

Lichttherapie

Bearbeitet von
Dr. Rolfdieter Krause, Dr. Rainer Stange

1. Auflage 2012. Buch. XIV, 158 S. Hardcover
ISBN 978 3 642 16938 0
Format (B x L): 16,8 x 24 cm

[Weitere Fachgebiete > Medizin > Komplementäre Medizin, Asiatische Medizin \(TCM\),
Heilpraktiker](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

Physikalisch-technische Grundlagen

Heinrich Kaase

- 2.1 **Optische Strahlung – 10**
- 2.2 **Strahlungsgrößen – 10**
- 2.3 **Aktinische Strahlung – 10**
- 2.4 **Definition des Begriffs »Licht« – 11**
- 2.5 **Referenzsonnenspektren – 12**
 - 2.5.1 Extraterrestrische Solarstrahlung – 12
 - 2.5.2 Terrestrische Sonnenbestrahlungsstärke – 12
 - 2.5.3 Aktinische Sonnenbestrahlungsstärke – 13
- 2.6 **Sicherheitsaspekte und Schutzmaßnahmen – 16**
- 2.7 **Aufbau von Bestrahlungsgeräten – 17**
- Literatur – 18**

2.1 Optische Strahlung

Ultraviolette, sichtbare und infrarote Strahlung werden unter dem Begriff »optische Strahlung« zusammengefasst. Physikalisch gesehen handelt es sich um elektromagnetische Strahlung, die durch ihre Wellenlänge λ bzw. ihre Frequenz ν charakterisiert wird. Der Zusammenhang zwischen beiden Größen ist durch die Beziehung

$$c = \lambda \times \nu$$

gegeben, wobei c die Lichtgeschwindigkeit in dem vorgegebenen Medium beschreibt (im Vakuum ca. 300.000 km/s). Das einzelne Lichtquant (Photon) hat dabei eine feste Energie, die durch die Frequenz bestimmt ist:

$$E = h \times \nu$$

(Planck'sches Wirkungsquantum: $h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js).

Die optische Strahlung umfasst den Wellenlängenbereich von 1 nm bis 1 mm; zu größeren Wellenlängen hin schließt sich der Mikrowellenbereich an, bei Wellenlängen kleiner als 1 nm beginnt die Röntgenstrahlung. Der Spektralbereich von 1–100 nm wird heute als extremes Vakuum-UV bezeichnet. Der Wellenlängenbereich von 100–380 nm wird zur UV-Strahlung gerechnet, der Bereich von 380–780 nm umfasst die für das menschliche Auge sichtbare Strahlung, oberhalb von 780 nm spricht man von infraroter Strahlung.

Wellenlängenangaben: 1000 nm = 1 μ m, 1000 μ m = 1 mm

Die optische Strahlung wird nach DIN 5031 historisch aufgrund unterschiedlicher Wirkungen in Bereiche unterteilt (■ Tab. 2.1).

Diese Grenzen für die Wellenlängenintervalle beziehen sich auf biologische Wirkungen, die durch kontinuierliche und stetige Wirkungsspektren beschrieben werden. Sie können deshalb nur eine grobe Einteilung der UV-Bereiche wiedergeben. So besteht zurzeit eine internationale Tendenz, die Grenzen des UV-A-Bereichs auf 320–400 nm zu ändern und die Untergrenze für das UV-C mit der Luftabsorption (unterhalb 200 nm) zu verbinden. Diese UV-Grenzen (200 nm – 280 nm –

320 nm – 400 nm) werden international oft bei der Beurteilung von Bestrahlungsgeräten benutzt.

2.2 Strahlungsgrößen

Die Abhängigkeit des Strahlungsübergangs von einer Strahlerfläche dA_1 zu einer Empfängerfläche dA_2 wird durch geometrische Größen beschrieben. Dabei werden die Winkel zwischen dem optischen Strahl und den jeweiligen Flächennormalen mit ϵ_1 und ϵ_2 bezeichnet und der Raumwinkel mit $d\Omega = dA \cos \epsilon / r^2$ festgelegt, dessen physikalische Einheit der Steradian (sr) ist. Die Definitionen der wichtigsten und genormten energetischen Strahlungsgrößen sind ■ Tab. 2.2 zusammengefasst; sie werden radiometrische Größen genannt [1].

Während also die Größen Strahlungsenergie, Strahlungsleistung, spezifische Ausstrahlung, Strahlstärke und Strahldichte die Strahlungseigenschaften von Quellen beschreiben, beziehen sich die Größen Bestrahlungsstärke und Bestrahlung auf Strahlungsempfänger.

2.3 Aktinische Strahlung

Wirkt Strahlung auf ein biologisches Objekt, dann ist die Wirkung von 2 Spektralfunktionen abhängig: von der spektralen Empfindlichkeit des Empfängers für die betrachtete Reaktion und der spektralen Verteilung der Strahlungsgröße. Die in der Praxis meist zu nutzende spektrale Strahlungsgröße ist die spektrale Bestrahlungsstärke:

$$E_\lambda(\lambda) = \frac{\partial E(\lambda)}{\partial \lambda} \left[\frac{W}{m^2 nm} \right]$$

Bezüglich der spektralen Empfindlichkeit genügt die Kenntnis der relativen spektralen Verteilung (Wirkungsspektrum oder Aktionsspektrum) $s(\lambda)_{\text{biol,rel}}$.

Die photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke E_{biol} in Wm^{-2} ergibt sich dann zu:

$$E_{\text{biol}} = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) s(\lambda)_{\text{biol,rel}} d\lambda \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Voraussetzung für diese Definition ist allerdings die Gültigkeit des Gesetzes von van Krefeld. Danach ist

Tab. 2.1 Einteilung der Wellenlängenintervalle der optischen Strahlung

Symbol	Wellenlängenintervall	Wellenlängenbereich (λ_1 - λ_2) [nm]
EUV	Extremes Vakuum- Ultraviolett	1-100
VUV	Vakuum-Ultraviolett	100-200
UV-C	Fernes Ultraviolett	200-280
UV-B	Mittleres Ultraviolett	280-315
UV-A	Nahes Ultraviolett	315-380
VIS	Sichtbarer Bereich	380-780
IR-A	Nahes Infrarot	780-1400
IR-B	Mittleres Infrarot	1400-3000
IR-C	Fernes Infrarot	3000-10 ⁶

die Summenwirkung von Teilstrahlungen auch aus verschiedenen Wellenlängenbereichen unabhängig von der Art der Teilstrahlungen (Additivität).

Die zeitliche Integration über die Bestrahlungszeit T ergibt daraus die photobiologisch wirksame Bestrahlung (Dosis) H_{biol} in Jm^{-2} , wenn auch das Bunsen-Roscoe-Gesetz erfüllt ist (Linearität):

$$H_{biol} = \int_0^T E_{biol}(t)dt \left[\frac{J}{m^2} \right]$$

Im Hinblick auf die Wirkung auf den Menschen kann man im Gegensatz zur Wirkung ionisierender Strahlung davon ausgehen, dass es Schwellenwerte für die Bestrahlung (Dosis) gibt, die zur Auslösung von biologischen Reaktionen notwendig sind. Unterhalb der Schwellenwerte hebt die Dunkelreparatur die Wirkung wieder auf. Dadurch wird die Analyse der Strahlenwirkung erleichtert. Die photobiologisch wirksame Bestrahlung H_{biol} , die eine gerade merkliche Reaktion erzeugt, heißt Schwellenbestrahlung $H_{s,biol}$ und die für eine bestimmte Bestrahlungsstärke zugehörige Bestrahlungszeit heißt Schwellenbestrahlungsdauer $t_{s,biol}$. Dabei gilt:

$$t_{s,biol} = \frac{H_{s,biol}}{E_{biol}}$$

Beispiel: Bei der Bewertung von Heimsonnen und Solarien ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke E_{er} die wichtigste aktinische Strahlungsgröße; sie spielt deshalb eine besondere Rolle bei der Klassifizierung von Solarien. Dabei wird berücksichtigt, dass beim UV-Erythem 2 Wirkungen auftreten: das UV-A-Erythem und das UV-B-Erythem. Die festgelegte Grenzwellenlänge zwischen diesen 2 Wirkungen beträgt 320 nm. Die Schwellenbestrahlung für den nicht vorbestrahlten hellhäutigen Europäer entspricht dem Wert der minimalen erythemwirksamen Dosis (1 MED=250 Jm^{-2}). In der internationalen Literatur wird dieser festgelegte Wert als »standard erythem dosis« (SED) bezeichnet.

In der Praxis sind oft spektral unterschiedliche aktinische Strahlungsanteile zu vergleichen: In der Beleuchtungstechnik möchte man z. B. die melatoninwirksame Bestrahlungsstärke bei vorgegebener Beleuchtungsstärke E_v kennen. Hierfür wird der Effekt-Beleuchtungsstärkefaktor $f_{X,V}$ in der Einheit W pro klm definiert. Er beschreibt das Verhältnis von wirksamer Bestrahlungsstärke des Effektes X zur Beleuchtungsstärke E_v :

$$f_{X,V} = \frac{\int E_\lambda(\lambda) \cdot s_X(\lambda) d\lambda}{K_m \int E_\lambda(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda} = \frac{E_X}{E_V}$$

Mit diesem Faktor lassen sich die Wirkungen unterschiedlicher Strahlungsquellen bei gleicher Beleuchtungsstärke (z. B. 1000 lx) vergleichen.

Bei den Vitamin-D₃-wirksamen Bestrahlungsstärken benötigt man zusätzlich Angaben zur erythemwirksamen Bestrahlungsstärke, damit die Bestrahlungszeit für den positiven Effekt kleiner als die Schwellenbestrahlungszeit für die schädliche Erythemerzeugung eingestellt werden kann. Die maximale Bestrahlungszeit t ohne Schädigung wird in DIN 5031, Teil 10 wie folgt definiert:

$$t < t_{er} = \frac{1 \text{ MED}}{E_{er}}$$

2.4 Definition des Begriffs »Licht«

Licht wird im allgemeinen Sprachgebrauch oft mit Strahlung verwechselt. Entsprechend der offiziellen Definition nach DIN 5031 wird Strahlung, die beim Menschen eine Gesichtsempfindung hervorzurufen vermag, mit »Licht« bezeichnet.

Für lichttechnische Größen sind spezielle Bezeichnungen und zugehörige Einheiten (Licht-

■ **Tab. 2.2** Radiometrische Größen (energetische Strahlungsgrößen) basierend auf der Strahlungsleistung Φ . (Mod. nach [1])

Größe	Kennzeichen	Definition	Einheit
Strahlungsenergie	Q	$Q = \int \Phi dt$	J
Strahlungsleistung	Φ	–	W
Spezifische Ausstrahlung	M	$M = \frac{\partial \Phi}{\partial A_1}$	W m ⁻²
Strahlstärke	I	$I = \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega}$	Wsr ⁻¹
Strahldichte	L	$L = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \Omega \partial A_1 \cos \varepsilon_1}$	Wm ⁻² sr ⁻¹
Bestrahlungsstärke	E	$E = \frac{\partial \Phi}{\partial A_2}$	Wm ⁻²
Bestrahlung	H	$H = \frac{\partial Q}{\partial A_2}$	Jm ⁻²

stärke in Candela, Lichtstrom in Lumen, Beleuchtungsstärke in Lux etc.) im Gesetz über Einheiten im Messwesen festgelegt worden. Der Zusammenhang zwischen Strahlungsgrößen und Lichtgrößen ist über den Maximalwert des photometrischen Strahlungsäquivalentes $K_m = 683 \text{ lm/W}$ und über die Empfindlichkeitsfunktion des helladaptierten menschlichen Auges $V(\lambda)$ definiert [1].

Dieser Wert wird als Solarkonstante bezeichnet. Die spektrale Bestrahlungsstärke ist mehrfach in Sattelitenexperimenten erfasst und auf dieser Basis durch die World Meteorological Association (WMO) festgelegt worden. In ■ Abb. 2.1 ist u. a. die spektrale Bestrahlungsstärke der extraterrestrischen Solarstrahlung in Abhängigkeit von der Wellenlänge dargestellt.

2.5 Referenzsonnenspektren

2.5.1 Extraterrestrische Solarstrahlung

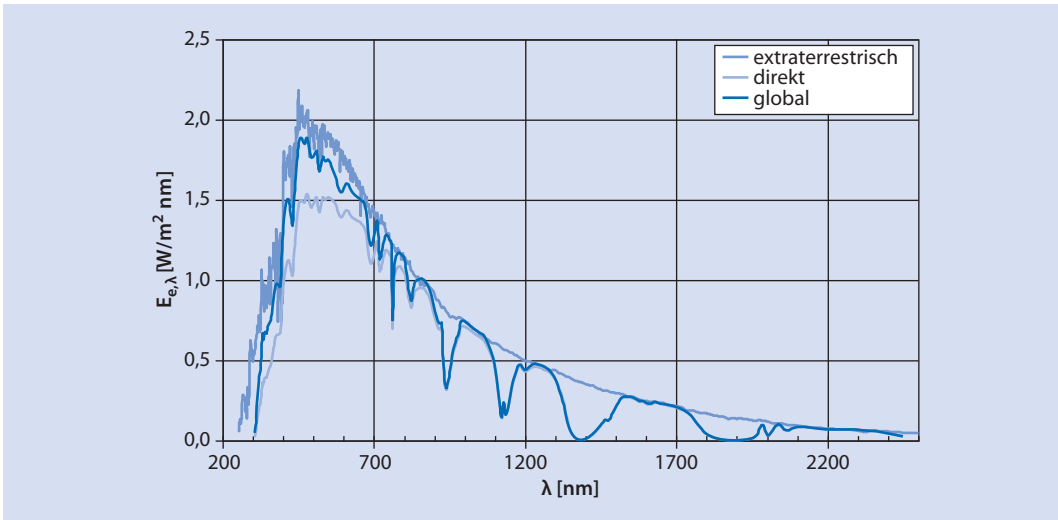
Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle für die Erde. Die von der Sonnenoberfläche emittierte Strahlungsleistung kann etwa durch einen Schwarzen Strahler mit der Temperatur von $T_v = 6500 \text{ K}$ (Normlichtart D 65) beschrieben werden. Diese Strahlungsleistung erzeugt an der Grenzschicht der Erdatmosphäre zum extraterrestrischen Raum für den mittleren Abstand der Erde von der Sonne (1 Astronomische Einheit $\hat{=} 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$) senkrecht zur Einstrahlungsrichtung die Gesamtbestrahlungsstärke

$$E_{EX} = 1367 \text{ Wm}^{-2}$$

2.5.2 Terrestrische Sonnenbestrahlungsstärke

Da die Erde näherungsweise als Kugel angesehen werden kann und die Erdatmosphäre sowohl streuend als auch absorbierend wirkt, erreicht die Erdoberfläche nur ein mehr oder weniger großer Bruchteil dieser Strahlung.

Streuung bedeutet eine Richtungsänderung des Strahlweges; sie wird hervorgerufen durch Luftmoleküle (Rayleigh-Streuung) sowie durch Wassertropfchen, Eiskristalle und Aerosole (suspendierte feste und flüssige Teilchen). Diese Streuung der direkten Sonnenstrahlung erzeugt die diffuse Sonnenstrahlung, sie wird auch Himmelsstrahlung genannt. Die Summe von diffuser und direkter Sonnenstrahlung erzeugt in einer Ebene die Gesamtbestrahlungsstärke der Sonne; ist diese Ebene horizontal, so sprechen wir von der Globalstrahlung.



■ **Abb. 2.1** Die Spektralverteilung der extraterrestrischen Solarstrahlung sowie die der direkten terrestrischen Solarbestrahlungsstärke und der Globalstrahlung bei klarem Himmelszustand

Die Absorption der Solarstrahlung erfolgt durch atmosphärische Spurengase und durch Aerosole. Die wichtigsten absorbierenden Moleküle in der Erdatmosphäre sind Ozon und Wasser. Während Wasser im Wesentlichen im IR-Spektralbereich Strahlung absorbiert, erreicht Solarstrahlung mit Wellenlängen <290 nm aufgrund der Ozonabsorption (Hartley-Bande) die Erdoberfläche nicht. Die Ozonabsorption bestimmt damit maßgeblich den steilen Abfall der terrestrischen Solarstrahlung mit abnehmender Wellenlänge im Bereich <320 nm.

Der Gesamtzongehalt der Atmosphäre wird für Standardbedingungen (STP) der Temperatur und des Drucks als Schichtdicke aus reinem Ozon angegeben: Sie beträgt orts- und jahreszeitabhängig 2–5 mm. In Mitteleuropa wird der Maximalwert im Frühjahr mit ca. 4,5 mm STP und der Minimalwert im Herbst mit ca. 2,6 mm erreicht. Als Mittelwert ergibt sich im Sommer in Deutschland ein Wert von 3,25 mm STP.

Die spektrale Globalbestrahlungsstärke E_{GL} in einer beliebigen Ebene hängt von den folgenden Parametern ab:

- Sonnenhöhenwinkel: γ_s
- Ozonschichtdicke: d_{O_3}
- Trübungskoeffizient: β
- Wasserdampfschichtdicke: d_{H_2O}

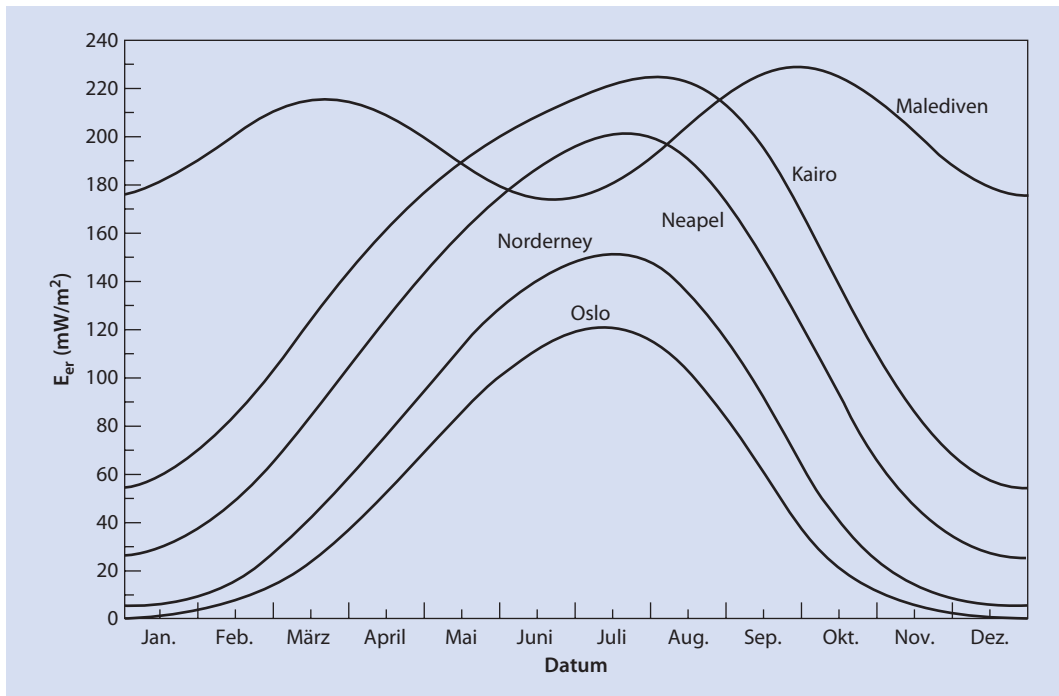
- Wolkenbedeckungsgrad: K_D
- Verbauungswinkel: Ω_B
- Neigungswinkel: α_e

Die gewünschten Bestrahlungsstärken lassen sich mit einem aufwendigen Rechnerprogramm bestimmen, sie sind aber auch in einer CIE-Publikation tabellarisch zusammengefasst [2, 3].

2.5.3 Aktinische Sonnenbestrahlungsstärke

Referenzsonnenspektrum im UV-Bereich

Die Ozonschicht im Grenzgebiet der Stratosphäre beeinflusst nur die UV-Strahlungsanteile. Für die Ozonschichtdicke kann auf der Nordhalbkugel mit einem festen mittleren Jahresgang gerechnet werden. Damit hängt auf der Nordhalbkugel die erythemwirksame Globalstrahlung $E_{GL,er}$ und die Vitamin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke $E_{GL,Vit}$ (unverbaute horizontale Empfängerebene) bei wolkenlosem Himmel (sehr klar, $\beta = 0,06$) nur noch von der Jahreszeit, der Tageszeit und der geographischen Breite ab. Für 4 Orte auf Meereshöhe mit runden Breitengraden ($0^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$) und für den Referenzort Norderney ($53,7^\circ$) sind in ■ Abb. 2.2 die Jahresgänge der erythemwirksamen Bestrahlungs-



■ **Abb. 2.2** Erythemwirksame UV-Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung um 12:00 (WOZ) im Jahresverlauf für 5 Orte (Himmelszustand: sehr klar)

stärken bei sehr klarem Himmelszustand um 12 Uhr WOZ (wahre Ortszeit) aufgetragen.

Bemerkenswert ist der große Einfluss der diffusen Himmelsstrahlung. Da etwa die Hälfte der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke durch diffuse Himmelsstrahlung erzeugt wird, kann auch im Schatten ein UV-Erythem auf der menschlichen Haut ausgelöst werden.

Da das Sonnenspektrum im UV-Spektralgebiet nach Chen [2] gut modell- und rechentechnisch bestimmt werden kann, wurde inzwischen ein Referenzsonnenspektrum auf Vorschlag von Grothmann und Kaase [4] in DIN 67501 festgelegt. Dieses Spektrum ist besonders für den Vergleich der Wirkungen künstlicher Strahlung mit der natürlichen Solarstrahlung sowie für Materialbewertungen geeignet; es ist durch folgende Parameter festgelegt

- Sonnenhöhenwinkel: $\gamma_s = 90^\circ$
- Ozonschichtdicke (mittlerer Sommerwert): $d_{O_3} = 3,2 \text{ mm STP}$
- Trübungskoeffizient (sehr klarer Himmel): $\beta = 0,06$

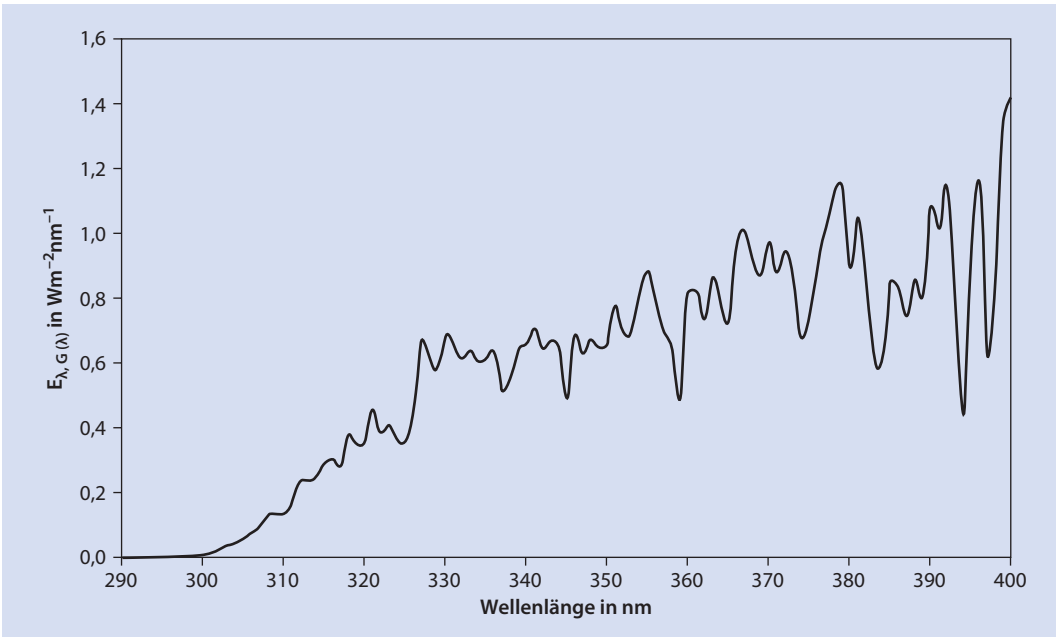
Dieses Referenzsonnenspektrum ist in DIN 67501 in 1-nm-Schrittweite festgeschrieben und in ■ Abb. 2.3 graphisch dargestellt. In ■ Abb. 2.4 ist im Spektralbereich von 300–320 nm gerade noch die zugehörige erythemwirksame Strahlung erkennbar. Dabei ist auffällig, dass die Werte der Vitamin-D₃-wirksamen Bestrahlungsstärke größer sind als die des UV-Erythems. Dies verdeutlicht ■ Tab. 2.3 mit der Angabe von integrierten Werten: Die Wirksamkeit der Solarstrahlung bezüglich Vitamin D₃ ist deutlich höher als die zur Bildung von Erythemen. Es ist

$$\eta_{vit} = \frac{E_{vit}}{E_{UV}}$$

$$\eta_{er} = \frac{E_{er}}{E_{UV}}$$

Referenzsonnenspektrum im sichtbaren Bereich

Sichtbare Strahlung zu therapeutischen Zwecken wird sowohl über das Auge als auch über das Ge-



■ **Abb. 2.3** Referenzsonnenspektrum: spektrale UV-Bestrahlungsstärke der Globalstrahlung ($\gamma = 90^\circ$, $d_{O_3} = 3,2$ mm STP, $\beta = 0,06$)

fäßsystem wirksam. Bei der Phototherapie der Hyperbilirubinämie (Neugeborenenengelbsucht) wird die Photoisomerisierung des Bilirubins im Blut nach DIN 5031 Teil 10 mit Strahlung im blauen Spektralbereich bewirkt. Dabei ist darauf zu achten, dass die Bestrahlungszeit unter der Schwellenbestrahlungszeit sowohl des UV-Erythems als auch der verzögerten- und der Sofortpigmentierung bleibt. Bei dieser Therapie ist die Globalstrahlung nach Durchgang durch ein Fenster optimal.

Licht ist ein wesentlicher Taktgeber für die innere Uhr, und Dosierungen mit tageslichtweißem Spektrum bei hoher Bestrahlungsstärke auf der Retina sind bei der Behandlung von Winterdepressionen (»saisonal affective disorder«, SAD) wirksam. Die Wirkung vollzieht sich dabei über die Beeinflussung der Epiphyse und des Hypothalamus über die Bildung von Melatonin. Das Aktionsspektrum der Melatonin-suppression mit einem Maximum bei der Wellenlänge von etwa 450 nm ist in DIN 5031 Teil 10 festgelegt.

Soll die Melatoninwirksamkeit einer Strahlungsquelle mit der natürlichen Strahlung verglichen werden, so muss man auch hier Standard-

bedingungen der Atmosphäre und Werte des Sonnenstands festlegen. Da die relevanten Rezeptoren im unteren Bereich der Netzhaut liegen und der Einfluss des Sonnenhöhenwinkels auf den Melatonin-Belichtungsstärke-Faktor gering ist, wird zur Vereinfachung der Wert AM 1 angesetzt. Dagegen ändert sich der Melatonin-Belichtungsstärke-Faktor bei kleinen Trübungskoeffizienten sehr stark; bei Werten von 0,2–0,4 jedoch nur noch wenig. Weiterhin ist bei einer Steigerung der Trübung eine Änderung der Himmelsfarbe von blau zu weiß zu beobachten. Deshalb wird als Referenzspektrum zur Melatonin-suppression folgendes Sonnenspektrum empfohlen [5]:

Himmelsstrahlung

Gemäß CIE Publ. 85 für klaren Himmel

- Sonnenhöhenwinkel: 90° (AM 1)
- optische Dicke: 0,2
- Ozonschichtdicke: 3 mm
- Wasserdampfdicke: 20 mm

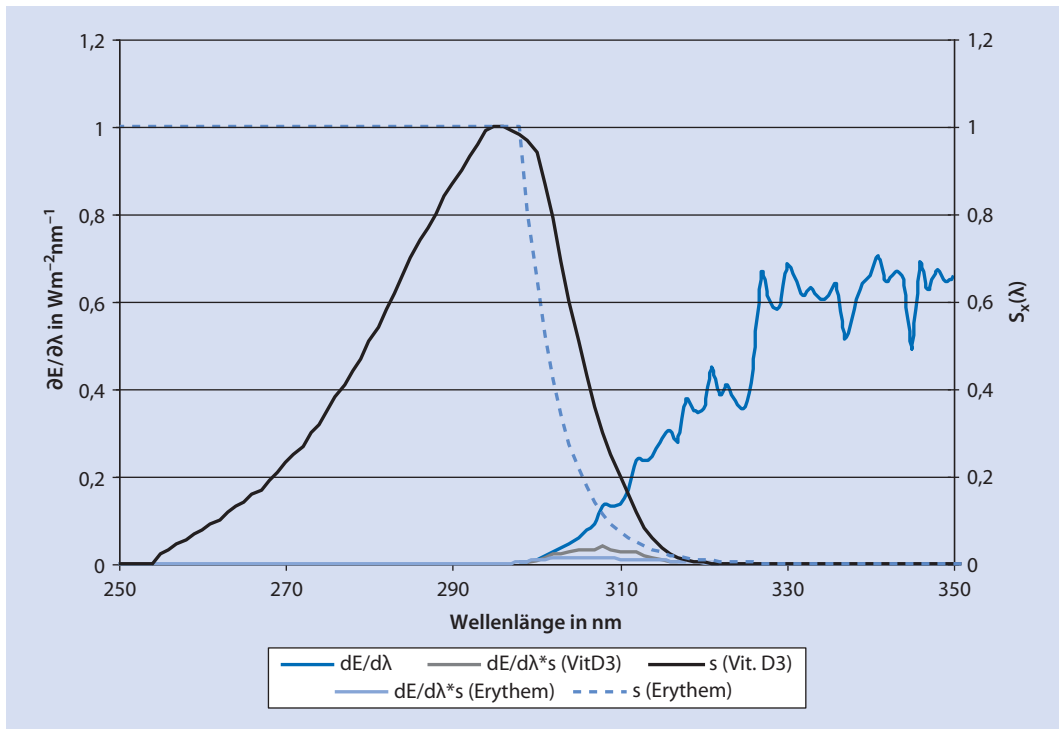


Abb. 2.4 Referenzsonnenspektrum im UV-Bereich, Wirkungsspektren für Vitamin D₃ und das UV-Erythem sowie die wirk-samen Anteile der spektralen Sonnenbestrahlungsstärke

In **Abb. 2.5** ist dieses Referenzsonnenspektrum der Himmelsstrahlung für den hier relevanten Spektralbereich von 350–700 nm dargestellt. Der optischen Dicke von 0,2 entspricht dabei ein Trübungs-koeffizient von 0,09.

Referenzsonnenspektrum im IR-Bereich

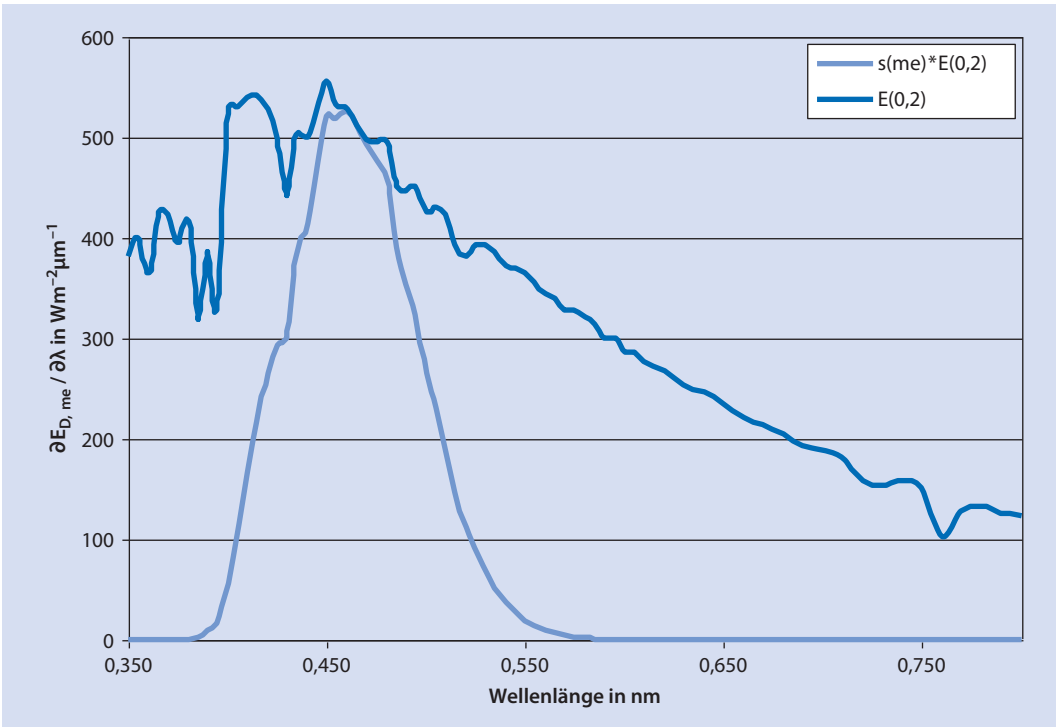
Im infraroten Spektralbereich wird das terrestrische Sonnenspektrum wesentlich durch die Was- serdampfabsorption bestimmt. Die Reststrahlungs- leistung hat im menschlichen Gewebe eine große Eindringtiefe, sie wird in inneren Organen absorbiert und in Wärmeleistung umgesetzt. Zur Simu- lation dieser Strahlung im Wellenlängenbereich $800 \text{ nm} < \lambda < 2000 \text{ nm}$ wird daher eine Glühlampe ($T_V = 3000 \text{ K}$) in Kombination mit einem Wasser- filter (Quarzküvette mit ca. 10 mm H₂O-Schicht) empfohlen. Damit lassen sich Bestrahlungsstärken von 1 kWm^{-2} realisieren.

Tab. 2.3 Gesamt-UV-Bestrahlungsstärke E_{UV} , Vit- amin-D₃-wirksame Bestrahlungsstärke E_{vit} , erythem- wirksame Bestrahlungsstärke E_{er} sowie die Wirksam- keitsfaktoren η_{vit} und η_{er}

$E_{UV} [\text{Wm}^{-2}]$	64,4
$E_{vit} [\text{Wm}^{-2}]$	0,43
$E_{er} [\text{Wm}^{-2}]$	0,25
η_{vit}	0,0067
η_{er}	0,0039

2.6 Sicherheitsaspekte und Schutzmaßnahmen

Mit dem Ziel, akute Schäden durch optische Strah- lung zu verhindern und das Risiko von Spätschäden zu begrenzen, sind für die verschiedenen Spektral- bereiche und photobiologischen Effekte Empfeh- lungen und Bestimmungen über höchstzulässige



■ **Abb. 2.5** Referenzsonnenspektrum und mit dem Wirkungsspektrum der Melatonininsuppression bewerteten Solarstrahlung

Werte für die wirksame Bestrahlungsstärke, Dosis, Strahldichte oder Leuchtdichte aufgestellt worden. Die beste Schutzmaßnahme ist allerdings die Vermeidung schädigender Expositionen.

Für Laser hat sich seit einigen Jahren ein umfangreiches Klassifizierungssystem bewährt, das z. T. auch auf andere Strahlungsquellen Anwendung gefunden hat (DIN EN 60335: Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke, Teil 2-27: Besondere Anforderungen für Hautbehandlungsgeräte mit Ultraviolett- und Infrarot-Strahlung). Der Schutz vor nichtionisierender Strahlung basiert heute auf den Empfehlungen der ICNIRP (International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection), die Grenzwerte für eine maximale Exposition vorgibt, die nicht überschritten werden sollten (DIN EN 60825).

2.7 Aufbau von Bestrahlungsgeräten

Der Aufbau von Bestrahlungsgeräten, mit denen der menschliche Körper oder ein Teil davon homogen bestrahlt werden soll, wird durch 3 Hauptbestandteile festgelegt:

- künstliche Strahler (Lampen) mit Versorgungsgerät
- optische Komponenten wie Filter und Reflektoren
- mechanischer Aufbau mit festgelegter Nutzfläche

Die verwendeten Lampentypen sind Leuchtstofflampen, Hochdruckentladungslampen, Mischstrahler oder LED:

Bei den Leuchtstofflampen handelt es sich um sogenannte Lumineszenzstrahler. An den Enden eines luftdicht abgeschlossenen Entladungsrohrs befinden sich die Elektroden, an denen eine Spannung anliegt. Da Leuchtstofflampen eine negative

Betriebscharakteristik haben, muss der Arbeitspunkt stabilisiert werden. Dies wird durch konventionelle oder elektronische Vorschaltgeräte erreicht. Das Glasrohr, das innen mit Leuchtstoffphosphor beschlämmt ist, enthält Quecksilber, der während der Entladung unter niedrigem Druck steht. Leuchtstofflampen strahlen neben Quecksilberlinien in einem begrenzten Spektralbereich eine von der chemischen Zusammensetzung des Phosphors abhängige Lumineszenzstrahlung ab. Der Phosphor konvertiert vom ursprünglichen Quecksilberspektrum die Resonanzlinien bei 185 nm und 254 nm. Je nach Art des Phosphors können dabei die resultierenden UV-A- und UV-B-Anteile variieren. Das Glas der Leuchtstoffröhre filtert im UV-C- und UV-B-Gebiet. Die Strahlungsausnutzung des Strahlersystems kann durch eingebaute Reflektoren erhöht werden. Diese Lampen haben nur eine geringe Strahldichte, sodass in kleinem Abstand eine große Nutzfläche erzeugt werden kann (Sonnenliege). Sie ermöglichen einen einfachen elektrischen, dimmbaren Betrieb ohne größere Anlaufzeiten.

Bei den Hochdruckentladungslampen befindet sich in einem Quarzgefäß Quecksilber bzw. zusätzlich eine Beimengung von Spuren metallischer Elemente als Halogenverbindung. Zum Betrieb dieser Lampen sind ein Versorgungsgerät sowie bei Lampen mit Halogenidzusätzen auch ein Zündgerät notwendig; eine sofortige Wiederrzündung ist dabei nur mit viel Aufwand möglich. Halogen-Metaldampf-Hochdrucklampen strahlen ein Mischspektrum aus Linien und Kontinuum ab. Das Quecksilberspektrum, das große Lücken im abgestrahlten Spektrum aufweist, wird dabei durch die gezielte Nutzung weiterer Spektrallinien in gewünschten Bereichen ergänzt. Nicht erwünschte Strahlung muss bei diesem Strahlersystem durch spezielle Filter aus dem Spektrum eliminiert werden. Der Vorteil dieser Strahler besteht in der sehr hohen Strahldichte und Strahlungsleistung dieser Lampen im UV-A-Bereich.

Mischlichtlampen sind Quecksilberdampf-Hochdruckstrahler, die über eine Glühwendel stabilisiert werden. Die beiden strahlungserzeugenden Leuchtkörper sind gemeinsam in einem Reflektorkolben untergebracht. Diese Strahlungsquellen liefern neben der UV-Strahlung erhebliche Anteile sichtbarer und infraroter Strahlung (Mischlicht).

Derartige Strahlersysteme sind wegen des lückenhaften Quecksilberspektrums jedoch nur eingeschränkt einsetzbar.

LED (»light emitting diodes«) sind Halbleiterlichtquellen auf der Basis von meist 4 Komponenten mit schmalen spektralen Emissionsprofilen. Weißes Licht lässt sich durch Mischung von 3 Komponenten (blau, grün, rot) oder durch Lumineszenz und Mischung erzeugen. Die speziellen Eigenschaften von LED sind lange Lebensdauer, mechanische Robustheit und niedrige Betriebsspannung. Aufbauten mit einer Leistungsaufnahme von mehr als einigen Watt benötigen allerdings eine Wärmeleistungsableitung.

Einzusetzende optische Komponenten sind Reflektoren und Filter. Als Reflektormaterial kommt bei einfachen Aufbauten Aluminium in Betracht. Die Wahl der Filter ist besonders beim Einsatz von Metallhochdruckstrahlern von entscheidender Bedeutung. Geeignete Filter sind Kunststoffe, Gläser, Quarze, Interferenzoptiken, Kaltlichtreflektoren und flüssige Lösungen.

Die anzugebenden physikalischen und photometrischen Größen von Bestrahlungsgeräten sind: Bestrahlungsstärke und Strahldichte sowie ihre spektrale Verteilung, aktinische Strahlungsanteile, Einwirkungsdauer, Flickerwert, Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke. Beim Einsatz der Geräte dürfen die Grenzwerte für eine maximale Exposition nicht überschritten werden.

Literatur

1. Kaase H, Serick F (2006) Optische Strahlung und ihre Messung. In Bergmann L, Schaefer C (Hrsg.) Optik, 10. Aufl. Berlin: de Gruyter, S. 633–668
2. Chen M (1994) Spektrale Sonnenbestrahlungsstärke. Köster, Berlin
3. CIE Technical Committee (1995) Solar Spectral Irradiation. CIE Publ. No. 85. www.cie.co.at
4. Grothmann K, Kaase H (1993) Vorschlag zur Definition einer Referenz-Spektralverteilung für UV-Sonnensimulatoren. Dermatologische Monatsschrift, Johann Ambrosius Barth, S. 108–111
5. Kaase H, Serick F (2006) Die photobiologische Wirkung von Tageslicht auf den Menschen. Tageslicht 1: 38–42