

DIN EN 14500

ICS 91.060.50

Entwurf

Einsprüche bis 2018-07-04
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 14500:2008-08

**Abschlüsse –
Thermischer und visueller Komfort –
Prüf- und Berechnungsverfahren;
Deutsche und Englische Fassung prEN 14500:2018**

Blinds and shutters –
Thermal and visual comfort –
Test and calculation methods;
German and English version prEN 14500:2018

Fermetures et stores –
Confort thermique et lumineux –
Méthodes d'essai et de calcul;
Version allemande et anglaise prEN 14500:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-05-04 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 nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, 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 166 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)
DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14500:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 33 „Türen, Tore, Fenster, Abschlüsse, Baubeschläge und Vorhangfassaden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-09-01 AA „Türen, Tore, Fenster, Abschlüsse, Baubeschläge und Vorhangfassaden (SpA zu CEN/TC 33 und ISO/TC 162)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

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

Änderungen

Gegenüber DIN EN 14500:2008-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich überarbeitet;
- b) Normative Verweisungen überarbeitet;
- c) Begriffe überarbeitet;
- d) Abschnitt 4 überarbeitet;
- e) Abschnitt 5 überarbeitet;
- f) Abschnitte 6 bis 8 als Abschnitte 6 bis 10 überarbeitet;
- g) Anhänge A bis D überarbeitet;
- h) Anhänge E bis G ergänzt.

Abschlüsse — Thermischer und visueller Komfort — Prüf- und Berechnungsverfahren

Fermetures et stores — Confort thermique et lumineux — Méthodes d'essai et de calcul

Blinds and shutters — Thermal and visual comfort — Test and calculation methods

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9d

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	8
3.1 Prozesse	8
3.2 Kenngrößen	9
3.3 Winkeldefinitionen	10
4 Verwendete Bezeichnungen	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Visuelle oder solare Eigenschaften	13
4.3 Geometrie der Strahlung	13
4.4 Optische Faktoren	14
5 Prüf- und Berechnungsverfahren für die Anwendung entsprechend dem Produkt – Leitlinien	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Jalousien und Lüftungsgitter	15
5.3 Rollos	16
5.4 Faltstores	16
5.5 Ausstellmarkisen	16
5.6 Abschlüsse	16
6 Bestimmung des Transmissionsgrades und Reflexionsgrades mit einer Ulbrichtschen Kugel	17
6.1 Messgrundsätze	17
6.1.1 Spektrale und integrale Verfahren	17
6.1.2 Absolute und relative Verfahren (nach CIE 130)	17
6.2 Messgeräte	18
6.2.1 Allgemeines	18
6.2.2 Gerät zur Bestrahlung	18
6.2.3 Gerät für den Nachweis	21
6.3 Vergleichsproben	24
6.4 Messproben	25
6.4.1 Allgemeines	25
6.4.2 Messproben mit gerichteten Merkmalen	25
6.4.3 Messproben mit streuenden Eigenschaften	25
6.4.4 Dicke lichtdurchlässige Proben	26
6.5 Messverfahren	26
6.5.1 Allgemeines	26
6.5.2 Aufwärmphase	27
6.5.3 Vorabprüfungen der Proben	27
6.5.4 Prüfverfahren A – Ulbrichtsche Einstrahlkugel (Substitutionsverfahren)	30
6.5.5 Prüfverfahren B – „quasi-simultane“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel	37
6.5.6 Prüfverfahren C – „sequenzielle“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel	45
7 Bestimmung von τ_{n-n} und $\tau_{dir-dir}$ durch direkte Messung	49

7.1	Messprinzip	49
7.2	Messgeräte	49
7.2.1	Allgemeines	49
7.2.2	Gerät zur Bestrahlung	49
7.2.3	Gerät für den Nachweis	49
7.2.4	Gerät zur genauen Positionierung der optischen Komponenten und der Probe	50
7.3	Messproben	50
7.4	Messverfahren	50
7.4.1	Bestimmung von τ_{n-n}	50
7.4.2	Bestimmung von $\tau_{dir-dir}$	53
8	Bestimmung des Abschirmwinkels	54
8.1	Allgemeines	54
8.2	Messung eines richtungsabhängigen Abschirmwinkels $\chi_{dir}(\varphi)$ für einen spezifischen Drehwinkel φ	55
8.3	Bestimmung aller richtungsabhängigen Abschirmwinkel χ_{dir}	56
8.4	Bestimmung des Abschirmwinkels χ	57
9	Bestimmung der Verdunkelungsleistung von Sonnenschutzeinrichtungen und der Lichtdurchlässigkeit von Behangmaterialien	57
9.1	Allgemeines	57
9.2	Qualifizierung des Beobachters und Prüfbedingungen	57
9.3	Proben	58
9.4	Prüfeinrichtung	58
9.4.1	Allgemeines	58
9.4.2	Bereich 1 – Beleuchtung der Probe	59
9.4.3	Bereich 2 – Beobachtung der Probe	60
9.5	Durchführung der Prüfung	61
9.5.1	Prüfung des Behangmaterials	61
9.5.2	Produktprüfung	62
10	Berechnung des diffus/hemisphärischen Transmissionsgrades τ_{dif-h}	63
10.1	Gewebe und weitere Produkte mit rotationssymmetrischem Transmissionsgrad	63
10.2	Jalousien und weitere Produkte mit einem Transmissionsgrad mit Profilwinkelsymmetrie	64
11	Prüfbericht	64
Anhang A (informativ) Beispiele für die Prüfeinrichtung zur Bestimmung der Lichtdurchlässigkeitskenngrößen		65
A.1	Allgemeines	65
A.2	Beispiel 1	65
A.3	Beispiel 2	66
Anhang B (informativ) Bestimmung des Öffnungskoeffizienten		68
B.1	Verfahren für Behangmaterialien aus lichtundurchlässigem Material	68
B.2	Verfahren für Jalousien	68
Anhang C (informativ) Bestimmung der Infraroteigenschaften		69
C.1	Allgemeines	69
C.2	Bestimmung	70
C.2.1	Infraroteigenschaften von durchlässigen Materialien	70
C.2.2	Infraroteigenschaften im Falle von Löchern in der lichtundurchlässigen Schicht	70
C.2.3	Infraroteigenschaften von Jalousien	70
Anhang D (informativ) Herangehensweise im Falle von ausstellbaren Sonnenschutzeinrichtungen		72
D.1	Allgemeines	72

D.2	Ausführliches Modell.....	72
D.2.1	Allgemeines	72
D.2.2	Abminderungsfaktor der direkten Strahlung.....	73
D.2.3	Abminderungsfaktor für diffuse und reflektierte Strahlung	73
D.3	Vereinfachte Herangehensweise für den Sommer	74
D.4	Berechnungsbeispiele.....	74
D.4.1	Allgemeines	74
D.4.2	Mittelwerte von x für den Sommer.....	75
D.4.3	Berechnungen.....	75
Anhang E (informativ) Entscheidungsschema für kritische Proben		79
Anhang F (informativ) Zusätzliche Informationen zu Jalousien und Lüftungsgittern.....		80
F.1	Jalousien.....	80
F.1.1	Allgemeines	80
F.1.2	Übliche Jalousie, unvollständig schließend, normaler Einfall	80
F.1.3	Übliche Jalousie mit um 45° geneigten Lamellen, 45° Sonnenhöhe und 0° Azimut	81
F.1.4	Übliche Jalousie mit Lamellen in „Cut-Off-Position“, 30° Sonnenhöhe und 0° Azimut.....	81
F.1.5	Übliche Jalousie mit Lamellen in horizontaler Stellung, 60° Sonnenhöhe und 0° Azimut.....	82
F.2	Lüftungsgitter	82
Anhang G (informativ) Zusätzliche Informationen zu Abschlüssen		83
Literaturhinweise.....		84

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 14500:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 33 „Türen, Tore, Fenster, Abschlüsse, Baubeschläge und Vorhangfassaden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 14500:2008 ersetzen.

Einleitung

Diese Europäische Norm ist Teil einer Normenreihe, die sich mit Abschlüssen für Gebäude befassen, wie sie in EN 12216 festgelegt sind.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument definiert Prüf- und Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Reflexions- und Transmissionskenngrößen, die anzuwenden sind, um die Leistungsklassen von innen und außen liegenden Abschlüssen hinsichtlich des thermischen und visuellen Komforts nach den Festlegungen in prEN 14501:2018 zu bestimmen.

Dieses Dokument legt auch das Verfahren zur Bestimmung der Verdunkelungsleistung von innen und außen liegenden Markisen und Abschlüssen nach den Festlegungen in EN 14501:2018 fest.

Dieses Dokument gilt für sämtliche Arten von Abschlüssen, Markisen und Jalousien, die in EN 12216 definiert sind und in diesem Dokument als Sonnenschutzeinrichtungen bezeichnet werden. Einige der Kenngrößen (z. B. g_{tot}) sind nicht anwendbar, wenn die Produkte nicht parallel zur Verglasung angebracht sind (z. B. Gelenkarm-Markisen).

ANMERKUNG 1 Der informative Anhang D stellt eine Herangehensweise für die Bestimmung der Kenngrößen im Falle ausstellbarer Produkte dar.

Retroreflektierende Produkte liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments zur Messung von Reflexionsgraden.

ANMERKUNG 2 Retroreflektierende Produkte sind Produkte, bei denen die reflektierte Strahlung in der gleichen Richtung wieder auf die Lichtquelle zurückfällt.

Produkte, die eine signifikante Menge fluoreszierender Werkstoffe verwenden, liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments.

ANMERKUNG 3 „Signifikante Menge“ bezieht sich auf Werkstoffe, die dafür vorgesehen sind, fluoreszierend oder retroreflektierend zu sein, und entsprechend vermarktet werden. Dies bezieht sich nicht auf Spuren von Werkstoffen mit fluoreszierenden Eigenschaften, z. B. zur Farbgebung oder zu Identifikationszwecken. Geringe Mengen von Werkstoffen wie Titandioxid, die nicht primär zum Zweck des Erreichens fluoreszierender Eigenschaften zugesetzt werden, dürfen vorhanden sein.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 410, *Glas im Bauwesen — Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen*

EN 12216, *Abschlüsse — Terminologie, Benennungen und Definitionen*

prEN 14501:2018, *Abschlüsse — Thermischer und visueller Komfort — Leistungsanforderungen und Klassifizierung*

EN ISO 52022-3:2017, *Energieeffizienz von Gebäuden — Wärmetechnische, solare und tageslichtbezogene Eigenschaften von Bauteilen und Bauelementen — Teil 3: Detailliertes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasungen (ISO 52022-3:2017)*

EN ISO 52022-1, *Energieeffizienz von Gebäuden — Wärmetechnische, solare und tageslichtbezogene Eigenschaften von Bauteilen und Bauelementen — Teil 1: Vereinfachtes Berechnungsverfahren zur Ermittlung der solaren und tageslichtbezogenen Eigenschaften von Sonnenschutz in Kombination mit Verglasungen (ISO 52022-1)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 12216, prEN 14501:2018 und die folgenden Begriffe.

3.1 Prozesse

3.1.1

Reflexion

Prozess, bei dem die Strahlung ohne Änderung der Frequenz ihrer monochromatischen Anteile von einer Oberfläche oder einem Medium zurückgeworfen wird

Die folgenden Teilprozesse sind hier definiert:

- spiegelnde (bzw. gerichtete oder regelmäßige) Reflexion: Reflexion entsprechend den Gesetzen der geometrischen Optik, ohne Diffusion;
- diffuse Reflexion: Reflexion durch Lichtstreuung, bei der, makroskopisch gesehen, keine spiegelnde Reflexion stattfindet;
 - isotrope diffuse Reflexion: diffuse Reflexion, bei der die räumliche Verteilung der reflektierten Strahlung derart ist, dass die Strahldichte oder die Leuchtdichte in alle Richtungen der Halbkugel, in die die Strahlung reflektiert wird, gleich ist.

3.1.2

Transmission

Durchgang von Strahlung durch ein Medium ohne Änderung der Frequenz ihrer monochromatischen Anteile

Die folgenden Teilprozesse sind hier definiert:

- gerichtete (oder direkt/direkte) Transmission: Transmission entsprechend den Gesetzen der geometrischen Optik, ohne Diffusion oder Rückleitung;
- diffuse Transmission: Transmission durch Lichtstreuung, bei der, makroskopisch gesehen, keine direkte Transmission stattfindet;
 - isotrope diffuse Transmission: diffuse Transmission, bei der die räumliche Verteilung der durchgelassenen Strahlung derart ist, dass die Strahldichte oder die Leuchtdichte in alle Richtungen der Halbkugel, in die die Strahlung durchgelassen wird, gleich ist.

3.1.3

Absorption

Prozess, bei dem Strahlungsenergie durch die Wechselwirkung mit Materie in eine andere Energieform (z. B. Wärme) umgewandelt wird

3.2 Kenngrößen

3.2.1

Reflexionsgrad

ρ

Verhältnis des reflektierten Lichtstroms zum einfallenden Lichtstrom

Die folgenden Teilkenngößen sind definiert:

- gerichtet/gerichteter (oder direkt/direkter) Reflexionsgrad: Verhältnis des spiegelnd reflektierten Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- gerichtet/diffuser Reflexionsgrad: Verhältnis des diffus reflektierten Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- gerichtet/hemisphärischer (oder totaler) Reflexionsgrad: Verhältnis des gesamten reflektierten Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- diffus/hemisphärischer Reflexionsgrad: Verhältnis des gesamten reflektierten Lichtstroms zum ideal diffusen einfallenden Lichtstrom. Ideal diffuse Bestrahlung bedeutet, dass die Strahldichte oder die Leuchtdichte für die gesamte Halbkugel der einfallenden Strahlung gleich ist.

3.2.2

Transmissionsgrad

τ

Verhältnis des durchgelassenen Lichtstroms zum einfallenden Lichtstrom

Die folgenden Teilkenngößen sind definiert:

- gerichtet/gerichteter Transmissionsgrad: Verhältnis des direkt durchgelassenen Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- gerichtet/diffuser Transmissionsgrad: Verhältnis des diffus durchgelassenen Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- gerichtet/hemisphärischer Transmissionsgrad: Verhältnis des gesamten durchgelassenen Lichtstroms zum gerichteten einfallenden Lichtstrom;
- diffus/hemisphärischer Transmissionsgrad: Verhältnis des gesamten durchgelassenen Lichtstroms zum ideal diffusen einfallenden Lichtstrom. Ideal diffuse Bestrahlung bedeutet, dass die Strahldichte oder die Leuchtdichte für die gesamte Halbkugel der einfallenden Strahlung gleich ist.

3.2.3

Absorptionsgrad

α

Verhältnis des absorbierten Lichtstroms zum einfallenden Lichtstrom

3.3 Winkeldefinitionen

Alle folgenden Winkel sind in einem Koordinatensystem definiert, das in Bezug auf die Ausrichtung der Sonnenschutzeinrichtung feststehend ist.

3.3.1

Einfallswinkel

θ

Winkel zwischen der Normalen zur Ebene der Sonnenschutzeinrichtung und der Richtung der einfallenden Strahlung

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.3.2

Höhenwinkel

α_s

Projektion des Einfallswinkels auf die vertikale Ebene, die die Richtung der einfallenden Strahlung enthält

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.3.3

Azimutwinkel

γ

Projektion des Einfallswinkels auf eine Ebene, die normal zur Ebene der Sonnenschutzeinrichtung verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schnittlinie dieser Projektionsebene und der Ebene der Sonnenschutzeinrichtung ist horizontal.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.3.4

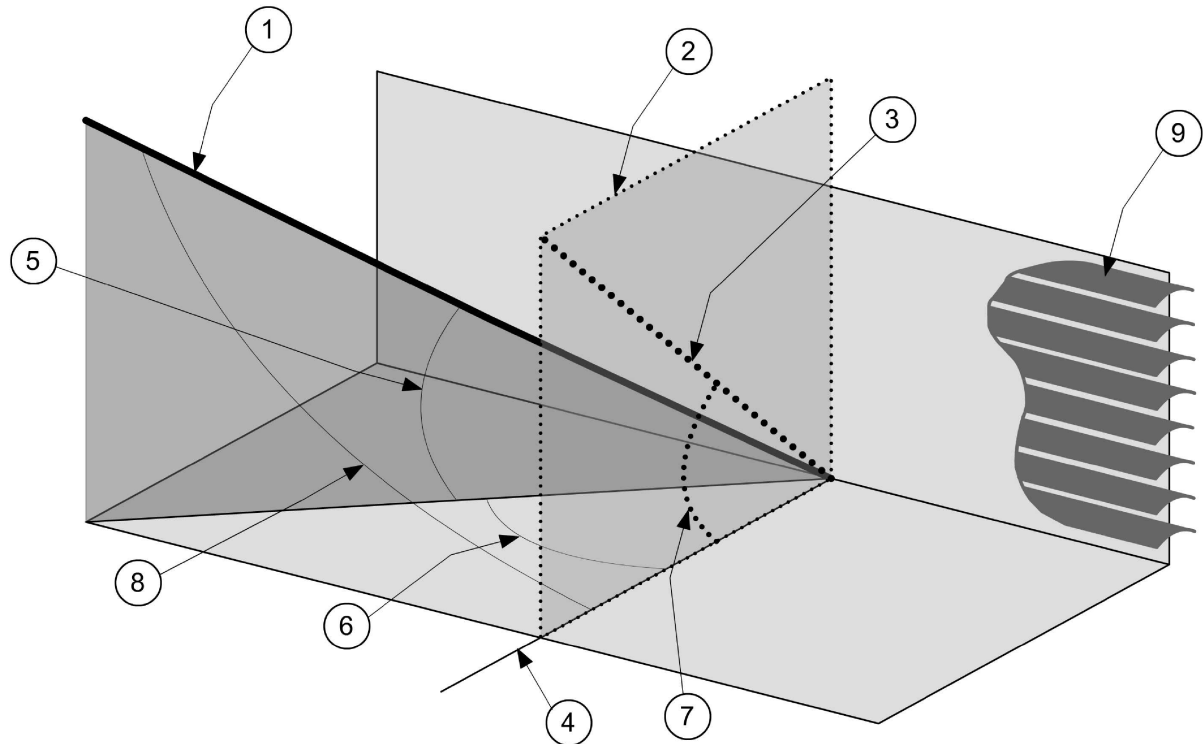
Profilwinkel

α_p

Projektion des Höhenwinkels auf eine vertikale Ebene, die senkrecht zur betrachteten Fassade verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Profilwinkel ergibt sich nach der folgenden Gleichung: $\tan \alpha_p = \tan \theta / \cos \gamma$

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1.



Legende

- 1 Richtung der einfallenden Strahlung
- 2 vertikale Ebene normal zur Sonnenschutzvorrichtung
- 3 projizierte Richtung der einfallenden Strahlung
- 4 Richtung normal zur Sonnenschutzvorrichtung
- 5 Höhenwinkel (Winkel in der vertikalen Ebene)
- 6 Azimutwinkel (Winkel in der horizontalen Ebene)
- 7 Profilwinkel
- 8 Einfallswinkel
- 9 Sonnenschutzvorrichtung

Bild 1 — Winkeldefinitionen

3.3.5

richtungsabhängiger Abschirmwinkel χ_{dir}

minimaler Einfallswinkel auf einer gegebenen Ebene normal zur Sonnenschutzvorrichtung, bei dem sich der direkt/direkte Transmissionsgrad $\tau_{\text{dir-dir}}$ unterhalb eines definierten Wertes befindet

3.3.6

Abschirmwinkel χ

maximaler richtungsabhängiger Abschirmwinkel χ_{dir} unter Berücksichtigung aller senkrecht zur Sonnenschutzvorrichtung befindlichen Ebenen

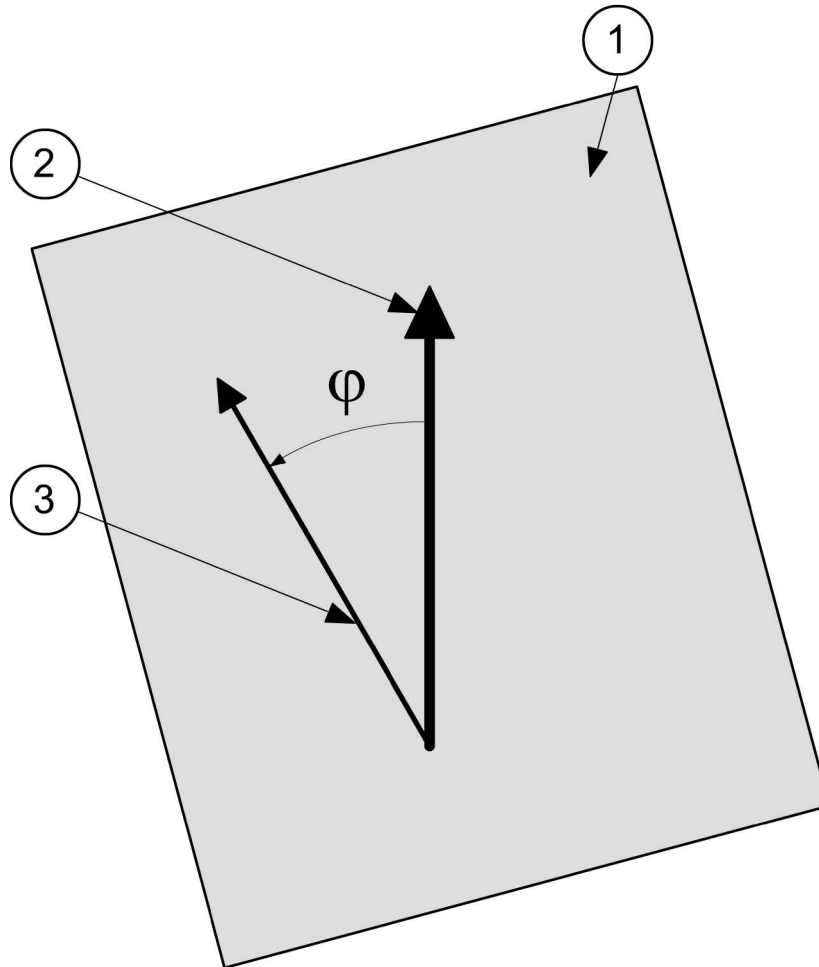
Anmerkung 1 zum Begriff: Der maximale richtungsabhängige Abschirmwinkel wird in prEN 14501:2018 als „erster Einfallswinkel“ bezeichnet.

3.3.7

Drehwinkel φ

Winkel, um den die Probe in ihrer Ebene bezogen auf den Referenzpfeil verdreht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2.



Legende

- 1 Messprobe
- 2 Referenzpfeil
- 3 aufrechte Position der Probe in der Prüfeinrichtung

Bild 2 — Drehwinkel

4 Verwendete Bezeichnungen

4.1 Allgemeines

Für die Anwendung dieses Dokuments werden die optischen Faktoren τ (Transmissionsgrad), ρ (Reflexionsgrad) und α (Absorptionsgrad) mit tiefgestellten Indizes versehen, die Folgendes angeben:

- die visuellen oder solaren Eigenschaften;
- die Geometrie der einfallenden und der durchgelassenen oder reflektierten Strahlung.

4.2 Visuelle oder solare Eigenschaften

Entsprechend dem jeweiligen Spektrum werden die folgenden tiefgestellten Indizes verwendet:

- «e» solare (energetische) Kenngrößen, angegeben für das gesamte Sonnenspektrum (Wellenlängen λ von 300 nm bis 2 500 nm), nach EN 410;
- «v» visuelle Merkmale, angegeben für die Normlichtart D₆₅, bewertet mit der Empfindlichkeit des menschlichen Auges (Wellenlängen λ von 380 nm bis 780 nm), nach EN 410.

4.3 Geometrie der Strahlung

Die folgenden tiefgestellten Indizes werden verwendet, um die Geometrie der einfallenden Strahlung anzugeben (siehe Bild 3):

- «dir» für gerichtet (parallele Strahlung mit willkürlich gewählter Richtung θ);
- «n» für normal (parallele Strahlung mit normalem Einfall $\theta = 0^\circ$ oder nahezu normalem Einfall im Falle reflektierter Strahlung $\theta \leq 8^\circ$);
- «dif» für diffus (Strahlung gleichmäßig aus allen Einfallsrichtungen θ).

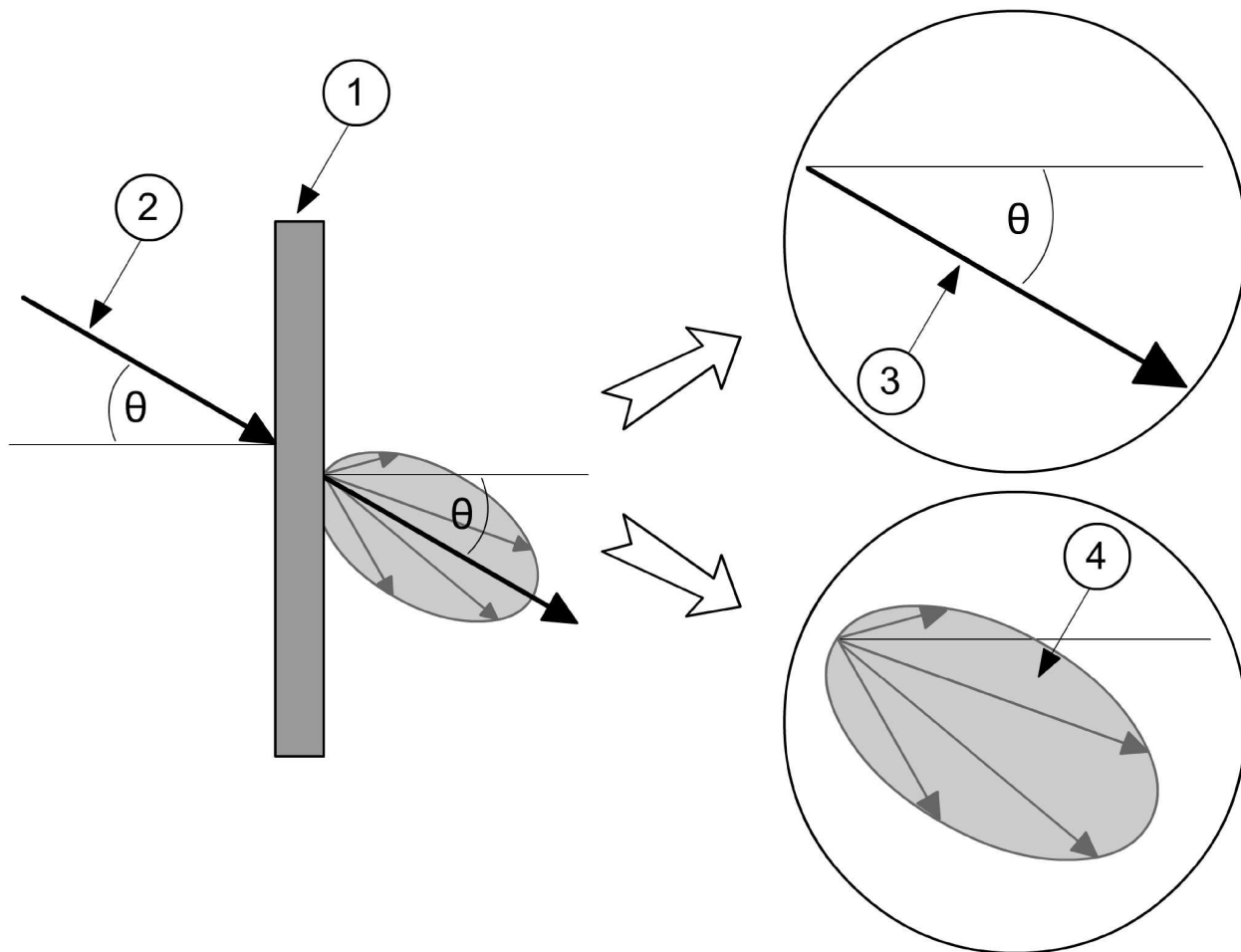
Die folgenden tiefgestellten Indizes werden verwendet, um die Geometrie der durchgelassenen oder reflektierten Strahlung anzugeben:

- «dir» für gerichtet (reflektierte oder durchgelassene Strahlung in die spiegelnde bzw. regelmäßige Richtung);
- «n» für normal (durchgelassene Strahlung in die normale Richtung oder nahezu normale Richtung im Falle reflektierter Strahlung $\theta \leq 8^\circ$);
- «h» für hemisphärisch (im Halbraum hinter der Probenebene gesammelte Strahlung);
- «dif» für diffus (gesammelte Strahlung in allen ausgehenden Richtungen außer der direkten).

Ergänzend wird ein bestimmter Index verwendet, um die Werte für die beiden Seiten zu unterscheiden:

- «'» für Eigenschaften der Rückseite bezogen auf die gekennzeichnete Vorderseite.

ANMERKUNG Wenn zum Beispiel ρ sich auf eine Seite einer Probe bezieht, bezieht sich ρ' auf die andere.



Legende

- 1 Sonnenschutzeinrichtung
- 2 einfallendes gerichtetes Licht oder Sonnenstrahlung
- 3 durchgelassener direkter Anteil des Lichtes oder der Sonnenstrahlung
- 4 durchgelassener diffuser Anteil des Lichtes oder der Sonnenstrahlung

Bild 3 — Direkte und diffuse Anteile der durchgelassenen Strahlung

4.4 Optische Faktoren

Die optischen Faktoren werden wie folgt bezeichnet:

- $\tau_{e,n-n}$ normal/normaler solarer Transmissionsgrad;
- $\tau_{v,n-n}$ normal/normaler Lichttransmissionsgrad;
- $\tau_{v,n-dif}$ normal/diffuser Lichttransmissionsgrad;
- $\tau_{v,n-h}$ normal/hemisphärischer Lichttransmissionsgrad;
- $\tau_{v,dir-h}$ direkt/hemisphärischer Lichttransmissionsgrad;
- $\tau_{e,n-h}$ normal/hemisphärischer solarer Transmissionsgrad;

- $\tau_{e,dir-h}$ direkt/hemisphärischer solarer Transmissionsgrad;
- $\rho_{v,n-h}$ normal/hemisphärischer Lichtreflexionsgrad;
- $\rho_{v,dir-h}$ direkt/hemisphärischer Lichtreflexionsgrad;
- $\rho_{e,n-h}$ normal/hemisphärischer solarer Reflexionsgrad;
- $\rho_{e,dir-h}$ direkt/hemisphärischer solarer Reflexionsgrad;
- $\tau_{v,dif-h}$ diffus/hemisphärischer Lichttransmissionsgrad.

5 Prüf- und Berechnungsverfahren für die Anwendung entsprechend dem Produkt – Leitlinien

5.1 Allgemeines

Die in dieser Europäischen Norm beschriebenen Prüfverfahren sind für die Prüfung der Kenngrößen der Behangelemente von Sonnenschutzeinrichtungen vorgesehen. Behangelemente sind beispielsweise flache Platten aus beschichtetem Aluminium für Lamellen von Jalousien, Gewebematerial für Rollos oder Glaslamellen mit oder ohne Muster für außen liegende Jalousien aus Glas. Bei Kombination mit einer Verglasung sind die Eigenschaften des vollständigen Produkts, das aus einem oder mehreren Element(en) besteht, anschließend nach EN ISO 52022-1 oder EN ISO 52022-3 zu berechnen.

Ein gesamtes Produkt darf ebenfalls geprüft werden. Die in dieser Norm beschriebenen Berechnungsverfahren sind jedoch nicht für die direkte Verwendung an vollständigen Produkten vorgesehen, sofern dies nicht angegeben ist (z. B. bei den Verdunkelungsleistungen in Abschnitt 9).

ANMERKUNG 1 ISO 19467 enthält ein Verfahren zur Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades vollständiger Produkte (Fenster und Türen mit oder ohne Sonnenschutz).

ANMERKUNG 2 In dieser Europäischen Norm wird die Leistung des Produkts mit Hilfe der Eigenschaften des Behangs charakterisiert (Werte für den Produktmittelpunkt). Periphere Spalte und/oder Löcher sowie die Einbaubedingungen können unter den tatsächlichen Bedingungen jedoch eine starke Auswirkung auf die Leistung haben.

Für alle Sonnenschutzeinrichtungen wird angenommen, dass die Produkte sich in der vollständig ausgefahrenen (nicht teilweise eingefahrenen) Stellung befinden, wenn Sonnenschutz oder Blendschutz erforderlich ist.

ANMERKUNG 3 Für die Gebäudeplanung kann es von Nutzen sein, teilweise eingefahrene Sonnenschutz-einrichtungen zu berücksichtigen. Die Eigenschaften des gesamten Fensters können dann näherungsweise aus den Eigenschaften der Fensterfläche mit und ohne Sonnenschutzeinrichtung bestimmt werden.

5.2 Jalousien und Lüftungsgitter

Die solaren und lichttechnischen Kenngrößen von Jalousien und Lüftungsgittern müssen unter Berücksichtigung der Eigenschaften der einzelnen Lamellen berechnet werden.

Die Lamellenkenngrößen müssen nach 6 oder 7 gemessen werden. Die Merkmale einer vollständigen Jalousie oder eines vollständigen Lüftungsgitters in Kombination mit einer Verglasung müssen nach Anhang D von EN ISO 52022-3:2017 berechnet werden.

Die zusätzlichen Informationen in Anhang F sollten beachtet werden.

ANMERKUNG 1 Können Produkte nicht angemessen nach EN ISO 52022-3 charakterisiert werden (zum Beispiel: hochglanzpolierte Lamellen und/oder Lamellen mit Sonderform), kann ein ausführlicheres Berechnungsverfahren erforderlich sein.

ANMERKUNG 2 Anhang G von CEN ISO/TR 52022-2:2017 enthält ein detaillierteres Verfahren zur Berechnung der solaren und lichttechnischen Kenngrößen von vollständigen Jalousien in Kombination mit einer Verglasung. Dieses Verfahren basiert auf Anhang D von EN ISO 52022-3:2017, berücksichtigt jedoch eine direkte Transmission der einfallenden Strahlung durch die Jalousie.

5.3 Rollos

Die solaren und lichttechnischen Kenngrößen von Rollos müssen unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Gewebes berechnet werden.

Die Gewebekenngrößen müssen nach Abschnitt 6 oder 7 gemessen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften des vollständigen Produkts denen des Behangmaterials entsprechen.

Die Merkmale eines vollständigen Rollos in Kombination mit einer Verglasung müssen entweder nach EN ISO 52022-1 oder nach EN ISO 52022-3 berechnet werden.

Die Verdunkelungsleistung muss nach den Festlegungen in Abschnitt 9 entweder am Behangmaterial oder an einem vollständigen Produkt ermittelt werden.

5.4 Faltstores

Als Näherungswerte für die Eigenschaften des Behangmaterials dürfen auf die gleiche Weise wie bei den Rollos die Eigenschaften des Behangs angesetzt werden (siehe 5.3).

5.5 Ausstellmarkisen

Die Eigenschaften des Gewebes von Ausstellmarkisen dürfen nach Abschnitt 6 oder 7 bestimmt werden.

Da jedoch die bestehenden Berechnungsverfahren nur auf Produkte anwendbar sind, die parallel zur Verglasung eingebaut sind, ist es nicht möglich, die Leistung eines vollständigen Produkts nur mit Hilfe der Eigenschaften seines Gewebes zu charakterisieren.

ANMERKUNG Der informative Anhang D gibt eine Herangehensweise für die Bestimmung der Kenngrößen bei Ausstellmarkisen an.

5.6 Abschlüsse

Die solaren und lichttechnischen Kenngrößen von Abschlüssen müssen unter Berücksichtigung der Eigenschaften des Behangmaterials (z. B. Stäbe) berechnet werden.

Die Kenngrößen des Behangmaterials müssen nach Abschnitt 6 oder 7 gemessen werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Eigenschaften des vollständigen Produkts denen des Behangmaterials entsprechen.

Die Merkmale eines vollständigen Abschlusses in Kombination mit einer Verglasung müssen entweder nach EN ISO 52022-1 oder nach EN ISO 52022-3 berechnet werden.

Die Verdunkelungsleistung muss nach den Festlegungen in Abschnitt 9 entweder am Behangmaterial oder an einem vollständigen Produkt ermittelt werden.

Die zusätzlichen Informationen in Anhang G sollten beachtet werden.

6 Bestimmung des Transmissionsgrades und Reflexionsgrades mit einer Ulbrichtschen Kugel

6.1 Messgrundsätze

6.1.1 Spektrale und integrale Verfahren

Jede Kenngröße, die sich auf die optischen Eigenschaften von Materialien bezieht, ist unter Breitbandbedingungen entweder spektral für festgelegte Wellenlängen λ (spektrales Verfahren) oder mit einer festgelegten Lichtart (integrales Verfahren) zu bestimmen.

Spektrales Verfahren

Die relevante spektrale Kenngröße (z. B. der normal/hemisphärische spektrale Transmissionsgrad $\tau_{n-h}(\lambda)$) wird als Funktion der Wellenlänge gemessen. Spektrale Messungen können entweder mit monochromatischem Licht oder mit einer Quelle mit breitem Spektrum und einem Spektrometer als Detektor durchgeführt werden. Sofern eine spektrale Kenngröße einer Probe bekannt ist, kann die entsprechende integrale Kenngröße nach EN 410 berechnet werden.

Integrales Verfahren

Die relevante gewichtete Kenngröße wird direkt gemessen, wobei eine Quelle mit einer normierten spektralen Energieverteilung $S(\lambda)$ und ein Breitbanddetektor mit der erforderlichen relativen spektralen Gewichtungsfunktion anzuwenden sind:

- Für breitbandige Messungen der solaren Kenngrößen (z. B. des normal/hemisphärischen solaren Transmissionsgrades $\tau_{e,n-h}$) muss das Detektorsystem über den gesamten Solarbereich eine gleichmäßige spektrale Empfindlichkeit aufweisen, und die spektrale Energieverteilung der einfallenden Strahlung $S(\lambda)$ muss dem Sonnenspektrum nach EN 410 entsprechen.
- Für breitbandige Messungen der lichttechnischen Kenngrößen (z. B. des normal/hemisphärischen Lichttransmissionsgrades $\tau_{v,n-h}$) muss die Empfindlichkeit des Detektors der photopischen spektralen Empfindlichkeit des menschlichen Auges $V(\lambda)$ entsprechen, und die spektrale Energieverteilung $S_{D65}(\lambda)$ der Lichtquelle muss der Normlichtart D_{65} (nach EN 410) entsprechen.
- Für breitbandige Messungen der lichttechnischen Kenngrößen ist es auch möglich, eine Lichtquelle mit einer spektralen Energieverteilung $S(\lambda)$, die dem Normsonnenspektrum entspricht, und einen Detektor mit einer spektralen Empfindlichkeit $w(\lambda)$ anzuwenden, die derart ist, dass $S(\lambda)w(\lambda) = S_{D65}(\lambda)V(\lambda)$ gilt.

Genauigkeit

Ein System aus Breitband-Lichtquelle und Detektor ist als ausreichend genau anzusehen, wenn die solaren oder lichttechnischen Kenngrößen für eine solare Kontrollverglasung mit einer Selektivität von $\tau_v/\tau_e > 1,5$ und die Ergebnisse einer klaren Glasprobe relativ gesehen nicht mehr als 4 % von den Ergebnissen abweichen, die mit einem kalibrierten Spektrometer mit einer relativen Genauigkeit von 2 % oder besser bestimmt wurden.

6.1.2 Absolute und relative Verfahren (nach CIE 130)

Da sie als das Verhältnis zweier Lichtströme definiert sind, stellen der Reflexions- und der Transmissionsgrad selbst relative Kenngrößen dar; immer dann, wenn ihre Werte direkt, ohne Anwendung eines weiteren Werkstoffnormals als Vergleichsgröße, gemessen werden, wird das entsprechende Verfahren jedoch als absolut bezeichnet.

Messungen des Reflexionsgrades werden mit Hilfe eines Normalen durchgeführt und daher als relative Verfahren eingestuft.

ANMERKUNG 1 Es bestehen absolute Verfahren für die Messung des Reflexionsgrades, diese sind jedoch nicht Gegenstand dieser Norm.

Im Falle des Transmissionsgrades gelten ähnliche Überlegungen. Da der Lichtstrom durch eine unbekannte Probe durchgelassen wird, wird er auf den auf diese Probe einfallenden Lichtstrom bezogen. Dieser Vergleich mit dem einfallenden Lichtstrom erfordert theoretisch kein Normal. Es ist nur erforderlich, einen freien Durchgang für den Strom zu berücksichtigen. Entsprechend diesem Prinzip werden Messungen des Transmissionsgrades als absolute Messungen eingestuft.

ANMERKUNG 2 Relative Messungen des Transmissionsgrades können bei diffus strahlenden Messproben angemessener sein. In diesem Fall kann eine diffus strahlende Vergleichsprobe eine größere Genauigkeit aufweisen.

6.2 Messgeräte

6.2.1 Allgemeines

Ein Instrument zur Messung der Kenngrößen der Materialien besteht aus Folgendem:

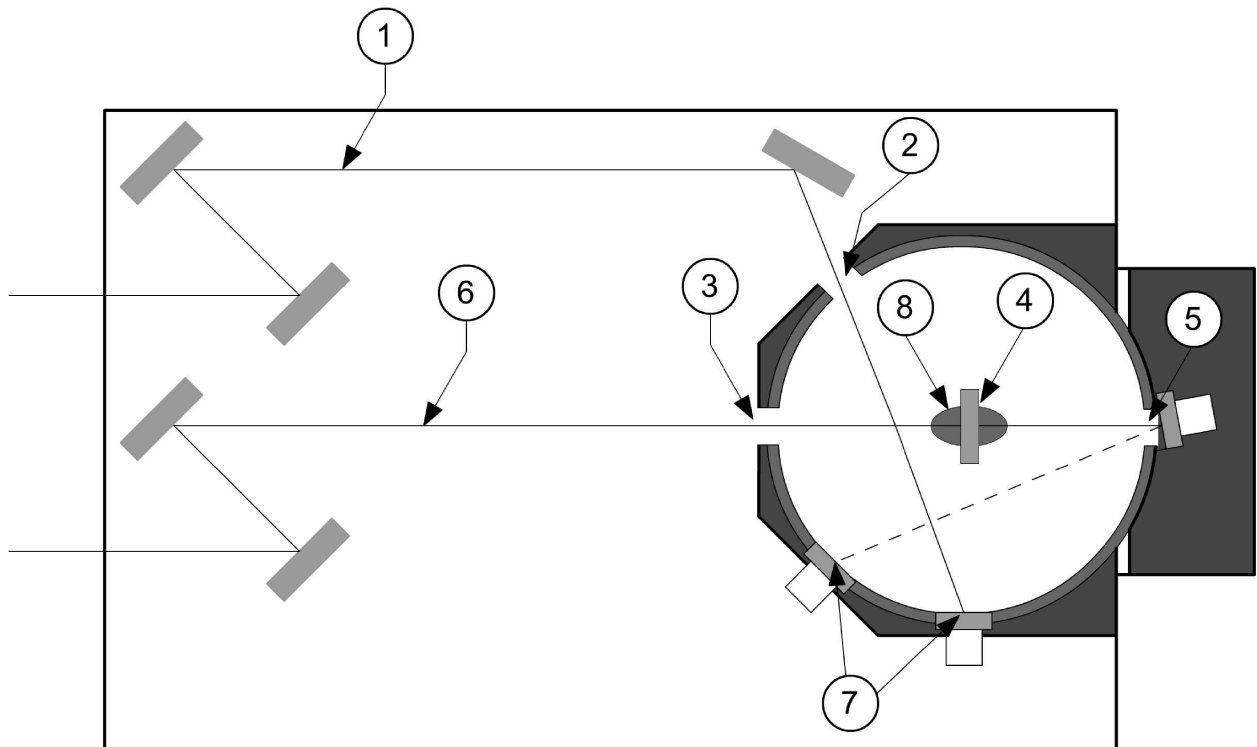
- einem Gerät zur Bestrahlung (siehe 6.2.2);
- einem Gerät für den Nachweis (siehe 6.2.3);
- Vergleichsproben (siehe 6.3).

6.2.2 Gerät zur Bestrahlung

6.2.2.1 Einstrahl- oder Zweistrahlergerät

Es können zwei Arten von Messgeräten eingesetzt werden:

- ein Einstrahlgerät mit Messschreiber, das nur einen Lichtstrahl verwendet;
- ein Zweistrahlergerät. Bei Zweistrahlergeräten wird der Strahl zwischen einem Pfad mit Lichteinfall auf die Probe und einem Pfad ohne Lichteinfall auf die Probe bewegt.



Legende

- 1 Vergleichsstrahl ϕ_r
- 2 Fenster Nr. 2
- 3 Fenster Nr. 3
- 4 Halterung Nr. 4
- 5 Fenster Nr. 5
- 6 Probenstrahl ϕ_s
- 7 Vergleichsfenster
- 8 Detektor (am höchsten oder tiefsten Punkt der Kugel)

Bild 4 — Schematische Darstellung eines Zweistrahl-Spektrometers mit einer Ulbrichtschen Kugel

6.2.2.2 Geometrische Bedingungen

Das Gerät für die Bestrahlung muss die folgenden geometrischen Anforderungen erfüllen:

- Der minimale Strahlquerschnitt am Probenfenster (Fenster Nr. 3), ab_3 , muss wie folgt ausgeführt sein:
 - rechteckig: $6 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ($ab_3 = wb_3 \cdot hb_3$);
 - kreisförmig: 9 mm Durchmesser ($ab_3 = \pi \cdot db_3^2/4$).

Der tatsächliche Strahl muss mindestens einen der oben genannten minimalen Querschnitte abdecken.

- Die Bestrahlungsstärke muss auf der relevanten Fläche nahezu homogen sein.
- Die erforderliche Mindestfläche zwischen der Querschnittsfläche des Strahls (ab_3) und der Öffnungsfläche (a_3) von Fenster Nr. 3 in Bild 5 und Bild 4 muss sicherstellen, dass keine lateralen Verluste auftreten.

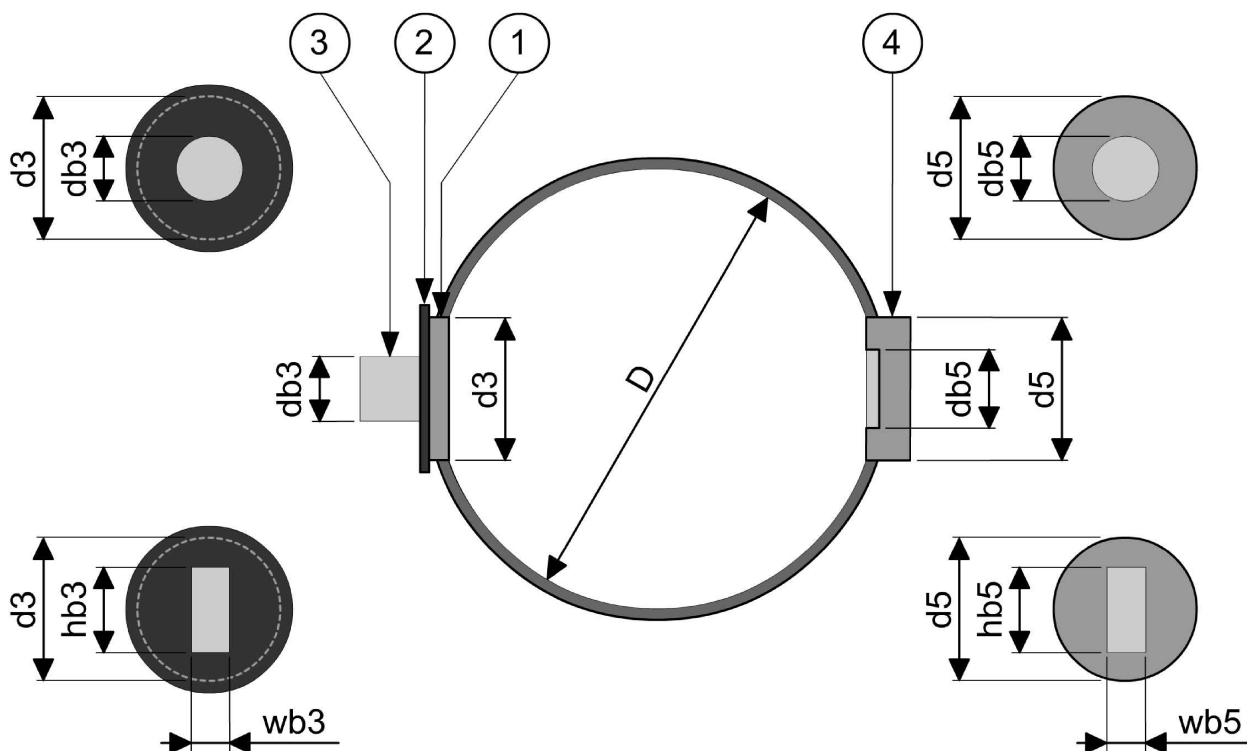
- Für Proben mit weniger als 1 mm Dicke muss die Fläche zwischen dem Strahlquerschnitt ab_3 und der Fläche a_3 von Fenster Nr. 3 in Bild 5 und Bild 4 mindestens 50 mm^2 ($a_3 - ab_3 \geq 50 \text{ mm}^2$) betragen.

ANMERKUNG Dieser Grenzwert wird nicht als dimensionslose Größe relativ zu einem Kugelparameter angegeben, da hier die Probendicke als Skalierungsfaktor in Bezug auf laterale Ablenkungen relevant ist.

- Die Strahlquerschnittsfläche am Fenster Nr. 5, ab_5 , in Bild 5 und Bild 4 muss kleiner als die Fläche (a_5) von Fenster Nr. 5 in Bild 4 und darin zentriert sein.

Für Messungen von Proben mit einer Dicke von weniger als 1 mm muss eine minimale „Lücke“ zwischen den Rändern des Strahlquerschnitts und Fenster Nr. 5 entsprechend $(a_5 - ab_5)/A > 0,001$ sichergestellt werden, wenn keine Probe eingesetzt ist.

- Streustrahlung außerhalb der bestrahlten Fläche der Probe ist zu vermeiden.
- Im Falle diffuser Bestrahlung ist als Lichtquelle eine Ulbrichtsche Kugel anzuwenden.



Legende

- 1 Fenster Nr. 3
- 2 Probe
- 3 auffallender Strahl
- 4 Fenster Nr. 5

Bild 5 — Definition geometrischer Parameter für Ulbrichtsche Kugeln

Rechteckige Fenster und Strahlen sind durch die Höhe h und die Breite w charakterisiert. Die Strahlquerschnittsflächen ab_3 und ab_5 , die Fensterflächen a_3 und a_5 und die Kugeloberfläche A werden direkt aus den linearen Maßen berechnet. Es ist wichtig zu beachten, dass die Strahlquerschnitte an Fenster Nr. 3 und Fenster Nr. 5 aufgrund von nicht parallelen Lichtstrahlen im Allgemeinen unterschiedlich sind.

6.2.2.3 Polarisation

Die Kenngrößen der Sonnenschutzeinrichtungen oder Materialien für den nicht normalen Einfall hängen vom Polarisationszustand des einfallenden Strahlenbündels ab. Gerichtete Messungen können nur dann mit nicht polarisierter einfallender Strahlung durchgeführt werden, wenn sich durch die Quelle oder die ablenkende oder fokussierende Optik (sofern vorhanden) keine Polarisation ergibt und der Detektor unempfindlich gegenüber Polarisation ist. Daher sind für nicht normale Messungen im Allgemeinen zwei Einzelmessungen durchzuführen, bei denen die einfallende Strahlung in der Ebene senkrecht zur Einfallsebene bzw. in der Ebene parallel zur Einfallsebene jeweils vollständig linear polarisiert ist. Der Wert der Kenngröße für die nicht polarisierte Bestrahlung ist dann als mathematisches Mittel der beiden Ergebnisse zu berechnen.

ANMERKUNG 1 Die reflektierte oder durchgelassene Strahlung ist üblicherweise auch dann teilweise polarisiert, wenn die einfallende Strahlung nicht polarisiert ist.

ANMERKUNG 2 Die von einer Lampe ausgesendete Strahlung ist im Allgemeinen teilweise polarisiert. Ein in eine Ulbrichtsche Kugel eintretendes Strahlenbündel wird durch die vielfachen Reflexionen innerhalb der Kugel depolarisiert.

ANMERKUNG 3 Eine Befestigung von Gewebeproben, die in Garnrichtung gegenüber der vertikalen Ebene um 45° gedreht wurden, minimiert mögliche Polarisierungseffekte, die aufgrund einer Polarisation des einfallenden Strahls durch die optischen Komponenten des Messgeräts auch bei normalem Lichteinfall auftreten können, sofern der Lichtpfad auf einer waagerechten Ebene liegt. Dies ist z. B. bei Zweistrahl-Spektrometern eine übliche Konfiguration.

6.2.3 Gerät für den Nachweis

6.2.3.1 Ulbrichtsche Kugel

Eine Ulbrichtsche Kugel ist eine Hohlkugel, deren Innenfläche durch einen diffusen weißen Reflektor gebildet wird. Dieses optische Gerät wird angewendet, um den von einer Probe entweder reflektierten oder durchgelassenen Lichtstrom aufzufangen oder isotrope Bestrahlung auf einer Probe einer vollständigen Halbkugel zu erzeugen. Die Hohlkugel weist Öffnungen für den Eintritt und den Nachweis des Lichtstroms und üblicherweise zusätzliche Öffnungen auf, über denen die Probe und der Vergleichsprüfkörper angeordnet werden. Ein oder mehrere Detektor(en) wird/werden auf der Innenseite positioniert.

Aufgrund möglicher lateraler Verluste des durchgelassenen/reflektierten Lichts ist bei der Messung des Transmissions-/Reflexionsgrades von dicken lichtdurchlässigen Proben (z. B. Glaslamellen mit aufgedrucktem Muster) besonders vorsichtig vorzugehen.

ANMERKUNG 1 Ulbrichtsche Kugeln sind nicht für die Messung von Leuchtstoffen geeignet.

ANMERKUNG 2 Je höher der Reflexionsgrad der Beschichtung der Kugel ist, desto höher ist die Empfindlichkeit des Nachweisgeräts.

ANMERKUNG 3 Allgemein übliche Materialien für die Beschichtung der Kugeln sind BaSO₄ sowie gepresstes und gesintertes Polytetrafluorethylen (PTFE) mit niedriger Dichte.

ANMERKUNG 4 Die Grundidee der Ulbrichtschen Kugeln ist, dass für die indirekte Beleuchtungsstärke/Bestrahlungsstärke der Innenwand der Kugel angenommen wird, dass sie proportional zum durch den Prüfkörper oder die Vergleichsprobe durchgelassenen/reflektierten Lichtstrom ist. Dies trifft bei Kugeln mit vollkommen isotropen diffus reflektierenden Wänden ohne Öffnungen zu. Die Beleuchtungsstärke/Bestrahlungsstärke direkt bestrahlter Teile der Kugel ist nicht proportional zum Lichtstrom. Daher ist es erforderlich, die Kugel mit Streulichtblenden auszustatten, wie unter 6.2.3.2 beschrieben.

6.2.3.2 Anforderungen

Die Ulbrichtsche Kugel muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Die Außenfläche der Kugel muss schwarz angestrichen sein, um Reflexionen zwischen der Probe und der Außenfläche der Kugel zu vermeiden.
- Die innere Oberfläche der Kugel muss einen normal/hemisphärischen spektralen Reflexionsgrad > 92 % aufweisen.

ANMERKUNG 1 Der mittlere Reflexionsgrad der inneren Oberfläche kann mit der folgenden Gleichung verifiziert werden:

$$\Phi_r(\Phi_t) = E_{\text{ind}} \cdot A \cdot \frac{1 - \rho_k}{\rho_k} \quad (1)$$

ANMERKUNG 2 Eigenschaften der Beschichtung der Innenwände im Falle von Breitbandmessungen: Der Reflexionsgrad der Wände sollte so aseptiv wie möglich sein. Ein Maß für die Selektivität ist $K(\lambda)_{\text{rel}}$ nach CIE 130:

$$K(\lambda)_{\text{rel}} = \frac{\rho_k(\lambda)(1 - \rho_{k,\text{max}})}{\rho_{k,\text{max}}(1 - \rho_k(\lambda))} \quad (2)$$

Dabei ist:

$\rho_k(\lambda)$ der normal/hemisphärische spektrale Reflexionsgrad der Kugelbeschichtung inklusive Fenster;

$\rho_{k,\text{max}}$ der Höchstwert für $\rho_k(\lambda)$.

ANMERKUNG 3 Im Falle von Breitbandmessungen ist die Aseptivität wichtiger als ein hoher Reflexionsgrad. Es kann sinnvoll sein, anstelle von BaSO_4 mit einem maximalen spektralen normal/hemisphärischen Reflexionsgrad von etwa 0,98 eine Beschichtung mit einem normal/hemisphärischen Reflexionsgrad von etwa 0,8 mit einer sehr guten Aseptivität anzuwenden.

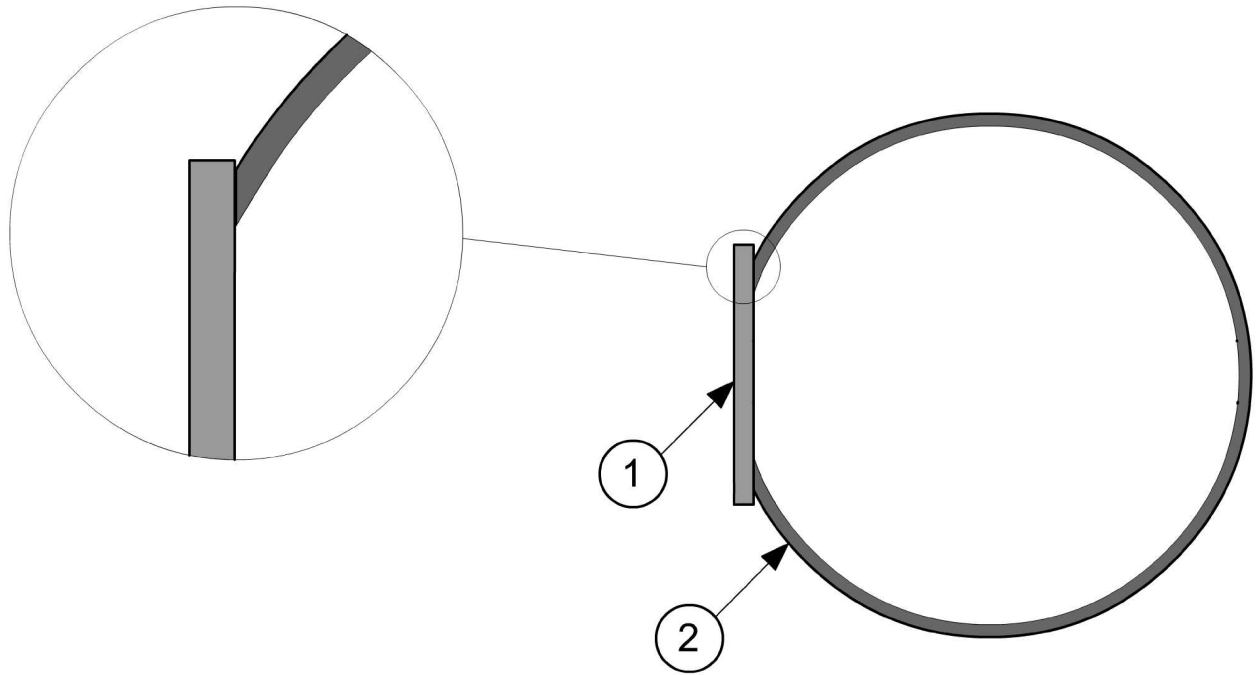
ANMERKUNG 4 Es sind Anstrichstoffe für Kugeln im Handel erhältlich, für die der relative Faktor $K(\lambda)_{\text{rel}}$ als eine Funktion der Wellenlänge aufgeführt ist.

ANMERKUNG 5 Idealerweise ist die Innenfläche isotrop diffus reflektierend.

Für solare Breitbandmessungen ist eine Beschichtung aus BaSO_4 für die Kugel nicht geeignet, da der spektrale Reflexionsgrad zu geringfügig oberhalb von 1 600 nm liegt. Daher sollten bei Anwendung von BaSO_4 -Beschichtungen spektral selektive Proben nur spektral gemessen werden.

— Fenster:

- die Gesamtfläche der Fenster der Kugel darf 1/10 der reflektierenden Innenfläche der Kugel nicht überschreiten. Unbenutzte Fenster, die geschlossen und mit derselben Beschichtung versehen sind wie die übrige Innenwand der Kugel, brauchen nicht berücksichtigt zu werden;
- die das Probenfenster umgebende Wand muss eine scharfe Kante aufweisen oder die Fensterseiten müssen angefast sein, so dass keine Stufe zwischen der Innenwand der Kugel und der Probenoberfläche vorliegt (siehe Bild 6).



Legende

- 1 Probe
- 2 Ulbrichtsche Kugel

Bild 6 — Scharfe Kante am Probenfenster der Ulbrichtschen Kugel

Die Anzahl und Position sowie der Durchmesser der erforderlichen Fenster der Kugel sind vom Messverfahren, dem Typ der Probe und den zu messenden Kenngrößen abhängig. Da Fenster die Betriebsbedingungen in der Kugel stets stören, sollten deren Anzahl und Durchmesser so gering wie möglich gehalten werden.

Mit Bezug auf Bild 4 und Bild 5 sind die zulässigen Bereiche von Fenster Nr.°3 und Fenster Nr.°5 als die Bereiche a_3 und a_5 in Relation zur Innenfläche A der Kugel definiert. Die Fläche A bezieht sich auf die innere Oberfläche einer „idealen“ Kugel ohne Berücksichtigung von Abweichungen wie Fenster und wird mit $A = \pi D^2$ aus dem Innendurchmesser D berechnet.

Definitionen auf Grundlage von Durchmessern sollten vermieden werden, da sie nicht für rechteckige Querschnitte anwendbar sind.

- Das zulässige Verhältnis a_5/A der Fläche a_5 von Fenster Nr.°5 in Bild 5 und Bild 4 zur inneren Oberfläche A der Kugelwand muss die folgenden Bedingungen erfüllen:

$$0,0035 \leq a_5/A \leq 0,007$$

- Die Fläche des Probenfensters darf $1/144$ der Innenfläche der Kugel nicht überschreiten;
- Im Falle der Messung des Reflexionsgrades muss der Durchmesser des auffallenden Strahlenbündels unter dem Durchmesser des Eintrittsfensters für die Bestrahlung liegen.

Große Unterschiede zwischen den Reflexionsgraden der Kugelwand und dem Verschlussstopfen in Fenster 5 sind zu vermeiden.

Die Detektoren müssen entweder

- Radiometer/Photometer sein, die empfindlich gegenüber Strahlung/Licht sind, die/das aus allen in der Ulbrichtschen Kugel möglichen verschiedenen Richtungen kommt. Radiometer/Photometer müssen die einfallende Strahlung entsprechend dem Cosinusetz bewerten; oder
- Strahldichte-/Leuchtdichtemessgeräte mit engem Betrachtungswinkel sein. In diesem Fall ist es erforderlich, die (kleine) Beobachtungsfläche der Kugelwand, die direkt für den Detektor sichtbar ist, mit Streulichtblenden zu versehen. Die Ablesung des Detektors darf durch keine andere Strahlung beeinflusst werden, als die von der Beobachtungsfläche kommende.

ANMERKUNG 6 Eine absolute Kalibrierung von Detektoren ist möglich, jedoch nicht notwendig.

Bei allen Typen von Detektoren ist auf eine ausreichende Linearität und eine geringe Temperaturabhängigkeit zu achten.

Alle Messfenster müssen mit (einer) zusätzlichen Streulichtblende(n) ausgestattet sein, um die Sichtlinie zwischen Proben-/Vergleichsfenster und Detektor(en) zu schneiden. Dies stellt sicher, dass der Detektor nicht direkt beleuchtet wird. Die Streulichtblenden müssen mit einer diffusen, spektral nicht selektiven Beschichtung mit sehr hohem Reflexionsgrad (normal/hemisphärischer spektraler Reflexionsgrad > 92 %) versehen sein.

ANMERKUNG 7 Fehler können durch Detektoren verursacht werden, deren Empfindlichkeit von der Position des Strahls auf der lichtempfindlichen Fläche abhängt.

Hinsichtlich der Prüfeinrichtung für Verfahren A (Substitutionsverfahren) werden die folgenden zusätzlichen Empfehlungen gegeben:

- Im Falle von Detektoren, die gegenüber dem Licht empfindlich sind, das aus all den verschiedenen möglichen Richtungen in der Kugel kommt (Radiometer/Photometer), wird empfohlen, das Messfenster so nahe wie möglich am Probenfenster anzuordnen, um die erforderliche Größe der Streulichtblende so gering wie möglich zu halten.
- Im Falle von Detektoren mit einem engen Betrachtungswinkel (z. B. Strahldichte-/Leuchtdichtemessgeräte) muss die beobachtete Fläche mit Streulichtblenden vor einer direkten Bestrahlung geschützt werden, wie unter 6.2.3 angegeben. Es wird empfohlen, die beobachtete Fläche so nahe wie möglich am Probenfenster anzuordnen, um die erforderliche Größe der Streulichtblende für die beobachtete Fläche so gering wie möglich zu halten.

ANMERKUNG 8 Die Bilder 6 und 7 in CIE 130:1998 geben Beispiele für optimierte Standorte für den Detektor an, durch die die Größe der Streulichtblenden so gering wie möglich gehalten wird.

Hinsichtlich der Prüfeinrichtung für Verfahren C muss sich der Detektor am höchsten oder tiefsten Punkt der Kugel befinden.

6.3 Vergleichsproben

Die Vergleichsproben müssen von ausreichender Größe sein, um die Möglichkeit des Lichtaustritts an den Kanten des Eintrittsfensters zu verhindern. Die Größe muss mit dem Probenfach des Instruments kompatibel sein. Die Vergleichsproben müssen sauber und trocken sein. Es sind die vom Hersteller angegebenen Lagerungs- und Reinigungsverfahren zu beachten.

Die Vergleichsproben sollten in Hinblick auf den Reflexions- oder den Transmissionsgrad ähnliche Eigenschaften aufweisen wie die Messproben (z. B. diffus reflektierende Vergleichsprobe für diffus reflektierende Messprobe). Mit der Messung der Vergleichsproben müssen folgende Genauigkeiten nachgewiesen werden:

- diffus reflektierende Vergleichsproben (z. B. gesintertes PTFE mit geringer Dichte) mit einem Reflexionsgrad zwischen 0,85 und 1 sind mit einer absoluten Genauigkeit $\leq 0,04$ zu messen;
- spiegelnd reflektierende Vergleichsproben (Spiegel) mit einem Reflexionsgrad zwischen 0,85 und 1 sind mit einer absoluten Genauigkeit $\leq 0,03$ zu messen;
- direkt durchlässige Vergleichsproben (z. B. Glasplatten) mit einem Transmissionsgrad zwischen 0,75 und 1 sind mit einer absoluten Genauigkeit $\leq 0,03$ zu messen.

Sekundär-Vergleichsproben, die durch das Labor selbst kalibriert wurden, sind zulässig, wenn die zusätzliche Unsicherheit berücksichtigt wird und die Genauigkeit rückverfolgbar ist.

6.4 Messproben

6.4.1 Allgemeines

Sofern die Messprobe an einer Eintrittsöffnung der Kugel (Fenster Nr. 3) befestigt wird, müssen die Messproben von ausreichender Größe sein, um die Möglichkeit des Lichtaustritts an den Kanten des Eintrittsfensters zu verhindern. Die Größe muss mit dem Probenfach des Instruments kompatibel sein. Sofern nichts anderes festgelegt ist, müssen Messproben sauber und trocken sein. Es sind die vom Hersteller angegebenen Lagerungs- und Reinigungsverfahren zu beachten.

Die Werte des Transmissionsgrades und des Reflexionsgrades auf beiden Seiten einer Probe können unterschiedlich sein. Die Fläche, für die die Werte des Reflexionsgrades und des Transmissionsgrades ermittelt wurden, muss eindeutig gekennzeichnet sein. Zum Beispiel ist ein Wertesatz der gekennzeichneten Seite des Produkts zugeordnet und der andere Wertesatz der Rückseite.

Die zu messende Seite (die Bezugsseite) und die aufrechte Position muss auf der Probe mit einem Pfeil gekennzeichnet werden.

ANMERKUNG Der Pfeil zeigt üblicherweise die Kettrichtung an.

6.4.2 Messproben mit gerichteten Merkmalen

Im Falle von Messproben mit gerichteten Merkmalen (z. B. Behänge mit Lamellen und bestimmten ein- oder mehrfarbigen Geweben) ist die Winkelausrichtung dieser Merkmale hinsichtlich der Einfallsebene oder der Sichtebeine festzulegen.

ANMERKUNG Die Einfallsebene ist die Ebene, die die Normale zur Oberfläche der Messprobe und die Richtung der einfallenden Strahlung umfasst.

Im Falle von homogenen Proben ohne gerichtete Merkmale ist es ausreichend, die Richtung der einfallenden Strahlung mit dem Einfallswinkel θ zu charakterisieren. θ ist der Winkel zwischen der Normalen zur Oberfläche und der optischen Achse der einfallenden Strahlung.

6.4.3 Messproben mit streuenden Eigenschaften

Den Messungen des Transmissionsgrades liegt eine konventionelle Grenze zwischen direkter und diffuser durchgelassener Strahlung zugrunde. Bei der Messung von streuenden Materialien tritt im Bereich dieses Schwellenwerts häufig ein starker Strahlungsgradient auf. In diesem Fall werden Messwerte diffuser und direkter Anteile von der relativen Größe der Austrittsöffnung (Fenster 5), unterschiedlichen Reflexionsgraden der Kugelwand und des Stopfens für Fenster Nr. 5 und lateralen Ablenkungen des Lichts beeinflusst, da diese Effekte bei stark lichtstreuenden Proben stärker sind.

Sofern das Verhältnis a_5/A im Bereich $0,004 < a_5/A < 0,007$ liegt, muss dies nach 6.5.3.2 gekennzeichnet werden, wenn die Probe für die Messung von τ_{n-n} und τ_{n-diff} als entscheidend angesehen wird.

6.4.4 Dicke lichtdurchlässige Proben

Eine lichtdurchlässige Probe ist als dick anzusehen, wenn besondere Verfahren erforderlich sind, um zu verhindern, dass ein wesentlicher Anteil der reflektierten oder durchgelassenen Strahlung aufgrund lateraler Verluste nicht nachgewiesen wird.

Sofern Zweifel dahingehend bestehen, ob eine Probe als dick anzusehen ist, ist das Prüfverfahren nach den Festlegungen in 6.5.4.2.2 anzuwenden.

ANMERKUNG 1 Die physikalischen Maße einer Probe sind für die Unterscheidung zwischen dünnen und dicken Proben nicht der entscheidende Faktor. Es ist wichtiger, ob eine Probe stark diffus strahlend ist oder nicht.

ANMERKUNG 2 Wenn ein klares Glas mit einer diffus strahlenden Oberfläche (z. B. bedrucktes Glas) den gleichen direkt/diffusen Transmissionsgrad hat wie ein Glas mit Volumenstreuung, weist es höhere laterale Verluste auf, da die internen Reflexionen leichter fortschreiten können.

ANMERKUNG 3 Eine während der Bestrahlung der Probe mit einem quasiparallelen Strahlenbündel durchgeführte Sichtprüfung kann für die Entscheidung hilfreich sein, ob eine Probe als dick anzusehen ist.

ANMERKUNG 4 Diese Definition von „dicken“ Proben ist in CIE 130 angegeben.

6.5 Messverfahren

6.5.1 Allgemeines

Verfahren A: Eine Ulbrichtsche „Einstrahlkugel“ verwendet einen Lichtstrahl, der über Fenster Nr. 3 in die Kugel gelangt.

Verfahren B: Eine „quasi-simultane“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel verwendet zwei separate Lichtstrahlen, die über Fenster Nr. 3 und Fenster Nr. 2 in die Kugel gelangen. Zu jedem Zeitpunkt liegt nur einer der beiden Strahlen an und es wird ein Lichtchopper verwendet, um schnell zwischen den beiden Strahlen zu wechseln. Mit der Lock-In-Technik werden beide Signale „quasi-simultan“ gemessen. Üblicherweise ist das vom Messgerät ausgegebene Signal der Quotient der Signale von den zwei Strahlen.

Verfahren C: Eine „sequenzielle“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel verwendet zwei separate Lichtstrahlen, die über Fenster Nr. 3 und Fenster Nr. 2 in die Kugel gelangen. Bei der Messung liegt jeweils nur einer der beiden Strahlen an und die Signale werden separat aufgezeichnet.

Tabelle 1 fasst die mit den Verfahren A, B und C gemessenen Merkmale zusammen.

Tabelle 1 — Übersichtstabelle Messverfahren mit Ulbrichtscher Kugel

	τ_{n-h}	τ_{n-dif}	τ_{dir-h}	$\tau_{dir-dir}$	τ_{dif-h}	ρ_{n-h}	ρ_{dir-h}
Verfahren A	ja	nein	ja	nein	ja	ja	ja
Verfahren B	ja	ja	ja	ja	nein	ja	ja
Verfahren C	ja	ja	ja	ja	nein	ja	ja

Bei der Messung diffus strahlender Proben ist besondere Sorgfalt erforderlich. Dies gilt insbesondere für die im Bereich von Fenster Nr. 5 auftretenden Effekte, unterschiedliche Reflexionsgrade der Kugelwand und des Stopfens für Fenster Nr. 5 und laterale Ablenkungen des Lichts, da diese Effekte bei stark lichtstreuenden Proben stärker sind. Für τ_{n-dif}/τ_{n-h} sollte ein Grenzwert in Betracht gezogen werden (z. B. 0,85), um Proben identifizieren zu können, die ohne speziell angepasste Messgeräte möglicherweise nicht genau charakterisiert werden können. Insbesondere können Kugeln mit einer großen absoluten Fläche für Fenster Nr. 3 erforderlich sein, was größere Kugeln erforderlich macht.

ANMERKUNG Der durch Anleuchten einer Probe mit einem Laserpointer (bevorzugt blau oder grün) sichtbar gemachte Punkt der auftreffenden durchgelassenen Strahlung kann auch zur Identifizierung von Proben herangezogen werden, die möglicherweise ungenau gemessen wurden. Wenn der helle Punkt erheblich größer als der Querschnitt des Laserstrahls ist, sind Verluste durch laterale Ablenkung zu erwarten.

Die Proben sollten nicht mit einem in alle Richtungen abstrahlenden Punktstrahler wie z. B. einer Glühlampe angeleuchtet werden, um zu ermitteln, ob in der Probe eine laterale Ablenkung auftritt.

Aufgrund seiner inhärenten Korrektur der Abweichung bei der Quellenhelligkeit bzw. dem Verstärker-gewinn wird Verfahren B empfohlen.

6.5.2 Aufwärmphase

Es ist eine ausreichende Aufwärmphase einzuhalten, damit die Bestrahlungs- und Nachweisbedingungen stabil sind.

6.5.3 Vorabprüfungen der Proben

6.5.3.1 Allgemeines

Die Größe der bestrahlten/beleuchteten Fläche der Probe muss im Vergleich zur Struktur der Probe ausreichend groß sein, so dass das Ergebnis von dem Ort unabhängig ist, an dem der einfallende Strahl auf die Probe auftrifft. Ist dies nicht möglich, ist der Mittelwert mehrerer Messungen an verschiedenen Stellen auf der Probe, gewichtet mit der relativen Größe jeder Fläche, zu verwenden.

Mit dem durch Anleuchten einer Probe mit einem Laserpointer (bevorzugt blau oder grün) sichtbar gemachten Punkt der auftreffenden durchgelassenen Strahlung kann ermittelt werden, ob das durchgelassene Licht eine stark inhomogene räumliche Verteilung aufweist. Wenn dies der Fall ist, sollten mehrere Messungen durchgeführt werden, bei denen der Strahl auf verschiedene Punkte auf der Messprobe auftrifft und die Garnrichtung gegenüber der vertikalen Ebene unterschiedliche Winkel einnimmt.

ANMERKUNG Viele matte Proben (z. B. Opalglaslamellen) sind abrasiv und können verunreinigt werden, wenn sie mit dem schwarzen Anstrich in Berührung kommen. Bei diesen Materialien kann ein dünnes Blatt schwarzes Papier, das um die Probe herum angeordnet wird, eine Verunreinigung der Probe verhindern.

6.5.3.2 Identifizierung kritischer Proben in Bezug auf Streueigenschaften

6.2.3.2 enthält allgemeine Anforderungen an Ulbrichtsche Kugeln und Fenster. Wenn Fenster 5 der Ulbrichtschen Kugel ein Größenverhältnis zwischen 0,0035 und 0,004 zur Innenfläche der Kugel aufweist, können alle Proben mit den in 6.5.5.2.1 (Verfahren B) und 6.5.6.1 (Verfahren C) beschriebenen Standardverfahren gemessen werden. Wenn die Ulbrichtsche Kugel jedoch ein Größenverhältnis a_5/A zwischen $0,004 < a_5/A \leq 0,007$ aufweist, muss eine Vorabprüfung durchgeführt werden, um zu kontrollieren, ob die Probe in Bezug auf die Messung von Komponenten mit diffuser und direkter Transmission kritisch ist.

ANMERKUNG Wenn nur τ_{n-h} oder τ_{dir-h} zu bestimmen sind, ist das Vorhandensein oder die Fläche von Fenster Nr. 95 nicht relevant.

Das Verfahren zur Ermittlung, ob eine Probe kritisch ist, ist wie folgt (Transmissionsgrade werden als Werte zwischen 0 und 1 und nicht als prozentuale Anteile angegeben).

- Der normal/hemisphärische Transmissionsgrad und der normal/diffuse Transmissionsgrad mit der Probe in Fenster Nr. 3 wird bei einer Wellenlänge von 550 nm (oder mit dem gesamten Spektrum) und mit $\tau_{n-h}(550 \text{ nm})$ und $\tau_{n-dif}(550 \text{ nm})$ gemessen, und es wird folgende Berechnung durchgeführt:

$$\tau_{nn}(550 \text{ nm}) = \tau_{nh}(550 \text{ nm}) - \tau_{ndif}(550 \text{ nm}) \quad (3)$$

- Wenn $\tau_{n-n}(550 \text{ nm}) < 0,005$ ist, wird die Probe für die Bestimmung von τ_{n-n} als „kritisch“ angesehen.
- Wenn nicht, wird der normal/hemisphärische Transmissionsgrad und der normal/diffuse Transmissionsgrad mit der im Versatzabstand pb (Bild 7) angeordneten Probe bei einer Wellenlänge von 550 nm (oder mit dem gesamten Spektrum), mit $\tau_{n-h}^{pb}(550 \text{ nm})$ und $\tau_{n-dif}^{pb}(550 \text{ nm})$ gemessen.

Der Versatzabstand pb (en: pullback distance) ist als Differenz des Durchmessers D_{eff} einer virtuellen Kugel mit einem Verhältnis von $a_5/A_{eff} = 0,00375$ und dem Durchmesser D der physischen Kugel definiert, wobei A_{eff} die Fläche der virtuellen Kugelwand ist. Der Versatzabstand ist gegeben als

$$pb = \sqrt{\frac{a_5}{\pi \cdot 0,00375}} \quad (4)$$

Dabei ist:

a_5 die Fläche von Fenster Nr. 5;

D der Durchmesser der Ulbrichtschen Kugel.

- Der normal/normale Transmissionsgrad am Punkt mit Versatzabstand wird wie folgt berechnet:

$$\tau_{nn}^{pb}(550 \text{ nm}) = \tau_{nh}^{pb}(550 \text{ nm}) - \tau_{ndif}^{pb}(550 \text{ nm}) \quad (5)$$

- Der Gradient G wird wie folgt berechnet:

$$G = \frac{\tau_{nn}(550 \text{ nm}) - \tau_{nn}^{pb}(550 \text{ nm})}{\frac{a_5}{A} - \frac{a_5}{A_{eff}}} \quad (6)$$

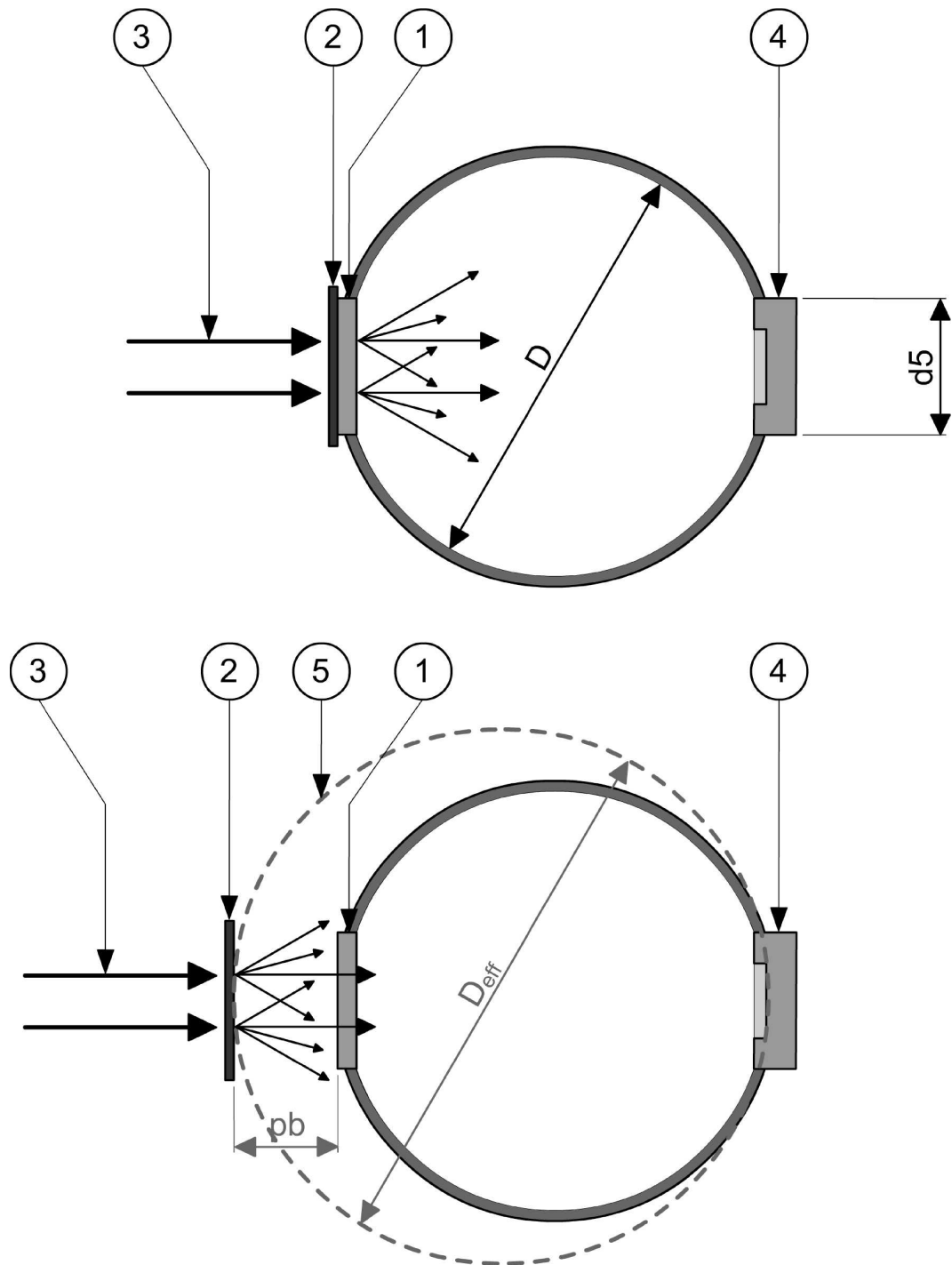
Dabei ist:

a_5 die Fläche von Fenster Nr. 5;

A die Innenfläche der Kugelwand;

A_{eff} die Innenfläche der virtuellen Kugelwand, wie in 6.2.3.1 definiert.

- Wenn der Gradient G größer oder gleich 2 ist, wird die Probe als kritisch angesehen. Wenn nicht, ist sie nicht kritisch.



Legende

- 1 Fenster Nr. 3
- 2 Probe
- 3 auffallender Strahl
- 4 Fenster Nr. 5
- 5 virtuelle Kugel

Bild 7 — Versatzabstand

6.5.4 Prüfverfahren A – Ulbrichtsche Einstrahlkugel (Substitutionsverfahren)

6.5.4.1 Allgemeines

Beim Substitutionsverfahren (Prüfverfahren A) werden Mess- und Vergleichsprobe nacheinander am selben Kugelfenster gemessen. Als Ergebnis dessen weichen der mittlere Reflexionsgrad der Wände bei der Prüfung und der mittlere Reflexionsgrad der Wände bei der Vergleichsmessung voneinander ab, wenn die beiden Proben in Bezug auf den Reflexionsgrad der ins Kugellinnere weisenden Oberfläche unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Das bedeutet, dass in den meisten Fällen die Empfindlichkeit der Kugel/Detektor-Einrichtung bei der Probenmessung und die Empfindlichkeit der Kugel/Detektor-Einrichtung bei der Vergleichsmessung voneinander abweichen. Diese Auswirkung ist mit einer Hilfslampe oder einer Hilfsmessung des Reflexionsgrades zu korrigieren.

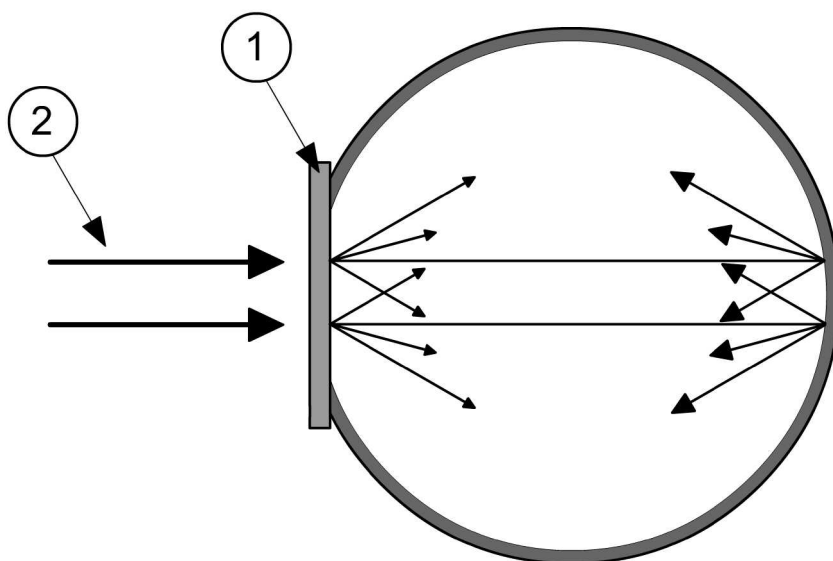
Die Auswirkung könnte auch unter Anwendung des Hilfsschirmverfahrens korrigiert werden. In diesem Fall sollten die Empfehlungen nach CIE 130 befolgt werden.

Messungen mit einer Ulbrichtschen Kugel mit einem Probenfenster, das im Vergleich zum Durchmesser der Kugel zu groß ist, können nur unter Anwendung des Substitutionsverfahrens durchgeführt werden.

6.5.4.2 Bestimmung von $\tau_{\text{dir-h}}$

6.5.4.2.1 Allgemeiner Fall

Der Transmissionsgrad ist mit dem einfallenden Strahl normal zur Oberfläche der Messprobe zu bestimmen. Die Messprobe wird außen angebracht, wobei die Außenseite dem einfallenden Strahl zugewandt ist (siehe Bild 8).



Legende

- 1 Probe
- 2 einfallender Strahl

Bild 8 — Ulbrichtsche Kugel für die Messung des Transmissionsgrades

Der direkt/hemisphärische Transmissionsgrad $\tau_{\text{dir-h}}$ der Probe ist das Verhältnis zwischen dem nachgewiesenen Lichtstrom ϕ mit der Probe vor der Kugel und dem nachgewiesenen Lichtstrom ϕ_0 ohne Probe. Die Empfindlichkeit des Nachweissystems (Ulbrichtsche Kugel und Detektor) ist in starkem Maße vom Gesamt-Reflexionsgrad der Innenwand der Kugel abhängig, und dieser Reflexionsgrad ändert sich abhängig davon, ob die Probe sich vor der Kugel befindet oder nicht, bzw. davon, ob eine Vergleichsprobe verwendet wird.

Um den systematischen Fehler zu korrigieren, der durch die Reflexion der Rückseite der Probe verursacht wird und die Gesamtreflexion der Kugelwand ändert, müssen beim Messverfahren nacheinander folgende Schritte ausgeführt werden:

- Schritt 1: Messung des Lichtstroms ϕ_0 ohne Probe oder mit Vergleichsprobe und mit einer äußeren Quelle beleuchtet, wobei die innere Quelle ausgeschaltet ist;
- Schritt 2: Messung des Lichtstroms ϕ mit der Probe vor der Kugel und mit einem außen auffallenden Strahl beleuchtet, wobei die innere Quelle ausgeschaltet ist;
- Schritt 3: Messung des Lichtstroms ϕ_{od} ohne Probe oder mit Vergleichsprobe und mit einem innen auffallenden Strahl auf der Kugelwand beleuchtet, wobei die äußere Quelle ausgeschaltet ist;
- Schritt 4: Messung des Lichtstroms ϕ_{d} mit der Probe vor der Kugel und mit einem innen auffallenden Strahl auf der Kugelwand beleuchtet, wobei die äußere Quelle ausgeschaltet ist.

Die Erläuterungen für jede der Messungen sind in Tabelle 2 angegeben.

Wird keine Vergleichsprobe angewendet, ist τ_{ref} gleich 1.

Tabelle 2 — Verfahren zur Messung des Transmissionsgrades

Schritt	Quelle	Probe	gemessener Lichtstrom
1	außen	keine ($\tau_{\text{ref}} = 1$) oder Vergleichsprobe	$\phi_0 = K\phi_i \frac{\rho_w}{1 - \rho_s} \tau_{\text{ref}}$
2	außen	vor der Kugel	$\phi = K\phi_i \tau_{\text{dirh}} \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s'}}$
3	innen	keine ($\tau_{\text{ref}} = 1$) oder Vergleichsprobe	$\phi_{\text{od}} = K\phi_s \frac{\rho_w}{1 - \rho_s}$
4	innen	vor der Kugel	$\phi_{\text{d}} = K\phi_s \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s'}}$

Dabei ist

K eine von der Geometrie der Kugel und der Messfenster abhängige Konstante;

ϕ_i der auffallende Lichtstrom der äußeren Quelle;

ϕ_s der auffallende Lichtstrom der inneren Quelle;

ρ_w der Reflexionsgrad der Kugelwand;

ρ_s der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel ohne Probe;

ρ_s' der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel mit der Probe vor der Kugel.

Die Konstante K ist abhängig von:

A_{det} der Fläche des Messfensters;

A_e der Fläche des Eintrittsfensters der Kugel;

Ω dem durch den Detektor wahrgenommenen Raumwinkel (Sehfeld).

$$K = \frac{A_{\text{det}}}{A_e} \cdot \frac{\Omega}{\pi} \quad (7)$$

Der Transmissionsgrad ergibt sich nach der folgenden Gleichung:

$$\tau_{\text{dirh}} = \frac{\Phi}{\Phi_0} \frac{\Phi_{\text{od}}}{\Phi_d} \tau_{\text{ref}} \quad (8)$$

Alternativ darf, wenn der spektrale Reflexionsgrad $\rho_{e,h-h}$, $\rho_{v,h-h}$ oder $\rho_{h-h}(\lambda)$ der Probe und der Durchsatz der Ulbrichtschen Kugel F_e , F_v oder $F(\lambda)$ bekannt sind, die folgende Gleichung angewendet werden:

$$\tau_{\text{dirh}} = \frac{\Phi}{\Phi_0} (1 - F\rho'_{hh}) \quad (9)$$

Dabei ist F

$$F = \frac{A_e}{A_s} \frac{1}{1 - \rho_s} \quad (10)$$

Der herkömmliche Durchsatz T der Kugel ist definiert als der auf den Detektor auffallende Lichtstrom, bezogen auf den in die Kugel einfallenden Lichtstrom:

$$T = \frac{\Phi_0}{\Phi_{\text{in}}} = K \cdot \frac{\rho_w}{1 - \rho_s} \quad (11)$$

Dabei werden

ϕ_0 und ϕ_{in} ohne Probe gemessen ($\tau_{\text{ref}} = 1$). ϕ_{in} muss im Eintrittsfenster gemessen werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Beleuchtungsstärke zu bestimmen und mit der Fläche des Eintrittsfensters zu multiplizieren.

Um F zu bestimmen, wird die Leuchtdichte der Kugelwand gemessen und durch die Leuchtdichte eines am Eintrittsfenster angeordneten Elements der Kugelwand dividiert. Bei der ersten Messung ist der auf den Detektor mit dem Sehfeld W auffallende Lichtstrom wie folgt:

$$\Phi_{\text{d,s}} = \frac{A_{\text{det}}}{A_s} \cdot \frac{\Omega}{\pi} \cdot \frac{\rho_w}{1 - \rho_s} \cdot \Phi_{\text{in}} = T \cdot \Phi_{\text{in}}$$

$$\Phi_{\text{d,e}} = A_{\text{det}} \cdot \Omega \cdot \rho_w \cdot \frac{\Phi_{\text{in}}}{A_e \cdot \pi}$$

Daraus folgt

$$F = \frac{\Phi_{d,s}}{\Phi_{d,e}} = \frac{A_e}{A_s} \cdot \frac{1}{1 - \rho_s} \quad (12)$$

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von F besteht darin, in den Schritten 1 und 2 ϕ_0 und ϕ für Kalibrierproben mit bekanntem Transmissionsgrad τ und hemisphärischem Reflexionsgrad ρ_{h-h} zu messen. Dann gilt:

$$F = \frac{1 - \tau \cdot \frac{\phi_0}{\phi}}{\rho'_{hh}} \quad (13)$$

ANMERKUNG Üblicherweise werden für die Messungen des Transmissionsgrades keine Vergleichsproben verwendet, da das offene Probenfenster als Bezug genutzt werden kann, woraus sich absolute Messergebnisse für den Transmissionsgrad ergeben. Für sehr genaue Messungen mit diffus strahlenden/das Licht zurückleitenden Proben ist es besser, auch für die Messungen des Transmissionsgrades eine zusätzliche diffus strahlende Vergleichsprobe oder eine Vergleichsprobe zu verwenden, die ähnliche Lichtverteilungskenngrößen aufweist wie die Messprobe. In einem derartigen Falle werden zwei Messungen mit und ohne Vergleichsprobe durchgeführt.

6.5.4.2.2 Sonderfall dicker lichtdurchlässiger Proben

Im Falle dicker lichtdurchlässiger Proben können laterale Lichtverluste zu großen Messfehlern führen und müssen daher so gering wie möglich gehalten werden. Laterale Verluste können mit einer der beiden folgenden Konfigurationen so gering wie möglich gehalten werden:

- Konfiguration 1: großes Strahlenbündel/kleines Probenfenster. Der Durchmesser der bestrahlten Fläche muss mehr als mindestens das 2fache des Durchmessers des Probenfensters betragen. Die Mess- und Vergleichsproben müssen größer sein als die bestrahlte Fläche. Um einigermaßen genaue Messergebnisse zu erzielen, ist der Einfluss der Dicke zu beurteilen;

ANMERKUNG Das Ziel dieser Konfiguration besteht darin, die lateralen Verluste durch laterale Gewinne zu kompensieren.

- Konfiguration 2: kleines Strahlenbündel/großes Probenfenster. Das Probenfenster ist im Vergleich zur bestrahlten Fläche auf der Probe sehr groß, so dass der größte Teil des durchgelassenen Lichts in der Ulbrichtschen Kugel aufgefangen werden kann. Um einigermaßen genaue Messergebnisse zu erzielen, ist der Einfluss der Dicke zu beurteilen.

Dennoch wird empfohlen, Konfiguration 1 anzuwenden, da Konfiguration 2 theoretisch niemals zum korrekten Ergebnis führt, weil stets Verluste durch Reflexion höherer Ordnung auftreten.

6.5.4.3 Bestimmung von $\rho_{\text{dir-h}}$

6.5.4.3.1 Allgemeines

Der direkt/hemisphärische Reflexionsgrad kann mit den folgenden Verfahren bestimmt werden:

- Messung des Reflexionsgrades mit an der Wand angebrachter Probe (nur „dünne“ Proben) (siehe Bild 9);
- Messung des Reflexionsgrades mit im Mittelpunkt angebrachter Probe, wobei die Messprobe im Mittelpunkt der Kugel und vor einem schwarzen lichtundurchlässigen absorbierenden Material angeordnet ist (siehe Bild 10);

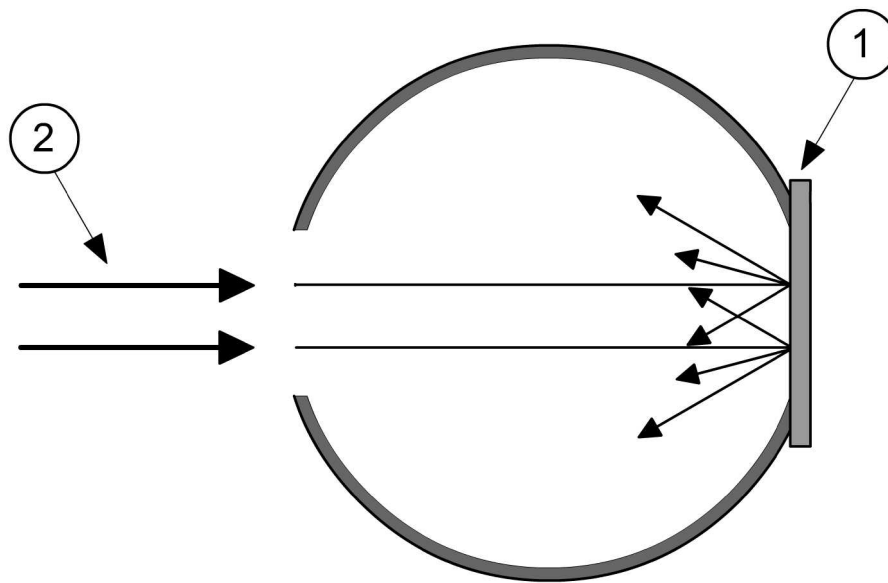
— Bestimmung aus der Messung des Absorptionsgrades mit im Mittelpunkt angebrachter Probe (siehe Bild 11).

6.5.4.3.2 Direkte Messung von $\rho_{\text{dir-h}}$ mit an der Wand oder im Mittelpunkt angebrachter Probe

Die Messprobe muss mit der Außenseite dem auffallenden Strahl zugewandt und entweder im Mittelpunkt (siehe Bild 10) oder an der Rückseite der Kugel (siehe Bild 9) angebracht sein.

An der Wand angebrachte Proben dürfen nur für „dünne“ Proben verwendet werden.

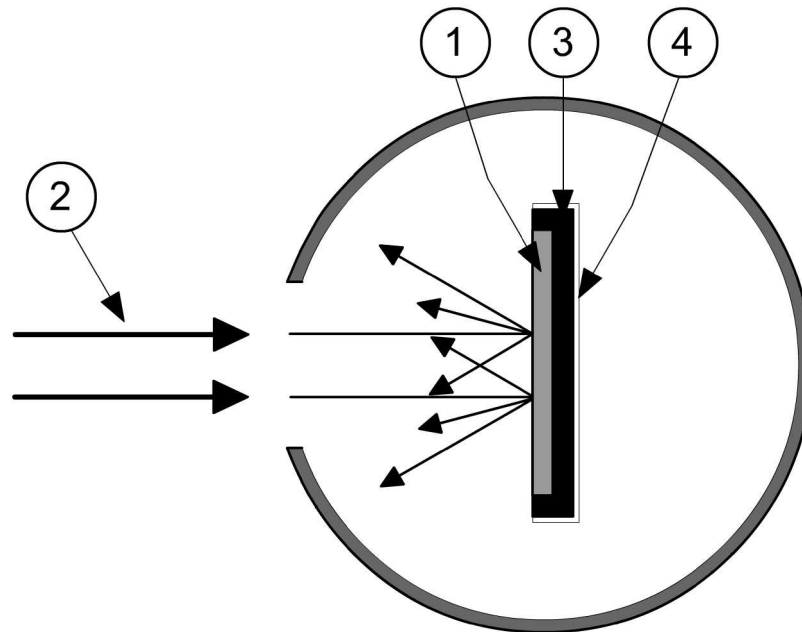
Wenn sich die Messprobe im Mittelpunkt der Kugel befindet, muss hinter ihr ein schwarzes licht- undurchlässiges absorbierendes Material angeordnet sein ($\rho_{\text{e,n-h}} \leq 0,02$ und $\rho_{\text{v,n-h}} \leq 0,02$), das auf der Rückseite weiß ist, um den durchgelassenen Lichtstrom von der Messung auszuschließen.



Legende

- 1 Probe
- 2 auffallender Strahl

Bild 9 — Ulbrichtsche Kugel für die Messung des Reflexionsgrades bei einer an der Wand angebrachten Probe



Legende

- 1 Probe
- 2 auffallender Strahl
- 3 schwarzes lichtundurchlässiges absorbierendes Material
- 4 weißes Material

Bild 10 — Messung des Reflexionsgrades bei einer im Mittelpunkt angebrachten Probe

Der direkt/hemisphärische Reflexionsgrad $\rho_{\text{dir-h}}$ der Probe ist das Verhältnis zwischen dem mit der Probe nachgewiesenen Lichtstrom ϕ_s und dem mit einer Vergleichsprobe nachgewiesenen Lichtstrom ϕ_{ref} multipliziert mit dem Reflexionsgrad der Vergleichsprobe.

Um den Überschuss an Licht zu berücksichtigen, muss die dunkle Linie mit der Bezeichnung ϕ_{dark} gemessen und entsprechend der folgenden Gleichung berücksichtigt werden:

$$\rho_{\text{dirh}} = \frac{\phi_s - \phi_{\text{dark}}}{\phi_{\text{ref}} - \phi_{\text{dark}}} \rho_{\text{ref}} \quad (14)$$

Eine Anleitung für die verschiedenen Messungen ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Verfahren zur Messung des Reflexionsgrades bei an der Wand oder im Mittelpunkt angebrachter Probe

Schritt	Zu messender Lichtstrom	Aufbau mit Proben an der Rückseite oder im Mittelpunkt der Kugel	Bedeutung des gemessenen Lichtstroms
1	ϕ_s	mit der zu messenden Probe aufgezeichneter Lichtstrom	$\phi_s = K\phi_i \frac{\rho_{\text{dirh}}}{1 - \rho_s}$
2	ϕ_{ref}	mit der Vergleichsprobe aufgezeichneter Lichtstrom	$\phi_{\text{ref}} = K\phi_i \frac{\rho_{\text{ref}}}{1 - \rho_s}$
3	ϕ_{dark}	ohne Probe oder mit Lichtfallenprobe aufgezeichneter Lichtstrom	ϕ_{dark}

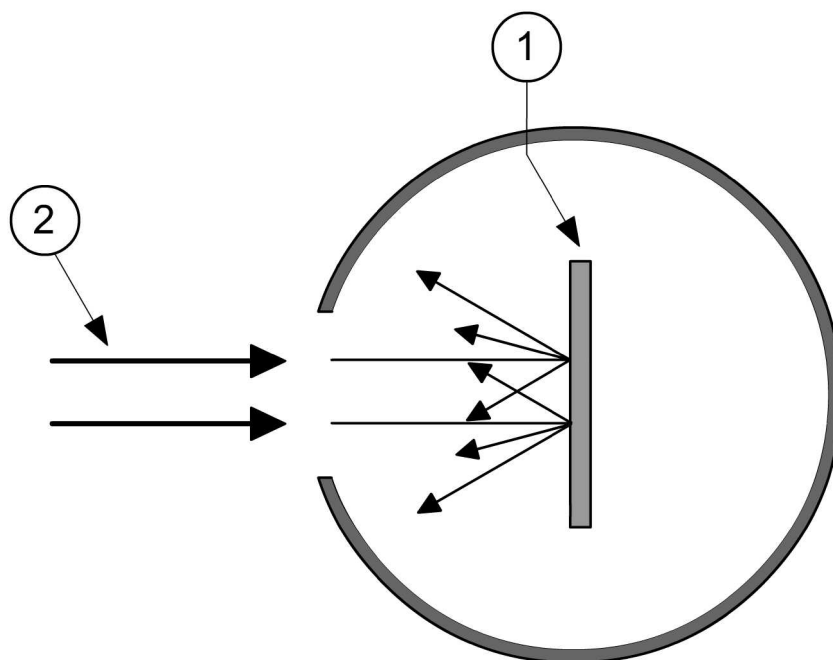
Dabei ist

- K eine von der Geometrie der Kugel und der Messfenster abhängige Konstante;
- ϕ_i der außen auffallende Lichtstrom;
- ρ_{ref} der Reflexionsgrad der Kugelwand oder der Vergleichsprobe;
- $\rho_{\text{dir-h}}$ der Reflexionsgrad der Probe;
- ρ_s der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel mit der entsprechend angeordneten Probe.

6.5.4.3.3 Indirekte Messung von $\rho_{\text{dir-h}}$ mit im Mittelpunkt angebrachter Probe

In diesem Fall wird nichts hinter der Probe angeordnet, um die Summe aus Transmissions- und Reflexionsgrad $m = (\tau + \rho)$ zu messen. Mit einer zusätzlichen Messung des Transmissionsgrades kann der Reflexionsgrad nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\rho_{\text{dirh}} = 1 - \tau_{\text{dirh}} - (1 - m) \quad (15)$$



Legende

- 1 Probe
2 auffallender Strahl

Bild 11 — Ulbrichtsche Kugel für die Messung des Reflexionsgrades für im Mittelpunkt der Kugel angebrachte Probe

Im Falle von dicken Proben mit lateralen Verlusten sollten die Kanten der Probe mit einer reflektierenden Folie abgedeckt werden, deren Reflexionsgrad über 80 % beträgt.

6.5.4.4 Bestimmung von $\tau_{\text{dif-h}}$

Die Messung erfolgt auf genau dieselbe Weise wie die Messung des direkt/hemisphärischen Transmissionsgrades (siehe 6.5.4.2), wobei der einzige Unterschied darin besteht, dass die Beleuchtung diffus ist.

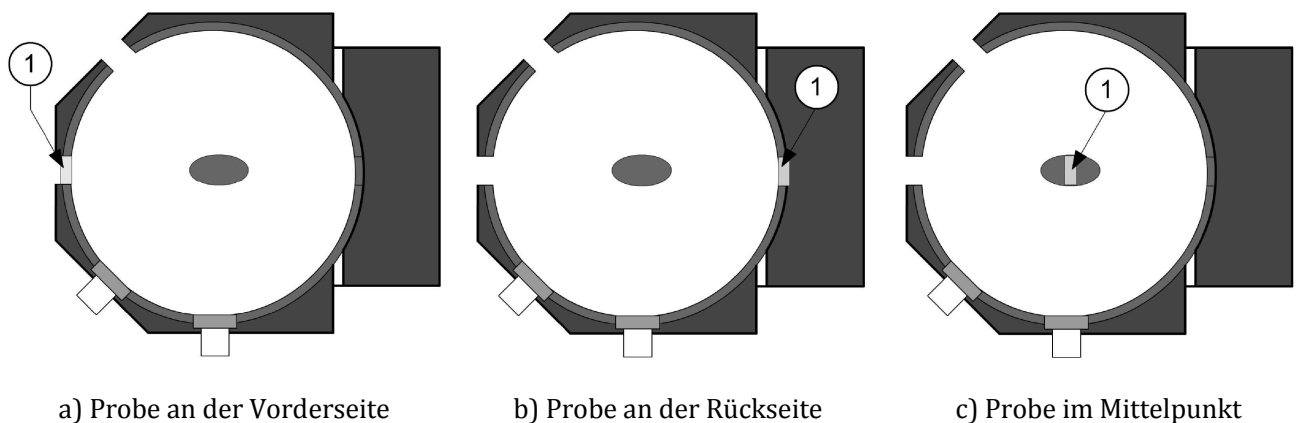
ANMERKUNG Eine diffuse Beleuchtung kann mit einer beleuchteten Ulbrichtschen Kugel erzielt werden.

6.5.5 Prüfverfahren B – „quasi-simultane“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel

6.5.5.1 Allgemeines

Für normal/hemisphärische Messungen muss das Spektrometer mit einer Ulbrichtschen Kugel mit folgenden Kenngrößen ausgestattet sein (siehe Bild 4):

- entweder ein Aufbau, bei dem sich die Probe an der Vorderseite der Kugel befindet: Probe am Fenster Nr. 3, Fenster Nr. 5 und Nr. 7 geschlossen, Halterung Nr. 4 entfernt (siehe Bild 12a);
- oder ein Aufbau, bei dem sich die Probe an der Rückseite der Kugel befindet: Probe am Fenster Nr. 5, Fenster Nr. 7 geschlossen, Halterung Nr. 4 entfernt (siehe Bild 12b);
- oder ein Aufbau, bei dem sich die Probe im Mittelpunkt der Kugel befindet: Probe an der Halterung Nr. 4, Fenster Nr. 5 und Nr. 7 geschlossen (siehe Bild 12c).



Legende

1 Probe

Bild 12 — Verschiedene Aufbauten für direkt/hemisphärische Messungen

6.5.5.2 Bestimmung von $\tau_{\text{n-h}}$, $\tau_{\text{n-dif}}$ und $\tau_{\text{n-n}}$

6.5.5.2.1 Allgemeines Verfahren

Wenn sich die Abmessungen von Fenster 5 innerhalb des beschränkten Bereichs befinden (für nicht kritische Proben):

- $\tau_{\text{n-h}}$ und $\tau_{\text{n-dif}}$ sind nach diesem Abschnitt zu messen;
- $\tau_{\text{n-n}}$ ist zu berechnen.

Zwischen den Messungen von τ_{n-h} und τ_{n-dif} darf die Probe nicht bewegt werden, damit sichergestellt ist, dass τ_{n-n} korrekt bestimmt wird. Der Grund hierfür ist, dass einige Messabweichungen wie z. B. Lichtverluste aufgrund von lateraler Ablenkung bei Messungen von τ_{n-h} und τ_{n-dif} nur dann identisch sind, wenn sich die Probe bei beiden Messungen exakt in derselben Position befindet. Die unten beschriebene Abfolge hat den Vorteil, dass die Probe für beide Messungen an derselben Position verbleibt.

Der Transmissionsgrad ist mit dem einfallenden Strahl normal zur Oberfläche der Messprobe zu bestimmen. Die Messprobe ist vor der Kugel anzubringen (Fenster Nr. 3), wobei ihre Außenseite dem einfallenden Strahl zugewandt ist.

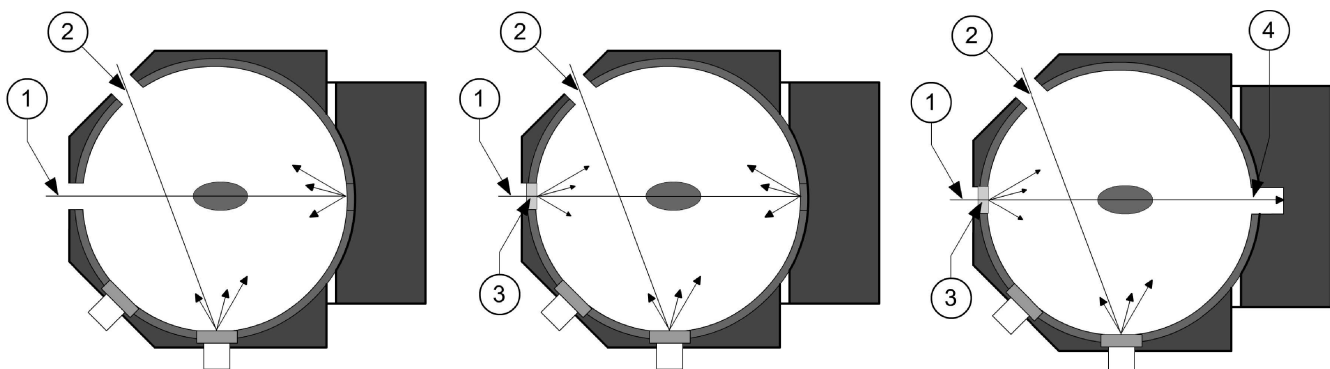
Fenster Nr. 5 ist zunächst mit einem vollkommen lichtundurchlässigen Material abzudecken, das die gleiche Beschichtung und die gleichen optischen Kenngrößen wie die Innenfläche der Kugel aufweist.

Da der Lichtstrom ϕ_s des Probenstrahls und der Lichtstrom ϕ_r des Vergleichsstrahls nicht genau übereinstimmen, ist für die Messung des Transmissionsgrades der Probe das „Substitutionsverfahren“ anzuwenden.

Die Vorgehensweise ist wie folgt:

- Schritt 1: Messung des Signals $S_1 = \phi_s/\phi_r$ ohne Probe: Fenster Nr.°3 offen (siehe Bild 4);
- Schritt 2: Messung des Signals $S_2 = \tau_{n-h} \phi_s/\phi_r$ mit der Probe vor Fenster Nr.°3 und Fenster Nr.°5 geschlossen (siehe Bild 4);
- Schritt 3: Messung des Signals $S_3 = \tau_{n-dif} \phi_s/\phi_r$ mit der Probe vor Fenster Nr.°3 und Fenster Nr.°5 offen (siehe Bild 4).

Die Bilder 13 a), b) und c) sowie Tabelle 4 zeigen die beiden verschiedenen Konfigurationen der Kugel.



a) Schritt 1: Messung ohne Probe

b) Schritt 2: Messung mit der Probe an Fenster Nr.°3; Fenster Nr.°5 geschlossen

c) Schritt 3: Messung mit der Probe an Fenster Nr.°3; Fenster Nr.°5 geöffnet

Legende

- 1 Probenstrahl ϕ_s
- 2 Vergleichsstrahl ϕ_r
- 3 Probe an Fenster Nr. 3
- 4 Austrittsöffnung Nr.°5 für direkt durchgelassenes Licht

Bild 13 — Verfahren für die Messung des normal/hemisphärischen und des direkt/diffusen Transmissionsgrades nicht kritischer Proben

Tabelle 4 — Verfahren für die Messung des normal/hemisphärischen und des normal/diffusen Transmissionsgrades nicht kritischer Proben

Schritt	Probe	Fenster Nr. 2	Fenster Nr. 5	Lichtstrom des Probenstrahls	Lichtstrom des Vergleichsstrahls	gemessenes Signal
1	keine	offen	geschlossen	ϕ_s	ϕ_r	$S_1 = \frac{\phi_s}{\phi_r}$
2	am Fenster Nr. 3	offen	geschlossen	$\tau_{\text{dir-h}} \phi_s \cdot c_1$	$\phi_r \cdot c_1$	$S_2 = \frac{\tau_{\text{dir-h}} \phi_s}{\phi_r}$
3	am Fenster Nr. 3	offen	offen	$\tau_{\text{dir-dif}} \phi_s \cdot c_2$	$\phi_r \cdot c_2$	$S_3 = \frac{\tau_{\text{dir-dif}} \phi_s}{\phi_r}$

c_1 und c_2 sind Empfindlichkeitsfaktoren des Messgerätes, die sich bei der Bestimmung von S_2 und S_3 gegenseitig aufheben und somit nicht individuell bestimmt werden müssen.

Der direkt/hemisphärische Transmissionsgrad ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\tau_{\text{nh}} = \frac{S_2}{S_1} \quad (16)$$

Der direkt/diffuse Transmissionsgrad ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\tau_{\text{ndif}} = \frac{S_3}{S_1} \quad (17)$$

Für nicht kritische Proben nach 6.5.3.2 darf der normal/normale Transmissionsgrad unter Anwendung der folgenden Gleichung aus $\tau_{\text{n-h}}$ und $\tau_{\text{n-dif}}$ bestimmt werden:

$$\tau_{\text{nn}} = \tau_{\text{nh}} - \tau_{\text{ndif}} \quad (18)$$

6.5.5.2.2 Vorgehensweise für kritische Proben

Wenn das Verhältnis a_5/A die Bedingung $0,0035 \leq a_5/A \leq 0,004$ erfüllt, kann die Bestimmung von $\tau_{\text{n-n}}$ in allen Fällen nach 6.5.5.2.1 durchgeführt werden. Für Ulbrichtsche Kugeln mit einem Verhältnis von a_5/A zwischen 0,004 und 0,007 und für nach 6.4.3 als kritisch identifizierte Proben gilt:

- $\tau_{\text{n-h}}$, $\tau_{\text{n-h}}^{\text{pb}}$ und $\tau_{\text{n-dif}}^{\text{pb}}$ sind nach diesem Abschnitt zu messen;
- $\tau_{\text{n-n}}$ und $\tau_{\text{n-dif}}$ sind zu berechnen.

Die Vorgehensweise ist wie folgt:

- Schritt 1: Messung von $\tau_{\text{n-h}}$ nach 6.5.5.2.1 mit Probe an Fenster Nr.°3, mit Ausnahme von „dicken lichtdurchlässigen Proben“, die mit Verfahren A nach 6.5.4.2.2 zu messen sind;
- Schritt 2: Messung von $\tau_{\text{n-h}}^{\text{pb}}$ nach 6.5.3.2, jedoch mit Probe im Versatzabstand pb anstatt am Fenster Nr.°3 (siehe Bild 7);

- Schritt 3: Messung von τ_{n-dif}^{pb} nach 6.5.3.2, jedoch mit Probe im Versatzabstand pb anstatt am Fenster Nr. 3 (siehe Bild 7).

Der Versatzabstand pb ist in 6.5.3.2 angegeben.

Dann ist τ_{n-n} mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$\tau_{nn} = \tau_{nh}^{pb} - \tau_{ndif}^{pb} \quad (19)$$

Dann ist τ_{n-dif} mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$\tau_{ndif} = \tau_{nh} - \tau_{nn} \quad (20)$$

Das Versatzverfahren sollte nur zur Bestimmung von τ_{n-n} verwendet werden. Daraus folgt, dass die ermittelten absoluten Werte für τ_{n-h}^{pb} und τ_{n-dif}^{pb} nicht genau sind, sondern nur die Differenz τ_{n-n} genau ist.

ANMERKUNG Das Entscheidungsschema in Anhang E fasst zusammen, wie kritische Proben identifiziert und gemessen werden sollten.

6.5.5.3 Bestimmung von ρ_{n-h} oder ρ_{dir-h}

6.5.5.3.1 Allgemeines

Der normal/hemisphärische Reflexionsgrad ρ_{n-h} kann mit dem folgenden Verfahren bestimmt werden:

- Messung des Reflexionsgrades mit an der Wand angebrachter Probe (nur „dünne“ Proben) (siehe Bild 14).

Der direkt/hemisphärische Reflexionsgrad ρ_{dir-h} kann mit den folgenden Verfahren bestimmt werden:

- Messung des Reflexionsgrades mit im Mittelpunkt angebrachter Probe, wobei sich die Messprobe im Mittelpunkt befindet. Die Rückseite muss durch ein schwarzes lichtundurchlässiges absorbierendes Material abgedeckt sein (siehe Bild 15);
- Bestimmung aus der Messung des Absorptionsgrades mit im Mittelpunkt angebrachter Probe (siehe Bild 17).

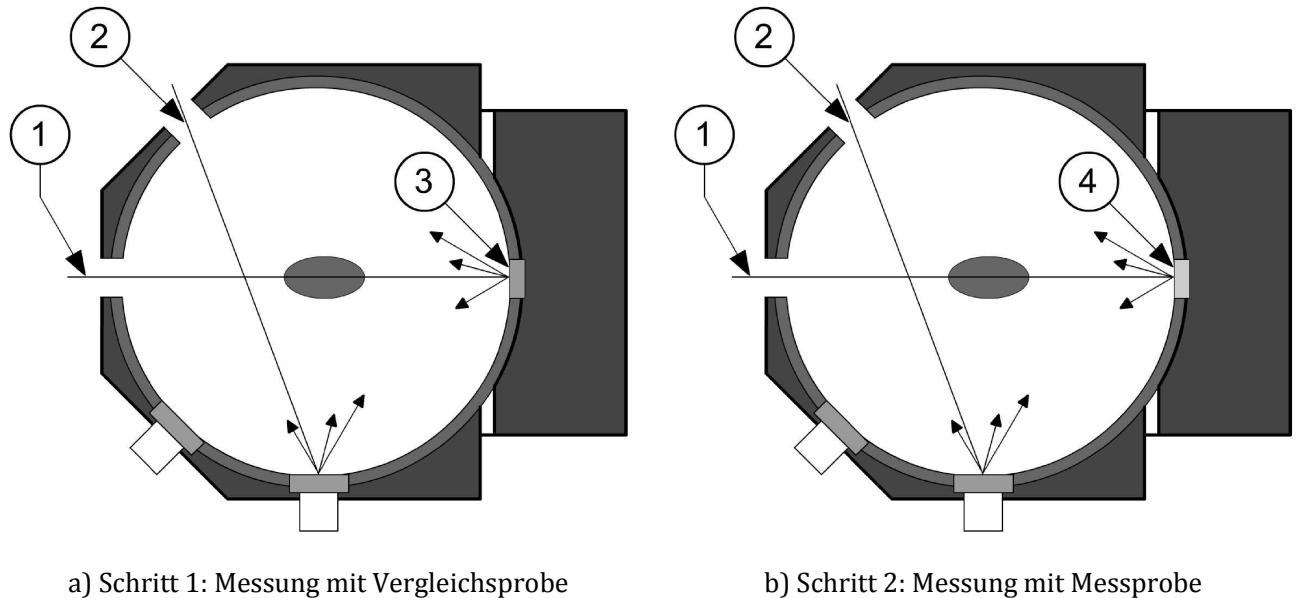
6.5.5.3.2 Messung von ρ_{n-h} mit an der Wand angebrachter Probe

Die Messprobe ist am Fenster Nr. 5 der Kugel anzubringen, wobei die Außenfläche dem auffallenden Strahl zugewandt ist.

Wenn sich die Messprobe an der Rückseite der Kugel befindet, muss folgende Verfahrensweise angewendet werden:

- Schritt 1: Messung des Signals $S_1 = \rho_{r,dir-h} \phi_s / \phi_r$ mit Vergleichsprobe am Fenster Nr. 5 (siehe Bild 4);
- Schritt 2: Messung des Signals $S_2 = \rho_{s,dir-h} \phi_s / \phi_r$ mit der Messprobe am Fenster Nr. 5 (siehe Bild 4).

Die Bilder 14 a), b) und Tabelle 5 zeigen die Einzelheiten der Durchführung der Messung des Reflexionsgrades mit an der Wand angebrachter Probe.



Legende

- 1 Probenstrahl ϕ_s
- 2 Vergleichsstrahl ϕ_r
- 3 Vergleichsprobe
- 4 Messprobe

Bild 14 — Verfahren für die Messung des normal/hemisphärischen Reflexionsgrades - an der Wand angebrachte Probe

Tabelle 5 — Verfahren für die Messung des Reflexionsgrades bei an der Wand angebrachter Probe (Fenster Nr. 5)

Schritt	Fenster Nr. 5	Lichtstrom des Probenstrahls	Lichtstrom des Vergleichsstrahls	Gemessenes Signal
1	Vergleichsprobe	$\rho_{r,n-h} \phi_s$	ϕ_r	$S_1 = \frac{\phi_s}{\phi_r} \rho_{r,nh}$
2	Messprobe	$\rho_{s,n-h} \phi_s$	ϕ_r	$S_2 = \frac{\phi_s}{\phi_r} \rho_{s,nh}$

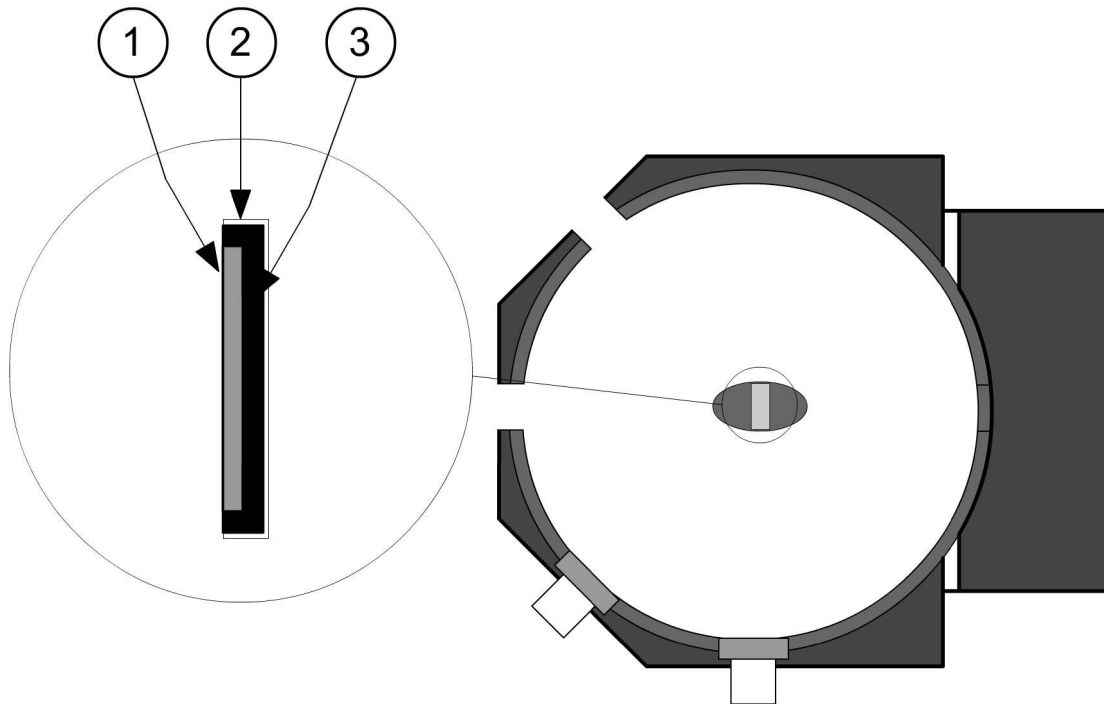
Der Reflexionsgrad ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\rho_{s,nh} = \frac{S_2}{S_1} \rho_{r,nh} \quad (21)$$

6.5.5.3.3 Direkte Messung von ρ_{dir-h} mit im Mittelpunkt angebrachter Probe

Die Messprobe ist auf der Halterung C (im Mittelpunkt der Kugel) anzuordnen, wobei ihre Außenfläche dem auffallenden Strahl zugewandt ist. Die Rückseite von transparenten Proben ist mit einem schwarzen lichtundurchlässigen absorbierenden Material ($\rho_{e,n-h} \leq 0,02$ und $\rho_{v,n-h} \leq 0,02$) abzudecken. Die Rückseite der Halterung C muss weiß und isotrop diffus reflektierend sein (siehe Bild 15).

Im Falle von dicken Proben mit lateralen Verlusten sollten die Kanten der Probe mit einer reflektierenden Folie abgedeckt werden, deren Reflexionsgrad über 80 % beträgt.



Legende

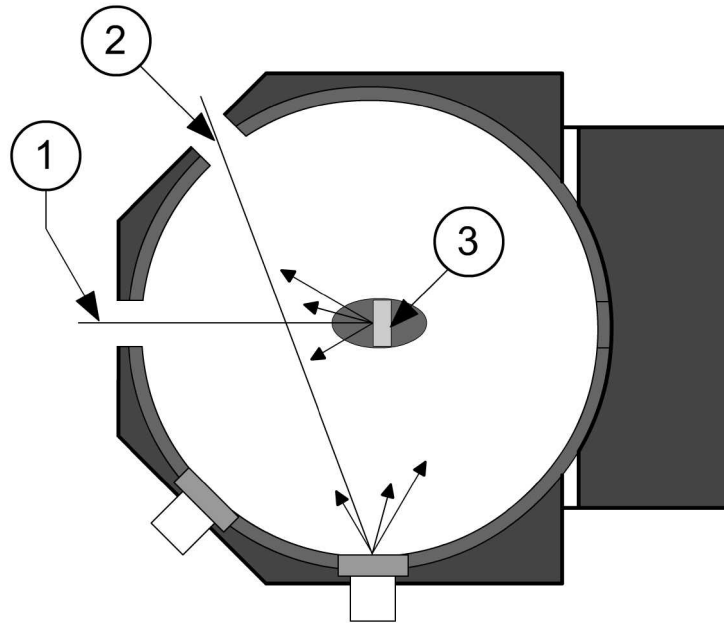
- 1 Probe
- 2 weißes Material
- 3 schwarzes lichtundurchlässiges absorbierendes Material

Bild 15 — Im Mittelpunkt angebrachte Probe für die Messung des direkt/hemisphärischen Reflexionsgrades

Das Messverfahren muss wie folgt ablaufen:

- Schritt 1: Messung des Signals $S_1 = \rho_{r,dir-h} \phi_s / \phi_r$ mit Vergleichsprobe im einfallenden Strahl am Fenster Nr. 5 (siehe Bild 4);
- Schritt 2: Messung des Signals $S_2 = \rho_{s,dir-h} \phi_s / \phi_r$ mit der Messprobe im einfallenden Strahl am Fenster Nr. 5 (siehe Bild 4).

Bild 16 und Tabelle 6 zeigen die Einzelheiten der Durchführung der Messung des Reflexionsgrades mit im Mittelpunkt angebrachter Probe.



Legende

- 1 Probenstrahl ϕ_s
- 2 Vergleichsstrahl ϕ_r
- 3 Mess- oder Vergleichsprobe

Bild 16 — Verfahren für die Messung des direkt/hemisphärischen Reflexionsgrades – im Mittelpunkt angebrachte Probe

Tabelle 6 — Verfahren zur Messung des Reflexionsgrades bei im Mittelpunkt angebrachter Probe

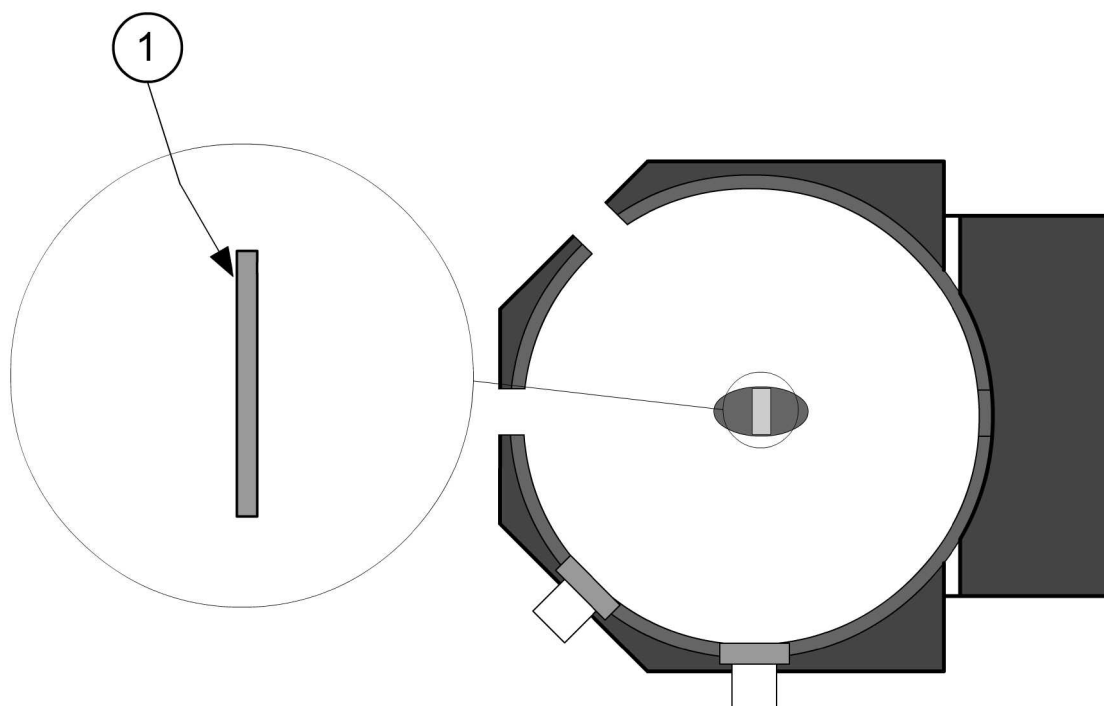
Schritt	Halterung Nr. 4	Lichtstrom des Probenstrahls	Lichtstrom des Vergleichsstrahls	gemessenes Signal
1	Vergleichsprobe	$\rho_{r,dir-h} \phi_s$	ϕ_r	$S_1 = \frac{\phi_s}{\phi_r} \rho_{r,dirh}$
2	Messprobe	$\rho_{s,dir-h} \phi_s$	ϕ_r	$S_2 = \frac{\phi_s}{\phi_r} \rho_{s,dirh}$

Der Reflexionsgrad ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\rho_{s,dirh} = \frac{S_2}{S_1} \rho_{r,dirh} \quad (22)$$

6.5.5.3.4 Indirekte Messung von ρ_{dir-h} mit im Mittelpunkt angebrachter Probe

In diesem Fall wird nichts hinter der Probe angeordnet, um die Summe aus Transmissions- und Reflexionsgrad $m = \tau + \rho$ zu messen (siehe Bild 17).



Legende

1 Probe

Bild 17 — Im Mittelpunkt angebrachte Probe für die Bestimmung des Reflexionsgrades aus der Messung des Absorptionsgrades

Mit einer zusätzlichen Messung des direkt/hemisphärischen Transmissionsgrades $\tau_{\text{dir-h}}$ kann der direkt/hemisphärische Reflexionsgrad $\rho_{\text{dir-h}}$ nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\rho_{\text{dirh}} = 1 - \tau_{\text{dirh}} - (1 - m) \quad (23)$$

Im Falle von dicken Proben mit lateralen Verlusten sollten die Kanten der Probe mit einer reflektierenden Folie abgedeckt werden, deren Reflexionsgrad über 80 % beträgt.

In Gleichung (23) kann Verfahren A zur Bestimmung von $\tau_{\text{dir-h}}$ verwendet werden.

6.5.5.4 Bestimmung von $\tau_{\text{dir-dir}}$

Der direkt/direkte Transmissionsgrad ist nach dem für die Messung des normal/normalen Transmissionsgrades definierten Verfahren unter Anwendung des Versatzverfahrens zu bestimmen, wie in Bild 7 dargestellt, jedoch mit dem erforderlichen Winkel θ des auf die Probe auftreffenden Strahls.

Verfahren:

- Schritt 1: Montage eines drehbaren Probenhalters im Pfad des Probenstrahls mit senkrecht zum Pfad des Lichtstrahls angeordneter Drehachse im Versatzabstand pb von Fenster Nr. 3 (siehe Bild 7, in dem der Fall $\theta = 0^\circ$ dargestellt ist). Der Versatzabstand pb ist in 6.5.3.2 definiert;
- Schritt 2: Montage der Probe im Probenhalter und Drehung in der Probenebene um den Drehwinkel φ ;
- Schritt 3: Drehung des Probenhalters, sodass die Probe den Probenstrahl im erforderlichen Einfallswinkel θ kreuzt;

- Schritt 4: Messung von $\tau_{\text{dir-h}}^{\text{pb}}$ analog zu 6.5.5.2.2 mit der Probe an der in den Schritten 2 und 3 beschriebenen Position;
- Schritt 5: Messung von $\tau_{\text{dir-dif}}^{\text{pb}}$ analog zu 6.5.5.2.2, ohne die Position der Probe zu verändern.

Dann ist $\tau_{\text{dir-dir}}$ mit der folgenden Gleichung zu bestimmen:

$$\tau_{\text{dir-dir}} = \tau_{\text{dir-h}}^{\text{pb}} - \tau_{\text{dir-dif}}^{\text{pb}} \quad (24)$$

Wenn das Probenfenster Nr.°3 offen ist, muss darauf geachtet werden, dass kein „Streulicht“ in die Ulbrichtsche Kugel einfallen kann.

Da die Signale $\tau_{\text{dir-h}}^{\text{pb}}$ und $\tau_{\text{dir-dif}}^{\text{pb}}$ bei größeren Einfallswinkeln schwach sind, werden lange Integrationsperioden empfohlen. Im spezifischen Fall der Bestimmung des „Licht-“Transmissionsgrades, kann eine Messung bei $\lambda = 550 \text{ nm}$ (z. B. mit einer Schlitzbreite von 3 nm) ausreichend sein, wenn nachgewiesen werden kann, dass der durch spektrale Integration nach EN 410 ermittelte Wert $\tau_{\text{v,n-h}}$ dem Wert bei 550 nm ($\pm 0,002$) für den normal/normalen Transmissionsgrad entspricht.

6.5.6 Prüfverfahren C – „sequenzielle“ Ulbrichtsche Zweistrahlkugel

6.5.6.1 Allgemeines

Die Messung des Transmissionsgrades mit dem sequenziellen Zweistrahilverfahren ähnelt dem Prüfverfahren A – Einstrahlgerät (Substitutionsverfahren). Der Unterschied besteht darin, dass die durch den Reflexionsgrad der Rückseite der Probe oder durch das Öffnen von Fenster Nr.°5 (für Messungen von $\tau_{\text{dir-dif}}$) verursachten systematischen Abweichungen, die den Gesamtreflexionsgrad der Kugelwand verändern, anstatt durch eine interne Lichtquelle mit einem durch Fenster Nr. 2 einfallenden Vergleichsstrahl korrigiert werden. Fenster Nr.°2 ist bei allen Schritten geöffnet.

6.5.6.2 Bestimmung von $\tau_{\text{n-h}}$, $\tau_{\text{n-dif}}$ und $\tau_{\text{n-n}}$

Wenn sich die Abmessungen von Fenster Nr. 5, wie in 6.5.3.2 vorgeschrieben, innerhalb des beschränkten Bereichs befinden,

- müssen $\tau_{\text{n-h}}$ und $\tau_{\text{n-dif}}$ nach diesem Abschnitt gemessen werden und

$\tau_{\text{n-n}}$ muss berechnet werden.

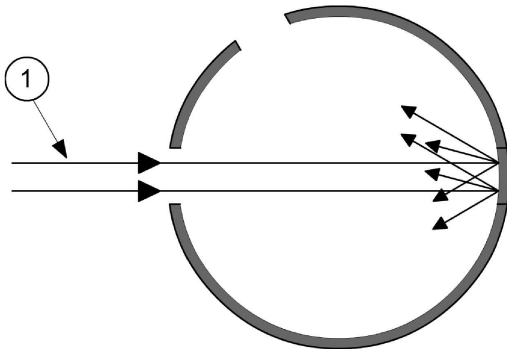
Die Vorgehensweise ist wie folgt:

- Schritt 1: Messung des Lichtstroms ϕ_0 ohne Probe oder mit Vergleichsprobe und mit Beleuchtung durch einen Probenstrahl, Strahl normal zu Fenster Nr. 3;
- Schritt 2: Messung des Lichtstroms $\phi_{(\text{n-h})}$ mit der Probe an Fenster Nr. 3 und mit Beleuchtung durch einen Probenstrahl, Strahl normal zur Probe;
- Schritt 3: Messung des Lichtstroms $\phi_{(\text{n-dif})}$ mit Probe an Fenster Nr. 3 und mit Beleuchtung durch einen Probenstrahl, Strahl normal zur Probe, Fenster Nr. 5 geöffnet;
- Schritt 4: Messung des Lichtstroms $\phi_{\text{d(n-dif)}}$ mit der Probe an Fenster Nr. 3 und mit einem auf die Kugelwand auffallenden Vergleichsstrahl beleuchtet, Strahl normal zu Fenster Nr. 2, Fenster Nr. 5 geöffnet;

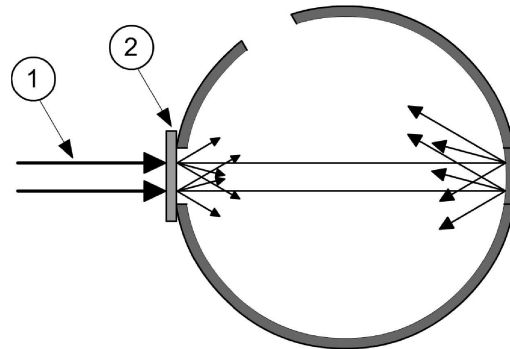
- Schritt 5: Messung des Lichtstroms $\phi_{d(n-h)}$ mit der Probe an Fenster Nr. 3 und mit einem auf die Kugelwand auffallenden Vergleichsstrahl beleuchtet, Strahl normal zu Fenster Nr. 2;
- Schritt 6: Messung des Lichtstroms ϕ_{od} ohne Probe oder mit Vergleichsprobe und mit einem auf die Kugelwand auffallenden Vergleichsstrahl beleuchtet, Strahl normal zu Fenster Nr. 2.

Die Probe darf während des Verfahrens nicht bewegt werden.

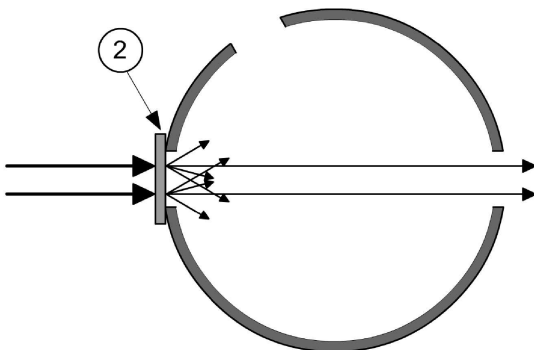
Die Bilder 18 a), b), c), d), e), f) unten zeigen die verschiedenen Konfigurationen der Kugel.



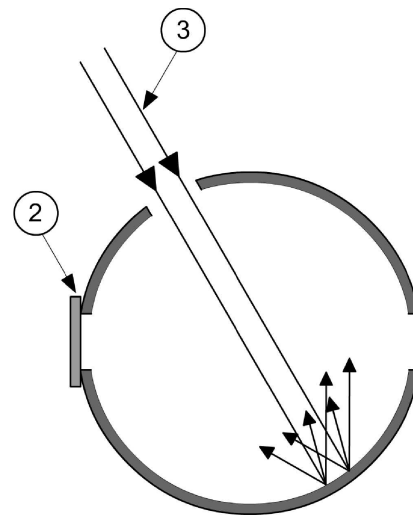
a) Schritt 1: Messung ohne Probe (oder mit Vergleichsprobe)



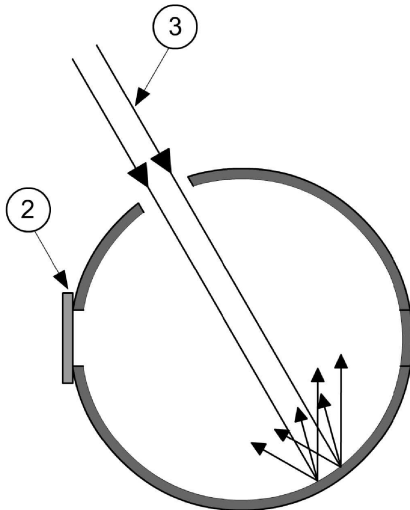
b) Schritt 2: Messung mit der Probe an Fenster Nr. 3



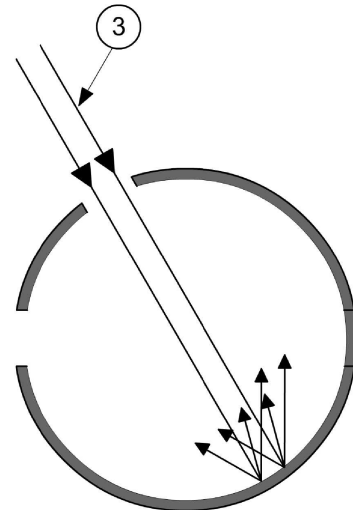
c) Schritt 3: Messung mit der Probe an Fenster Nr.°3, Fenster Nr.°5 geöffnet



d) Schritt 4: Messung mit der Probe an Fenster Nr.°3 und Beleuchtung mit einem Vergleichsstrahl, Fenster Nr.°5 geöffnet



e) Schritt 5: Messung mit der Probe an Fenster Nr.°3 und Beleuchtung mit einem Vergleichsstrahl, Fenster Nr.°5 geschlossen



f) Schritt 6: Messung ohne Probe (oder mit Vergleichsprobe) und Beleuchtung mit einem Vergleichsstrahl

Legende

- 1 Probenstrahl
- 2 Probe
- 3 Vergleichsstrahl

Bild 18 — Verfahren für die Messung des direkt/hemisphärischen und des direkt/diffusen Transmissionsgrades mit dem sequenziellen Verfahren

Tabelle 7 — Verfahren zur Messung des direkt/hemisphärischen Transmissionsgrades mit dem sequenziellen Verfahren

Schritt	Strahl	Fenster 5	Probe	gemessener Lichtstrom
1	normal zu Fenster 3	geschlossen	keine ($\tau_{\text{ref}} = 1$) oder Vergleichsprobe	$\Phi_o = K\Phi_i \frac{\rho_w}{1 - \rho_s} \tau_{\text{ref}}$
2	normal zu Fenster 3	geschlossen	am Fenster Nr. 3	$\Phi_{(\text{dirh})} = K\Phi_i \tau_{\text{dirh}} \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s'}}$
3	normal zu Fenster 3	geöffnet	am Fenster Nr. 3	$\Phi_{(\text{dirdif})} = K\Phi_i \tau_{\text{dirdif}} \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s''}}$
4	normal zu Fenster 2	geöffnet	am Fenster Nr. 3	$\Phi_{\text{d(dirdif)}} = K\Phi_s \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s''}}$
5	normal zu Fenster 2	geschlossen	am Fenster Nr. 3	$\Phi_{\text{d(dirh)}} = K\Phi_s \frac{\rho_w}{1 - \rho'_{s'}}$
6	normal zu Fenster 2	geschlossen	keine ($\tau_{\text{ref}} = 1$) oder Vergleichsprobe	$\Phi_{\text{od}} = K\Phi_s \frac{\rho_w}{1 - \rho_s}$

Dabei ist

Wird keine Vergleichsprobe angewendet, ist τ_{ref} gleich 1.

K eine von der Geometrie der Kugel und der Messfenster abhängige Konstante;

ϕ_i der auffallende Lichtstrom des Probenstrahls;

ϕ_s der auffallende Lichtstrom des Vergleichsstrahls;

ρ_w der Reflexionsgrad der Kugelwand;

ρ_s der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel ohne Probe;

$\rho_{s'}$ der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel mit der Probe am Fenster 3;

$\rho_{s''}$ der Reflexionsgrad der gesamten Innenfläche der Kugel mit der Probe am Fenster 3 und Fenster 5 offen.

Die Konstante K ist abhängig von:

A_{det} der Fläche des Messfensters;

A_e der Fläche des Eintrittsfensters der Kugel;

Ω dem durch den Detektor wahrgenommenen Raumwinkel (Sehfeld).

$$K = \frac{A_{\text{det}}}{A_e} \cdot \frac{\Omega}{\pi} \quad (25)$$

τ_{n-h} und τ_{n-dif} ergeben sich nach folgender Gleichung:

$$\tau_{nh} = \frac{\Phi_{(nh)}}{\Phi_0} \frac{\Phi_{od}}{\Phi_{d(nh)}} \tau_{\text{ref}} \quad (26)$$

$$\tau_{ndif} = \frac{\Phi_{(ndif)}}{\Phi_0} \frac{\Phi_{od}}{\Phi_{d(ndif)}} \tau_{\text{ref}} \quad (27)$$

Wenn die Probe zwischen den Messungen von τ_{n-h} und τ_{n-dif} bewegt wird, darf τ_{n-n} nicht aus der Differenz dieser beiden Größen bestimmt werden.

ANMERKUNG 1 Wenn nur τ_{n-dif} zu ermitteln ist, sind die Schritte 2 und 5 nicht erforderlich.

ANMERKUNG 2 Wenn nur τ_{n-h} zu ermitteln ist, sind die Schritte 3 und 4 nicht erforderlich.

Für nicht kritische Proben nach 6.5.3.2 darf der normal/normale Transmissionsgrad τ_{n-n} unter Anwendung der folgenden Gleichung aus τ_{n-h} und τ_{n-dif} bestimmt werden:

$$\tau_{nn} = \tau_{nh} - \tau_{ndif} \quad (28)$$

Wenn das in 6.5.3.2 definierte Verhältnis a_5/A nicht gegeben ist, müssen kritische Proben nach 6.5.5.2.2 behandelt werden.