

Spektrale Strahlungsmessung

Physikalische Empfänger für spektrale Strahlungsmessungen

Begriffe, Kenngrößen, Auswahlkriterien

DIN
5030
Teil 5

Spectral measurement of radiation; physical detectors for spectral measurement of radiation; terminology, characteristic quantities, selection criteria

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt Begriffe und Kenngrößen fest und gibt Kriterien für die Auswahl von physikalischen Empfängern für spektrale Strahlungsmessungen im optischen Spektralbereich von 100 nm bis 1 mm. Sie stellt jedoch keinen Ersatz für Datenblätter oder andere Herstellerangaben dar.

2 Begriffe

2.1 Einteilung der Spektralbereiche

Siehe DIN 5030 Teil 2

2.2 Störstrahlung

Optische Strahlung,

- deren Wellenlänge bzw. Wellenlängenbereich außerhalb des Spektralbereiches der zu messenden Strahlung liegt;
- die aus einem anderen als dem gewünschten Raumwinkel auf die Empfängerfläche einfällt.

2.3 Rauschen

Siehe DIN 5030 Teil 1

2.4 Rauschäquivalente Strahlungsleistung Φ_r

Effektivwert des Wechselanteils derjenigen Leistung einer quasi-monochromatischen, zeitlich sinusförmig modulierten Strahlung¹⁾, die den gleichen Effektivwert des Wechselanteils des Empfänger Ausgangssignals hervorruft wie das Rauschen.

Anmerkung: Die Angabe einer rauschäquivalenten Strahlungsleistung oder Bestrahlungsstärke ist nur aussagekräftig, wenn Wellenlänge und Modulationsfrequenz der zur Messung benutzten Strahlung angegeben werden. Gelegentlich, insbesondere bei Infrarot-Empfängern, wird statt auf eine quasi-monochromatische Strahlung auf die (spektral nicht zerlegte) Strahlung eines schwarzen Strahlers bestimmter Temperatur Bezug genommen.

2.5 Rauschäquivalente Bestrahlungsstärke E_r

Effektivwert des Wechselanteils derjenigen Bestrahlungsstärke einer quasi-monochromatischen, zeitlich sinusförmig

modulierten Strahlung²⁾, die den gleichen Effektivwert des Wechselanteils des Empfänger Ausgangssignals hervorruft wie das Rauschen.

Anmerkung: Die Angabe einer rauschäquivalenten Strahlungsleistung oder Bestrahlungsstärke ist nur aussagekräftig, wenn Wellenlänge und Modulationsfrequenz der zur Messung benutzten Strahlung angegeben werden. Gelegentlich, insbesondere bei Infrarot-Empfängern, wird statt auf eine quasi-monochromatische Strahlung auf die (spektral nicht zerlegte) Strahlung eines schwarzen Strahlers bestimmter Temperatur Bezug genommen.

2.6 Einteilung der Empfänger nach der physikalischen Wirkungsweise

2.6.1 Thermischer Empfänger

Strahlungsempfänger, bei dem die einfallende Strahlungsenergie durch Absorption in Wärme überführt und die dadurch entstehende Temperaturerhöhung in ein meßbares (meist elektrisches) Signal umgewandelt wird.

Anmerkung: Hierunter fallen u. a. Thermosäulen, Bolometer, pyroelektrische und pneumatische Empfänger.

2.6.2 Photoelektrischer Empfänger

Strahlungsempfänger, bei dem ein Photoeffekt genutzt wird.

Anmerkung: Beim photoelektrischen Empfänger gibt es stets eine langwellige Grenze für die Anwendung, da jedes Photon eine Mindestenergie haben muß, um einen Photoeffekt auslösen zu können.

2.6.2.1 Photokathoden-Empfänger

Strahlungsempfänger, bei dem die einfallende Strahlung aus einer Photokathode Elektronen in das umgebende

¹⁾ Ihre Leistung hat einen Gleichanteil $\Phi_0/2$ und einen (physikalisch nicht isoliert realisierbaren) Wechselanteil der Amplitude $\Phi_0/2$ und der Modulationsfrequenz f . Der Effektivwert des Wechselanteils ist $\sqrt{2} \cdot \Phi_0/4$. Die Abhängigkeit von der Zeit t wird also beschrieben durch $\Phi(t) = \frac{\Phi_0}{2} \cdot (1 - \cos 2\pi ft)$.

²⁾ Fußnote 1 gilt hier sinngemäß

Fortsetzung Seite 2 bis 8

Normenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

Vakuum (oder Gas) auslöst (äußerer Photoeffekt), die dann von einer Anode — gegebenenfalls nach Verstärkung — gesammelt werden.

Anmerkung: Hierzu gehören u. a. Photozellen und Photovervielfacher.

2.6.2.2 Photoleiter (Photowiderstand)

Strahlungsempfänger, bei dem sich die elektrische Leitfähigkeit während Bestrahlung infolge des inneren Photoeffektes erhöht.

Anmerkung: Nur bei Bestrahlung der **gesamten** Empfängerfläche mit **örtlich konstanter** Bestrahlungsstärke ist die Änderung des elektrischen Leitwertes (in einem nicht sehr großen Bestrahlungsstärkebereich) proportional zur Bestrahlungsstärke.

2.6.2.3 Sperrschichtempfänger

Halbleiter-Strahlungsempfänger mit Sperrschicht, bei dem durch Bestrahlung Elektron-Loch-Paare infolge des inneren Photoeffektes erzeugt und durch das elektrische Feld in der Sperrschicht getrennt werden. Die Rekombination erfolgt über den elektrischen Strom (Photostrom) im äußeren Kreis.

Anmerkung: Hierzu gehören u. a. Photoelemente, Photodioden und Phototransistoren.

2.7 Aselektiver Empfänger, selektiver Empfänger

2.7.1 Aselektiver Empfänger

Strahlungsempfänger, dessen relative spektrale Empfindlichkeit im interessierenden Spektralbereich wellenlängen- bzw. frequenzunabhängig ist.

Anmerkung: Hierzu gehören die meisten thermischen Empfänger, deren relative spektrale Empfindlichkeit häufig nur durch den spektralen Transmissionsgrad des verwendeten Strahlungseintrittsfensters festgelegt ist. Bei Anwendung aselektiver Empfänger ist besonders darauf zu achten, daß keine Strahlung nichtgewünschter Spektralbereiche mitgemessen wird.

2.7.2 Selektiver Empfänger

Strahlungsempfänger, dessen relative spektrale Empfindlichkeit wellenlängen- bzw. frequenzabhängig ist.

Anmerkung: Photoelektrische Empfänger sind aufgrund ihrer physikalischen Wirkungsweise selektiv. Durch zusätzliche Maßnahmen läßt sich manchmal in gewissen Spektralbereichen eine nahezu wellenlängen- bzw. frequenzunabhängige Empfindlichkeit erreichen.

2.8 Begriffe für Ortsauflösende Empfänger

2.8.1 Ortsauflösender Empfänger

Strahlungsempfänger zur orts aufgelösten Messung der Bestrahlungsstärke oder der Bestrahlung.

2.8.2 Abtastung

Orts aufgelöste, sequentielle Übernahme der Meßwerte eines ortsauflösenden Empfängers in eine meßwertverarbeitende, meist elektronische, Anordnung.

2.8.3 Empfängererelement

Besteht ein (makroskopischer) Strahlungsempfänger aus mehreren unabhängigen kleinen Empfängern, so heißen diese Empfängererelemente.

2.8.4 Empfängerzeile

Ortsauflösender Empfänger, der aus zeilenförmig angeordneten Empfängererelementen besteht, deren Abtastung über unbewegliche, den einzelnen Empfängererelementen fest zugeordnete, Elektroden erfolgt.

2.8.5 Empfängermatrix

Ortsauflösender Empfänger, der aus mehreren parallelen Empfängerzeilen besteht.

2.8.6 Ortsauflösender Empfänger mit bewegter Abtastung

Ortsauflösender Empfänger mit homogener oder nahezu homogener Empfängerfläche und bewegter Abtastsonde meist in Form eines Elektronenstrahls.

2.8.7 Abtastzeile

Bereich der Empfängerfläche eines ortsauflösenden Empfängers mit bewegter Abtastung, der bei einer eindimensionalen Abtastung durch die Abtastsonde mit dieser in Wechselwirkung tritt.

3 Kenngrößen von Strahlungsempfängern

3.1 Empfindlichkeit, (relative) spektrale Empfindlichkeit, differentielle Empfindlichkeit

Siehe DIN 5031 Teil 2

Anmerkung: Der Begriff Empfindlichkeit wird in dieser Norm ausschließlich im Sinne der genannten Definitionen verwendet.

3.2 Externe (bzw. interne) Quantenausbeute η_e (bzw. η_i)

Verhältnis der Anzahl der Elementarereignisse, wie etwa die Freisetzung eines Elektrons, die zur Empfängerenausgangsgröße beitragen, zu der Zahl der einfallenden (bzw. absorbierten) Photonen.

Anmerkung: Die externe Quantenausbeute η_e läßt sich aus der spektralen Empfindlichkeit s und der Wellenlänge λ bzw. Frequenz ν wie folgt berechnen:

$$\eta_e = shc / (e\lambda) = sh\nu / e \quad (1)$$

h Planck-Konstante,

c Lichtgeschwindigkeit,

e Elementarladung.

3.3 Dunkelausgangssignal

Wert der Empfängerenausgangsgröße, wenn die Empfängerfläche nicht der zu messenden Strahlung ausgesetzt ist.

Anmerkung: Beispiele sind der Dunkelstrom von Photovervielfachern, der Sperrstrom von Photodioden und die Thermospannung einer abgedunkelten Thermosäule.

3.4 Detektivität D

Kehrwert der rauschäquivalenten Strahlungsleistung:

$$D = 1/\Phi_r \quad (2)$$

3.5 Normierte Detektivität D^*

Mit der Quadratwurzel aus dem Produkt von Empfängerfläche A und (Modulationsfrequenz-)Bandbreite Δf des Meßsystems multiplizierte Detektivität:

$$D^* = D \sqrt{A \cdot \Delta f} = \sqrt{A \cdot \Delta f} / \Phi_r \quad (3)$$

Anmerkung: Die Definition ist zweckmäßig, da bei vielen Empfängertypen das Rauschsignal am Empfängeranfang proportional zu $\sqrt{A \cdot \Delta f}$ anwächst.

3.6 Nutzbarer Spektralbereich (eines Empfängers)

Spektralbereich, in dem die relative spektrale Empfindlichkeit einen anzugebenden Wert nicht unterschreitet.

3.7 Frequenzgang der Empfindlichkeit

Abhängigkeit der Empfindlichkeit von der Frequenz einer zeitlich sinusförmig modulierten Strahlung.

Anmerkung: Der Frequenzgang wird oft vereinfacht durch die Angabe des Frequenzbereiches gekennzeichnet, in dem die Empfindlichkeit nur innerhalb anzugebender Grenzen von der Frequenz abhängt.

3.8 Anstiegs- (bzw. Abfall-)Zeit (eines Strahlungsempfängers)

Zeit, die die Empfängeranfangsgröße benötigt, um nach plötzlichem Auftreten (bzw. Wegfallen) einer konstanten Eingangsgröße von einem bestimmten niedrigen (bzw. hohen) Bruchteil auf einen bestimmten hohen (bzw. niedrigen) Bruchteil des Maximalwertes anzusteigen (bzw. abzufallen).

Anmerkung: Es ist üblich, für den niedrigen Bruchteil 10% und für den hohen 90% des Maximalwertes anzusetzen.

3.9 Zeitkonstante (eines Empfängers)

Zeit, die die Empfängeranfangsgröße benötigt, um nach einer sprunghaften Änderung der ansonsten konstanten Eingangsgröße den Bruchteil $(1-1/e)$ ihrer endgültigen Änderung zu erreichen. Dabei ist vorauszusetzen, daß keine Drift auftritt und daß sich die zeitliche Änderung der Ausgangsgröße durch eine Exponentialfunktion beschreiben läßt.

3.10 Nichtlinearität f_{NL}

Relative Abweichung der Empfindlichkeit $s(z)$ von der Empfindlichkeit $s(z_0)$ bei einem anzugebenden Bezugswert z_0 der Eingangs- oder Ausgangsgröße z :

$$f_{NL} = \frac{s(z) - s(z_0)}{s(z_0)} \quad (4)$$

Anmerkung: Die Nichtlinearität kann insbesondere wellenlängenabhängig sein.

3.11 Linearitätsbereich

Bereich der Empfängeranfangs- bzw. Ausgangsgröße, in dem die Nichtlinearität anzugebende Grenzwerte nicht überschreitet.

Anmerkung: Oft ist es notwendig, den Linearitätsbereich bzgl. Strahlungsleistung und Bestrahlungsstärke zu kennen.

3.12 Empfängerfläche

Für den Empfang von Strahlung vorgesehene Fläche oder Öffnung des Empfängers.

3.13 Inhomogenität f_{IH}

Relative Abweichung der Empfindlichkeit $s(P)$ an einem Punkt P der Empfängerfläche von der Empfindlichkeit

$s(P_0)$ an einem anzugebenden Bezugspunkt P_0 der Empfängerfläche:

$$f_{IH} = \frac{s(P) - s(P_0)}{s(P_0)} \quad (5)$$

Zur Bestimmung von $s(P)$ ist eine kleine, rechteckige oder kreisförmige Teilfläche mit P als Mittelpunkt zu bestrahlen.

Anmerkung 1: Form und Größe der Teilfläche, die der Geometrie, dem Meßprinzip und der beabsichtigten Anwendung des Empfängers angepaßt werden sollten, sind für die Beurteilung der Inhomogenität unerlässlich und deshalb anzugeben. Bei Photoleitern muß die Teilfläche in einer Richtung die Abmessungen des Empfängers überdecken (spaltförmige Abtastung).

Anmerkung 2: Vernachlässigbare Inhomogenität bedeutet nicht in allen Fällen, daß bei konstanter eingestrahelter Leistung das Ausgangssignal vom Durchmesser des Strahlungsbündels unabhängig ist. Es ist auch darauf zu achten, daß lokal nicht der Linearitätsbereich (bzgl. Bestrahlungsstärke) verlassen wird.

3.14 Homogener Bereich

Bereich der Empfängerfläche, für den die Inhomogenität anzugebende Grenzwerte nicht überschreitet.

Anmerkung: Der homogene Bereich kann von der Wellenlänge und dem Einfallswinkel der Strahlung abhängen.

3.15 Öffnungswinkel

Spanne des für den Empfang von Strahlung vorgesehenen Winkelbereichs.

Anmerkung: Gegebenenfalls ist zur vollständigen Kennzeichnung mehr als ein Öffnungswinkel anzugeben.

3.16 Anisotropie (Richtungsabhängigkeit der Empfindlichkeit) f_{AI}

Relative Abweichung der Empfindlichkeit $s(\vartheta)$ bei Einfall der (kollimierten) Strahlung unter dem Winkel ϑ gegen eine Bezugsrichtung von der Empfindlichkeit s_0 bei Strahlungseinfall in dieser (anzugebenden) Bezugsrichtung:

$$f_{AI} = \frac{s(\vartheta) - s_0}{s_0} \quad (6)$$

Bei der Bestimmung von $s(\vartheta)$ darf nur der homogene Bereich bestrahlt werden.

Anmerkung 1: Wenn die Anisotropie nicht rotationssymmetrisch zur Bezugsrichtung ist, ist die Abhängigkeit von zwei Winkeln zur vollständigen Beschreibung erforderlich.

Anmerkung 2: Die Anisotropie kann insbesondere vom Polarisationszustand und der Wellenlänge der Strahlung abhängen.

Anmerkung 3: Es sind zwei Grenzfälle der Bestrahlung zu unterscheiden:

Wird ein Empfänger ohne Anisotropie (isotroper Empfänger) innerhalb eines homogenen, kollimierten Strahlungsbündels, dessen Querschnitt größer ist als die Empfängerfläche, um eine Achse senkrecht zur Strahlungsrichtung gedreht, so nehmen