g/m² je Jahr.

Eine Absorberfläche mit ausreichender Beständigkeit gegen Zersetzung, welche durch Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil verursacht wird, muss entweder hinsichtlich nur eines Kollektors vom Typ A oder hinsichtlich Kollektoren der beiden Typen A und B die Anforderungen an die Prüfergebnisse entsprechend 8.6 erfüllen.

5 Prüfverfahren zur Bewertung von Werkstoffeigenschaften als Maß der Absorberleistung

5.1 Probenahme und Vorbereitung der Probekörper

Für Beständigkeitsprüfungen sind Prüfplatten mit einer Absorberfläche von vorzugsweise (50 × 50) mm vorzubereiten. Die Proben sind so aus größeren Stücken der Absorberplatte zu entnehmen, dass Schwankungen der optischen Eigenschaften zwischen den verschiedenen Probekörpern minimiert werden. Zur Durchführung eines vollständigen Prüfprogramms für die Beständigkeit nach diesem empfohlenen Verfahren sind mindestens 21 Prüfplatten erforderlich.

5.2 Solarer Absorptionsgrad

Der Wert des solaren Absorptionsgrades ist durch Messungen des Reflexionsgrades für jede der 21 Prüfplatten nach A.1 zu bestimmen. Für den vollständigen Satz Prüfplatten sind zusätzlich der Mittelwert und die Standardabweichung des solaren Absorptionsgrades zu berechnen.

5.3 Wärmeemissionsgrad

Der Wert des Wärmeemissionsgrades ist ebenfalls für jede der 21 Prüfplatten nach A.2 zu bestimmen. Für den vollständigen Satz Prüfplatten sind zusätzlich der Mittelwert und die Standardabweichung des Wärmeemissionsgrades zu berechnen.

5.4 Haftfestigkeit

Die Haftfestigkeit der Absorberbeschichtung ist entweder nach ISO 4624 (für die Auswahl der Prüfanordnung sind das allgemeine Prüfverfahren für sowohl biegesteife als auch verformbare Trägerwerkstoffe sowie Prüfstempel mit einem Durchmesser von 20 mm anzuwenden) oder mittels eines einfacheren Verfahrens zur Bewertung der Haftfestigkeit zu bestimmen (siehe 4.3); es ist entsprechend der zutreffenden Norm fortzuführen.

6 Prüfungen zur Bewertung der Wärmebeständigkeit von Absorberflächen

6.1 Kurzbeschreibung

6.1.1 Alterung bei hohen Temperaturen wird häufig in vielen technischen Anwendungsgebieten zur Bewertung der Wärmebeständigkeit von Werkstoffen verwendet. Eine hohe Temperatur beschleunigt alle Arten von Prozessen, die gewöhnlich zu einer erhöhten Geschwindigkeit der Werkstoffzersetzung führen. Bei einer selektiven Absorberbeschichtung aus kleinen Metallpartikeln steigert eine hohe Temperatur die Metalloxidation, was hauptsächlich den Absorptionsgrad der Beschichtung verringert.

6.1.2 Wenn sie in einem einzelnen Flachkollektor für die Warmwasserproduktion in Wohngebäuden installiert ist, kann eine Absorberfläche großen Temperaturschwankungen ausgesetzt sein; im Extremfall von -20 °C bis mehr als 200 °C . Als ein Wert für das Ausmaß der Wärmebeanspruchung wird die effektive mittlere Temperatur T_{eff} während eines Betriebsjahres einer Absorberfläche verwendet. Sie wird durch die folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\exp\left(-\frac{E_T}{R} \cdot T_{\text{eff}}^{-1}\right) = \int_{T_{\text{min}}}^{T_{\text{max}}} \exp\left(-\frac{E_T}{R} \cdot T^{-1}\right) \cdot f(T) dT \quad (4)$$

$f(T)$ ist die jahresbezogene Frequenzfunktion der Betriebstemperatur einer Absorberfläche eines Sonnenkollektors, d. h. der Zeitabschnitt eines Jahres, in welchem die Betriebstemperatur innerhalb des Bereiches T bis $T + dT$ liegt.

T_{max} ist die höchste Betriebstemperatur der Absorberfläche im Kollektor, in K.

T_{min} ist die niedrigste Betriebstemperatur der Absorberfläche im Kollektor, in K.

E_T ist die Arrhenius-Aktivierungsenergie, die die Temperaturabhängigkeit einer thermischen Zersetzungsreaktion einer Absorberfläche ausdrückt.

R ist die Konstante der thermischen Zustandsgleichung idealer Gase, die $8,314\text{ J/Kmol}$ beträgt.

6.1.3 Die jahresbezogene Frequenzfunktion $f(T)$ wird durch die äußere klimatische Beanspruchung, die auf den Sonnenkollektor einwirkt, sowie die optischen Eigenschaften der Solarabsorberfläche und der Verglasung bestimmt.

In diesem empfohlenen Verfahren wird angenommen, dass der Sonnenkollektor für 11 Monate eines Jahres in Betrieb ist, tagsüber für die Leitungswasserproduktion, wenn die Temperatur des Sonnenkollektors 40 °C überschreitet. Für einen Monat im Jahr, während des Sommers, befindet sich der Sonnenkollektor im Stillstand. Vom Blickwinkel der thermischen Alterung führt die Temperaturbeanspruchung auf der Solarabsorberfläche ausschließlich an sonnigen Tagen, an denen sich der Sonnenkollektor im Stillstand befindet, zu einer erheblichen thermischen Zersetzung. Die Bezugswärmebeanspruchung oder die Frequenzfunktion der Temperatur für ein Jahr, die die Betriebsbedingungen in diesem empfohlenen Verfahren repräsentiert, entspricht daher 30 Sonnentagen, an denen sich der Kollektor außer Betrieb ist, siehe Bild B.1.

Die auf die Solarabsorberfläche wirkende Temperaturbeanspruchung ist auch abhängig von den optischen Eigenschaften der Absorberfläche, ebenso wie die höchste Temperatur der Absorberfläche unter Stillstandsbedingungen. Die empfohlene Höchsttemperatur der Absorberfläche wird in diesem empfohlenen Verfahren anhand des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades unter Verwendung der in Tabelle B.1 aufgeführten Wechselwirkungen bestimmt. Die Bezugswärmebeanspruchung, bezogen auf die effektive mittlere Temperatur, ist danach als Funktion der Aktivierungsenergie der thermischen Zersetzung unter Verwendung der höchsten Temperatur der Absorberfläche zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Sofern besser geeignet, ist eine andere Frequenzfunktion der Temperatur anwendbar, um die Betriebsbedingungen zu repräsentieren. Die neue, einer spezifischen Aktivierungsenergie entsprechende, effektive mittlere Temperatur kann unter Verwendung von Gleichung (3) berechnet werden.

6.1.4 Zur Bewertung der Wärmebeständigkeit der Absorberfläche werden Kurzzeit-Prüfungen durchgeführt, die die thermische Zersetzung der Absorberfläche bei einer konstant hohen Temperatur verstärken. Die folgende Funktion für die Zeitumrechnung ist zum Umrechnen der Nenn-Lebensdauer von 25 Jahren in die kürzeste zulässige Ausfallzeit, t_R , für eine bei der Temperatur T_R durchzuführenden Prüfung bei konstanter Temperatur zu verwenden.

$$t_R = 25 \cdot 8760 \exp\left(-\frac{E_T}{R} (T_{\text{eff}}^{-1} - T_R^{-1})\right) \quad (5)$$

Dabei ist

T_{eff} die effektive mittlere Temperatur der Absorberfläche, in K, festgelegt durch Gleichung (4). Die effektive mittlere Temperatur schwankt in Abhängigkeit von der Aktivierungsenergie ebenso wie die kürzeste zulässige Ausfallzeit bei einer spezifischen Prüfung bei konstanter Temperatur.

6.1.5 Um festzustellen, ob eine Absorberfläche qualifiziert ist oder nicht, sind die Ergebnisse von mindestens zwei verschiedenen Prüfungen bei konstanter Temperatur erforderlich, es sei denn, die optische Leistung der zu prüfenden Absorberfläche bleibt während der ersten Prüfung unbeeinträchtigt. Der Qualifizierungsplan und die Bedingungen der Temperaturprüfungen werden in den Bildern B.2 bis B.4 bzw. in Tabelle B.2 aufgeführt.

6.2 Prüfgerät

6.2.1 Die zur Bewertung der Wärmebeständigkeit der Absorberfläche zu verwendende Prüfkammer muss so konstruiert sein, dass:

- 1) Prüfungen bei konstanter Temperatur bis zu mindestens 380 °C durchgeführt werden können;

ANMERKUNG 1 Prüfkammern mit Umluftheizung werden vorzugsweise empfohlen gegenüber jenen mit Strahlungsheizung, da in den erstgenannten Prüfkammern die Temperaturdifferenz zwischen dem Messfühler und den Prüfplatten aufgrund gleichförmigerer Temperaturbedingungen geringer ist.

ANMERKUNG 2 Werden Strahlungsöfen verwendet, sind die Temperaturen der Prüfplatten sowie des Temperaturmessfühlers stark abhängig vom Strahlungsaustausch mit dem Heizelement und daher auch von den optischen Eigenschaften der Prüfplatten. In diesem Fall ist es vorzuziehen, die Temperatur der Prüfplatte für die Heizungssteuerung zu messen.

- 2) Die Temperatur muss bei einem Wert von ± 1 °C gehalten werden, sobald nach Prüfbeginn stabile Bedingungen erreicht worden sind;

ANMERKUNG 3 Sogar eine symmetrische Schwankung um die festgelegte Temperatur ergibt eine höhere effektive mittlere Temperatur hinsichtlich der thermischen Zersetzung.

- 3) Die Temperatur innerhalb der Kammer ist so gleichförmig, dass die Schwankung zwischen den gleichzeitig geprüften Absorber-Probekörpern innerhalb eines Bereiches von ± 1 °C liegt, siehe Anmerkungen 1 und 2;

- 4) Während der Abkühlung der Kammer nach Einwirkung hoher Temperatur muss die Geschwindigkeit des Temperaturabfalls mindestens 10 °C/min betragen (von 200 °C bis 100 °C). Falls die Kammer diese Anforderung nicht erfüllt, sind die Prüfplatten unmittelbar nach Ablauf der festgelegten Prüfdauer aus der Kammer zu entnehmen; siehe 6.3.4.

6.2.2 Messgeräte für die optischen Eigenschaften von Absorberflächen entsprechend den Anforderungen sind in Anhang A festgelegt.

6.2.3 Zugprüfmaschine und Prüfstempel für die Messung der Haftfestigkeit von Absorberbeschichtungen entsprechend ISO 4624 sind in 5.4 festgelegt. Wird ein einfacheres Verfahren zur Bewertung der Haftfestigkeit angewendet, siehe 4.3, ist Ausrüstung zu verwenden, die den Anforderungen der zutreffenden Norm zur Bewertung der Haftfestigkeit entspricht.

6.3 Verfahren zur Durchführung von Hochtemperaturprüfungen

6.3.1 Drei Absorberflächenplatten mit bekanntem solaren Absorptionsgrad und Wärmeemissionsgrad und qualifiziert für die Prüfung nach 4.2 sind auszuwählen.

6.3.2 Die Temperatur der Prüfkammer ist bis zum festgelegten Prüfwert zu erhöhen. Nachdem die Temperatur erreicht wurde, sind die Prüfplatten mit Raumtemperatur in die Prüfkammer einzuführen.

6.3.3 Die Prüfplatten sind für die festgelegte Prüfdauer bei diesem Temperaturwert zu halten.

6.3.4 Nach der festgelegten Dauer der Prüfung oder der Unterbrechung zur Messung des Zersetzungsgrades ist die Temperatur in der Prüfkammer auf Raumtemperatur zu senken, mit einer mittleren Geschwindigkeit von mindestens 10 °C/min während der ersten Phase der Abkühlung auf 100 °C unterhalb der festgelegten Prüftemperatur.

ANMERKUNG 4 Falls die Prüfkammer nicht den Anforderungen der oben festgelegten Mindestgeschwindigkeit der Abkühlung entspricht, sind die Prüfplatten unmittelbar nach Ablauf der festgelegten Prüfdauer aus der Prüfkammer zu entnehmen. Die heißen Prüfplatten müssen nach der Entnahme aus der Prüfkammer auf einen wärmedämmenden Werkstoff gelegt werden, um mögliche Schäden durch thermischen Schock zu verringern, welchem die Prüfplatten während des Abkühlens ausgesetzt sind.

6.3.5 Der solare Absorptionsgrad und der Wärmeemissionsgrad der Prüfplatten sind nach Anhang A zu bestimmen.

6.3.6 Anhand der Änderungen des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der Prüfplatten ist die PC-Funktion für jede geprüfte Prüfplatte unter Verwendung von Gleichung (1) zu berechnen; siehe Abschnitt 3. Darüber hinaus ist der Mittelwert der PC-Funktion für die verschiedenen Prüfplatten zu berechnen.

6.3.7 Falls die Prüfung ausschließlich zur Messung des Zersetzungsgrades unterbrochen wurde, sind die Prüfplatten nach der Messung erneut in die Klimakammer einzubringen, nachdem stabile Prüfbedingungen bei den festgelegten Werten bestätigt wurden.

6.4 Qualifizierungsverfahren

6.4.1 Aus den Mittelwerten des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der zu prüfenden Solarabsorberfläche ist die zu erwartende Höchsttemperatur der Absorberfläche T_{\max} unter Verwendung der Tabelle zu bestimmen; siehe auch Bild B.2.

6.4.2 Anhand des Wertes T_{\max} ist die Temperatur T_1 der ersten durchzuführenden Prüfung unter Verwendung von Tabelle B.2 zu bestimmen.

6.4.3 Ein Satz von drei Prüfplatten ist bei T_1 entsprechend 6.3 zu prüfen, und α_s und ε sind nach den Prüfzeiträumen von 36 h, 75 h, 150 h, 300 h und 600 h oder bis Erreichen von $PC = -\Delta\alpha_s + 0,50\Delta\varepsilon > 0,05$ zu messen. Die Zeit t_1 ist anzuwenden als der letzte Prüf-/Messzeitpunkt bei $PC < 0,05$.

6.4.4 Bei $PC \leq 0,01$ nach $t_1 = 600$ h ist die Absorberfläche hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit zu qualifizieren, sofern sie auch die Anforderung an zufrieden stellende Haftfestigkeit nach 4.3 erfüllt.

6.4.5 Bei $PC > 0,05$ bei $t_1 = 300$ h oder $PC > 0,01$ nach $t_1 = 600$ h ist nachzuprüfen, ob die Absorberfläche die Anforderung an die Haftfestigkeit nach 4.3 erfüllt. Ist die Anforderung an die Haftfestigkeit erfüllt, ist nach 6.4.5.1 fortzufahren. Andernfalls ist die Solarabsorberfläche hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit nicht qualifiziert, bis bei Messungen in einer neuen Prüfung nachgewiesen wird, dass die Anforderung an die Haftfestigkeit auf der Solarabsorberfläche nach einer Prüfdauer, die $PC = 0,05$ entspricht, erfüllt ist. Dann ist nach 6.4.5.1 fortzufahren.

6.4.5.1 Tabelle B.2 ist zur Bestimmung des Wertes T_3 zu verwenden, der dem zuvor bestimmten T_{\max} -Wert entspricht. Anhand von Tabelle B.2 ist auch die Prüfdauer t_3 zu bestimmen, die dem zuvor bestimmten t_1 -Wert entspricht; siehe auch Bild B.3.

6.4.5.2 Mit einem neuen Satz von drei Probekörpern ist eine Prüfung bei T_3 für eine Prüfdauer t_3 durchzuführen, und α_s und ε sind zu messen, um PC zu bestimmen.

6.4.5.3 Bei $PC(T_3, t_3) \geq PC(T_1, t_1)$ ist die Absorberfläche hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit qualifiziert.

6.4.6 Bei $PC > 0,05$ bei $t_1 \leq 150$ h ist zu überprüfen, ob die Absorberfläche die Haftfestigkeitsanforderung nach 4.3 erfüllt. Wird die Haftfestigkeitsanforderung nicht erfüllt, ist die Solarabsorberfläche hinsichtlich seiner Wärmebeständigkeit nicht qualifiziert, bis bei Messungen in einer neuen Prüfung nachgewiesen wird, dass die Anforderung an die auf der Solarabsorberfläche nach einer Prüfdauer, die $PC = 0,05$ entspricht, erfüllt ist. Dann ist nach 6.4.5.1 fortzufahren.

6.4.6.1 Tabelle B.2 ist zur Bestimmung des Wertes T_2 zu verwenden, der dem zuvor bestimmten T_{\max} -Wert entspricht. Anhand von Tabelle B.2 ist auch die Prüfdauer t_2 zu bestimmen, die dem zuvor bestimmten t_1 -Wert entspricht; siehe auch Bild B.4.

6.4.6.2 Mit einem neuen Satz von drei Probekörpern ist eine Prüfung bei T_2 für einen Zeitraum t_2 durchzuführen, und α_s und ε sind zu messen, um PC zu bestimmen.

6.4.6.3 Bei $PC(T_2, t_2) \leq PC(T_1, t_1)$ ist die Absorberfläche hinsichtlich ihrer Wärmebeständigkeit qualifiziert.

7 Prüfung zur Bestimmung der Kondenswasserbeständigkeit der Absorberfläche

7.1 Kurzbeschreibung

7.1.1 Hohe Luftfeuchte und die Auswirkung von Feuchtigkeit und Kondenswasser auf Werkstoffe kann mehrere Arten von Zersetzungsreaktionen auslösen. Selektive Absorberbeschichtungen aus anorganischen Oxiden können mitunter Hydratationsreaktionen durchlaufen, die den Wärmeemissionsgrad der Beschichtung erhöhen. Voraussetzung für das Auftreten elektrochemischer Korrosion ist eine hohe Luftfeuchte, was Metalloxidation und dadurch möglicherweise eine Verschlechterung der optischen Leistung der Beschichtung verursacht.

7.1.2 Da das Gehäuse eines Flachkollektors üblicherweise entlüftet wird, bedeutet dies einen Kontakt der Absorberfläche mit der Umgebungsluft. Feuchte Umgebungsluft tritt daher in den Kollektor ein und mitunter ist die Temperatur im Kollektor im Verhältnis zur Luftfeuchte so niedrig, dass Wasserkondensation auftritt. Da Wasserkondensation in den meisten der heutigen Sonnenkollektoren auftritt, sind einige Kollektoren noch nicht einmal regendicht, was bedeutet, dass eine Absorberfläche während ihrer Lebensdauer Beanspruchungszeiträumen in sehr feuchten Umgebungen widerstehen muss. Eine Absorberfläche sollte daher, um entsprechend dieses Verfahrens qualifiziert zu sein, einer Beanspruchung durch eine Luftfeuchte widerstehen, die für einen luftdurchlässigen Sonnenkollektor mit mehr oder weniger ungesteuerter Lüftung im Sonnenkollektor repräsentativ ist.

Der jährliche Zeitabschnitt, in welchem die relative Luftfeuchte im Spalt zwischen Absorber und Abdeckplatte 99 % übersteigt, ist als Höhe der Luftfeuchte bei Betriebsbedingungen zu verwenden. Diese Höhe ist jedoch auch von der effektiven mittleren Temperatur während derartiger Zeiträume bei hoher Luftfeuchte abhängig. Die effektive mittlere Temperatur unter Bedingungen hoher Luftfeuchte ist nach Gleichung (3) festzulegen; siehe 6.1.2. In diesem Fall enthält Gleichung (3) dementsprechend die nachstehend angegebenen Parameter mit folgender Bedeutung:

$f_H(T)$ ist die jahresbezogene Frequenzfunktion für die Betriebstemperatur der Absorberfläche im Sonnenkollektor, wenn der Wert der relativen Luftfeuchte 99 % überschreitet, d. h. der Zeitabschnitt eines Jahres, in welchem die Betriebstemperatur im Bereich T bis $T + dT$ liegt und die relative Luftfeuchte 99 % überschreitet.

$T_{H,max}$, in K, ist die höchste Betriebstemperatur der Absorberfläche im Sonnenkollektor, wenn die relative Luftfeuchte 99 % überschreitet.

$T_{H,min}$, in K, ist gleich 0 °C, da bei dieser Temperatur Eis auf der Absorberfläche gebildet wird.

$E_{H,T}$ ist die Arrhenius-Aktivierungsenergie, welche die Temperaturabhängigkeit einer möglichen Zersetzungsreaktion der Absorberfläche durch die Auswirkung von Kondenswasser ausdrückt.

Bild C.1 zeigt die Funktion $f_H(T)$ dieses empfohlenen Verfahrens.

ANMERKUNG Sofern besser geeignet, können andere Luftfeuchte-/Temperaturdaten verwendet werden, um die Betriebsbedingungen zu repräsentieren. Die neue effektive mittlere Temperatur für spezifische Aktivierungsenergiewerte kann unter Verwendung von Gleichung (3) berechnet werden.

7.1.3 Zur Bewertung der Beständigkeit der Absorberfläche gegen Kondenswasser sind Kurzzeit-Prüfungen bei verschiedenen Temperaturen der Absorberfläche durchzuführen. Um eine konstante Wasserkondensation auf der Oberfläche des Absorbers während der Prüfung zu erreichen, ist die Umgebungsluft bei einer Temperatur zu halten, die 5 K oberhalb der Temperatur der Absorberfläche liegt, sowie bei einer relativen Luftfeuchte von 95 %. Zum Umrechnen der Nenn-Lebensdauer von 25 Jahren in die kürzeste zulässige Ausfallzeit für eine Kurzzeit-Prüfung ist Gleichung (4) anzuwenden; siehe 6.1.4.

Bild C.2 zeigt die kürzeste zulässige Ausfallzeit als Funktion der Aktivierungsenergie für eine Reihe von Prüfungen bei konstanter Kondensation.

7.1.4 Um festzustellen, ob eine Absorberfläche qualifiziert ist oder nicht, sind die Ergebnisse von mindestens zwei verschiedenen Prüfungen bei konstanter Kondensation für zwei unterschiedliche Temperaturen erforderlich. Dieses empfohlene Verfahren beinhaltet die Durchführung von Prüfungen bei Absorberflächentemperaturen von 40 °C und 30 °C bzw. von bei 40 °C und 60 °C.

7.2 Prüfgerät

7.2.1 Die zu verwendende Klimakammer muss so konstruiert sein, dass:

- 1) klimatische Bedingungen, die von Raumtemperatur und 50 % relativer Luftfeuchte bis mindestens 65 °C und 95 % relativer Luftfeuchte reichen, während der Prüfung erreicht, gesteuert und überwacht werden können;
- 2) die Temperatur bei einem Wert von ± 1 °C und die relative Luftfeuchte bei ± 3 % gehalten werden können bezüglich der besonderen klimatischen Bedingungen während der Prüfung.

7.2.2 Gekühlte Probenhalter zur Temperatursteuerung der Prüfplatten in der Klimakammer sind so zu konstruieren, dass:

- 1) die Prüfplatten so daran befestigt werden können, dass die Prüfplatten voneinander und vom Probenhalter elektrisch isoliert sind;
- 2) die Prüfplatten in gutem Wärmekontakt mit dem Probenhalter stehen, der für die Kühlung und Temperatursteuerung der Prüfplatten verwendet wird;
- 3) die Prüfplatten in einem Winkel von 45° zur Waagerechten anzubringen sind;
- 4) die Temperatur des Probenhalters zur Steuerung der Prüftemperatur gemessen werden kann. Dies kann vorzugsweise durch Verwendung eines Pt100-Silizium-Foliensensors erfolgen, der an der Oberfläche des Probenhalters haftet;
- 5) für den Probenhalter während der gesamten Dauer eine konstante Temperatur von $\pm 0,5$ °C gehalten wird.

Ein geeigneter Probenhalter aus Aluminium, der für diese Prüfung verwendet werden kann, wird in Anhang D festgelegt.

ANMERKUNG Für die Sicherstellung einer hohen Wiederholbarkeit der Kondensationsprüfungen ist das vorsichtige Anbringen der Prüfplatte auf dem Probenhalter ausschlaggebend. Eine dünne Schicht einer elektrisch isolierenden Wärmeleitpaste in Verbindung mit einer Folie zur Abstandskontrolle, die z. B. aus Teflon besteht, kann vorzugsweise verwendet werden, um guten Wärmekontakt zu gewährleisten. Dadurch wird auch bimetallische Korrosion verhindert.

7.2.3 Messgeräte für optische Eigenschaften von Absorberflächen, die den Anforderungen entsprechen, sind in Anhang A festgelegt.

7.2.4 Zugprüfmaschine und Prüfstempel für die Messung der Haftfestigkeit von Absorberbeschichtungen entsprechend ISO 4624 sind in 5.4 festgelegt. Falls ein einfacheres Verfahren zur Bewertung der Haftfestigkeit angewendet wird, siehe 4.3, ist Ausrüstung zu verwenden, die den Anforderungen der zutreffenden Norm zur Bewertung der Haftfestigkeit entspricht.

7.3 Verfahren zur Durchführung von Prüfungen bei konstanter Kondensation

7.3.1 Drei Absorberflächenplatten mit bekanntem solaren Absorptionsgrad und Wärmeemissionsgrad und qualifiziert für die Prüfung nach 4.2 sind auszuwählen.

7.3.2 Die Temperatur der Klimakammer ist auf einen Wert von 5,0 K oberhalb der festgelegten Prüftemperatur für die Prüfplatten und die relative Luftfeuchte in der Klimakammer ist auf 95 % einzustellen. Ferner ist die Temperatur des thermostatischen Bades so einzustellen, dass die Temperatur des Probenhalters in der Klimakammer die festgelegte Prüftemperatur erreicht.

7.3.3 Nach dem Erreichen stabiler Bedingungen sind die Prüfplatten auf dem Probenhalter zu befestigen. Die Prüfdauer beginnt, sobald das erste Kondenswasser auf der Oberfläche der Prüfplatten beobachtet wurde.

7.3.4 Nach Ablauf der festgelegten Dauer der Prüfung bzw. der Unterbrechung zur Messung des Zersetzungsgrades sind die Prüfplatten aus der Prüfkammer zu entnehmen und das überschüssige Kondenswasser ist mit sauberem wasserabsorbierendem Papier vorsichtig von der Oberfläche der Prüfplatten zu entfernen.

7.3.5 Die Prüfplatten sind unter üblichen klimatischen Laborbedingungen für mindestens 2 h zu konditionieren. Der solare Absorptionsgrad und der Wärmeemissionsgrad der Prüfplatten sind nach Anhang A zu bestimmen.

7.3.6 Aus der Veränderung des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der Prüfplatten ist die PC-Funktion für jede geprüfte Prüfplatte unter Verwendung von Gleichung (1) zu berechnen; siehe Abschnitt 3. Darüber hinaus ist der Mittelwert der PC-Funktion für verschiedene Prüfplatten zu berechnen.

7.3.7 Falls die Prüfung ausschließlich zur Messung des Zersetzungsgrades unterbrochen wurde, sind die Prüfplatten nach der Messung erneut in die Klimakammer einzubringen, nachdem stabile Prüfbedingungen bei den festgelegten Werten bestätigt wurden.

7.4 Qualifizierungsverfahren

7.4.1 Eine Prüfung bei konstanter Kondensation ist an Prüfplatten bei 40 °C durchzuführen, mit Unterbrechungen für Messungen des Zersetzungsgrades nach 80 h, 150 h, 300 h und 600 h, wie in 7.3 festgelegt.

7.4.2 Abhängig vom mittleren PC-Wert nach 600 h Prüfung ist wie folgt fortzufahren:

Bei Prüfung einer beschichteten Absorberfläche ist zuerst zu prüfen, ob die Beschichtung hinsichtlich der Haftfestigkeit nach 7.4.3 qualifiziert ist sowie:

- 1) bei $PC \leq 0,015$, ob die Absorberfläche hinsichtlich der Kondenswasserbeständigkeit qualifiziert ist;
- 2) bei $0,015 < PC \leq 0,05$ ist nach 7.4.9 fortzufahren;
- 3) bei $PC > 0,05$ nach 80 h Prüfdauer ist eine neue Prüfung bei 40 °C für 40 h durchzuführen. Ist $PC > 0,05$ nach 150 h, 300 h und 600 h Prüfung, sind neue Prüfungen bei 40 °C für 115 h, 225 h bzw. 450 h durchzuführen. Die neue Prüfung ist bis zu ihrem Ende ohne weitere Unterbrechungen für Messungen durchzuführen. Nachdem der PC-Wert im Anschluss an die Prüfung bestimmt wurde, ist nach 7.4.4 fortzufahren.

7.4.3 Bei Prüfung einer beschichteten Absorberfläche ist die Haftfestigkeit der Beschichtung auf allen Prüfplatten nach 5.4 zu messen, entweder nachdem ein mittlerer PC-Wert $> 0,05$ erstmalig in der Prüfung bei 40 °C und konstanter Kondensation erreicht wurde oder nach 600 h Prüfung.

Wird die Haftfestigkeitsanforderung nach 4.3 nicht erfüllt, ist die Solarabsorberfläche hinsichtlich ihrer Kondenswasserbeständigkeit nicht qualifiziert.

7.4.4 Nachdem der mittlere Wert von PC als $> 0,05$ bestimmt und eine neue Prüfung bei 40 °C und konstanter Kondensation durchgeführt wurde, sollte anhand der Interpolationsergebnisse die Ausfallzeit geschätzt werden oder, anders ausgedrückt, der Prüfzeitraum, der $PC = 0,05$ entspricht. Vorzugsweise ist für diese Abschätzung ein numerisches oder graphisches Verfahren zu verwenden, wobei anzunehmen ist, dass der Auftrag von PC in Abhängigkeit von der Prüfdauer durch eine Polynomreihe einer Ordnung dargestellt werden kann, die die beste Anpassung an die gesammelten Prüfdaten ergibt.

7.4.5 Der geschätzte Wert der Ausfallzeit ist für die Prüfung bei 40 °C zu verwenden, und die zugehörige oder die niedrigste zulässige Aktivierungsenergie ist anhand des 40 °C-Graphs in Bild C.2 zu bestimmen.

7.4.6 Dieser Wert ist für die Aktivierungsenergie zu verwenden, und anhand des 30 °C-Graphs in Bild C.2 ist die zugehörige oder die kürzeste zulässige Ausfallzeit für die Absorberfläche in einer Prüfung bei 30 °C zu bestimmen.

7.4.7 Eine Prüfung bei konstanter Kondensation ist bei 30 °C entsprechend 7.3 für eine Prüfdauer durchzuführen, die der kürzesten zulässigen Ausfallzeit nach 7.4.6 entspricht.

7.4.8 Abhängig vom mittleren PC-Wert, der nach einer Prüfung bei 30 °C ermittelt wurde, ist Folgendes zu schlussfolgern:

- 1) bei $PC > 0,05$ ist die Absorberfläche hinsichtlich der Kondenswasserbeständigkeit nicht qualifiziert;
- 2) bei $PC \leq 0,05$ ist die Absorberfläche hinsichtlich der Kondenswasserbeständigkeit qualifiziert.

7.4.9 Bei $0,015 < PC \leq 0,05$ nach einer Prüfung bei 40 °C für 600 h ist nach 7.4.2 eine dritte Art von Prüfung bei konstanter Kondensation durchzuführen, einschließlich einer Beanspruchung bei 60 °C für eine Dauer von 85 h, wie in 7.3 festgelegt.

ANMERKUNG Bei Beschichtungen aus anodisiertem Aluminium darf diese hohe Temperatur nicht verwendet werden. In diesem Fall ist eine Prüfung bei 30 °C durchzuführen, die eine Prüfdauer von 1 500 h erfordert. Falls die PC nach dieser Prüfdauer niedriger als der nach 600 h Prüfung bei 40 °C bestimmte PC-Wert ist, muss die Beschichtung hinsichtlich ihrer Kondenswasserbeständigkeit qualifiziert werden. Ist jedoch die PC nach Prüfung bei 30 °C höher als der nach 600 h Prüfung bei 40 °C bestimmte PC-Wert, wird eine eingehendere Untersuchung der Kondenswasserbeständigkeit empfohlen.

7.4.10 In Abhängigkeit von dem nach der Prüfung bei 60 °C erzielten PC-Wert ist Folgendes zu schlussfolgern:

- 1) ist der PC-Wert nach 85 h in der Prüfung bei 60 °C höher als der PC-Wert nach 600 h in der Prüfung bei 40 °C, ist die Absorberfläche hinsichtlich der Kondenswasserbeständigkeit qualifiziert;
- 2) ist der PC-Wert nach 85 h in der Prüfung bei 60 °C geringer als der oder gleich dem PC-Wert nach 600 h in der Prüfung bei 40 °C, kann nicht darauf geschlossen werden, ob die Absorberfläche als qualifiziert zu betrachten ist oder nicht; daher wird eine eingehendere Untersuchung der Kondenswasserbeständigkeit empfohlen.

7.4.11 Das zu verwendende Qualifizierungsverfahren ist in Bild C.3 schematisch dargestellt.

8 Prüfung zur Bestimmung der Korrosionsbeständigkeit der Absorberfläche in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil

8.1 Kurzbeschreibung

8.1.1 Viele Luftschadstoffe, wie als Spurenstoff in der Luft enthaltenes Schwefeldioxid, beschleunigen bekanntlich die elektrochemische Korrosion der meisten metallischen Werkstoffe bei hoher Luftfeuchte stark. Da ein Sonnenkollektor im Luftaustausch mit seiner Umgebung steht, bedeutet dies auch den Transport von Luftschadstoffen in den Kollektor und die Absorberfläche. Luftschadstoffe können daher das optische Langzeit-Verhalten eines Absorbers durch Korrosionsangriffe auf den metallischen Trägerwerkstoff beeinträchtigen. Luftschadstoffe können somit aufgrund der Oxidation/Korrosion metallischer Partikel zum Verlust der optischen Leistung von selektiven Absorberbeschichtungen führen, die mit kleinen metallischen Partikeln pigmentiert sind.

8.1.2 Aufgrund der komplexen Natur einer durch Luftschadstoffe verursachten Zersetzung wird hier die atmosphärische Korrosivität betrachtet, die durch die Beanspruchung von Standardplatten aus Metall nach ISO 9226 festgelegt wird. Genauer gesagt, wird die Korrosionsgeschwindigkeit von Zink als Schweregrad umweltbedingter Beanspruchung einer Absorberfläche in Kollektoren angenommen, und Schwefeldioxid wird als der vorherrschende Luftschadstoff hinsichtlich der Zersetzung der Absorberfläche angesehen. Entsprechend 4.6 werden hier zwei Schweregrade in Zusammenhang mit zwei Kollektorarten angewendet, für die Korrosionsgeschwindigkeiten von Zink festgelegt sind.

ANMERKUNG 1 Sofern besser geeignet, können andere Werte atmosphärischer Korrosivität verwendet werden, um die Betriebsbedingungen zu repräsentieren. Die neuen Werte atmosphärischer Korrosivität können auch hinsichtlich Korrosionsgeschwindigkeiten anderer Metalle als Zink verwendet werden, sofern besser geeignet.

8.1.3 Zur Bewertung der Beständigkeit der Absorberfläche gegen atmosphärische Korrosion, wird eine Beanspruchung in Luft mit hoher Luftfeuchte und einer geringen Schwefeldioxidkonzentration (1 ppm) angewendet. Zum Umrechnen der Nenn-Lebensdauer von 25 Jahren in die jeweilige kürzeste zulässige Ausfallzeit für die zwei Schweregrade wird das Prinzip der Vergleichsprüfung angewendet. D. h. es wird angenommen, dass die Umrechnungsfunktion der Zeit für die Verschlechterung optischer Eigenschaften der Absorberfläche der für die Korrosion von Zink entspricht.

ANMERKUNG 2 Bei der Untersuchung von nickelpigmentierten anodisierten Aluminiumbeschichtungen von Absorbern nach Verweisung [1] wurde angenommen, dass die Umrechnungsfunktion der Zeit für die Zersetzung der nickelpigmentierten anodisierten Aluminiumbeschichtungen dieselbe wie für die Zinkkorrosion ist. Die Angemessenheit dieser Annahme wurde gestützt durch Ergebnisse von Messungen der Ablagerungsmengen von Schwefeldioxid auf dieser Art Beschichtung sowohl während Laborprüfungen einschließlich Beanspruchung in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil auch während Betriebsprüfungen von Absorbern in Kollektoren; siehe auch Verweisung [4].

8.1.4 Für die Schlussfolgerung, ob eine Absorberfläche qualifiziert ist oder nicht, sind die Ergebnisse einer Prüfung erforderlich, die eine Beanspruchung in Umluft mit einer relativen Luftfeuchte von 95 %, einer Temperatur von 20 °C und mit einem Volumenanteil von Schwefeldioxid von 10^{-6} beinhaltet. Die Prüfung ist im Wesentlichen nach ISO 10062 durchzuführen.

8.2 Prüfgerät

8.2.1 Die Klimakammer mit Innenkammer und Gasdurchflusssystem, muss den Anforderungen nach ISO 10062 entsprechen. Ein Beispiel einer geeigneten Ausführung wird in Anhang D gezeigt.

Die zu verwendende Prüfausrüstung muss wie folgt konstruiert sein:

- 1) Die Innenkammer und das Gasdurchflusssystem bestehen aus inerten Werkstoffen, z. B. Teflon oder Glas, um die Adsorption von Schwefeldioxid an andere Oberflächen als die der Prüfplatten zu verhindern oder zu minimieren;
- 2) Das Einleitungssystem für den Luftstrom und das Schwefeldioxid ist ausgelegt, um gleichförmige Prüfbedingungen in der Innenkammer oder dem Arbeitsbereich der Kammer sicherzustellen;

ANMERKUNG 1 Bei der gebräuchlichsten Ausführung der Prüfausrüstung wird die Prüfatmosfera im Arbeitsbereich durch fortwährende Einleitung der erforderlichen Menge an Schwefeldioxid in einen feuchten Luftstrom erzielt, um die erforderliche Konzentration zu erreichen. Schwefeldioxid und konditionierte Luft werden außerhalb der Prüfkammer gemischt. Die konditionierte Luft wird der äußeren Kammer der Klimakammer entnommen. Der Luftstrom wird dann nach der Einleitung des Schwefeldioxids mit einem Luftstrom aus rückgeführter Prüfatmosfera gemischt und der resultierende Gasstrom in die Innenkammer oder den Arbeitsbereich der Kammer eingelassen. Die Hälfte der durch die Innenkammer strömenden Prüfatmosfera, kann rückgeführt werden.

Um gleichförmige Prüfbedingungen im Arbeitsbereich sicherzustellen, ist die Prüfatmosfera in den Arbeitsbereich vom Boden her einzuleiten und oben abzuleiten. Perforierte Platten werden vor den Öffnungen angebracht, um einen gleichförmigen Durchfluss durch den Arbeitsbereich sicherzustellen.

- 3) Die Gleichförmigkeit der Temperatur im Arbeitsbereich muss innerhalb ± 1 °C und die Gleichförmigkeit der relativen Luftfeuchte innerhalb ± 3 % sein liegen. Hinsichtlich der Korrosivität, ausgedrückt als Korrosionsgeschwindigkeit genormter Metalle, muss die Gleichförmigkeit mindestens 5 % betragen;

ANMERKUNG 2 Die Gleichförmigkeit der Prüfbedingungen im Arbeitsbereich kann regelmäßig durch die Beanspruchung einer Anzahl von Kupferscheiben geprüft werden, die an unterschiedlichen Stellen des Arbeitsbereiches während der Beanspruchung mit Schwefeldioxid angeordnet werden. Die Unterschiede der Gewichtsänderungen der Metallscheiben zeigen an, ob die Gleichförmigkeit der Prüfbedingungen innerhalb des festgelegten Bereiches liegt.

- 4) Der Durchfluss feuchter Luft muss innerhalb der Grenzabweichung von ± 1 °C für die festgelegte Temperatur und von ± 3 % für die relative Luftfeuchte liegen, und der lineare Luftdurchfluss muss innerhalb eines Bereiches von 1 mm/s bis 5 mm/s liegen. Der feuchte Luftstrom muss frei von Wassertropfen und Aerosolen sein;

ANMERKUNG 3 Bei der gebräuchlichsten Ausführung der Prüfausrüstung wird die Luft in die Außenkammer der Kammer nach Filtrierung und Reinigung durch Aktivkohle- und Partikelfilter zugeführt. Das Schwefeldioxidgas kann aus einem Druckbehälter zugeführt werden, der mit hochreinem Schwefeldioxidgas mit einem Volumenanteil von 10^{-3} in hochreinem Stickstoffgas gefüllt ist.

- 5) Für die Beanspruchung von Prüfplatten im Arbeitsbereich sind die Probekörperhalterungen so einzusetzen, dass die Prüfplatten einander nicht verdecken oder die Gleichförmigkeit des Luftstroms durch die Kammer stören;
- 6) Temperatur, relative Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil der Luft am Auslass des Arbeitsbereiches werden so überwacht, dass sie den tatsächlichen Prüfbedingungen für die Prüfplatten entsprechen.

8.2.2 Messgeräte für die optischen Eigenschaften von Absorberflächen entsprechend den Anforderungen sind in Anhang A festgelegt.

8.2.3 Zugprüfmaschine und Prüfstempel für die Messung der Haftfestigkeit von Absorberbeschichtungen entsprechend ISO 4624 sind in 5.4 festgelegt. Falls ein einfacheres Verfahren zur Bewertung der Haftfestigkeit verwendet wird, siehe 4.3, ist Ausrüstung zu verwenden, die den Anforderungen der zutreffenden Norm zur Bewertung der Haftfestigkeit entspricht.

8.3 Vergleichsprobekörper

Zur Messung der Korrosivität im Arbeitsbereich während der Prüfung sind Standard-Prüfplatten aus Zink zu verwenden.

Die Prüfplatte aus Zink weist vorzugsweise Abmessungen von 50 mm × 100 mm × 1 mm auf, und der Grad der Verunreinigung muss geringer als 0,5 % sein.

Vor der Prüfung sind die Prüfplatten sorgfältig mit einem Kohlenwasserstofflösemittel zu reinigen, um alle Anhaftungen von Schmutz, Öl oder Fremdstoffen zu entfernen, die die Ergebnisse der Bestimmung der Korrosionsgeschwindigkeit beeinflussen können. Nach dem Trocknen muss es möglich sein, die Platte auf 0,1 mg genau zu wiegen.

Nach der Prüfung sind die Korrosionsprodukte auf der Zinkplatte entsprechend ISO 8407 zu entfernen und der Massenverlust des Metalls ist zu bestimmen. Zum Entfernen der Korrosionsprodukte ist ein Lösemittel mit 5 % (Massenanteil) Essigsäure in destilliertem Wasser zu verwenden. Während des chemischen Entfernens der Korrosionsprodukte ist bei Raumtemperatur mit Reinigungszyklen von etwa 2 min Länge zu arbeiten. Der Massenverlust des metallischen Zinks ist in mg/m² auszudrücken.

8.4 Verfahren zur Durchführung der Prüfung auf Korrosionsbeständigkeit in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil

8.4.1 Drei Absorberflächenplatten mit bekanntem solaren Absorptionsgrad und Wärmeemissionsgrad und qualifiziert für die Prüfung nach 4.2 sind auszuwählen.

8.4.2 Die Klimakammer ist für die Prüfung vorzubereiten, indem zuerst die Temperatur auf 20 °C, die Luftfeuchte auf 95 % und die Luftdurchflussmenge auf einen ausgewählten Wert zwischen 1 mm/s und 5 mm/s einzustellen sind. Nach dem Erreichen stabiler Bedingungen ist der Schwefeldioxidgasdurchfluss auf den festgelegten Wert einzustellen, so dass am Einlass des Arbeitsbereiches ein Volumenanteil des Schwefeldioxids im Luftstrom von 10⁻⁶ erreicht wird.

8.4.3 Nach dem Erreichen stabiler Bedingungen auch nach diesem Schritt ist die Tür der Kammer zu öffnen und die Prüfplatten sind gemeinsam mit den Vergleichsplatten schnell in den Arbeitsbereich einzubringen. Nach einer Dauer von höchstens 5 % der festgelegten Prüfdauer muss die Schwefeldioxidkonzentration im Luftstrom am Auslass des Arbeitsbereiches mindestens 90 % der Konzentration im Luftstrom am Einlass betragen. Ist die Schwefeldioxidkonzentration im Luftstrom am Auslass geringer, bedeutet dies wahrscheinlich, dass die Gesamtfläche der Prüfplatten in der Kammer zu groß ist. Während der Prüfung sind die Beanspruchungsbedingungen regelmäßig zu überprüfen und gegebenenfalls auf die festgelegten Werte einzustellen.

8.4.4 Nach Ablauf der festgelegten Dauer der Prüfung oder der Unterbrechung zur Messung des Ausmaßes der Verschlechterung der optischen Leistung der Prüfplatten sind diese aus dem Arbeitsbereich der Kammer zu entnehmen und in einen Exsikkator über Kieselgel für mindestens 2 h einzubringen. Der solare Absorptionsgrad und der Wärmeemissionsgrad der Prüfplatten sind entsprechend Anhang A zu bestimmen.

8.4.5 Anhand der Veränderung des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der Prüfplatten ist die PC-Funktion für jede geprüfte Prüfplatte unter Verwendung von Gleichung (1), siehe Abschnitt 3, zu berechnen. Ferner ist der Mittelwert der PC-Funktion für verschiedene Prüfplatten zu berechnen.

8.4.6 Falls die Prüfung ausschließlich zur Messung des Ausmaßes der Verschlechterung unterbrochen wurde, sind die Prüfplatten nach der Messung erneut in den Arbeitsbereich einzubringen, nachdem stabile Prüfbedingungen bei den festgelegten Werten bestätigt wurden.

8.5 Bestimmung der kürzesten zulässigen Ausfallzeiten in der Prüfung unter Verwendung von Vergleichsproben

8.5.1 Ist die Korrosionsgeschwindigkeit von Zink unter den Prüfbedingungen nach 8.4 nicht von vorhergehenden Beanspruchungen in der verwendeten Prüfausrüstung bekannt, ist wie folgt fortzufahren.

8.5.2 Eine Korrosionsprüfung nach 8.4 ist an drei Paaren von Vergleichsprüfplatten aus Zink mit bekannter Anfangsmasse durchzuführen; siehe 8.3. Die Prüfung ist nach 90 h, 180 h und 360 h zu unterbrechen und bei jeder Unterbrechung ist ein Paar der Zinkplatten aus der Kammer zu entnehmen für die Bestimmung des während der Prüfung durch Korrosion verursachten Massenverlustes an metallischem Zink; siehe 8.3.

8.5.3 Es wird angenommen, dass der Massenverlust an metallischem Zink in Abhängigkeit von der Prüfdauer linear ist, und die mittlere Korrosionsgeschwindigkeit von Zink r_{Zn} unter den in 8.4 festgelegten Prüfbedingungen wird durch das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt. Der Wert für r_{Zn} wird in $\text{mg/m}^2, \text{h}$ ausgedrückt.

8.5.4 Die mittlere Korrosionsgeschwindigkeit von Zink ist zu verwenden und die folgenden kürzesten zulässigen Ausfallzeiten, in h, bei der Prüfung nach 8.4 wie folgt zu bestimmen:

- 1) für einen Sonnenkollektor Typ A, siehe Abschnitt 4: kürzeste zulässige Ausfallzeit, $t_{f,A} = 2,5/r_{Zn}$;
- 2) für einen Sonnenkollektor Typ B, siehe Abschnitt 4: kürzeste zulässige Ausfallzeit, $t_{f,B} = 7,5/r_{Zn}$.

8.6 Qualifizierungsverfahren

8.6.1 Eine Korrosionsbeständigkeitsprüfung ist für $t_{f,B}$ h, wie in 8.4 festgelegt, durchzuführen, einschließlich einer Prüfunterbrechung zur Messung des Zersetzungsgrades nach $t_{f,A}$ h. Ist ausschließlich die Qualifizierung des Schweregrades für den Sonnenkollektor vom Typ A erforderlich, ist die Prüfung nach $t_{f,A}$ h abzuschließen.

8.6.2 Bei Prüfung einer beschichteten Absorberfläche ist nach 5.4 auch die Haftfestigkeit der Beschichtung auf allen Platten nach der Prüfung zu messen.

Wird die Haftfestigkeitsanforderung nach 4.3 nicht erfüllt, ist die Absorberfläche hinsichtlich des Langzeitverhaltens nicht qualifiziert.

8.6.3 Abhängig von dem nach zwei Prüfzeiten entsprechend 8.6.1 erzielten mittleren PC-Wert ist hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit von Absorberflächen Folgendes zu schlussfolgern:

- 1) Bei $PC < 0,05$ nach einer Prüfdauer von $t_{f,A}$ h ist die Absorberfläche für den Schweregrad für den Sonnenkollektor vom Typ A qualifiziert, sofern beschichtete Absorberflächen auch die Anforderung nach 8.6.2 erfüllen.
- 2) Bei $PC < 0,05$ nach einer Prüfdauer von $t_{f,B}$ h ist die Absorberfläche für den Schweregrad für den Sonnenkollektor vom Typ B qualifiziert, sofern beschichtete Absorberflächen auch die Anforderung nach 8.6.2 erfüllen.

9 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die folgenden Angaben enthalten:

- a) Verweisung auf dieses empfohlene Verfahren;
- b) Art und Bezeichnung des geprüften Absorberflächenproduktes;
- c) alle Abweichungen vom beschriebenen Prüfverfahren;
- d) Verfahren zur Bewertung der Haftfestigkeit, sofern geeignet, sowie die verwendete Anforderung an eine zulässige Haftfestigkeit;
- e) Prüfergebnisse;
- f) ausgewählte oder festgelegte höchste Stillstandstemperatur;
- g) Prüfstelle;
- h) Datum von Beginn und Ende der Prüfungen;
- i) Gültigkeitsdauer.

Anhang A (normativ)

Verfahren zur Bestimmung des solaren Absorptionsgrades und des Wärmeemissionsgrades der Absorberfläche

A.1 Bewertung des solaren Absorptionsgrades

A.1.1 Anwendungsbereich

Diese Verfahrensweise legt ein Verfahren zur Bestimmung des gerichteten solaren Absorptionsgrades α_S für annähernd senkrechten Einfall, d. h. 8° bis 10° zur Flächennormalen, anhand der Werte des gerichteten spektralen Absorptionsgrades $\alpha(\lambda)$ im Spektralbereich von $0,30\ \mu\text{m}$ bis $2,5\ \mu\text{m}$ fest. Die Werte des gerichteten spektralen Absorptionsgrades $\alpha(\lambda)$ werden aus den Werten des (annähernd senkrecht) gerichteten/hemisphärischen spektralen Reflexionsgrades $\rho(\lambda)$ bestimmt, gemessen auf undurchsichtigen Proben von Solarabsorberflächen bei Raumtemperatur.

A.1.2 Prüfgerät

Die Werte des (annähernd senkrecht) gerichteten/hemisphärischen spektralen Reflexionsgrades $\rho(\lambda)$ sind mittels photometrischer Integration unter Verwendung eines Spektralphotometers mit integrierender Kugel zu bestimmen. Die Kugelwand muss mit einer stark und diffus reflektierenden Beschichtung versehen sein, z. B. BaSO_4 . In die photometrische Integration ist die spiegelnde Komponente reflektierter Strahlung einzuschließen.

Die Kugel muss so ausgeführt sein, dass die Probe während der Messung Teil der Kugelwand ist. Der Detektor muss so positioniert werden, dass er gegen direkt von der Probe emittierte Strahlung geschützt ist.

Die Geometrie der Kugel muss vorzugsweise die Verwendung eines Vergleichsverfahrens ermöglichen, d. h. Probe und Vergleichsprobe sind gleichzeitig Teil der Kugelwand.

ANMERKUNG 1 Bei der Verwendung eines Substitutionsverfahrens, d. h. Probe und Vergleichsprobe bedecken abwechselnd die Messöffnung, ist der Fehler der Kugel durch Messen der jeweiligen Helligkeit der Kugelwand zu korrigieren.

Für Kalibrierungszwecke ist ein diffus reflektierender Weiß-Standard (z. B. von NIST bereitgestellt) als Vergleichsstandard zu verwenden.

A.1.3 Messung der Werte des Reflexionsgrades

Der solare Absorptionsgrad ist unter Verwendung des Verfahrens der gewichteten Ordinaten zu bewerten, siehe A.1.5.

Der Reflexionsgrad ist bei mindestens 40 Wellenlängen im Bereich von $0,30\ \mu\text{m}$ bis $2,50\ \mu\text{m}$ zu messen.

A.1.4 Bewertung der Werte des spektralen Absorptionsgrades

Der annähernd senkrechte/hemisphärische spektrale Reflexionsgrad der Probe $\rho(\lambda)$ ist unter Verwendung folgender Gleichung zu berechnen:

$$\rho(\lambda) = (R_S(\lambda)/R_r(\lambda)) \cdot \rho_r(\lambda) \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

- $R_s(\lambda)$ der aufgezeichnete Wert des Reflexionsgrades der Probe;
- $R_r(\lambda)$ der aufgezeichnete Wert des Reflexionsgrades der Vergleichsprobe;
- $\rho_r(\lambda)$ der annähernd senkrechte/hemisphärische Reflexionsgrad der Vergleichsprobe.

Der Wert des spektralen gerichteten Reflexionsgrades $\alpha(\lambda)$ wird berechnet als:

$$\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda) \quad (\text{A.2})$$

A.1.5 Bewertung des solaren Absorptionsgrades

Der solare Absorptionsgrad α_s wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\alpha_s = \left(\sum_{i=1}^n (\alpha(\lambda_i) \cdot S_{\lambda_i} \cdot \Delta\lambda_i) \right) / \left(\sum_{i=1}^n S_{\lambda_i} \cdot \Delta\lambda_i \right) \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist

- die Reihe von λ_i die ausgewählten Messwellenlängen;
- $\Delta\lambda_i$ das jeweilige Wellenlängenintervall;
- S_{λ_i} die globale spektrale Sonnenbestrahlungsstärke nach ISO 9845-1, Tabelle 1 (hemisphärische solare spektrale Bestrahlungsstärke, Einfall auf eine um 37° geneigte, zum Äquator gerichtete Ebene). Die Werte von S_{λ_i} sind für die gemessenen Wellenlängen durch Interpolation zu bestimmen und korrekt über dem jeweiligen Wellenlängenintervall zu summieren.

ANMERKUNG Der Wert für $1,678 \mu\text{m}$ in ISO 9845-1, Tabelle 1 ist als 212,5 statt 121,5 zu lesen.

A.1.6 Entscheidende Faktoren bei der Bewertung des solaren Absorptionsgrades

Bei der Bewertung des solaren Absorptionsgrades von Absorberflächen nach diesem Verfahren ist eine mögliche Anisotropie der Proben zu beachten, d. h. die Proben sind zu kennzeichnen, um das Befestigen der Proben an der Messöffnung zu ermöglichen, wobei dieselbe Ausrichtung zu verwenden und sicherzustellen ist, dass dieselben Bereiche von Proben erneut gemessen werden. Bei Ermittlung der Zersetzungs-Zeit-Verhältnisse in einer Beständigkeitsprüfung sollten an einer einzelnen Probe Messungen des Zersetzungsgrades nach unterschiedlichen Prüfzeiträumen vorgenommen werden.

A.2 Bewertung des Wärmeemissionsgrades

A.2.1 Anwendungsbereich

Diese Verfahrensweise legt Verfahren fest zur Bestimmung:

- a) der gerichteten Gesamtstrahlungsdichte $\varepsilon_n(T)$ für annähernd senkrechten Einfall;

Diese Menge wird aus Messungen des gesamten hemisphärischen/gerichteten Reflexionsgrades $\rho(T)$ abgeleitet für die von einem schwarzen Körperstrahler bei Temperatur T einfallende Wärmestrahlung. Die Gesamtstrahlungsdichte für annähernd senkrechten Einfall wird angegeben durch:

$$\varepsilon_n(T) = 1 - \rho(T) \quad (\text{A.4})$$

b) der annähernd senkrecht gerichteten spektralen Strahlungsdichte $\varepsilon(\lambda)$;

Zur Bestimmung dieser Größe wird zuerst die gerichtete/hemisphärische spektrale Strahlungsdichte $\rho(\lambda)$ gemessen, woraus sich die gerichtete spektrale Strahlungsdichte als $\varepsilon_n(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$ ergibt. Für die gewichtete Integration mit Planck'scher Verteilung für einen schwarzen Körperstrahler bei einer gewählten Temperatur T wird abschließend $\varepsilon_n(T)$ entsprechend A.2.3 erzielt.

Sobald das Reflexionsverfahren verwendet wird, muss der Durchlässigkeitsgrad innerhalb des gemessenen Spektralbereiches Null betragen.

Der zutreffende Spektralbereich liegt zwischen 2,0 μm und 50,0 μm . Der Einfallswinkel- oder Emissionswinkel ist auf annähernd 90° beschränkt, d. h. 8° bis 10° zur Flächennormalen. Die Temperatur der Probe entspricht der Raumtemperatur.

ANMERKUNG Die meisten IR-Spektrometer sind auf kleinere Wellenlängenbereiche begrenzt. Dann muss ein Extrapolationsverfahren für größere Wellenlängen angewendet werden, oder die Bewertung von $\varepsilon_n(T)$ ist auf ein kleineres Intervall zu beschränken (z. B. 2 μm bis 17 μm oder 2 μm bis 25 μm); siehe A.2.3.

A.2.2 Prüfgerät

Zur Bestimmung der Strahlungsdichte aus spektralen Messungen, ist ein Spektrophotometer mit einer Kugelwand mit diffus reflektierender Goldbeschichtung für die photometrische Integration zu verwenden. Die spiegelnde Komponente reflektierter Strahlung ist in die photometrische Integration einzuschließen.

Für die Ausführung der Kugel gelten die in A.1.2 festgelegten Anforderungen.

Für Kalibrierungszwecke werden stark spiegelnde Vergleichsproben (z. B. Gold oder Aluminium) empfohlen.

A.2.3 Bewertung des Wärmeemissionsgrades

Zur Bewertung von $\varepsilon_n(T)$ aufgrund spektraler Messungen im Wellenlängenbereich von 2,0 μm bis 50,0 μm ist folgendes Verfahren zu verwenden.

Der annähernd senkrechte/hemisphärische spektrale Reflexionsgrad der Probe $\rho(\lambda)$ ist unter Verwendung der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$\rho(\lambda) = (R_S(\lambda)/R_r(\lambda)) \cdot \rho_r(\lambda) \quad (\text{A.5})$$

Dabei ist

$R_S(\lambda)$ der aufgezeichnete Wert des Reflexionsgrades der Probe;

$R_r(\lambda)$ der aufgezeichnete Wert des Reflexionsgrades der Vergleichsprobe;

$\rho_r(\lambda)$ der annähernd senkrechte/hemisphärische Reflexionsgrad der Vergleichsprobe.

Da keine Korrektur einer möglichen Verzerrung des Messergebnisses möglich ist, wenn eine spiegelnde Komponente reflektierter Strahlung vorhanden ist, wird der gerichtete spektrale Reflexionsgrad $\varepsilon(\lambda)$ berechnet als:

$$\varepsilon(\lambda) = 1 - \rho(\lambda) \quad (\text{A.6})$$

Die Gesamtstrahlungsdichte der spektralen Messungen $\varepsilon(T)$ wird verbunden mit der Planck'schen Funktion $P_{\lambda}(T)$ für einen schwarzen Körperstrahler mit Temperatur T :

$$\varepsilon(T) = \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon(\lambda_i) \cdot P_{\lambda_i}(T) \cdot \Delta\lambda_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n P_{\lambda_i}(T) \cdot \Delta\lambda_i \right) \quad (\text{A.7})$$

Dabei ist/sind

die Reihe von λ_i die ausgewählten Wellenlängen der Messung;

$\Delta\lambda_i$ das jeweilige Wellenlängenintervall;

$P_{\lambda_i}(T)$ ist der Wert der Planck'schen Funktion für die Strahlung schwarzer Körper bei den/der ausgewählten Wellenlängen und Temperatur.

ANMERKUNG 1 Werte für die Planck'sche Funktion können z. B. den meisten Physikbüchern entnommen werden.

Die Temperatur T muss, sofern nicht anders festgelegt, 100 °C betragen.

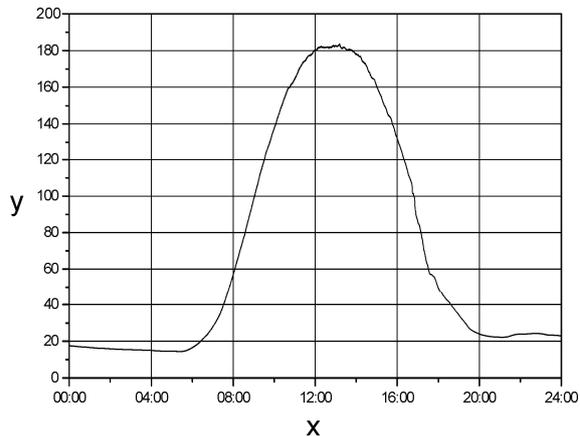
ANMERKUNG 2 Falls Daten für $\varepsilon(\lambda)$ ausschließlich für Wellenlängen bis zu einer Grenze von beispielsweise 25 μm verfügbar sind, kann $\varepsilon(\lambda)$ bis zu 50 μm als konstant und damit gleichwertig angesehen werden, und $\varepsilon(T)$ kann unter Verwendung von Gleichung (A.7) berechnet werden. Alternativ dazu kann $\varepsilon(T)$ unter Verwendung von Daten nur bis zur Grenze des IR-Spektrometers von beispielsweise 25 μm bestimmt werden.

A.2.4 Entscheidende Faktoren bei der Bewertung des Wärmeemissionsgrades mittels Spektralmessung

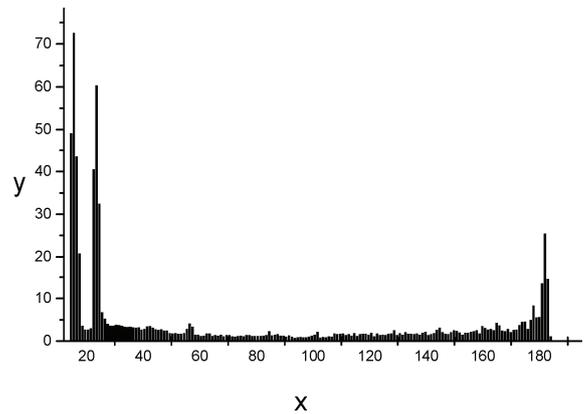
Bei der Bewertung des Wärmeemissionsgrades der Absorberfläche mittels Spektralmessungen sind dieselben Faktoren zu beachten wie in A.1.6 festgelegt.

Anhang B (normativ)

Temperatur und Ausfallzeit in der Bewertung der Wärmebeständigkeit von Absorberflächen



a)



b)

Legende

x Zeit, in h
y T_{abs} , in °C

Legende

x T_{abs} , in °C
y f_i , in h

**Bild B.1 — a) Bezugstemperaturbeanspruchung für einen Sonnentag/
b) Frequenzfunktion der Bezugstemperaturbeanspruchung für 30 Tage bei klarem Himmel**

Bezugswärmebeanspruchung zur Bewertung der Wärmebeständigkeit der Absorberfläche: (a) gemessene Temperaturen der Solarabsorberflächen bei Stillstand während eines Tages bei klarem Himmel; (b) entsprechende Frequenzfunktion der Temperatur für 30 Tage bei klarem Himmel.

Das Temperaturprofil der selektiven Absorberfläche ($\alpha_s = 0,94$ und $\varepsilon = 0,06$) wurde gemessen in einem handelsüblichen Flachkollektor in Freiburg/Deutschland mit südlicher Ausrichtung und einem Neigungswinkel von 45° . Das Profil wurde am 25.08.1997 mit einer maximalen Globalstrahlung von mehr als 930 W/m^2 in der Kollektorebene gemessen. Die höchste Stillstandstemperatur betrug 184°C .

Das Verhältnis zwischen den optischen Eigenschaften und der möglichen Höchsttemperatur T_{max} einer Solarabsorberfläche ist nach Tabelle B.1 zu prüfen. Die Zeile „ $\alpha(\text{AR})$ “ ist für die Solarabsorberflächen zu verwenden, die in Sonnenkollektoren mit antireflektierender Verglasung eingesetzt werden, welche zu höheren Stillstandstemperaturen führt.

Prüfbedingungen für die verschiedenen beschleunigten Temperaturprüfungen, die für die Qualifizierung der Solarabsorberfläche angewendet werden; siehe Tabelle B.2.

Tabelle B.2 — Prüfbedingungen für die verschiedenen beschleunigten Temperaturprüfungen bei der Qualifizierung der Solarabsorberfläche

T_{\max} (°C)	T_1 (°C)	T_2 (°C)	t_2 (h) ($t_1 = 18$ h)	t_2 (h) ($t_1 = 36$ h)	t_2 (h) ($t_1 = 75$ h)	t_2 (h) ($t_1 = 150$ h)	T_3 (°C)	t_3 (h) ($t_1 = 300$ h)	t_3 (h) ($t_1 = 600$ h)
< 90	137	107	361	493	689	953	167	83	221
91 bis 100	149	119	321	443	627	877	179	88	233
101 bis 110	160	130	283	397	570	8	190	93	244
111 bis 120	172	142	251	356	519	746	202	98	256
121 bis 130	184	154	222	320	474	690	214	103	267
131 bis 140	196	166	198	289	434	641	226	108	278
141 bis 150	208	178	177	262	400	598	238	114	289
151 bis 155	215	185	168	250	384	578	245	116	294
156 bis 160	221	191	159	239	369	559	251	119	299
161 bis 165	227	197	151	229	355	542	257	121	304
166 bis 170	233	203	144	219	42	525	263	124	309
171 bis 175	240	210	137	210	330	510	270	127	314
176 bis 180	246	216	131	201	319	495	276	129	319
181 bis 185	252	222	125	193	308	481	282	132	323
186 bis 190	259	229	120	186	298	468	289	134	328
191 bis 195	265	235	114	179	289	456	295	136	333
196 bis 200	272	242	110	173	280	444	302	139	337
201 bis 205	278	248	105	166	272	433	308	141	342
206 bis 210	285	255	101	161	264	423	315	144	346
211 bis 215	291	261	97	155	256	413	321	146	350
216 bis 220	298	268	94	150	249	403	328	148	355
221 bis 225	304	274	90	146	243	394	334	151	359
226 bis 230	311	281	87	141	236	386	341	153	363

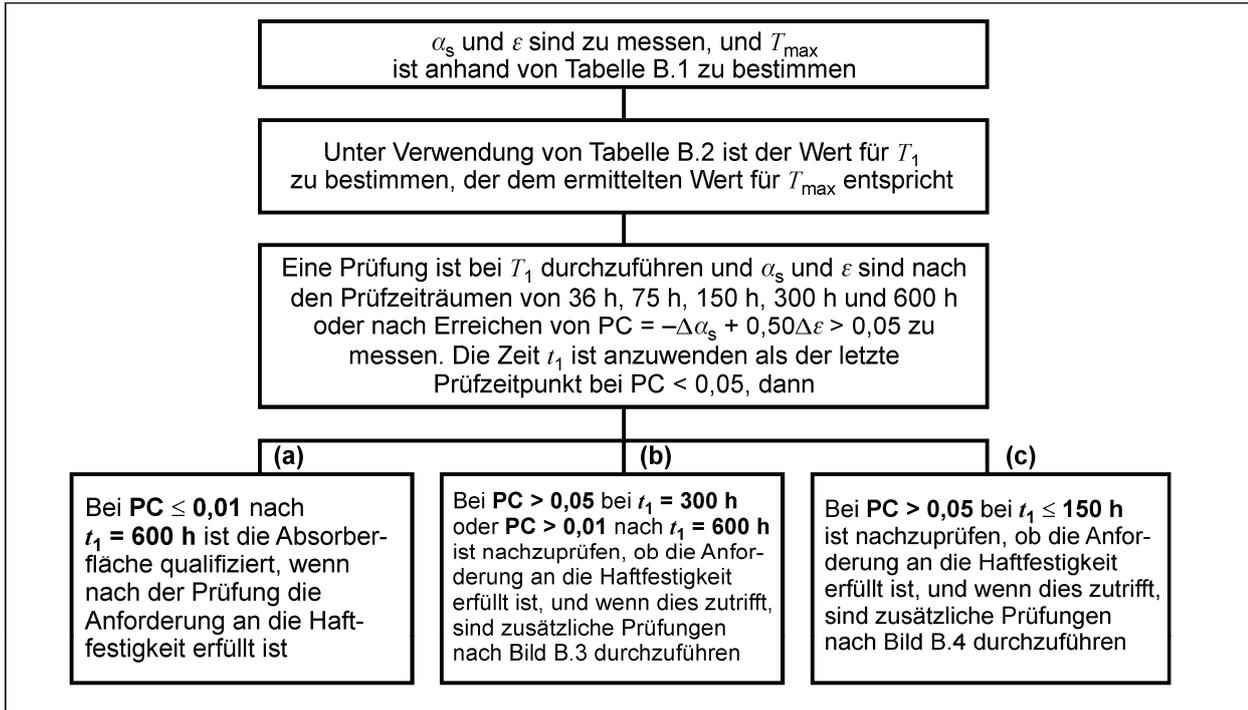


Bild B.2 — Qualifizierungsschema für die Prüfung der Wärmebeständigkeit von Solarabsorberflächen

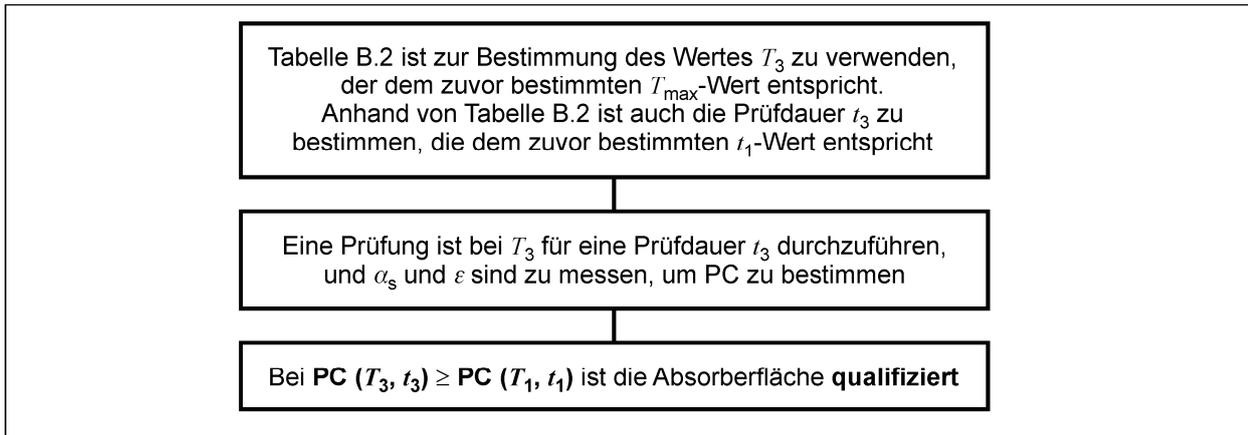


Bild B.3 — Fortsetzung des Qualifizierungsschemas in Bild B.2 für die Option (b)

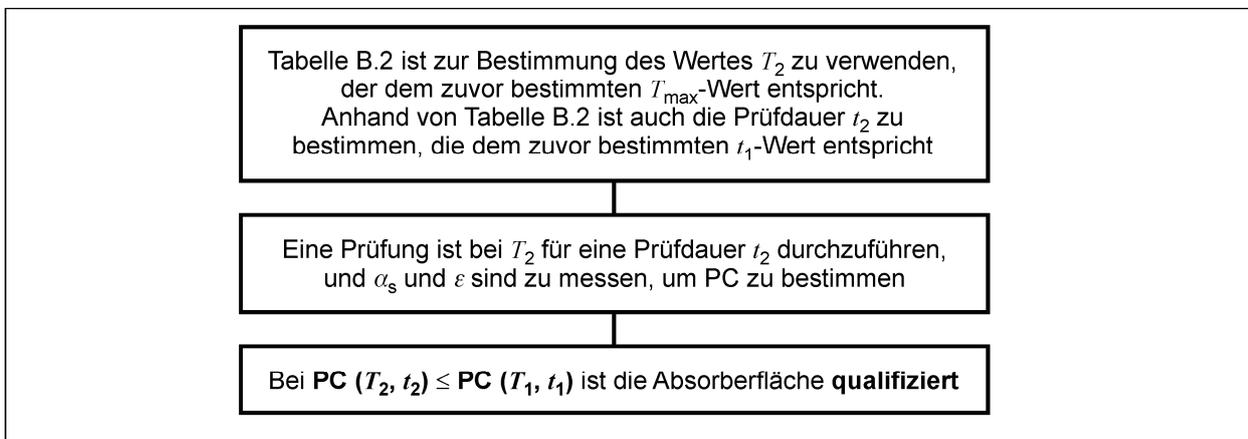
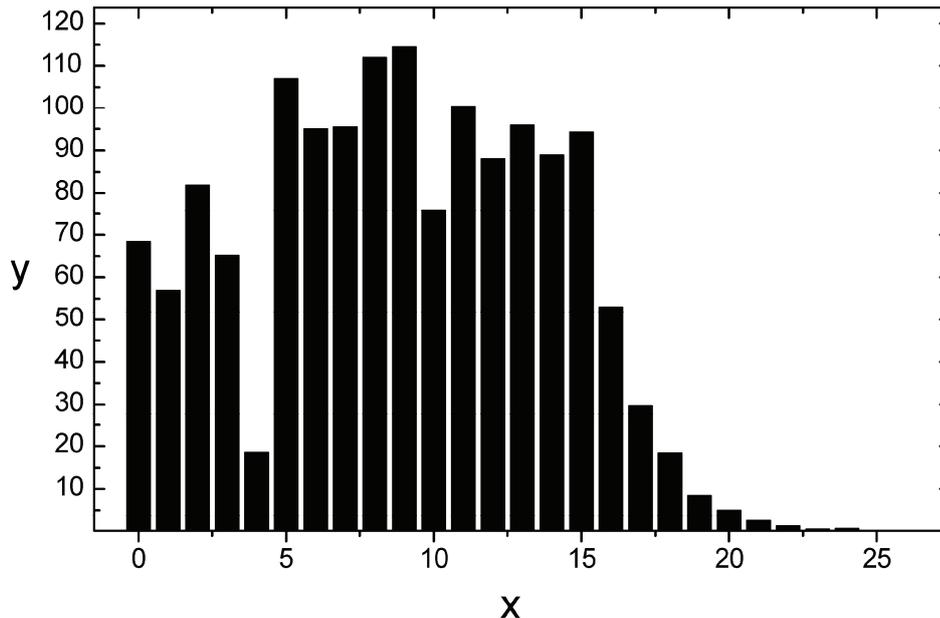


Bild B.4 — Fortsetzung des Qualifizierungsschemas in Bild B.2 für die Option (c)

Anhang C
(normativ)

Eigenschaften von Temperatur/Kondensation und Ausfallzeit in Zusammenhang mit dem Qualifizierungsschema für die Bewertung der Kondenswasserbeständigkeit von Absorberflächen



Legende

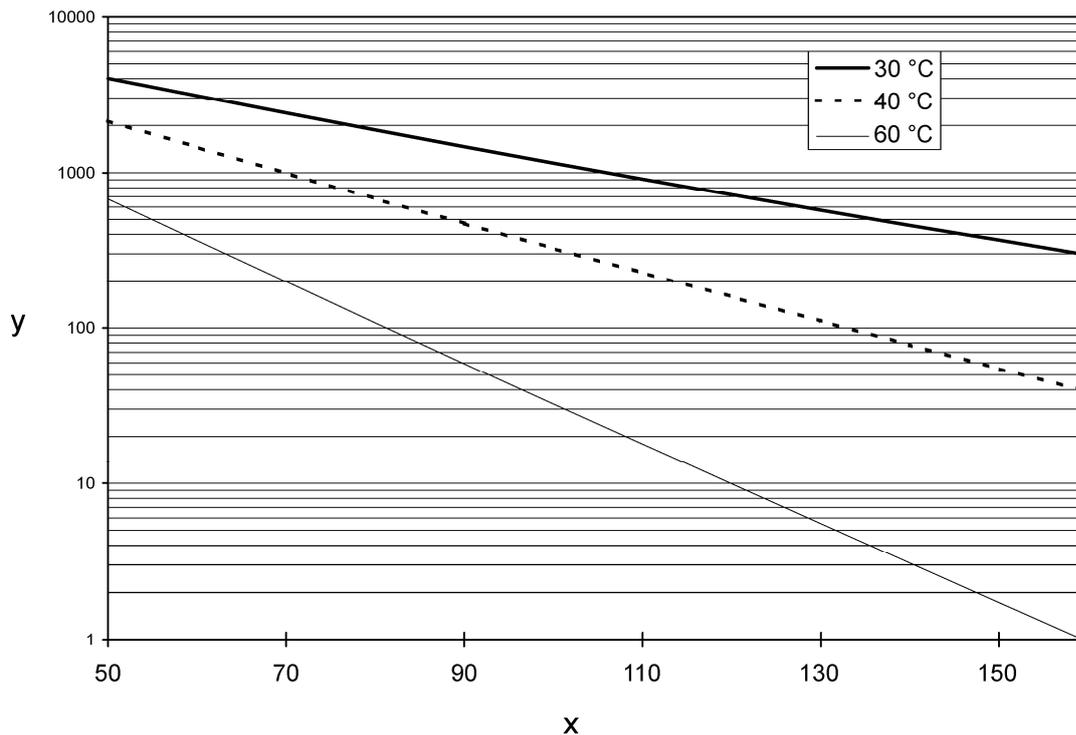
x Temperatur in °C
y h/y

Bild C.1 — In dieser Norm verwendete jährliche Bezugsbeanspruchung durch Luftfeuchte/Kondensation

Die in dieser Norm verwendete jährliche Bezugsbeanspruchung durch Luftfeuchte/Kondensation. Die Frequenzfunktion der Temperatur repräsentiert die Bedingungen bei einer relativen Luftfeuchte von $\geq 99\%$ während des Bezugsjahres.

Tabelle C.1 — Numerische Daten für das Bezugstemperaturhistogramm in Bild C.1

Temp. (°C)	f (h/Jahr)						
-5	0,00	3	17,53	11	48,58	19	2,75
-4	0,67	4	32,31	12	38,98	20	2,83
-3	2,17	5	41,33	13	49,88	21	1
-2	6,08	6	21,98	14	56,83	22	0,33
-1	14,13	7	34,13	15	54,06	23	0,17
0	39,30	8	35,09	16	32,66	24	0,17
1	26,66	9	34,43	17	17,28	25	0,00
2	35,88	10	19,88	18	6,09		



Legende

- x Aktivierungsenergie, in kJ/mol
- y Ausfallzeit von Prüfungen, in h

Bild C.2 — Ausfallzeit als eine Funktion der Aktivierungsenergie

Kürzeste zulässige Ausfallzeit für Absorberflächen in verschiedenen Kondensationsprüfungen, angegeben als eine Funktion der Aktivierungsenergie für die Zersetzungsreaktion. Die angegebene Ausfallzeit entspricht einer Lebensdauer von 25 Jahren mit $PC < 0,05$.

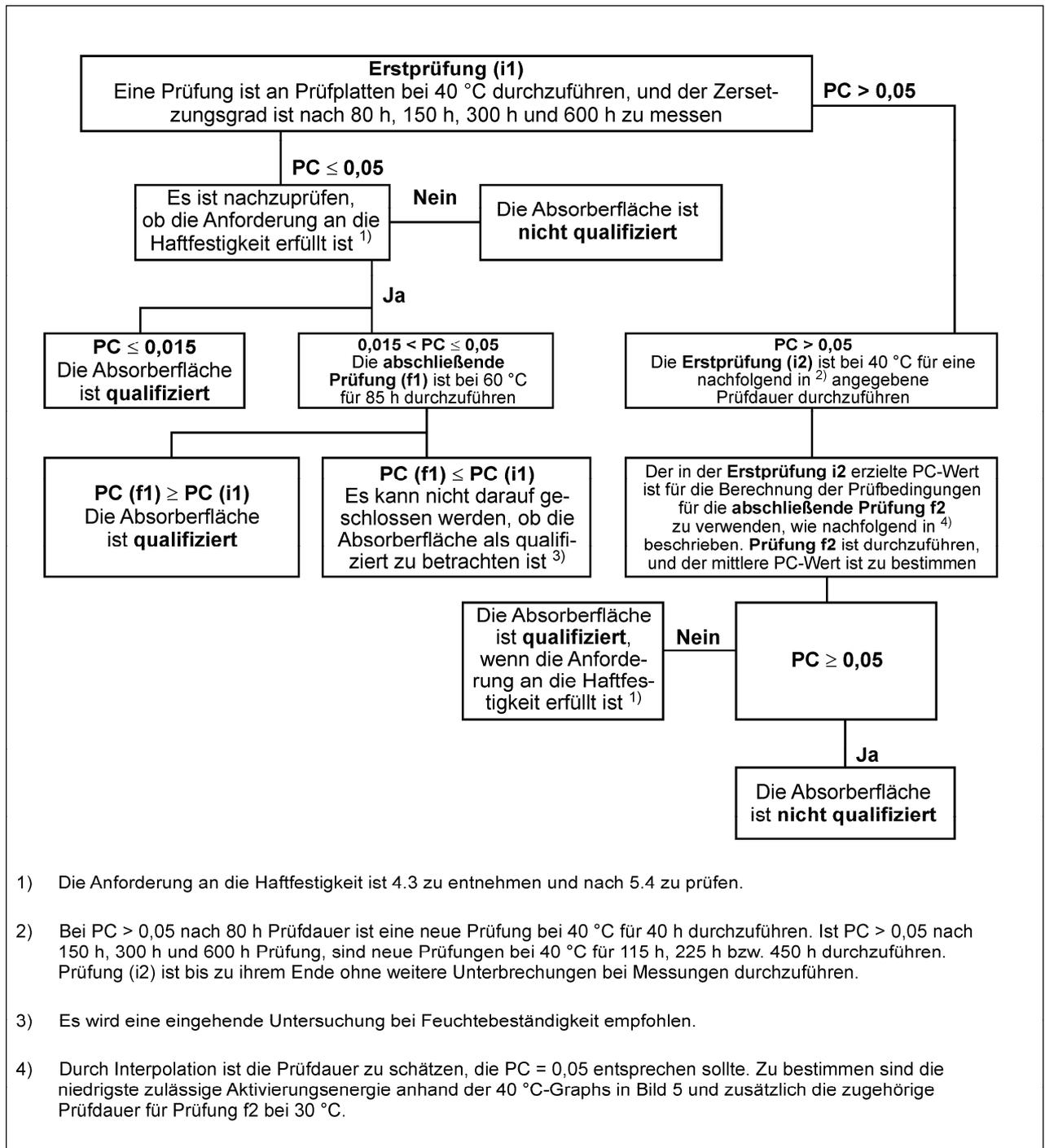
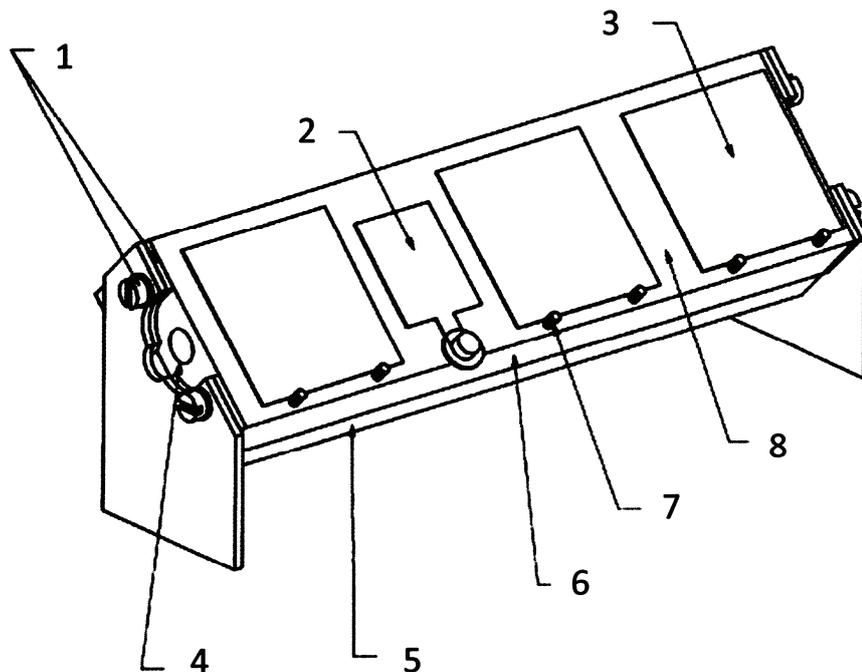


Bild C.3 — Prüfverfahren zur Qualifizierung der Beständigkeit gegen Kondenswasser auf einer Absorberfläche

Anhang D (informativ)

Geeignete Prüfgerätausführungen für die Qualifizierungsprüfung von Solarabsorberflächen



Legende

- 1) Wärmedämmung
- 2) Pt100-Foliensensor
- 3) Absorberprobe mit Wärmeleitpaste
- 4) Einlass für Kühlflüssigkeit bei einer Mindest-Durchflussmenge von 90 l/h
- 5) Wärmedämmung
- 6) Aluminiumblock, 220 mm × 50 mm × 20 mm
- 7) Anschlagstift aus Kunststoff
- 8) 0,1 mm PTFE-Folie, elektrische Isolierung

Bild D.1 — Kombiniertes Probenhalter und Kühlkörper für die Kondensationsprüfung

Bild D.1 zeigt eine schematische Darstellung eines geeigneten kombinierten Probenhalters und Kühlkörpers für die Kondensationsprüfung. Proben werden an der PTFE-beschichteten Oberfläche des Kühlkörpers mit Hilfe einer Wärmeleitpaste befestigt.

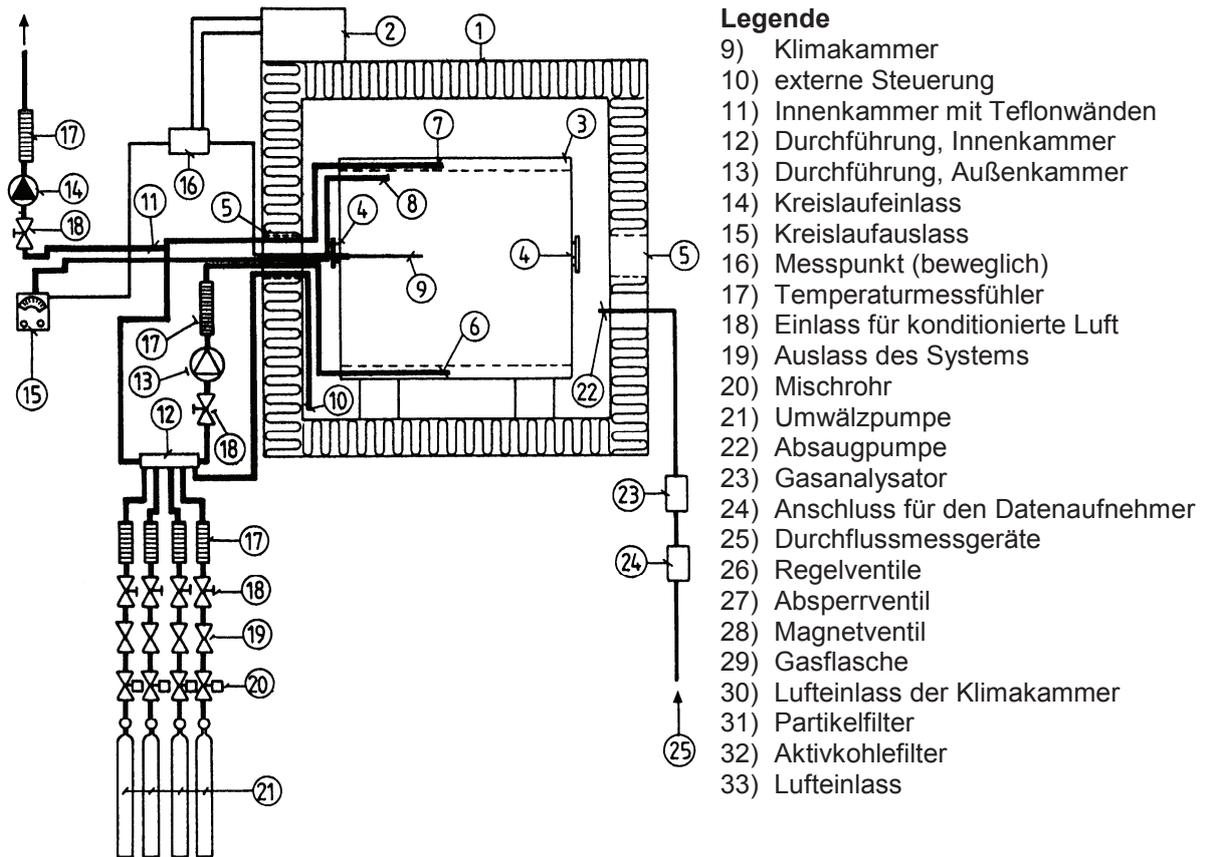


Bild D.2 — Schematische Darstellung der Klimakammer für die Korrosionsprüfung mit SO₂

Geeignete Klimakammer für die Verwendung in Korrosionsprüfungen mit Beanspruchung in Luft mit hoher Luftfeuchte und Schwefeldioxidanteil.

Literaturhinweise

- [1] Accelerated Life Testing of Solar Energy Materials – Case study of some selective solar absorber for DHW systems; A Technical report of Task X Solar Materials Research and Development of the International Energy Agency Solar Heating and Cooling Program; B. Carlsson, U. Frei, M. Köhl, K. Möller; SP-Report 1994:13, ISBN 91-7848-472-3
- [2] Qualification Test Procedure for Solar Absorber Surface Durability, B. Carlsson, K. Möller, M. Köhl, U. Frei, S. Brunold, (2000), *Solar Energy Materials and Solar Cells* 61, 225-275
- [3] Accelerated Life Testing of Solar Absorber Coatings: Testing Procedure and Results, S. Brunold, U. Frei, B. Carlsson, K. Möller, M. Köhl, (2000), *Solar Energy* 68, 313-323
- [4] Comparison between Predicted and Actually Observed In-Service Degradation of a Nickel Pigmented Anodized Aluminium Absorber for Solar DHW Systems B. Carlsson, K. Möller, U. Frei, S. Brunold, M. Köhl, (2000), *Solar Energy Materials and Solar Cells* 61, 223-238
- [5] Round Robin on Accelerated Life Testing of Solar Absorber Surface Durability, S. Brunold, U. Frei, B. Carlsson, K. Möller, M. Köhl, (2000), *Solar Energy Materials and Solar Cells* 61, 239-253
- [6] Advanced procedure for the assessment of the lifetime of solar absorber coatings, M. Köhl, M. Heck, S. Brunold, U. Frei, B. Carlsson und K. Möller, *Solar Energy Merials and Solar Cells*, Bd. 84, Ausg. 1-4, Oktober 2004, S. 275-289
- [7] A study of the reflection factor of usual photometric standards in the near infrared, L. Morren, G. Vandermeersch und P. Antoine; *Lighting Res, and Techn*, 4 (1972), 243