

DIN 5031-11



ICS 17.180.01

**Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik –
Teil 11: Radiometer zur Messung aktinischer Strahlungsgrößen –
Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung**

Optical radiation physics and illuminating engineering –
Part 11: Radiometer for measuring actinic radiant quantities –
Terms, characteristics and their classification

Physique de radiation optique et technique –
Partie 11: Radiomètre à mesurer les quantités de radiation actinique –
Termes, propriétés et leurs caractérisation

Gesamtumfang 68 Seiten

Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Kenngrößen und Eigenschaften	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Messgröße und Wirkungsspektrum	8
4.3 Kenngröße der Kalibrierunsicherheit f_{kal}	9
4.4 Untere und obere Grenze des Messbereiches	9
4.5 Betriebsbedingungen	9
4.6 Messunsicherheiten	9
4.7 Systemantwort auf Strahlung außerhalb des Spektralbereiches des Wirkungsspektrums	9
4.7.1 Allgemeines	9
4.7.2 Kenngröße f_u und f_o für die Antwort auf Strahlung unterhalb bzw. oberhalb des Wirkungsbereiches	10
4.8 Kenngröße der spektralen Anpassung f_1	11
4.9 Kenngrößen der richtungsabhängigen Bewertung	11
4.9.1 Allgemeines	11
4.9.2 Kenngröße für die Bestrahlungsstärke f_2	12
4.9.3 Kenngröße für die Raumbestrahlungsstärke $f_{2,0}$	12
4.9.4 Kenngröße für die Strahldichte $f_{2,L}^*(\varepsilon, \varphi)$	13
4.10 Kenngröße Nichtlinearität f_3	13
4.10.1 Allgemeines	13
4.10.2 Messung	13
4.10.3 Kennzeichnung	13
4.11 Kenngröße Anzeigegerät f_4	14
4.12 Kenngröße Ermüdung f_5	15
4.13 Kenngröße Temperaturabhängigkeit f_6	15
4.14 Kenngröße zum Einfluss der Strahlungsmodulation f_7	16
4.15 Kenngröße zum Einfluss von polarisierter Strahlung f_8	17
4.16 Kenngröße ungleichmäßiger lokaler Empfindlichkeit f_9	17
4.17 Kenngröße Messbereichsumschaltung f_{11}	17
5 Integralmessende Radiometer	18
5.1 Aufbau eines integralmessenden Radiometers	18
5.2 Anforderungen an Integralradiometer	18
5.3 Kalibrierung	18
6 Spektralmessende Radiometer	19
6.1 Aufbau eines Spektralradiometers	19
6.2 Kennzeichnungsmerkmale spektralmessender Radiometer	19
6.2.1 Nutzbarer Spektralbereich	19
6.2.2 Optische Kenngrößen des Spektralapparats	19
6.2.3 Mindestens erforderliche Messzeit	19
6.3 Berechnung der aktinisch wirksamen Strahlungsgröße X_{act}	19
6.4 Kalibrierung	20
6.5 Anforderungen an Spektralradiometer	20
7 Dosimeter	20
7.1 Allgemeines	20
7.2 Instrumentelles Dosimeter	21

	Seite
7.3 Chemisches Dosimeter.....	21
7.4 Biologisches Dosimeter.....	21
7.5 Kalibrierung	21
7.6 Besonderheiten bei der Angabe der Kenngrößen nach Abschnitt 4 für chemische und biologische Dosimeter	22
8 Einteilung in Güteklassen	23
Anhang A (informativ) Bestimmung der Fehlstrahlungsantwort.....	24
Anhang B (normativ) Bezugsspektren	25
Anhang C (informativ) Durchführung von Integralmessungen.....	66
Anhang D (informativ) Durchführung von Spektralmessungen.....	67
Literaturhinweise	68

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN, Arbeitsausschuss NA 058-00-07 AA „Strahlenkunde“, erarbeitet. DIN 5031 „Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik“ besteht aus den Teilen 1 bis 11 und dem Beiblatt 1:

- Teil 1: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik
- Teil 2: Strahlungsbewertung durch Empfänger
- Teil 3: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik
- Teil 4: Wirkungsgrade
- Teil 5: Temperaturbegriffe
- Teil 6: Pupillen-Lichtstärke als Maß für die Netzhautbeleuchtung
- Teil 7: Benennung der Wellenlängenbereiche
- Teil 8: Strahlungsphysikalische Begriffe und Konstanten
- Teil 9: Lumineszenz-Begriffe
- Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektrum
- Teil 11: Radiometer zur Messung aktinischer Strahlungsgrößen — Begriffe, Eigenschaften und deren Kennzeichnung
- Beiblatt 1 zu DIN 5031 Inhaltsverzeichnis über Größen, Formelzeichen und Einheiten sowie Stichwortverzeichnis zu DIN 5031 Teil 1 bis Teil 10

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument definiert die Eigenschaften von Radiometern als Messgeräte für aktinische Strahlungsgrößen. Es legt die wesentlichen Begriffe und die zur Kennzeichnung von aktinischen Radiometern anzuwendenden Kenngrößen fest. Diese Kenngrößen dienen zum Vergleich von aktinischen Radiometern und zur Auswahl eines Radiometers zur Erfassung einer bestimmten Strahlungswirkung. In einem normativen Anhang sind die spektralen Verteilungen von Lampentypen, die für aktinische Bestrahlungen verwendet werden, graphisch und numerisch aufgeführt.

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).

DIN 1319-1, *Grundlagen der Messtechnik — Teil 1: Grundbegriffe*

DIN 5030-3, *Spektrale Strahlungsmessung — Teil 3: Spektrale Aussonderung, Begriffe und Kennzeichnungsmerkmale*

DIN 5031-1, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Teil 1: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik*

DIN 5031-10, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren*

DIN EN 13032-1, *Licht und Beleuchtung — Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten — Teil 1: Messung und Datenformat*

DIN EN 14255-4, *Messung und Beurteilung von personenbezogenen Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung — Teil 4: Terminologie und Größen für Messungen von UV-, sichtbaren und IR-Strahlungs-Expositionen*

DIN V ENV 13005, *Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach DIN 5031-1, DIN EN 14255-4 und die folgenden Begriffe.

3.1

Radiometer

(en: radiometer)

Messgerät zur quantitativen Messung von Strahlungsgrößen

3.2

Dosimeter

(en: dosimeter)

Messvorrichtung, die die zu erfassende Strahlungsgröße zeitlich integriert

3.3

Strahlungsgrößen

(en: radiant quantities)

ANMERKUNG Die in diesem Dokument verwendeten Strahlungsgrößen Bestrahlungsstärke E , Strahldichte L und Bestrahlung H sind in DIN 5031-1 definiert.

3.3.1

spektrale Bestrahlungsstärke

(en: spectral irradiance)

E_λ

spektrale Dichte der Bestrahlungsstärke E

$$E_\lambda = \frac{\partial E}{\partial \lambda} \quad (1)$$

Dabei ist

λ Wellenlänge, auf die bezogen wird.

3.3.2

spektrale Strahldichte

(en: spectral radiance)

L_λ

spektrale Dichte der Strahldichte L

$$L_\lambda = \frac{\partial L}{\partial \lambda} \quad (2)$$

Dabei ist

λ Wellenlänge, auf die bezogen wird

3.3.3

aktinische Strahlungsgröße

(en: actinic radiant quantity)

X_{act}

mit dem Wirkungsspektrum bewertete Strahlungsgröße

$$X_{\text{act}} = \int_{\lambda_u}^{\lambda_o} A_{\text{act}}(\lambda) \cdot X_\lambda(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

Dabei ist

X_{act}	aktinisch wirksame Strahlungsgröße, Index "act" steht für die jeweilige Wirkung;
$A_{\text{act}}(\lambda)$	relative spektrale Empfindlichkeit des aktinischen Empfängers, normiert auf den Höchstwert $A_{\text{act,max}}(\lambda) = 1$ (Wirkungsspektrum), Index "act" steht für die jeweilige Wirkung;
λ_u, λ_o	untere und obere Grenzwellenlänge des Definitionsbereiches des Wirkungsspektrums;
$X_\lambda(\lambda)$	auftreffende spektrale Strahlungsgröße.

ANMERKUNG 1 Das Wirkungsspektrum $A_{\text{act}}(\lambda)$ eines aktinischen Effekts ist in DIN 5031-10 definiert. Es beschreibt die relative Empfindlichkeit des strahlungsempfindlichen Empfängers, z. B. bestrahlte Fläche, Substrat, Haut, in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Das Wirkungsspektrum beschreibt nicht in jedem Fall einen realen aktinischen Effekt, sondern kann auch eine künstliche oder genormte Verteilung sein, z. B. eine Rechteckfunktion über einen bestimmten UV-Bereich (UV-A, UV-B, UV-C).

ANMERKUNG 2 Aktinische Effekte, wie z. B. Photolyse, UV-Härtung, Erythem, hängen von der auftreffenden Strahlungsgröße X_λ und ihrer spektralen Verteilung, dem Wirkungsspektrum des untersuchten aktinischen Effekts und der Bestrahlungszeit ab.

3.4

Radiometer zur Messung aktinisch wirksamer Strahlungsgrößen

aktinische Radiometer

(en: actinic radiometer)

Radiometer, welches die aktinische Strahlungsgröße entweder nach dem Spektralverfahren oder nach dem Integralverfahren erfasst

3.4.1

integralmessendes aktinisches Radiometer

(en: broadband actinic radiometer)

Breitbandradiometer, deren spektrale Empfindlichkeit an das betreffende Wirkungsspektrum angepasst ist

3.4.2

spektralmessendes aktinisches Radiometer

(en: spectral measuring actinic radiometer)

Spektralradiometer, das spektrale Strahlungsgrößen in Abhängigkeit von der Wellenlänge misst und die erhaltene spektrale Verteilung mit dem entsprechenden Wirkungsspektrum wichtet und integriert

3.4.3

Radiometeranzeige

(en: radiometer readout)

Y

Angezeigter Messwert, der die Bewertung der Strahlungsgröße beinhaltet

ANMERKUNG 1 Bei chemischen und biologischen Dosimetern steht ein solcher Wert nicht direkt zur Verfügung.

ANMERKUNG 2 Die Anzeige Y_{act} aktinischer Radiometer ist äquivalent zur aktinischen Strahlungsgröße X_{act} .

3.4.4

Messbereich

(en: measuring range)

Bereich von Messwerten der Messgröße, in welchem vorgegebene, vereinbarte oder garantierte Messunsicherheiten eingehalten werden.

ANMERKUNG Bei Messgeräten mit mehreren Messbereichen können für die einzelnen Bereiche unterschiedliche Messunsicherheiten gelten. Der Messbereich wird durch den oberen und unteren Messbereichsgrenzwert angegeben.

3.4.5

Anzeigebereich

(en: display range; range of indication)

Ausgabebereich bei anzeigenden Messgeräten

[DIN 1319-1]

3.4.6

Rauschäquivalente aktinische Strahlungsgröße

(en: noise equivalent actinic radiant quantity)

σ_{act}
diejenige aktinische Strahlungsgröße σ_{act} , die allein durch das Rauschen des aktinischen Radiometers nach Gleichung (4) hervorgerufen wird:

$$\sigma_{\text{act}} = \sqrt{(X_{\text{act}} - \overline{X_{\text{act}}})^2} \quad (4)$$

Dabei ist

X_{act} aktinische Strahlungsgröße

$\overline{X_{\text{act}}}$ arithmetrischer Mittelwert wiederholt gemessener aktinischer Strahlungsgrößen

ANMERKUNG 1 Sie wird für jede zu erfassende Wirkung angegeben; bei spektralmessenden aktinischen Radiometern wird auch die spektrale Halbwertsbreite, mit der σ_{act} bestimmt wurde, spezifiziert.

ANMERKUNG 2 Eine Abschätzung dieser Größe kann durch hinreichend viele Dunkelmessungen in dem zu kennzeichnenden Messbereich und anschließende statistische Auswertung (Berechnung der Varianz) erhalten werden.

3.4.7

Dynamik

(en: dynamics)

Δ

Verhältnis von oberem Grenzwert $X_{\text{act,max}}$ des nutzbaren Messbereichs zu rauschäquivalenter aktinischer Strahlungsgröße σ_{act} nach Gleichung (5)

$$\Delta = \frac{X_{\text{act,max}}}{\sigma_{\text{act}}} \quad (5)$$

4 Kenngrößen und Eigenschaften

4.1 Allgemeines

Mit den Kenngrößen können die Eigenschaften unterschiedlicher Radiometer beurteilt und verglichen werden.

In der Benutzerinformation sind mindestens die in Abschnitt 4 genannten Kenngrößen für jede aktinische Strahlungsgröße, die das Radiometer ermitteln kann, anzugeben. Sofern weitere Kenngrößen zur Beschreibung eines Radiometers nützlich sind, dürfen diese ergänzt werden. In den Abschnitten 5, 6 und 7 werden weitere spezifische Kenngrößen für spezielle Radiometertypen festgelegt.

4.2 Messgröße und Wirkungsspektrum

Die aktinisch wirksamen Strahlungsgrößen sind anzugeben, d. h. die Wirkungen und die physikalischen Messgrößen, z. B. die erythemwirksame Bestrahlungsstärke, die blue-light hazard wirksame Strahldichte oder die eine Farbänderung hervorrufende Bestrahlung. Für das zugrunde liegende Wirkungsspektrum ist entweder die Literaturquelle oder das Wirkungsspektrum tabellarisch anzugeben.

4.3 Kenngröße der Kalibrierunsicherheit f_{kal}

Die Kenngröße der Kalibrierunsicherheit f_{kal} ist die relative erweiterte Messunsicherheit der Kalibrierung des aktinischen Radiometers (Übertragungsunsicherheit einschließlich der Unsicherheit des verwendeten Normals) angegeben für ein Vertrauensniveau von 95 % ($k = 2$).

Die Kenngröße der Kalibrierunsicherheit f_{kal} berechnet sich aus der Kalibrierunsicherheit der verwendeten Normale und des angewendeten Kalibrierverfahrens. Die zur Kalibrierung verwendeten Normale und die notwendigen Rekalibrierintervalle sind anzugeben. Die Rückverfolgbarkeit der Kalibrierung muss nachgewiesen werden. Die spektrale Verteilung der Kalibrierquelle muss im Wellenlängenbereich der aktinischen Wirkung und die Eingangsgröße im Linearitätsbereich des Empfängers liegen.

ANMERKUNG Weitere Hinweise zur Bestimmung der Kalibrierunsicherheit, siehe DIN V ENV 13005.

4.4 Untere und obere Grenze des Messbereiches

Die untere und obere Grenze des Messbereichs sind anzugeben. Innerhalb dieser Grenzen müssen alle angegebenen technischen Spezifikationen und Kenngrößen eingehalten werden. Es ist möglich, mehrere Messbereiche zu definieren, in denen jeweils andere Spezifikationen und Messunsicherheiten gelten.

4.5 Betriebsbedingungen

Es sind die Betriebsbedingungen anzugeben, unter denen die angegebenen technischen Spezifikationen und Kenngrößen eingehalten werden. Hierzu gehören z. B. der Temperaturbereich und der Feuchtebereich, für den die Kenngrößen gelten, die minimale Mess- oder Integrationszeit, die Versorgungsspannung und die minimale Aufwärmzeit des Radiometers.

4.6 Messunsicherheiten

Die Messunsicherheit ist für ausgewählte Strahlungsquellen und für die jeweiligen aktinischen Strahlungsgrößen anzugeben. Dabei sind mindestens die Strahlungsquellen zu verwenden, die im Anhang C mit ihren typischen spektralen Verteilungen genannt sind.

ANMERKUNG Für unterschiedliche Strahlungsquellen können deutlich unterschiedliche Messunsicherheiten auftreten.

Es sind zur Bestimmung der Messunsicherheit die Verfahren nach DIN V ENV 13005 anzuwenden.

4.7 Systemantwort auf Strahlung außerhalb des Spektralbereiches des Wirkungsspektrums

4.7.1 Allgemeines

Durch Detektion von Strahlung, deren Wellenlänge nicht im Wellenlängenbereich des Wirkungsspektrums liegt, wird das Messergebnis verfälscht. Die Fehlempfindlichkeit des Radiometers ist für die Wellenlängenbereiche unterhalb λ_u und oberhalb λ_o zu bestimmen, wobei der gesamte Empfindlichkeitsbereich des verwendeten Detektors zu berücksichtigen ist.

4.7.2 Kenngröße f_u und f_o für die Antwort auf Strahlung unterhalb bzw. oberhalb des Wirkungsbereiches

Die Kenngröße f_u bzw. f_o ist das Verhältnis von aktinischem Messwert, der erzeugt wird durch Strahlung unterhalb der Wellenlängen λ_u bzw. oberhalb λ_o , zum aktinischen Messwert, der entsteht durch Strahlung zwischen den Wellenlängen λ_u und λ_o .

$$f_u = \frac{\int_{\lambda_o}^{\lambda_u} s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot X_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot X_{\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (6a)$$

$$f_o = \frac{\int_{\lambda_o}^{\infty} s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot X_{\lambda}(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_u}^{\lambda_o} s_{\text{rel}}(\lambda) \cdot X_{\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (6b)$$

Daraus ergibt sich das rechnerische Verfahren zur Bestimmung von f_u und f_o . Hierfür muss zuvor die spektrale Empfindlichkeit des Radiometers für den gesamten Wellenlängenbereich, in dem es empfindlich ist, bestimmt werden.

Alternativ kann die relative Fehlstrahlungsantwort mit der folgenden Kantenfilter-Methode abgeschätzt werden. Gemessen werden mit polychromatischer Strahlung die Radiometersignale Y ohne Filter, Y_u und Y_o mit Langpassfilter S bzw. L . Die Kante des Langpassfilters S bzw. L ist so zu wählen, dass $\tau_S(\lambda_u) \leq 0,1$ und $\tau_S' = \tau_S(\lambda_u + \Delta\lambda) \geq 0,8$ bzw. $\tau_L(\lambda_o) \leq 0,1$ und $\tau_L' = \tau_L(\lambda_o + \Delta\lambda) \geq 0,8$ ist. $\Delta\lambda$ ist entsprechend dem Verlauf des Wirkungsspektrums zu wählen.

ANMERKUNG Beispiele zur Auswahl der Filter und Strahlungsquellen sind im informativen Anhang A aufgeführt.

Relative Fehlstrahlungsantwort f_u durch kurzwelligere Strahlung nach Gleichung (7):

$$f_u = \frac{Y - Y_u / \tau_S'}{Y_u / \tau_S' - Y_o / \tau_L'} \quad (7)$$

Relative Fehlstrahlungsantwort f_o durch langwelligere Strahlung nach Gleichung (8):

$$f_o = \frac{Y_o / \tau_L'}{Y_u / \tau_S' - Y_o / \tau_L'} \quad (8)$$

Dabei ist

- Y Radiometersignal ohne Filter;
- Y_u Radiometersignal mit Langpass-Filter S der Kantenwellenlänge λ_S ;
- Y_o Radiometersignal mit Langpass-Filter L der Kantenwellenlänge $\lambda_L > \lambda_S$;
- τ_S' Transmissionsgrad des Kurzpassfilters;
- τ_L' Transmissionsgrad des Langpassfilters.

4.8 Kenngröße der spektralen Anpassung f_1

Es gibt Bezugsspektren (siehe Anhang B, Tabellen B.2 bis B.10 und Bilder B.1 bis B.9). Für jedes dieser Bezugsspektren ist die Kenngröße der spektralen Fehlanpassung $f_{1,1} - f_{1,10}$ zu bestimmen nach Gleichung (9):

$$f_{1,n} = \frac{\int_0^{\infty} |s_{\text{rel,norm}}(\lambda) - A_{\text{act}}(\lambda)| \cdot S_{\lambda,n}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} A_{\text{act}}(\lambda) \cdot S_{\lambda,n}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (9)$$

Dabei ist

- $A_{\text{act}}(\lambda)$ relative spektrale Empfindlichkeit für aktinische Wirkungen (Wirkungsspektrum);
- $S_{\lambda,n}(\lambda)$ Bezugsspektrum n ;
- $s_{\text{rel,norm}}(\lambda)$ normierte spektrale Empfindlichkeit des Empfängers.

$s_{\text{rel,norm}}(\lambda)$ ist so zu normieren, dass die Antwort auf eine ausgewählte und anzugebende Kalibrierquelle $S_{\lambda,c}$ dieselbe ist, wie die Antwort eines ideal angepassten Empfängers (siehe Gleichung 10):

$$\int_0^{\infty} s_{\text{rel,norm}}(\lambda) \cdot S_{\lambda,c}(\lambda) \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} A_{\text{act}}(\lambda) \cdot S_{\lambda,c}(\lambda) \cdot d\lambda \quad (10)$$

Dabei ist

- $S_{\lambda,c}$ Strahlungsfunktion der Kalibrierstrahlungsquelle.

Die allgemeine Kenngröße f_1 für die spektrale Fehlanpassung ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert nach Gleichung (11):

$$f_1 = \frac{\sum_{n=1}^{n=10} f_{1,n}}{10} \quad (11)$$

Für Radiometer, die nur für die Messung bestimmter Strahlungsquellen vorgesehen sind, werden zur Ermittlung von f_1 auch nur die entsprechenden Bezugsspektren aus Anhang B verwendet. Es sind die Bezugsspektren anzugeben, für die das Messgerät geeignet ist.

Sollte das zu bewertende Radiometer für eine spezielle Anwendung vorgesehen sein, für die keines der Bezugsspektren angewendet werden kann, darf zusätzlich entsprechend der obigen Formel ein spezieller Fehlanpassungsindex bestimmt werden. Es ist dann das zur Berechnung verwendete Bezugsspektrum tabellarisch anzugeben.

Die Kenngröße f_1 ist für spektralmessende aktinische Radiometer nicht anwendbar.

4.9 Kenngrößen der richtungsabhängigen Bewertung

4.9.1 Allgemeines

Die nachstehend aufgeführten Kenngrößen sind eine Auswahl an Größen zur richtungsabhängigen Bewertung von Radiometerköpfen, die entsprechend ihrer Verwendung mindestens anzugeben sind.

Weitere richtungsabhängige Bewertungen können nach DIN EN 13032-1 vorgenommen werden.

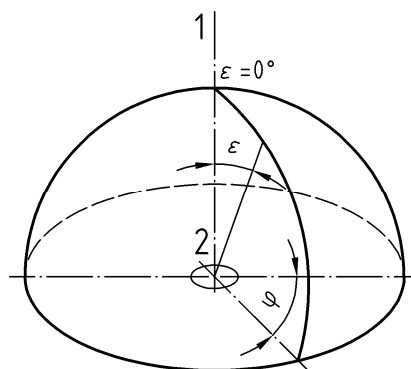
4.9.2 Kenngröße für die Bestrahlungsstärke f_2

Bei Radiometerköpfen für Bestrahlungsstärkemessgeräte wird die systematische Messabweichung $f_2^*(\varepsilon, \varphi)$ der räumlichen Bewertung der einfallenden Strahlung nach Gleichung (12) ermittelt:

$$f_2^*(\varepsilon, \varphi) = \frac{Y(\varepsilon, \varphi)}{Y(0, \varphi) \cdot \cos \varepsilon} - 1 \quad (12)$$

Dabei ist

$Y(\varepsilon, \varphi)$ Ausgangsgröße bei Strahlungseinfallswinkeln ε (gemessen gegen die Flächennormale bzw. optische Achse) und Azimutwinkel φ entsprechend Bild 1.



Legende

- 1 Optische Achse
- 2 Eintrittspupille
- ε Einfallswinkel, gemessen von der optischen Achse
- φ Azimutwinkel

Bild 1 — Koordinaten für die richtungsabhängige Bewertung

Zur Kennzeichnung der räumlichen Bewertung durch einen einzelnen Zahlenwert dient die Kenngröße f_2 nach Gleichung (13):

$$f_2 = \frac{\int_0^{\frac{85^\circ}{180^\circ} \pi} f_2^*(\varepsilon, 0) \sin(2\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\frac{85^\circ}{180^\circ} \pi} \sin(2\varepsilon) d\varepsilon} \quad (13)$$

4.9.3 Kenngröße für die Raumbestrahlungsstärke $f_{2,0}$

Bei Radiometerköpfen für Raumbestrahlungsstärkemessgeräte wird die systematische Messabweichung $f_{2,0}^*(\varepsilon, \varphi)$ bei der richtungsabhängigen Bewertung nach Gleichung (14) ermittelt:

$$f_{2,0}^*(\varepsilon, \varphi) = \frac{Y(\varepsilon, \varphi)}{Y(0, 0)} - 1 \quad (14)$$

Zur Kennzeichnung der räumlichen Bewertung durch einen einzelnen Zahlenwert dient die Kenngröße $f_{2,0}$ nach Gleichung (15):

$$f_{2,0} = \frac{1}{2} \int_0^\pi f_{2,0}^*(\varepsilon, 0) \sin \varepsilon d\varepsilon \quad (15)$$

4.9.4 Kenngröße für die Strahldichte $f_{2,L}^*(\varepsilon, \varphi)$

Bei Radiometerköpfen zur Messung der Strahldichte wird die Messabweichung der räumlichen Bewertung $f_{2,L}^*(\varepsilon, \varphi)$ nach Gleichung (16) ermittelt:

$$f_{2,L}^*(\varepsilon, 0) = \frac{Y(\varepsilon, \phi)}{Y(0, \phi)} \quad (16)$$

Dabei ist

$Y(\varepsilon, \varphi)$ Ausgangsgröße beim Strahleinfallswinkel ε, φ ;

$Y(\varepsilon = 0^\circ, \varphi)$ Ausgangsgröße beim Strahleinfall in Richtung der optischen Achse des Radiometers.

4.10 Kenngröße Nichtlinearität f_3

4.10.1 Allgemeines

Linearität eines Radiometers ist die Eigenschaft, dass der Anzeigewert Y der zu messenden Strahlungsgröße X direkt proportional ist.

Die Kenngröße f_3 ist ein Maß für die Abweichung von einem linearen Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße.

4.10.2 Messung

Die Kennlinie eines Radiometers beschreibt den Zusammenhang zwischen der Ausgangsgröße Y (Anzeige) und der Eingangsgröße X (z. B. Bestrahlungsstärke, Strahldichte).

Zur Aufnahme der Kennlinie und zur Ermittlung der Abweichung von der Linearität ist das Radiometer kontinuierlich oder stufenweise mit jeweils unterschiedlich hohen Bestrahlungsstärken (Strahldichten) zu bestrahlen. Bei jedem Wert dieser Eingangsgrößen ist jeweils die Ausgangsgröße aufzunehmen.

Für die Bestimmung der Linearität von Bestrahlungsstärkemessgeräten sind verschiedene Verfahren zur stufenweisen Bestrahlung der Radiometer beschrieben (siehe Literaturverzeichnis). Auch kann das Ausgangssignal des zu prüfenden Radiometers mit dem Ausgangssignals eines linearen Radiometers bei gleicher Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte verglichen werden.

ANMERKUNG Nur für Messwerte, die oberhalb der rauschäquivalenten aktinischen Strahlungsgröße σ_{act} liegen, ist die Bestimmung der Linearität sinnvoll.

4.10.3 Kennzeichnung

Zur Kennzeichnung des Linearitätsfehlers von Radiometern dient die Funktion der systematischen Messabweichung $f_3(Y)$ nach Gleichung (17):

$$f_3^*(Y) = \frac{Y}{Y_{\max}} \cdot \frac{X_{\max}}{X} - 1 \quad (17)$$

Dabei ist

$Y_{\max}$ Höchstwert der Radiometeranzeige

$X_{\max}$ Eingangsgröße (Bestrahlungsstärke, Strahldichte), bei der der Höchstwert der Ausgangsgröße (Endwert eines Messbereiches) $Y_{\max}$ erreicht wird;

ANMERKUNG Die Messung und Prüfung der Linearität wird in [10], [11] und [12] beschrieben.

Zur Kennzeichnung der Nichtlinearität in den verschiedenen Messbereichen wird die Kenngröße f_3 nach Gleichung (18) angegeben. Sie ist der Größtwert der Funktion der systematischen Messabweichungen $f_3^*(Y)$ aus Gleichung (17).

$$f_3 = f_3^*(Y)_{\max} \quad (18)$$

4.11 Kenngröße Anzeigegerät f_4

Bei aktinischen Radiometern mit Analog-Anzeige wird die Messabweichung durch die Klasse des analogen Anzeigegerätes bestimmt (Klasseneinteilung nach DIN EN 60051-1).

ANMERKUNG 1 Das Klassenzeichen gibt die maximale Messabweichung bei Bezug auf den Endwert an.

Die Kenngröße f_4 eines aktinischen Radiometers wird durch die Klasse des Anzeigegerätes beschrieben nach Gleichung (19):

$$f_4 = k \cdot K \quad (19)$$

Dabei ist

K das Klassenzeichen

k der Faktor bei Anzeigebereichsumschaltung (z. B. $k = 10$ bei einer Umschaltung der Messbereiche im Verhältnis 1:10) nach Gleichung (20).

$$k = \frac{Y_{B\max}}{Y_{A\max}} \quad (20)$$

Dabei ist

$Y_{B\max}$ der Anzeigebereichsendwert im unempfindlicheren Anzeigebereich B ;

$Y_{A\max}$ der Anzeigebereichsendwert im empfindlicheren Anzeigebereich A .

Bei aktinischen Radiometern mit Ziffernanzeige wird die Messabweichung durch die auf die Anzeige bezogene Abweichung und die Quantisierungsabweichung (im Allgemeinen ± 1 Digit) mitbestimmt. Die Kenngröße ergibt sich nach Gleichung (21):

$$f_4 = \left| f_{\text{Anzeige}} \right| + \left| \frac{k \cdot D}{P_{\max}} \right| \quad (21)$$

Dabei ist

f_{Anzeige} die Abweichung, auf die Anzeige bezogen, in %;

k der Faktor für Anzeigebereichsumschaltung;

D die Abweichung der kleinsten Anzeigeziffer (z. B. ± 1 Digit);

$P_{\max}$ die maximale Anzeigemöglichkeit der digitalen Anzeige.

BEISPIEL Für eine 3½stellige Anzeige ist $P_{\max} = 1999$.

ANMERKUNG 2 Die Kennzeichnung durch die Kenngröße f_4 nach Gleichung (21) ist gewählt, um die größtmögliche Messabweichung an der Grenze der Messbereichsumschaltung zu erfassen.

4.12 Kenngröße Ermüdung f_5

Die Ermüdung ist eine reversible zeitliche Änderung der Empfindlichkeit durch den Einfluss der Bestrahlung bei sonst konstanten Betriebsbedingungen. Im Gegensatz dazu beschreibt die Alterung die irreversible zeitliche Änderung der Empfindlichkeit, die von einer Vielzahl von Umgebungsparametern und nicht nur von der Bestrahlung abhängt. Die Alterung wird in diesem Dokument nicht quantifiziert.

Beim Betrieb von aktinischen Radiometern können reversible Änderungen sowohl der Gesamtempfindlichkeit als auch der relativen spektralen Empfindlichkeit auftreten.

ANMERKUNG Die Ermüdung ist im Allgemeinen umso größer, je höher die Bestrahlungsstärke auf dem aktinischen Radiometer ist. Sie wird beeinflusst durch die Temperaturänderung, die durch Bestrahlung des aktinischen Radiometers hervorgerufen wird. Diese ist auch durch Regelung auf konstante Umgebungstemperatur nicht vollständig zu eliminieren.

Die Ermüdung wird durch die Funktion $f_5^*(t)$ nach Gleichung (22) beschrieben:

$$f_5^*(t) = \frac{Y(t)}{Y(t_0)} - 1 \quad (22)$$

Dabei ist

t die Zeit, die seit Beginn der Exposition des aktinischen Radiometers mit der vorgeschriebenen konstanten Strahlungsgröße vergangen ist;

$Y(t)$ das Radiometersignal zur Zeit t ;

t_0 Zeitpunkt der Ablesung der Anzeige nach vorgegebener Vorlaufzeit,

Zur Kennzeichnung der Ermüdung mit nur einer Größe gilt nach Gleichung (23):

$$f_5 = \left| \frac{Y(t = 30 \text{ min})}{Y(t_0 = 10 \text{ s})} - 1 \right| \quad (23)$$

Ist die Messzeit größer 30 min (z. B. für scannende Systeme), wird die Kenngröße f_5 nach Gleichung (24) bestimmt:

$$f_5 = \left| f_5^*(t_2) \right| \quad (24)$$

Dabei ist t_2 die 10fache Messzeit.

4.13 Kenngröße Temperaturabhängigkeit f_6

Zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit dient die Funktion $f_6^*(T)$ nach Gleichung (25):

$$f_6^*(T) = \frac{Y(T)}{Y(T_0)} - 1 \quad (25)$$

Dabei ist

$Y(T)$ die Radiometeranzeige bei der Umgebungstemperatur T ;

$Y(T_0)$ die Radiometeranzeige bei der Umgebungstemperatur $T_0 = 25 \text{ °C}$.

Zur Kennzeichnung der Temperaturabhängigkeit durch nur einen Wert gilt die Kenngröße f_6 nach Gleichung (26):

$$f_6 = \left| \frac{Y(T_2) - Y(T_1)}{Y(T_0)} \cdot \frac{1}{(T_2 - T_1)/^{\circ}\text{C}} \right| \quad (26)$$

Dabei ist

T_1 untere Bezugstemperatur;

T_2 obere Bezugstemperatur.

Für aktinische Radiometer, die für Messungen in Innenräumen verwendet werden, gelten:

$$T_2 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}; T_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}; T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Für aktinische Radiometer, die auch für Außenmessungen genutzt werden, gelten:

$$T_2 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}; T_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}; T_0 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Anwendungsbedingt können für die obere Temperatur T_2 und untere Temperatur T_1 andere Werte vereinbart werden. In solchen Fällen sind T_1 und T_2 anzugeben.

4.14 Kenngröße zum Einfluss der Strahlungsmodulation f_7

Die Abhängigkeit des Radiometersignals von niederfrequenter Strahlungsmodulation wird beschrieben durch die Funktion $f_7(\nu)$ nach Gleichung (27):

$$f_7^*(\nu) = \left| \frac{Y(\nu)}{Y(\nu_0 = 0\text{ Hz})} - 1 \right| \quad (27)$$

Dabei ist

ν die Modulationsfrequenz der Strahlungsgröße und nicht die optische Frequenz der Strahlung

$Y(\nu_0 = 0\text{ Hz})$ die Radiometeranzeige bei Bestrahlung mit unmodulierter Strahlung;

$Y(\nu)$ die Radiometeranzeige bei Bestrahlung mit modulierter Strahlung der Frequenz ν mit gleichem arithmetischem Mittelwert wie bei der Bestrahlung mit unmodulierter Strahlung.

Zur Kennzeichnung des Frequenzeinflusses mit einer einzelnen zahlenmäßigen Größe gilt nach Gleichung (28):

$$f_7 = \left| \frac{Y(\nu = 100\text{ Hz})}{Y(\nu_0 = 0\text{ Hz})} - 1 \right| \quad (28)$$

Wenn die Strahlung mit einer anderen Frequenz als 100 Hz moduliert wird, ist die Frequenzabhängigkeit der Radiometerantwort anzugeben.

4.15 Kenngröße zum Einfluss von polarisierter Strahlung f_8

Zur Kennzeichnung der Polarisationsabhängigkeit für eine vorgegebene Einstrahlrichtung ε, φ gilt die Funktion $f_8(\varepsilon, \varphi)$ nach Gleichung (29):

$$f_8(\varepsilon, \varphi) = \frac{Y_{\max}(\varepsilon, \varphi) - Y_{\min}(\varepsilon, \varphi)}{Y_{\max}(\varepsilon, \varphi) + Y_{\min}(\varepsilon, \varphi)} \quad (29)$$

Dabei ist

$Y_{\max}$ maximale Radiometeranzeige bei Variation des Polarisationswinkels;

$Y_{\min}$ minimale Radiometeranzeige bei Variation des Polarisationswinkels.

Die verwendeten Einfallswinkel ε und φ sind anzugeben.

4.16 Kenngröße ungleichmäßiger lokaler Empfindlichkeit f_9

Zur Kennzeichnung der Abhängigkeit der Empfindlichkeit vom Ort auf der Empfangsfläche eines aktinischen Radiometers dient die Kenngröße f_9 nach Gleichung (30):

$$f_9 = \frac{\sum_{i=2}^5 |Y_i - Y_1|}{4 \cdot Y_1} \quad (30)$$

Dabei ist

Y_1 Radiometeranzeige bei Bestrahlung des aktinischen Radiometers durch eine auf dem Zentrum der Eintrittsfläche aufliegende Aperturblende mit einem Durchmesser der Öffnung, der ein Zehntel des äquivalenten Durchmessers der Empfangsfläche beträgt,

Y_i Radiometeranzeige bei Bestrahlung durch dieselbe aufliegende Aperturblende an vier Punkten $i = 2$ bis 5, die in einem Abstand von zwei Drittel des äquivalenten Radius der Empfangsfläche sich befinden und jeweils um 90° zu einander versetzt sind.

Die Blende muss die gesamte Empfangsfläche überdecken, auf den Empfangsflächen liegen und zugleich Streustrahlung verhindern. Bei Radiometer mit mehreren nicht zusammenhängenden Empfangsflächen muss das Zentrum auf eine der Teilflächen gelegt werden.

4.17 Kenngröße Messbereichsumschaltung f_{11}

Zur Kennzeichnung des Einflusses einer Messbereichsumschaltung zwischen zwei Anzeigebereichen dient die Kenngröße f_{11} nach Gleichung (31):

$$f_{11} = \left| \frac{Y_B}{k \cdot Y_A} - 1 \right| \quad (31)$$

Dabei ist

Y_A der Anzeigewert im Anzeigebereich A für eine Eingangsgröße X_A , der 90 % des Anzeigebereichsendwertes entspricht (bei Geräten mit Ziffernanzeige bei der größten Anzeige);

Y_B der Anzeigewert im nächst unempfindlicheren Anzeigebereich B, bei der Eingangsgröße X_B , welche um einen Faktor k größer als die Eingangsgröße X_A ist;

k Faktor nach Gleichung (20).

Die Kenngröße f_{11} ist für jede mögliche Messbereichsumschaltung zu ermitteln.

5 Integralmessende Radiometer

5.1 Aufbau eines integralmessenden Radiometers

Das integralmessende Radiometer ist ein Gerät, mit dem aktinische Strahlungsgrößen unmittelbar bestimmt werden können (siehe Anhang D).

Der prinzipielle Aufbau besteht aus dem Messkopf und einer signalverarbeitenden Einheit mit einer Anzeige. Der Messkopf enthält eine Eingangsoptik, Filter oder eine Filterkombination und einen Detektor. Durch die Auswahl geeigneter Filter und einen Detektor mit selektiver spektraler Empfindlichkeit, wird eine Anpassung an ein Wirkungsspektrum erreicht.

In der signalverarbeitenden Einheit wird der gemessene Wert mit der zugehörigen Korrektur berechnet und direkt angezeigt. Optional können z. B. neben der aktinischen Bestrahlungsstärke oder der aktinischen Strahldichte die aktinische Bestrahlung sowie zeitlich aufgelöste Verläufe dargestellt werden.

5.2 Anforderungen an Integralradiometer

Zur präzisen Messung aktinisch wirksamer Strahlung unterschiedlicher Strahlungsquellen sind insbesondere hohe Anforderungen an die spektrale Anpassung des Integralmessgerätes zu stellen.

Die spektrale Abweichung zwischen Wirkungsspektrum $A_{\text{act}}(\lambda)$ und relativer spektraler Empfindlichkeit des Empfängers $s(\lambda)$ ist grafisch oder tabellarisch anzugeben.

Die Einzelkenngrößen und die Gesamtkenngröße sind vom Hersteller anzugeben. Die Gesamtkenngröße f_{total} ist nach Gleichung (32):

$$f_{\text{total}} = f_u + f_o + f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9 + f_{11} + f_{\text{kal}} \quad (32)$$

Für spezielle Messaufgaben kann zusätzlich eine der Messaufgabe angepasste Gewichtung der Einzelkenngrößen vorgenommen werden. Die Gewichtung ist anzugeben.

BEISPIEL 1 Die Kenngröße f_7 kann mit der Gewichtung 0 versehen werden, wenn die Frequenzabhängigkeit für das Messproblem keine Bedeutung hat.

BEISPIEL 2 Für die Kenngröße f_2 ergibt sich ein an das Messproblem angepasster Wert, wenn die richtungsabhängige Bewertung nur bis zum tatsächlich vorgesehenen Messfeldwinkel vorgenommen wird.

5.3 Kalibrierung

Integralradiometer sind vom Hersteller kalibriert auszuliefern. Mindestens ist die Angabe der Kalibrierquelle, ihrer Rückführbarkeit und des Bestrahlungs-niveaus notwendig. Mindestens ist die Angabe des Kalibrierverfahrens, der Rückführbarkeit auf nationale Normale und der Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte, mit der kalibriert wurde, notwendig.

Bei Messungen von Strahlung, deren spektrale Verteilung sich deutlich von der des Kalibriernormals unterscheidet, kann es zu größeren systematischen Messabweichungen kommen. Dies ist auf die spektrale Fehlanpassung, d. h. eine Abweichung der relativen spektralen Empfindlichkeit des Detektors vom Wirkungsspektrum, zurückzuführen. Diese systematische Messabweichung kann durch einen Korrekturfaktor verringert werden, der berechnet wird aus der spektralen Empfindlichkeit und den Spektren von Kalibrierquelle und der zu messenden Strahlungsquelle [13].

6 Spektralmessende Radiometer

6.1 Aufbau eines Spektralradiometers

Aktinische Strahldichten, Bestrahlungsstärken und Bestrahlungen können auch bestimmt werden, indem mit einem Spektralradiometer die spektrale Strahldichte bzw. spektrale Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Wellenlänge im betrachteten Wirkungsbereich absolut gemessen und dann mit dem maßgebenden Wirkungsspektrum die so erhaltenen spektralen Strahlungsgrößen nach 3.2 bewertet werden. Zur Dosisbestimmung sind die spektralen Strahlungsgrößen u. U. zeitabhängig zu messen und zeitlich zu integrieren. Dieses Spektralverfahren erfordert daher die folgenden Komponenten zur Messung aktinischer Strahlungsgrößen:

- Eingangsoptik;
- Spektralapparat;
- Empfänger;
- Erfassungs- und Auswerteeinheit.

6.2 Kennzeichnungsmerkmale spektralmessender Radiometer

6.2.1 Nutzbarer Spektralbereich

Der nutzbare Spektralbereich ist das Wellenlängenintervall, für den die kleinste zu messende radiometrische Strahlungsgröße mindestens doppelt so groß ist wie die rauschäquivalente radiometrische Strahlungsgröße. Der nutzbare Spektralbereich muss mindestens den Definitionsbereich der untersuchten Wirkung überdecken.

6.2.2 Optische Kenngrößen des Spektralapparats

Optische Kenngrößen nach DIN 5030-3 sind anzugeben, mindestens Lineardispersion, praktisch auflösbarer Wellenlängenabstand, spektrale Hundertstelwertbreite und spektraler Fehlstrahlungsanteil des auf die Wellenlänge maximaler Transmission eingestellten Spektralapparats bei einer typischen, realisierbaren und anzugebenden spektralen Halbwertsbreite, geometrischer Leitwert, Maximumwellenlänge, Wellenlängenunsicherheit.

6.2.3 Mindestens erforderliche Messzeit

Die mindestens erforderliche Messzeit (Scanzeit), innerhalb der die aktinische Strahlungsgröße mit der vom Hersteller spezifizierten Unsicherheit bestimmt werden kann, ist anzugeben.

6.3 Berechnung der aktinisch wirksamen Strahlungsgröße X_{act}

Die aktinisch wirksame Strahlungsgröße X_{act} ist die gemessene spektrale Strahlungsgröße $X_{\lambda}(\lambda)$ bewertet mit der für die betrachtete Wirkung gültigen relativen spektralen aktinischen Empfindlichkeit $A_{\text{act}}(\lambda)$ nach Gleichung (33):

$$X_{\text{act}} = \sum_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_{\lambda}(\lambda_i) \cdot A_{\text{act}}(\lambda_i) \cdot \Delta\lambda \quad (33)$$

Dabei ist

- λ_i Wellenlängen, an denen das Spektralradiometer gemessen hat;
- $\Delta\lambda$ spektrale Schrittweite des Spektralradiometers.

Falls numerische Integrations- oder Interpolationsverfahren angewendet werden, so sind diese anzugeben.

6.4 Kalibrierung

Die spektrale Strahlungsgröße $X_\lambda(\lambda)$ wird aus der Radiometeranzeige bei der Wellenlänge λ durch Kalibrierung mit einem Bestrahlungsstärke- bzw. Strahldichtenormal erhalten. Mindestens ist die Angabe des Kalibrierverfahrens, der Rückführbarkeit auf nationale Normale und der Bestrahlungsstärke bzw. Strahldichte, mit der kalibriert wurde, notwendig.

6.5 Anforderungen an Spektralradiometer

Die Einzelkenngrößen und die Gesamtkenngröße sind vom Hersteller anzugeben. Die Gesamtkenngröße f_{total} ist nach Gleichung (34):

$$f_{\text{total}} = f_u + f_o + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6 + f_7 + f_8 + f_9 + f_{11} + f_{\text{kal}} \quad (34)$$

Für spezielle Messaufgaben kann zusätzlich eine der Messaufgabe angepasste Gewichtung der Einzelkenngrößen vorgenommen werden. Die Gewichtung ist anzugeben.

7 Dosimeter

7.1 Allgemeines

Dosimeter sind Geräte oder Messvorrichtungen zur Messung der aktinischen Bestrahlung (Dosis) H_{act} nach der Bestrahlungszeit t nach Gleichung (35):

$$H_{\text{act}} = \int_0^t \int_{\lambda_U}^{\lambda_0} E_\lambda(\lambda) A_{\text{act}}(\lambda) d\lambda dt \quad (35)$$

wobei $E_\lambda(\lambda)$ die spektrale Bestrahlungsstärke und $A_{\text{act}}(\lambda)$ das Wirkungsspektrum der betrachteten aktinischen Wirkung ist. Die technischen Anforderungen an die Dosimeter und deren Kalibrierung sowie die daraus folgenden Kenngrößen entsprechen denjenigen an integral messende Radiometer (siehe Abschnitt 5).

Bei chemischen und biologischen Dosimetern gelten wegen der meist nicht-linearen strahlungsbedingten Prozesse im Dosimetermaterial folgende Besonderheiten, deren Einfluss auf den jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen ist:

- a) die spektrale Empfindlichkeit des Dosimetermaterials in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke, der Bestrahlung und der Temperatur;
- b) die zur Messung herangezogene Eigenschaftsänderung des Dosimetermaterials als Funktion der Bestrahlung H_{act} in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke und/oder der Bestrahlung;
- c) die Eigenschaftsänderung des Dosimetermaterials bei permanenter und intermittierender Strahlung bei gleicher Bestrahlung.

Für verschiedene Anwendungsfälle des Dosimeters kann es daher verschiedene Kalibrierkurven geben. Die physikalischen Randbedingungen für die Kalibrierung sind anzugeben.

ANMERKUNG Beispiele für eine umfassende physikalische Beschreibung der Eigenschaftsänderung eines Dosimetermaterials in Abhängigkeit der Einflussparameter, siehe [8] und [9].

7.2 Instrumentelles Dosimeter

Das instrumentelle Dosimeter besteht aus einem integral messenden (siehe Abschnitt 5) oder einem spektral messenden Radiometer (siehe Abschnitt 6), das die aktinische Bestrahlungsstärke E_{act} misst, mit anschließender Integration von E_{act} über die Bestrahlungszeit t .

7.3 Chemisches Dosimeter

Das chemische Dosimeter besteht aus einem meist organischen Material vornehmlich in Form von Folien. Dabei kann sowohl die Folie selbst als auch ein eingearbeiteter Farbstoff den strahlungsempfindlichen Teil darstellen. Es wird eine Eigenschaftsänderung des Dosimeters gemessen.

BEISPIEL Änderung der Farbe oder Änderung der optischen Dichte, schmalbandig oder in einem Wellenlängenbereich gemessen. Für orientierende Abschätzungen sind auch visuelle Beurteilungen möglich.

Die spektrale Empfindlichkeit des Dosimetermaterials $s_{\text{rel}}(\lambda)$ muss unter Berücksichtigung der unter 7.1 beschriebenen Besonderheiten angegeben werden. Es kann daher mehrere spektrale Empfindlichkeiten ein und desselben Dosimetermaterials geben. Die spektrale Empfindlichkeit kann ggf. durch Filter an das gewünschte Wirkungsspektrum angepasst werden.

7.4 Biologisches Dosimeter

Das strahlungsempfindliche Material besteht vornehmlich aus einfachen biologischen Lebensformen (Bakterien, Sporen, Phagen, Zellen) oder Stoffwechselkomponenten (Pro-Vitamin D).

Organismen, Einbettmaterial zur Immobilisierung, Hüllmaterial und ggf. vorgesetzte Filter bilden eine optische Einheit bezüglich der spektralen Empfindlichkeit.

Ermittelt werden Überlebensraten nach optischer Bestrahlung, z. B. bestimmt aus Änderungen der optischen Dichte von angefärbtem Stoffwechselsubstrat überlebender Organismen und Stoffwechselsubstrat einer unbestrahlten Kontrolle oder biochemische Reaktionsprodukte.

Die biologischen Substrate zur Messung aktinischer Bestrahlungen müssen immobilisiert sein.

7.5 Kalibrierung

Instrumentelle Dosimeter werden mit einem integralmessenden Radiometer nach Abschnitt 5 oder mit spektralmessenden Radiometer nach Abschnitt 6 kalibriert. Für chemische Dosimeter und biologische Dosimeter muss die Eigenschaftsänderung des Dosimetermaterials als Funktion der empfangenen aktinischen Bestrahlung H_{act} als Kalibrierkurve mit einem Schwellenwert, einem linearen Bereich und der Sättigung angegeben werden. Das Temperatur- und/oder das zeitabhängige Verhalten des Dosimetermaterials muss angegeben werden. Dabei sind die unter 7.1 angegebenen Besonderheiten zu beachten.

ANMERKUNG 1 Die Kalibrierkurve hat üblicherweise einen linearen Bereich, sowie einen Schwellenwert und eine Sättigung, die den nutzbaren Messbereich nach unten und nach oben begrenzen. Der Messbereich kann durch Vorschalten von wellenlängenunabhängigen Graufiltern erweitert werden. Bei einigen Dosimetermaterialien ist eine Eigenschaftsänderung erst nach Einwirkung einer bestimmten aktinischen Bestrahlung H_{act} messbar. Dieser Schwellenwert ist diejenige aktinische Bestrahlung H_{act} , bei der gerade eine Eigenschaftsänderung gemessen oder beobachtet werden kann.

ANMERKUNG 2 Bei manchen Dosimetermaterialien treten Dunkelreaktionen auf, d. h. die Eigenschaftsänderung des Dosimetermaterials kann sich nach dem Ende des Bestrahlungsvorgangs fortsetzen oder teilweise reversibel sein.

Wenn die spektrale Empfindlichkeit des Dosimeters $s_{\text{rel}}(\lambda)$ von dem Wirkungsspektrum der zu messenden aktinischen Wirkung abweicht, kann die systematische Messabweichung durch einen Anpassungsfaktor minimiert werden. Voraussetzung ist die Kenntnis der spektralen Dosimeterempfindlichkeit und der relativen spektralen Bestrahlungsstärke der zu messenden Strahlung. Das Spektrum, das zur Bestimmung des Anpassungsfaktors verwendet wurde, ist anzugeben.