DEUTSCHE NORM

Dezember 2013

DIN 5031-10

DIN

ICS 17.180.01

Ersatz für
DIN 5031-10:2013-01

Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik – Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung, Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren

Optical radiation physics and illuminating engineering –
Part 10: Photobiologically effective radiation, quantities, symbols and action spectra

Physique de radiation optique et technique d´éclairage –
Partie 10: Grandeurs et symboles de radiation efficace de façon photobiologique

Gesamtumfang 116 Seiten

Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

Inhalt

Seite

Vorwort ... 3

1 Anwendungsbereich ... 4

2 Normative Verweisungen ... 4

3 Begriffe ... 5

4 Photobiologische Wirkungen ... 7
4.1 Allgemeines ... 7
4.2 Inaktivierung von Mikroorganismen (Kurzzeichen: ia) ... 9
4.3 Wirkungen auf und über die menschliche Haut ... 11
4.3.1 Allgemeines ... 11
4.3.2 Pyrimidindimerisierung von DNS (Kurzzeichen: py) ... 12
4.3.3 Sonstige Wirkungen photochemischer Genese ... 25
4.3.4 Wirkungen mit Photosensibilisatoren ... 30
4.3.5 Erwärmungseffekte in der Haut durch optische Strahlung ... 32
4.4 Wirkungen auf und über das Auge ... 34
4.4.1 Allgemeines ... 34
4.4.2 Photokonjunktivitis (Kurzzeichen: ko) ... 34
4.4.3 Photokeratitis (Kurzzeichen: ke) ... 35
4.4.4 Katarakt der Augenlinse (Kurzzeichen: ka) ... 37
4.4.5 Blaulichtnetzhautschädigung (Kurzzeichen: blh) ... 37
4.4.6 Thermische Netzhautschädigung (Kurzzeichen: rth) ... 39
4.5 Gesundheitsgefährdung durch UV-Strahlung (Kurzzeichen: uvh) ... 41
4.6 Wirkungen auf Pflanzen ... 43
4.6.1 Allgemeines ... 43
4.6.2 Photosynthese (Kurzzeichen: sy) ... 43
4.6.3 Chlorophyllphotosynthese (Kurzzeichen: ch) ... 45
4.6.4 Photomorphogenese (Kurzzeichen: mo) ... 46
4.6.5 Phototropismus (Kurzzeichen: tp) ... 47
4.6.6 UV-Pflanzenschädigung (Kurzzeichen: cdw) ... 49

Anhang A (normativ) Wirkungsspektren in numerischer Darstellung ... 50

Anhang B (informativ) Wirkung der optischen Strahlung über Rezeptoren der Netzhaut ... 100
B.1 Wirkung über Zapfen und Stäbchen ... 100
B.2 Wirkung über retinale Ganglienzellen ... 102

Anhang C (informativ) Interpolation von Wirkungsspektren und Integration der effektiven Strahlungsleistung ... 112
C.1 Interpolation von Wirkungsspektren ... 112
C.2 Integration von spektralen Bereichen – praktische Summenbildung ... 112
C.3 Verallgemeinerung der Betrachtung ... 113

Literaturhinweise ... 115

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

Vorwort

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN, Arbeitsausschuss NA 058-00-07 AA „Strahlenkunde“, erarbeitet.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

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 Wirkungsspektren*

— *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*

Änderungen

Gegenüber DIN 5031-10:2000-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) thematische Strukturierung geändert;

b) Änderung bzw. Korrektur einiger Wirkungsspektren;

c) Aufnahme weiterer Wirkungsspektren;

d) Literaturhinweise eingefügt;

e) numerische Angabe der Tabellenwerte in 1-nm-Schritten;

f) Aufnahme des informativen Anhangs B „Wirkungen der optischen Strahlung über die Netzhaut“;

g) Erweiterung mit informativem Anhang C „Interpolation von Wirkungsspektren und Integration der effektiven Strahlungsleistung“.

Gegenüber DIN 5031-10:2013-01 wurden folgende Korrekturen vorgenommen:

a) Das Wirkspektrum für die Photoisomerisierung von Bilirubin (Bild 13 und Tabelle A.12) wurden korrigiert;

b) Die Achsbeschriftung in den Bildern 1b), 13b), 21b), 23b) und 30b) wurden angepasst;

c) Ein Hinweis auf die Überarbeitung der ICNIRP Empfehlung wurde aufgenommen (4.4.6, Anmerkung 3).

Frühere Ausgaben

DIN 5031-10: 1979-11, 2000-03, 2013-01

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Wirkungsspektren zur Beurteilung der photobiologischen und thermischen Wirkungen optischer Strahlung fest.

Die behandelten photobiologischen Wirkungen betreffen Veränderungen in der chemischen Struktur der Materie und in der Gestaltbildung von Organismen. Diese Wirkungen hängen in erster Linie von der Anzahl der absorbierten Photonen, von ihrer Energie, von der Struktur des biologischen Objektes und seiner Bestrahlungsgeometrie ab. Sie sind demnach abhängig von:

— Bestrahlung (Dosis) H (siehe DIN 5031–1);

— Bestrahlungsstärke E (siehe DIN 5031–1);

— Strahldichte L (siehe DIN 5031–1);

— Strahlungsfunktion $S(\lambda)$ (siehe DIN 5031–8);

— Wirkungsspektrum $A_{\text{biol}}(\lambda)$: relative spektrale Empfindlichkeit des Empfängers (siehe DIN 5031–2) für die betrachtete Wirkung;

— Dauer t des Bestrahlungsvorgangs.

Die photobiologisch wirksame Strahlung wird durch wirksame Strahlungsgrößen beschrieben. Die individuell unterschiedlichen Empfindlichkeiten und Adaptationsvorgänge bleiben in dieser Norm unberücksichtigt.

Maßgebend für die betrachtete Wirkung ist die photobiologisch wirksame Bestrahlung (Dosis), d. h. das Produkt aus wirksamer Bestrahlungsstärke und Bestrahlungsdauer. Bei der Anwendung von Wirkungsspektren wird die Gültigkeit des Linearitätsgesetzes (Bunsen-Roscoe'sches Gesetz) und des Additivitätstheorems (van Krefeld Gesetz) vorausgesetzt, was umfassend jedoch nur für einige Wirkungen wie z. B. das UV-Erythem gilt. Um eine vergleichbare Wirkungsabschätzung durchzuführen, werden diese Prinzipien allerdings auf alle Wirkungen angewendet.

Mit den Wirkungsspektren werden Bezugsgrößen zur Beurteilung der biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlungsquellen erhalten.

Phototherapeutische und photosensibilisierende Wirkungen sind nur zum Teil Gegenstand dieser Norm.

Diese Norm behandelt keine photometrischen und colorimetrischen Effekte.

Diese Norm gilt nicht für die Festlegung von Bewertungen und Expositionsgrenzwerten an Arbeitsplätzen.

ANMERKUNG Expositionsgrenzwerte sind in der EU-Richtlinie 2006/25/EG festgelegt und in Deutschland in der Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) umgesetzt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 5031–1, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Größen, Formelzeichen und Einheiten der Strahlungsphysik*

DIN 5031–2, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Strahlungsbewertung durch Empfänger*

DIN 5031–8, *Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik — Strahlungsphysikalische Begriffe und Konstanten*

DIN 33403–3, *Klima am Arbeitsplatz und in der Arbeitsumgebung — Teil 3: Beurteilung des Klimas im Warm- und Hitzebereich auf der Grundlage ausgewählter Klimasummenmaße*

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1
photobiologisch wirksame Strahlungsgrößen
werden in allgemeiner Form nach Gleichung (1) wie folgt beschrieben:

$$X_{\text{biol}} = \int_{\lambda_u}^{\lambda_o} X_\lambda(\lambda) \cdot A_{\text{biol}}(\lambda) \cdot \mathrm{d}\lambda \tag{1}$$

Dabei ist

X_{biol} photobiologisch wirksame Strahlungsgröße;

$X_\lambda(\lambda)$ spektrale strahlungsphysikalische Größe;

$A_{\text{biol}}(\lambda)$ relative spektrale Empfindlichkeit des betrachteten photobiologischen Vorganges, dessen Werte als spektrale Wirkungsfaktoren bezeichnet werden;

λ_u, λ_o untere und obere Grenzwellenlänge für den Empfindlichkeitsbereich.

Entsprechend den in Tabelle 1 angeführten photobiologischen Wirkungen wird zur Kennzeichnung der jeweiligen photobiologischen Strahlungsgröße statt des Index „biol“ der jeweils maßgebende Index gesetzt. So gilt z. B. der Index „er“ zur Kennzeichnung der Strahlungsgrößen für die UV-Erythemreaktion:

$$X_{\text{er}} = \int_{\lambda_u = 250\,\text{nm}}^{\lambda_o = 400\,\text{nm}} X_\lambda(\lambda) \cdot A_{\text{er}}(\lambda) \cdot \mathrm{d}\lambda \tag{2}$$

Dabei ist

X_{er} wirksame Strahlungsgröße bezüglich des UV-Erythems;

$A_{\text{er}}(\lambda)$ relative spektrale Empfindlichkeit für die UV-Erythemreaktion.

3.2
photobiologisch wirksame Bestrahlung
H_{biol}
Integral der photobiologisch wirksamen Bestrahlungsstärke E_{biol} über die Dauer Δt des Bestrahlungsvorganges

$$H_{\text{biol}} = \int_{t_1}^{t_2} E_{\text{biol}}(t) \cdot \mathrm{d}t \tag{3}$$

Dabei ist

t_1 Beginn des Bestrahlungsvorgangs;

t_2 Ende des Bestrahlungsvorgangs;

$\Delta t = t_2 - t_1$ Dauer des Bestrahlungsvorgangs.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

ANMERKUNG 1 Die Einheit der photobiologisch wirksamen Bestrahlung H_{biol} ist Jm^{-2}.

ANMERKUNG 2 Die photobiologisch wirksame Bestrahlung wird auch als photobiologisch wirksame Dosis bezeichnet.

3.3
photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke
E_{biol}
die mit der relativen spektralen Empfindlichkeit des jeweiligen photobiologischen Vorganges $A_{\text{biol}}(\lambda)$ bewertete Bestrahlungsstärke E

$$E_{\text{biol}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda(\lambda) \cdot A_{\text{biol}}(\lambda) \cdot \mathrm{d}\lambda \tag{4}$$

Dabei ist

E_{biol} photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke;

$E_\lambda(\lambda)$ spektrale Bestrahlungsstärke.

ANMERKUNG Die Einheit der photobiologisch wirksamen Bestrahlungsstärke E_{biol} ist Wm^{-2}.

3.4
mittlere photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke
$\bar{E}_{\text{biol}}$
die über den Beobachtungszeitraum gemittelte photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke

3.5
Schwellenbestrahlung
$H_{\text{biol,s}}$
diejenige photobiologisch wirksame Bestrahlung H_{biol}, die eine gerade merkliche Reaktion (Schwellenreaktion) erzeugt

ANMERKUNG In Tabelle 1 sind für verschiedene photobiologische Wirkungen, soweit bekannt, die Schwellenbestrahlungen $H_{\text{biol,s}}$ angegeben.

3.6
Schwellenbestrahlungsdauer
$t_{\text{biol,s}}$
diejenige Bestrahlungsdauer, für die bei einer photobiologisch wirksamen Bestrahlungsstärke $\bar{E}_{\text{biol}}$ die Schwellenbestrahlung $H_{\text{biol,s}}$ erreicht wird

$$t_{\text{biol,s}} = H_{\text{biol,s}} / \bar{E}_{\text{biol}}$$

ANMERKUNG Die Einheit der Schwellenbestrahlungsdauer $t_{\text{biol,s}}$ ist s.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

3.7
photobiologisch wirksame Strahldichte
L_{biol}
die mit der relativen spektralen Empfindlichkeit des jeweiligen photobiologischen Vorganges $A_{\text{biol}}(\lambda)$ bewertete Strahldichte L

$$L_{\text{biol}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_\lambda(\lambda) \cdot A_{\text{biol}}(\lambda) \cdot \mathrm{d}\lambda \tag{5}$$

Dabei ist

L_{biol} photobiologisch wirksame Strahldichte;

$L_\lambda(\lambda)$ spektrale Strahldichte.

ANMERKUNG Die Einheit der photobiologisch wirksamen Strahldichte L_{biol} ist $\mathrm{Wsr^{-1}m^{-2}}$.

3.8
Wellenlänge der maximalen photobiologischen Wirkung
$\lambda_{\max}$
Wellenlänge der photobiologischen Wirksamkeit, die auf den maximalen Wert normiert ist

ANMERKUNG Meist ist A_{biol} bei $\lambda_{\max}$ auf 1 normiert.

4 Photobiologische Wirkungen

4.1 Allgemeines

Photobiologische Wirkungen werden durch primär ablaufende photochemische Reaktionen, unter anderem durch photooxidative Vorgänge hervorgerufen und ausgelöst (siehe Tabelle 1). Diese Mechanismen können auf die DNS (Desoxyribonukleinsäure), Proteine und andere Makromoleküle einwirken.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

Tabelle 1 — Photobiologische Wirkungsspektren: Kurzzeichen, Schwellenbestrahlung $H_{biol,s}$, Bereich der spektralen Empfindlichkeit [λ_u,λ_o] und Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit λ_{max}

Abschnitt	Photobiologische Wirkung	Kurz-zeichen	$H_{biol,s}$ Jm^{-2}	λ_u,λ_o nm	λ_{max} nm
4.2	Inaktivierung von Mikroorganismen (Modell 1)	ia1	–	240, 310	266
4.2	Inaktivierung von Mikroorganismen (Modell 2)	ia2	–	235, 315	264
4.2	Mikrobizide Wirkung auf B. subtilis-Sporen	mik	400[a]	200, 340	200
4.3.2	Pyrimidindimerisierung	py	–	250, 360	300
4.3.2.1	UV–Erythem	er	200–1 000	250, 400	298
4.3.2.3	Langanhaltende Pigmentierung	pp	450	250, 405	296
4.3.2.4	Bleibende Pigmentdunkelung	ppd	–	320, 400	320
4.3.2.5	Photokarzinogenese	NMSC	–	250, 400	299
4.3.2.7	Phototherapie der Psoriasis	ps	–	290, 315	299
4.3.2.10	Inaktivierung von proprioni acnes–Bakterien	ipa	–	320, 445	320
4.3.3.1	Prävitamin D–Bildung	vd	–	255, 330	298
4.3.3.2	Photoisomerisierung von Bilirubin	bi	–	410, 530	460
4.3.3.3	Sofortpigmentierung	pi	10^5	300, 440	340
4.3.3.4	Bildung freier Radikale	ra	–	250, 700	355
4.3.4.1	Photochemotherapie der Psoriasis (PUVA)	pu	–	335, 370	354
4.4.2	Photokonjunktivitis	ko	50	220, 310	260
4.4.3	Photokeratitis	ke	100	240, 320	288
4.4.5	Blaulichtgefährdung des Auges	blh	[b]	300, 700	430
4.4.6	Thermische Netzhautschädigung	rth	[b]	380, 1400	430
4.5	Gesundheitsgefährdung durch UV–Strahlung	uvh	[b]	180, 400	270
4.6.2	Photosynthese (Modell 1)	sy1	–	380, 750	658
4.6.2	Photosynthese (Modell 2)	sy2	–	350, 750	667
4.6.3	Chlorophyllphotosynthese	ch	–	400, 700	650
4.6.4	Photomorphogenese, Vorwärtskonversion Pr660	mo,Pr	–	380, 730	652
4.6.4	Photomorphogenese, Rückwärtskonversion Pfr730	mo,Pfr	–	600, 800	729

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12

Tabelle 1 *(fortgesetzt)*

Abschnitt	Photobiologische Wirkung	Kurz-zeichen	$H_{biol,s}$ Jm^{-2}	λ_u, λ_o nm	λ_{max} nm
4.6.5	Phototropismus (Modell 1)	tp1	–	330, 540	437
4.6.5	Phototropismus (Modell 2)	tp2	–	320, 500	436
4.6.6	Pflanzenschädigung	cdw	–	250, 315	250

[a] Vorgeschrieben in der Trinkwasserverordnung [1].

[b] Grenzwerte hierfür, siehe Richtlinie 2006/25/EG [2].

4.2 Inaktivierung von Mikroorganismen (Kurzzeichen: ia)

Zur Inaktivierung von Mikroorganismen in Luft, Flüssigkeiten und auf Oberflächen eignet sich Strahlung im UV-C-Bereich. Die erforderliche Bestrahlung ist abhängig von der Art der Mikroorganismen. Um die Abtötungsrate von 90 % auf 99,9 % zu erhöhen, muss die Bestrahlung etwa verdreifacht werden. Die in Tabelle 2 angegebenen Werte sind Näherungswerte.

Zu beachten ist die umkehrende Wirkung durch Reaktivierung mit kurzwelliger sichtbarer Strahlung.

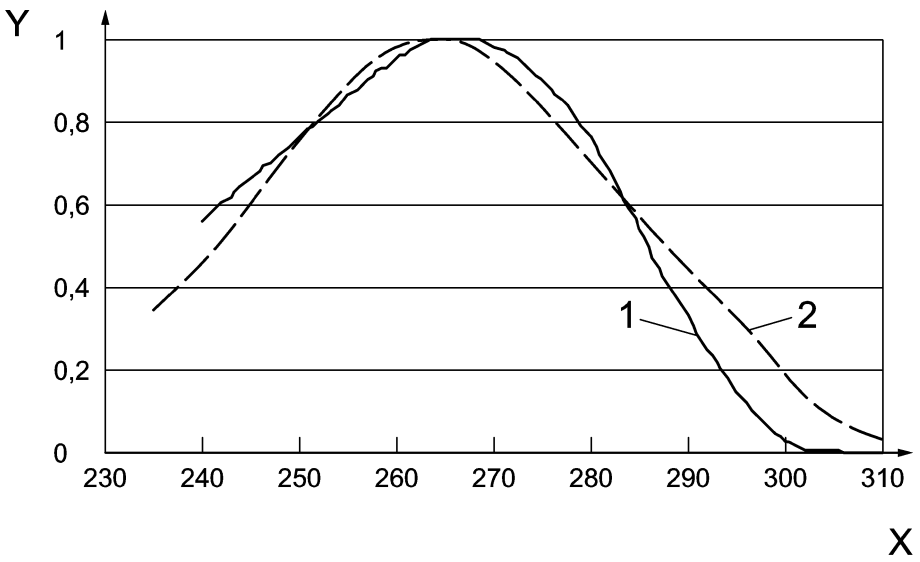
Tabelle 2 — Schwellenbestrahlung $H_{s,ia}$ für 90 %ige Inaktivierung verschiedener Mikroorganismen mit einer bei 254 nm emittierenden UV-Strahlungsquelle

Mikroorganismus (Beispiele)	$H_{s,ia}$ für 90 %ige Entkeimung Jm^{-2}
Bakterien	
Escherichia coli	7–30
— Staphylococcus aureus	20–50
Viren	
— Influenza	35
Algen	
Diatomeen (Kieselalgen)	3 000–6 000
Grünalgen	3 000–6 000
Blaualgen	3 000–6 000
Schimmelpilze	
Aspergillus amstelodami (Fleisch)	700
Aspergillus niger (Teigwaren)	1 500
Penicillium chrysog. (Früchte)	500
Scopulariopsis brevicaulis (z. B. Käse)	800
weitere Mikroorganismen siehe CIE 155:2003	

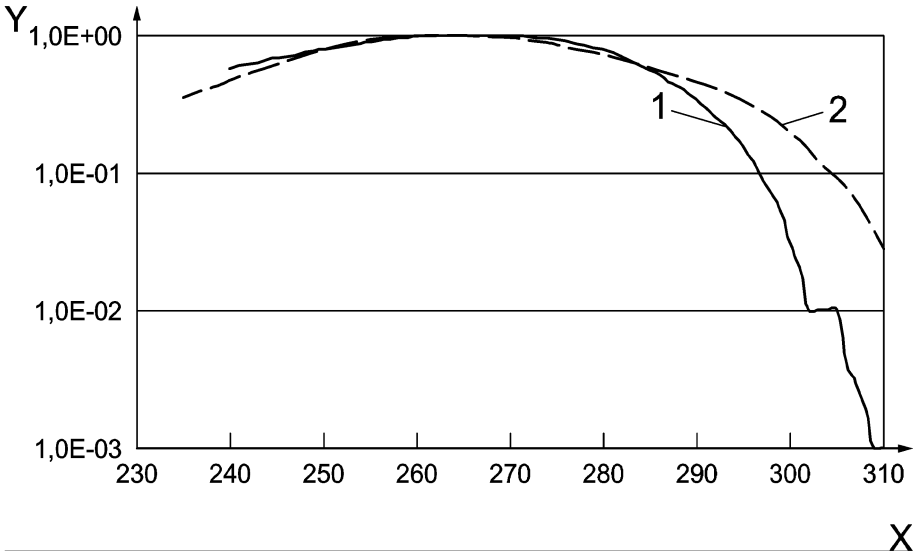
Als Beispiel sind in Bild 1 Wirkungsspektren zur Inaktivierung von Escherichia coli Bakterien in Abhängigkeit von der Wellenlänge sowie das entsprechende Wirkungsspektrum nach dem IESNA Lighting Handbook [3] dargestellt (tabellarische Werte siehe Tabelle A.1).

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

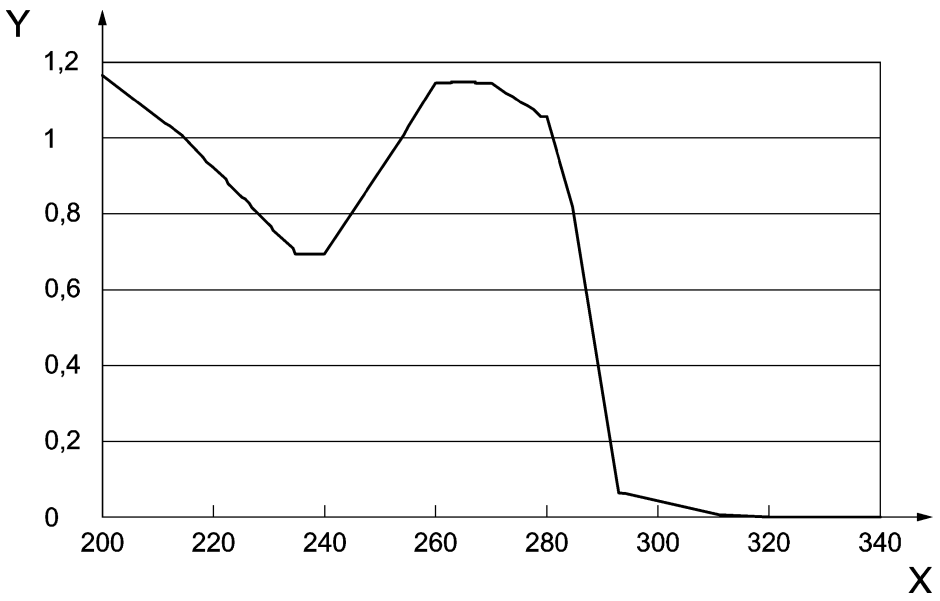
Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{ia1}(\lambda)$ nach DIN 5031-10:2000 und $A_{ia2}(\lambda)$ [3]
1 Kurve nach DIN 5031-10:2000, Modell 1
2 Kurve nach [3], Modell 2

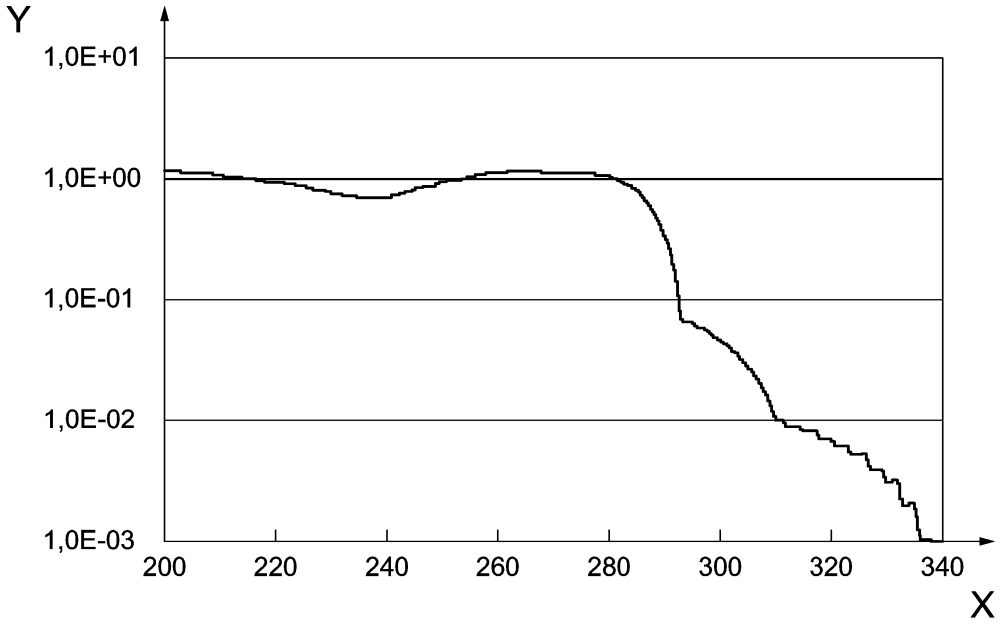
Bild 1 — Wirkungsspektren für die Inaktivierung von Escherichia coli Bakterien $A_{ia1}(\lambda)$ und $A_{ia2}(\lambda)$

Für die öffentliche Wasserversorgung hat der DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.) das Wirkungsspektrum $A_{mik}(\lambda)$ für die Desinfektion von Wasser mit UV-Strahlung festgelegt [4]. Die mikrobizide Wirkung bezieht sich auf B. subtilis-Sporen (siehe Bild 2, tabellarische Werte siehe Tabelle A.1).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{\text{mik}}(\lambda)$

Bild 2 — Wirkungsspektrum für die Inaktivierung von B. subtilis $A_{\text{mik}}(\lambda)$

4.3 Wirkungen auf und über die menschliche Haut

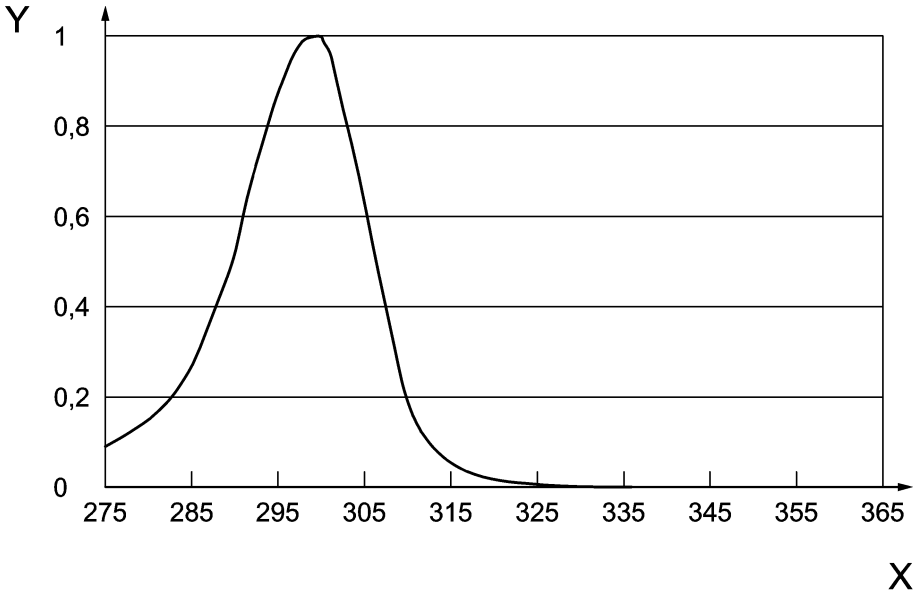
4.3.1 Allgemeines

Positive und negative Wirkungen auf die Haut können direkt oder indirekt durch Bestrahlung des Gewebes ausgelöst werden und basieren auf photochemischen oder thermischen Reaktionen.

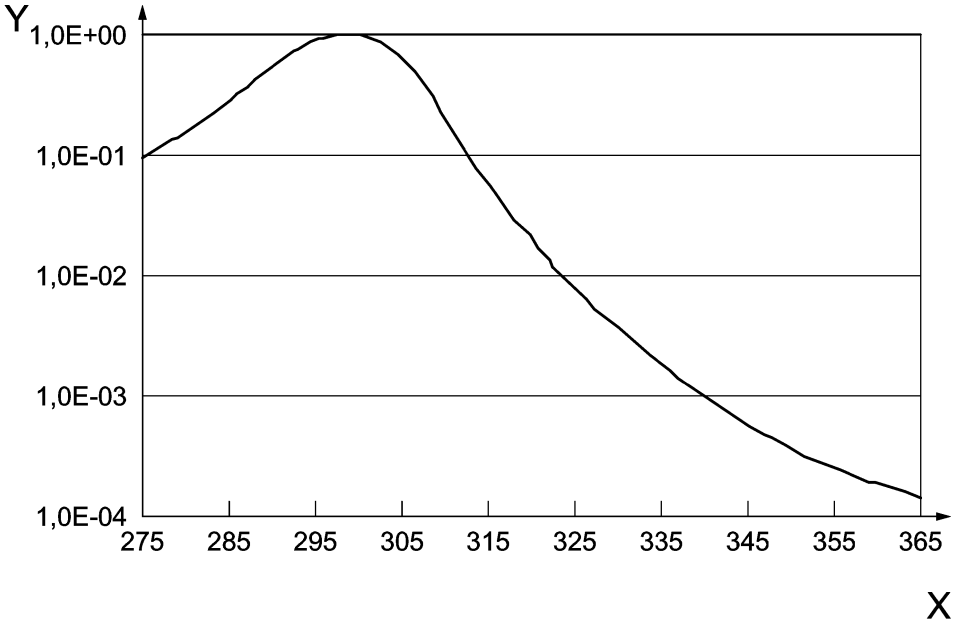
AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2 Pyrimidindimerisierung von DNS (Kurzzeichen: py)

Von den möglichen gebildeten Photoprodukten auf der DNS spielen Pyrimidindimere eine wichtige biologische Rolle (Wirkungsspektrum [5] siehe Bild 3 und Tabelle A.2). Im UVA-Bereich wird die Bildung von Dimeren durch Strangbrüche und DNS-Protein-Vernetzungen überlagert (Sensibilisierungseffekte).



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{py}(\lambda)$

Bild 3 — Wirkungsspektrum der Pyrimidindimerisierung $A_{py}(\lambda)$ von DNS aus UV-bestrahlter menschlicher Haut

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

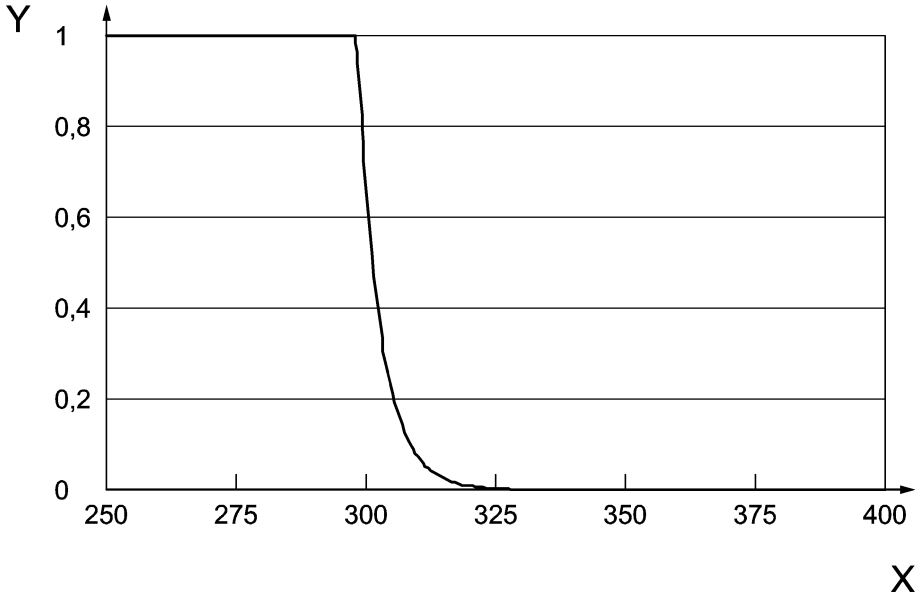
4.3.2.1 UV-Erythem (Kurzzeichen: er)

Das UV-Erythem ist Symptom einer akuten Hautentzündung, die durch UV-Bestrahlung entsteht. Die CIE hat für das UV-Erythem basierend auf experimentellen Daten ein Referenzwirkungsspektrum (siehe Bild 4 und Tabelle A.3) festgelegt (siehe CIE S 007/E:1998). Das Wirkungsspektrum wird als dreiteilige Funktion beschrieben:

$A_{er}(\lambda) = 1{,}0$ für 250 nm $\leq \lambda \leq$ 298 nm

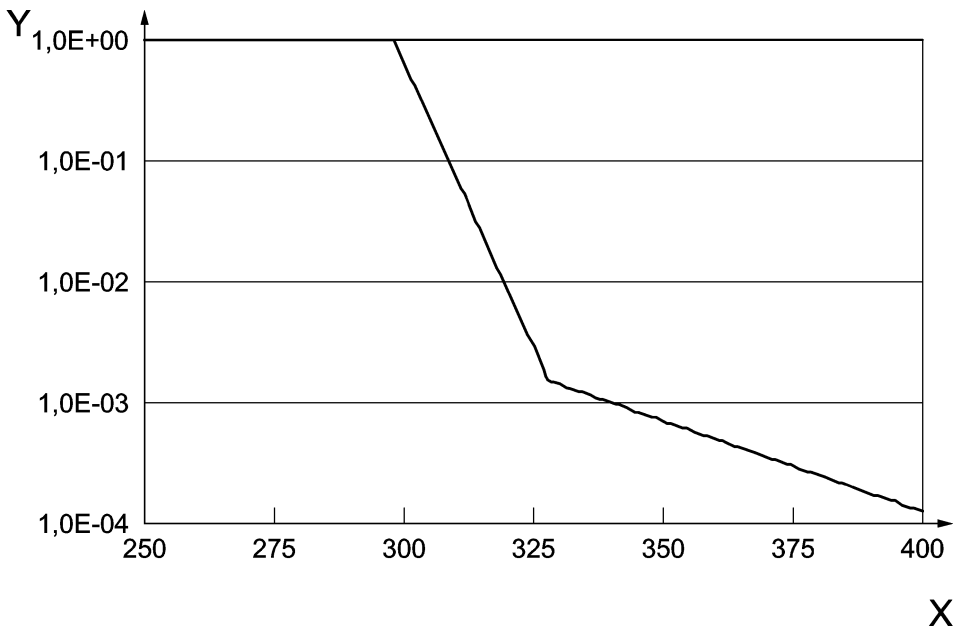
$A_{er}(\lambda) = 10^{0{,}094\,(298-\lambda)}$ für 298 nm $< \lambda \leq$ 328 nm

$A_{er}(\lambda) = 10^{0{,}015\,(140-\lambda)}$ für 328 nm $< \lambda \leq$ 400 nm



a) beide Achsen linear
Bild 4 *(fortgesetzt)*

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



b) Ordinate logarithmisch

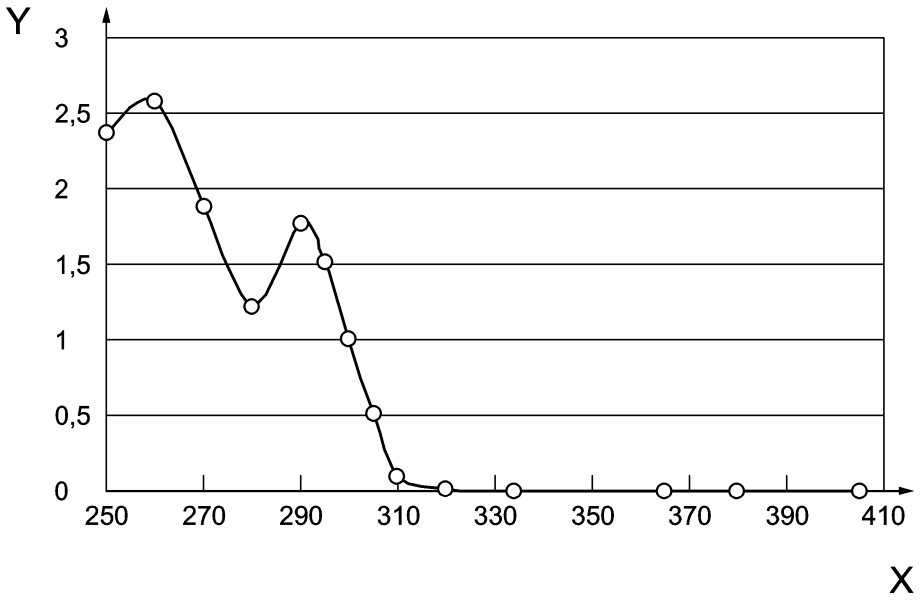
Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{er}(\lambda)$

Bild 4 — Referenzwirkungsspektrum des UV-Erythems $A_{er}(\lambda)$

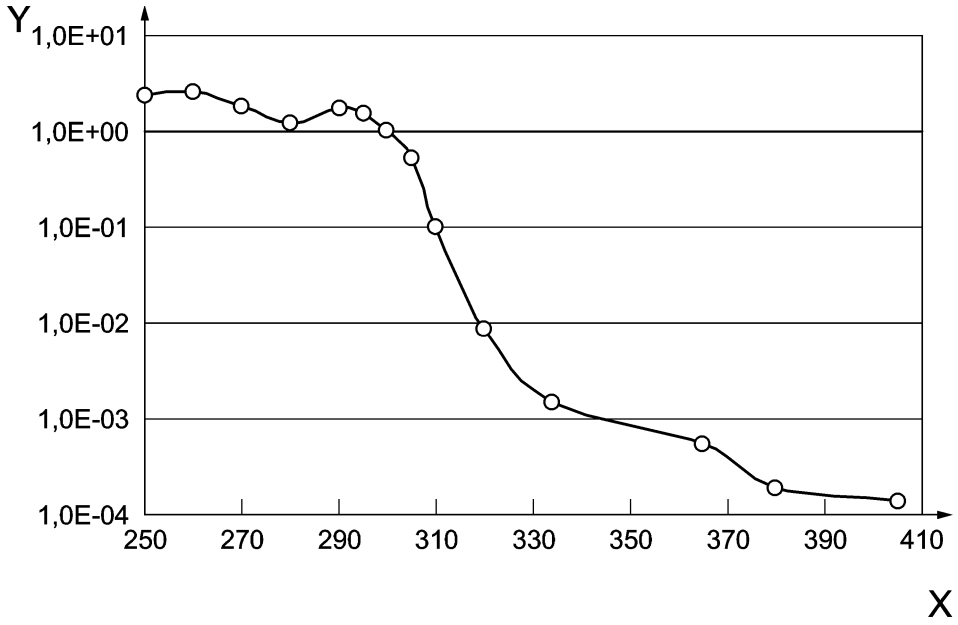
ANMERKUNG 1 Die Standard-Erythem-Dosis (SED) ist in der CIE S 007/E:1998 mit $H_{er} = 100\ \mathrm{Jm^{-2}}$ entsprechend einer SED festgelegt.

ANMERKUNG 2 Aufgrund der Vereinfachungen im Verlauf des Referenzspektrums können bei der Bewertung von Strahlungsquellen Abweichungen zwischen der berechneten und der tatsächlich vorliegenden Erythemwirksamkeit auftreten (siehe Bild 5, Mittelwerte experimenteller Daten der relativen Erythemwirksamkeit nach McKinlay und Diffey [6]).



a) beide Achsen linear
Bild 5 *(fortgesetzt)*

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor

Bild 5 — Relative spektrale Wirksamkeit für das UV-Erythem (Mittelwerte aus Messungen)

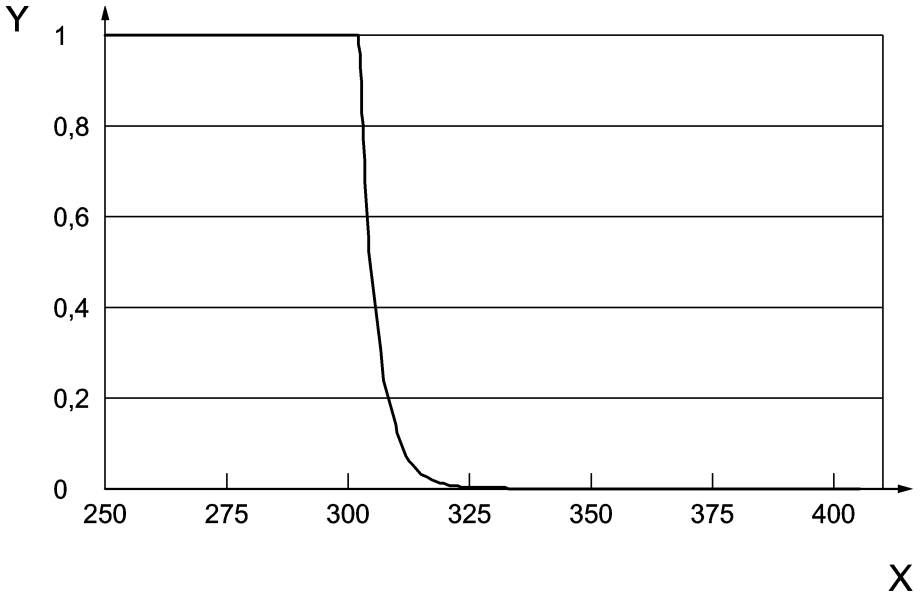
Zur Bestimmung der erythemwirksamen Bestrahlungsstärke von UV-Bestrahlungsgeräten zu kosmetischen Zwecken wird von der amerikanischen FDA (Food and Drug Administration) ein abweichendes Referenzwirkungsspektrum für das UV-Erythem vorgegeben [7] (siehe Bild 6 und Tabelle A.5), das sich ebenfalls als dreiteilige Funktion beschreiben lässt:

$$A_{\mathrm{er,FDA}}(\lambda) = 1{,}0 \text{ für } 250 \text{ nm} \leq \lambda < 302 \text{ nm}$$

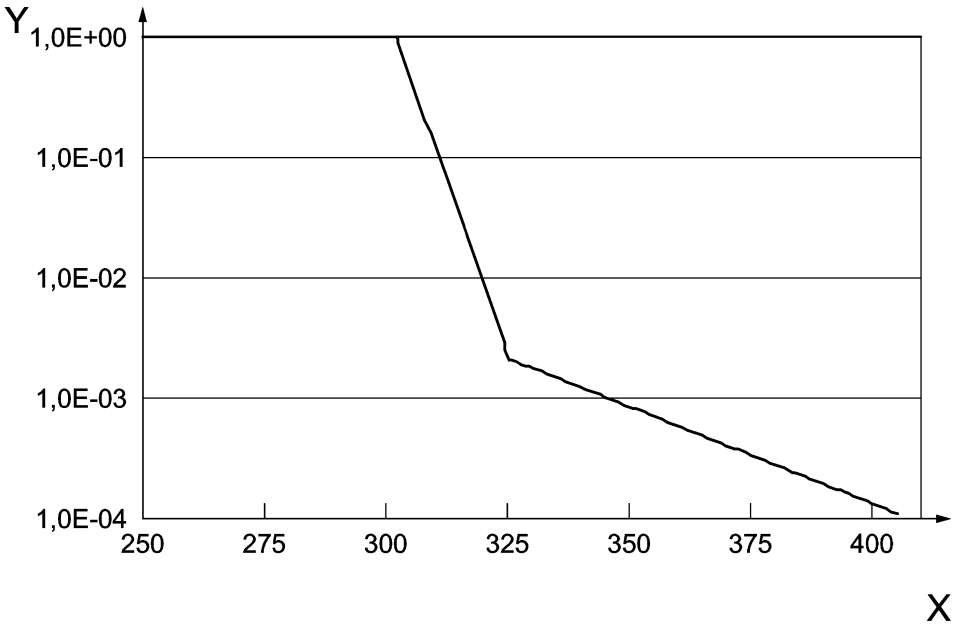
$$A_{\mathrm{er,FDA}}(\lambda) = 10^{0{,}114\,(302-\lambda)} \text{ für } 302 \text{ nm} < \lambda \leq 325 \text{ nm}$$

$$A_{\mathrm{er,FDA}}(\lambda) = 10^{0{,}0161\,(159-\lambda)} \text{ für } 325 \text{ nm} < \lambda \leq 405 \text{ nm}$$

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{er,FDA}(\lambda)$

Bild 6 — Referenzwirkungsspektrum des UV-Erythems nach FDA $A_{er,FDA}(\lambda)$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2.2 UV-Empfindlichkeit der menschlichen Haut

Die UV-Empfindlichkeit der menschlichen Haut hängt von verschiedenen ethnischen und individuellen Faktoren wie z. B. Hauttyp, Hautadaptation und anamnestischen Faktoren ab, wodurch sich sehr große Unterschiede ergeben. Daher ist die aktuelle UV-Empfindlichkeit durch geeignete Testverfahren (z. B. durch Bestimmung der individuellen erythemwirksamen Schwellenbestrahlung) zu ermitteln. Üblich sind hierbei stufenweise (die sog. Lichttreppe) oder kontinuierliche Erhöhungen (Gradientverfahren) der UV-Bestrahlungen in Testfeldern.

Bezüglich der genetisch vorgegebenen, individuell unterschiedlichen Erythemempfindlichkeit und des Pigmentierungsvermögens werden 6 verschiedene Phototypen bzw. Hauttypen (siehe Tabelle 3) unterschieden. Die Zuordnung erfolgt aufgrund einer einmaligen Besonnung im Frühjahr in Bezug auf die Erythem- und Bräunungswirkung.

Tabelle 3 — Einteilung der Hauttypen nach der Reaktion auf Sonnenbestrahlung

Hauttyp	Hautreaktion	Richtwerte für $H_{s,er}$ Jm^{-2}
I	immer schnell Sonnenbrand, keine Bräunung, auch nach wiederholten Bestrahlungen (keltischer Typ)	< 200
II	fast immer Sonnenbrand; mäßige Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen (hellhäutiger europäischer Typ)	200 ± 100
III	mäßig oft Sonnenbrand, fortschreitende Bräunung nach wiederholten Bestrahlungen (dunkelhäutiger europäischer Typ)	400 ± 100
IV	selten Sonnenbrand, schnell einsetzende und deutliche Bräunung (mediterraner Typ)	600 ± 100
V	praktisch nie Sonnenbrand, schnell einsetzende und dunkle Bräunung (dunkelhäutiger Typ)	850 ± 150
VI	praktisch nie Sonnenbrand, konstitutionell extrem dunkel pigmentiert (schwarzhäutiger Typ)	$> 1\,000$

4.3.2.3 Langanhaltende Pigmentierung (Kurzzeichen: pp)

en: persistent pigmentation

Nach Überschreitung der Schwellenbestrahlung (siehe Tabelle 1) im Wellenlängenbereich $200\ \text{nm} \leq \lambda \leq 400\ \text{nm}$ zeigt sich zeitlich verzögert eine lang anhaltende Pigmentierung, die auf einer Neubildung und Neuverteilung von Melaninpigment beruht.

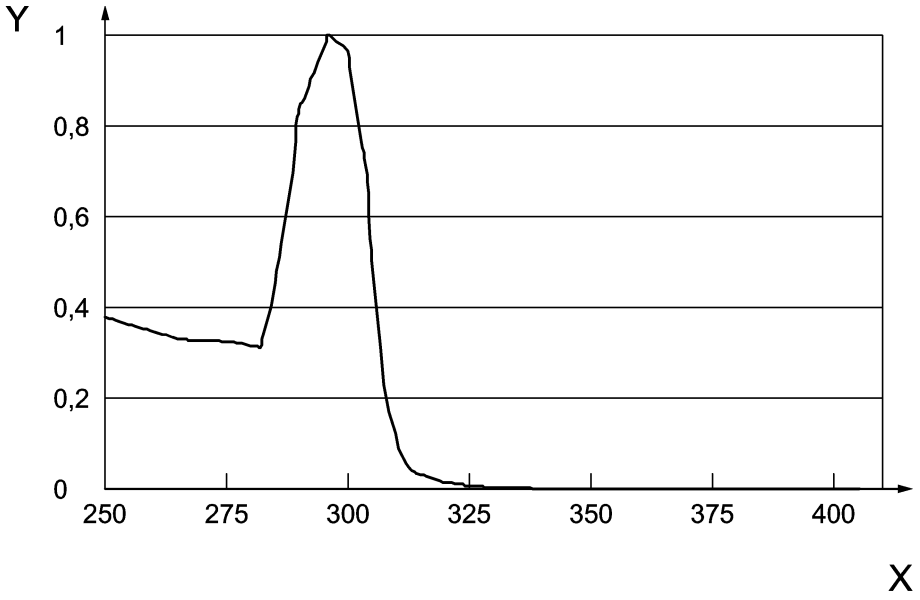
Das Wirkungsspektrum basiert auf human-experimentellen Untersuchungen von Parrish et al. [8] und wird auch von der FDA zur Bewertung von UV-Bestrahlungsgeräten verwendet (siehe Bild 7 und Tabelle A.6).

ANMERKUNG 1 Pigmentierung tritt nur bei Personen auf, die zu einer Pigmentierung fähig sind; also definitionsgemäß nicht bei Hauttyp I.

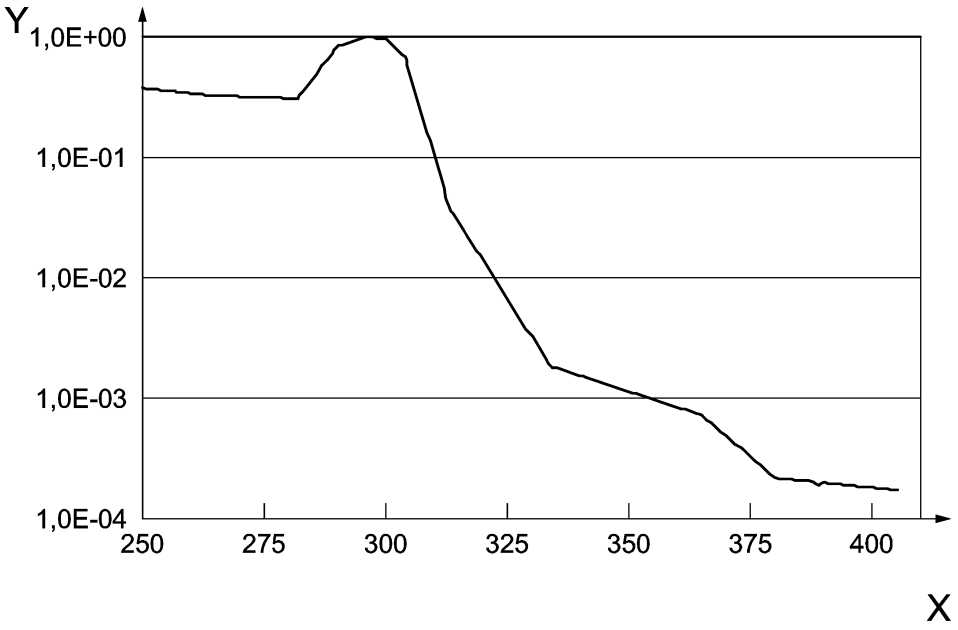
ANMERKUNG 2 Üblicherweise ist die Auslösung der lang anhaltenden Pigmentierung mit der Erythembildung verbunden, die bei erythemunterschwellig durchgeführten Expositionen vermeidbar ist, indem der kumulative Effekt der pigmentwirksamen Strahlung genutzt wird.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

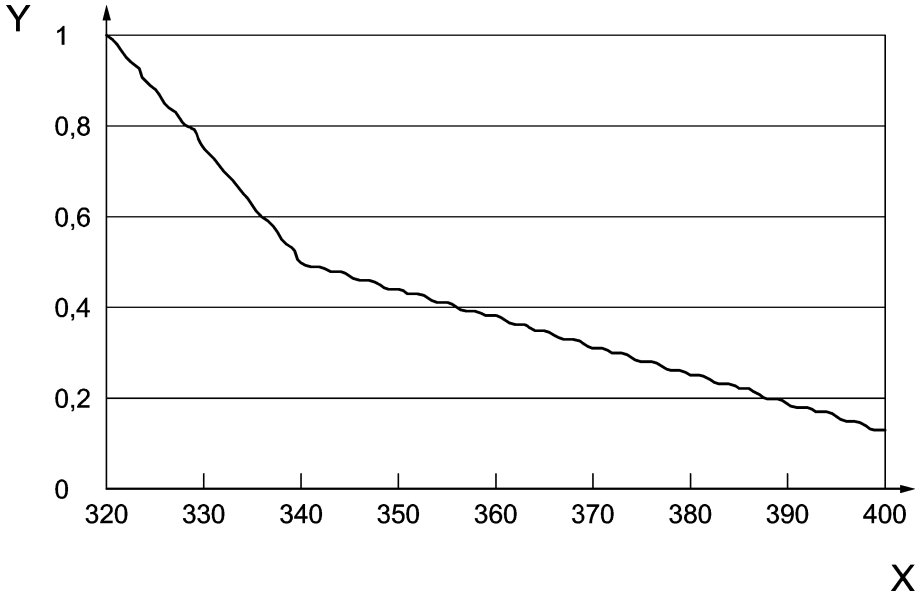
X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{pp}(\lambda)$

Bild 7 — Wirkungsspektrum der langanhaltenden Pigmentierung $A_{pp}(\lambda)$

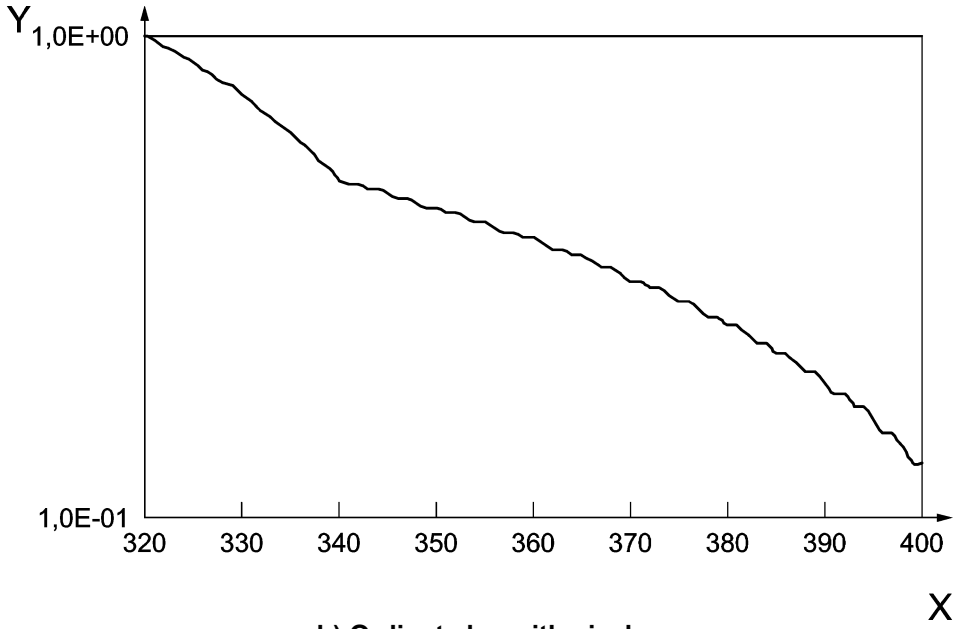
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2.4 Bleibende Pigmentdunkelung (Kurzzeichen: ppd)

Bei der bleibenden Pigmentdunkelung handelt es sich um eine Sonderform der langanhaltenden Pigmentierung, ausgelöst durch langwellige UV-Strahlung. Nach Anwendung von Strahlung im Wellenlängenbereich 320 nm $\leq \lambda \leq$ 400 nm zeigt sich eine anhaltende Hautbräunung. Das Wirkungsspektrum der bleibenden Pigmentdunkelung [9] (siehe Bild 8 und Tabelle A.7) wird insbesondere bei der Bewertung des UVA-Schutzes von Sonnenschutzmitteln verwendet (siehe DIN 67502).



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{\text{ppd}}(\lambda)$

Bild 8 — Wirkungsspektrum der bleibenden Pigmentdunkelung $A_{\text{ppd}}(\lambda)$

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2.5 Photokarzinogenese (Kurzzeichen: NMSC)

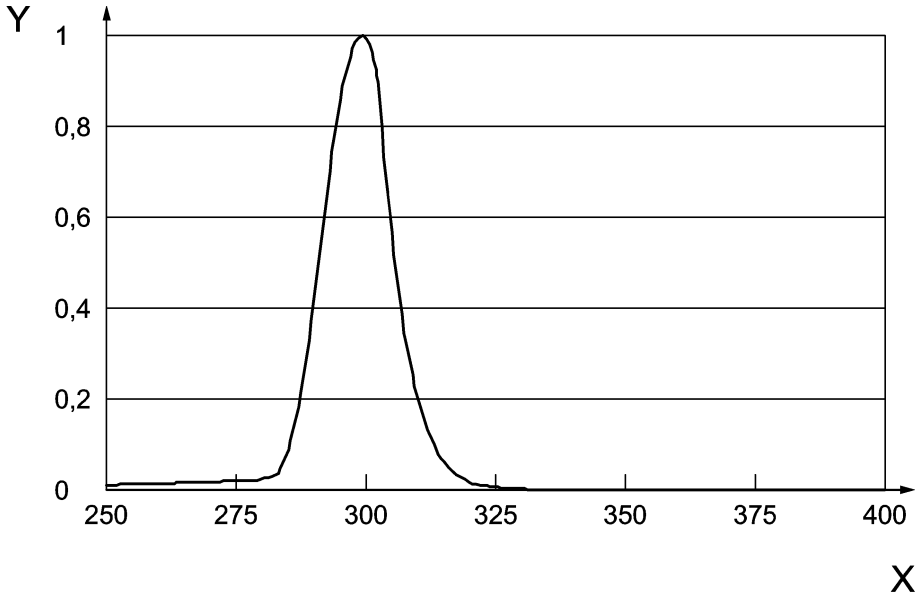
Das Wirkungsspektrum ähnelt dem des UV-Erythems (Referenzwirkungsspektrum, siehe 4.3.2.1).

UV-Strahlung wird als die Hauptursache für die Entstehung des weißen Hautkrebses (Nicht-Melanom-Hautkrebs wie Spinaliom und Basaliom) beim Menschen angesehen und entsteht am häufigsten in den am meisten exponierten Hautpartien, wobei eine Korrelation mit der Bestrahlungsstärke und Anzahl und Dauer der Expositionen besteht.

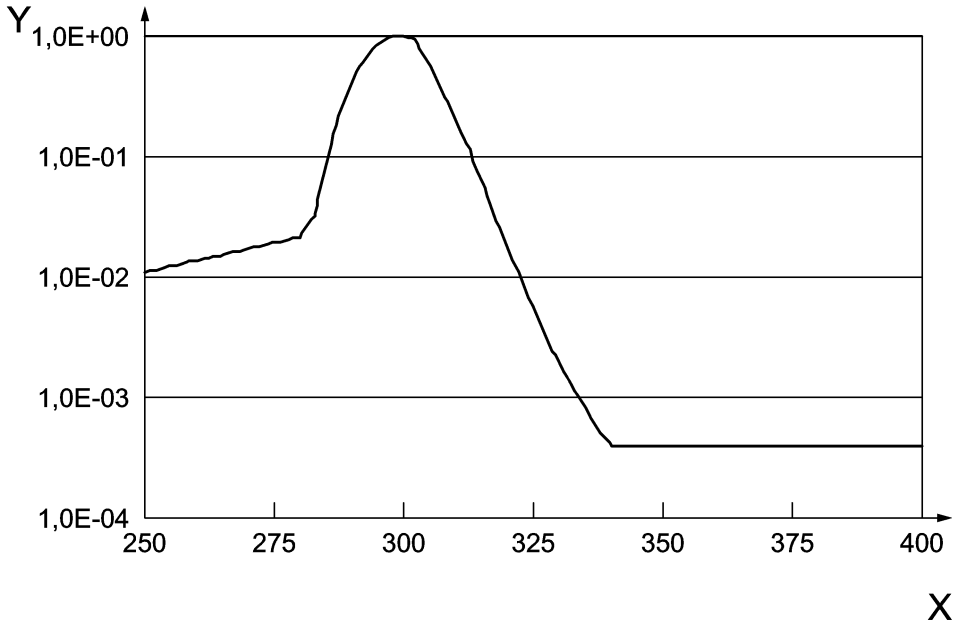
Das Wirkungsspektrum basiert auf Daten aus Experimenten mit Mäusen, die auf die UV-Transmission der menschlichen Haut hochgerechnet und extrapoliert wurden (siehe Bild 9 und Tabelle A.8). Diese Übertragbarkeit ist noch nicht wissenschaftlich abgesichert, dennoch wurde das Wirkungsspektrum in dieser Form zur Abschätzung von Strahlungsrisiken von der CIE veröffentlicht (siehe CIE DS 019.2/E:2005).

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{\mathrm{NMSC}}(\lambda)$

Bild 9 — Wirkungsspektrum der NMSC-Photokarzinogenese $A_{\mathrm{NMSC}}(\lambda)$

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2.6 Photoinduzierte Alterung der Haut (Kurzzeichen: pa)

Nach langzeitiger übermäßiger UV-Strahlungseinwirkung können sich bereits im mittleren Lebensalter Falten, Furchen und chronisch-entzündliche Veränderungen der strahlenexponierten Haut sowie Hauterschlaffung, Altersflecken und solare Keratosen ausbilden. Spezifisch ist die Induktion elastotischen Bindegewebes (solare Elastose) und degenerierten kollagenen Bindegewebes in der Lederhaut. Ein Wirkungsspektrum ist nicht bekannt.

4.3.2.7 Phototherapie der Psoriasis (Kurzzeichen: ps)

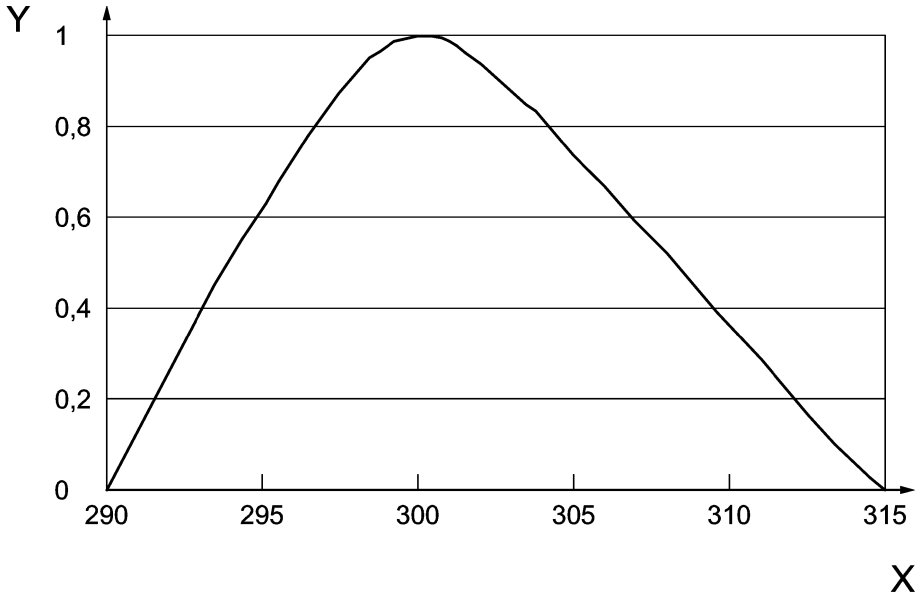
Die Psoriasis (Schuppenflechte) ist eine häufige dermatologische Indikation für die Phototherapie. Psoriasis ist im Wesentlichen durch erhöhte Zellteilungsraten gekennzeichnet, so dass lebende Zellen bis zur Hautoberfläche gelangen. UV-Strahlung hemmt die erhöhte Teilungsrate der Basalzellen in der Oberhaut. Die Behandlung erfolgt mit wiederholten Bestrahlungen.

Üblicherweise orientiert sich die Behandlung der Psoriasis am Wirkungsspektrum für das UV-Erythem unter Berücksichtigung der Unterschiede in den optischen Eigenschaften der Haut infolge Schuppenbildung und Tiefenausdehnung der Effloreszenzen. Für mehr oberflächliche Entzündungsherde sollte vorzugsweise UVB-Strahlung (UVB-Schmalbandspektrum) um 311 nm verwandt werden, während für tiefer liegende Herde längerwellige UV-Strahlung empfehlenswert ist.

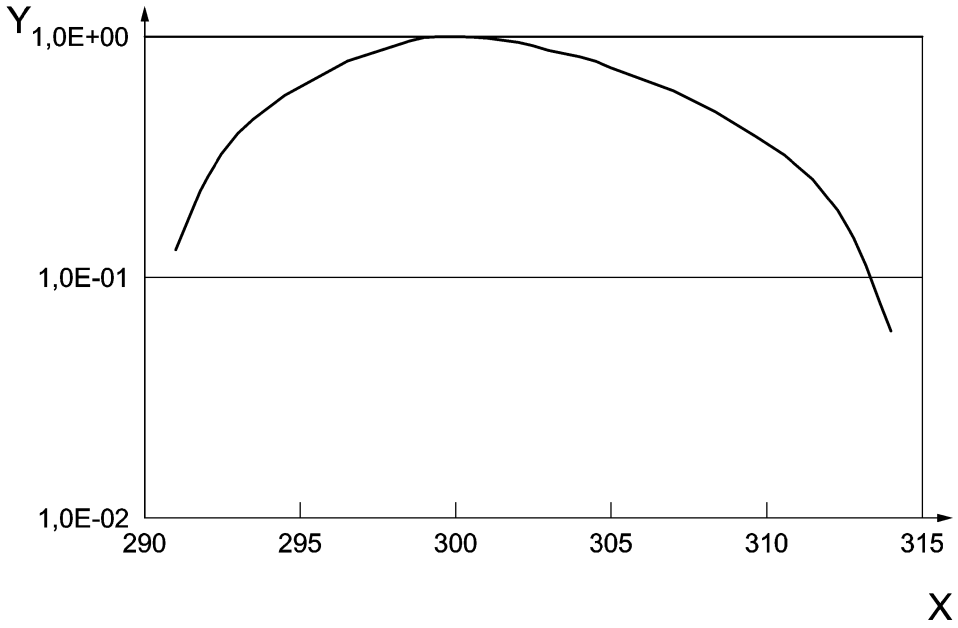
In der Literatur ist ein Wirkungsspektrum der Phototherapie der Psoriasis beschrieben, das aufgrund serieller Expositionen mit monochromatischer Strahlung im Bereich von 254 nm bis 313 nm bestimmt wurde [10], [11]. Der wirksame Wellenlängenbereich liegt zwischen 290 nm und 315 nm (siehe Bild 10 und Tabelle A.9).

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{ps}(\lambda)$

Bild 10 — Wirkungsspektrum für die Phototherapie der Psoriasis $A_{ps}(\lambda)$

4.3.2.8 Phototherapie der atopischen Dermatitis (Kurzzeichen: ad)

Die atopische Dermatitis (atopisches Ekzem, Neurodermitis) ist eine konstitutionell, meist chronisch verlaufende entzündliche Hauterkrankung. Bei der Mehrzahl der Patienten wirkt sich UV-Bestrahlung günstig aus. Der wirksame Spektralbereich erstreckt sich vorwiegend über den UV-Bereich 300 nm $\leq \lambda \leq$ 440 nm. In der Therapie wird überwiegend Strahlung des Wellenlängenbereichs 340 nm $\leq \lambda \leq$ 420 nm verwendet.

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.2.9 Photoimmunologische Wirkungen (Kurzzeichen: im)

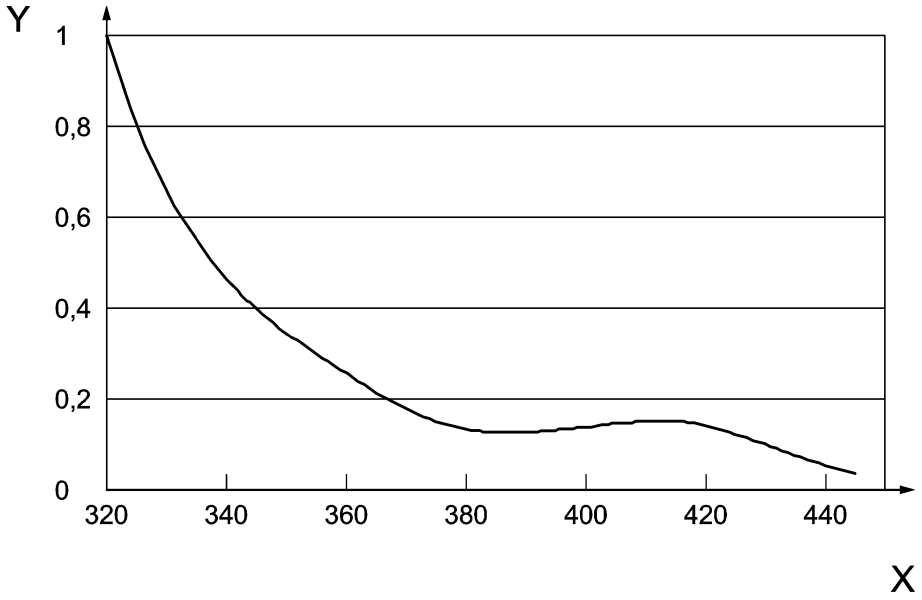
Bestrahlungen im UV-Bereich können durch systemische und lokale Effekte ausgewählte zellvermittelte Immunantworten modulieren. Die Folgen können einerseits eine Schwächung des Immunsystems, z. B. bei der Abwehr von UV-induzierten Hautkarzinomen sowie andererseits eine Immunantwort gegen bestimmte Krankheitserreger sein. Genutzt wird die immunsupprimierende Wirkung in der dermatologischen Phototherapie. Andererseits können UV-Bestrahlungen bestimmte Immunantworten auch verstärken. Der wirksame Spektralbereich erstreckt sich vorwiegend über den UV-Bereich 200 nm $\leq \lambda \leq$ 400 nm, wobei die unterschiedlichen UV-Wellenlängen verschiedene Auswirkungen haben.

4.3.2.10 Phototherapie des seborrhoischen Ekzems und der Acne vulgaris (Kurzzeichen ipa)

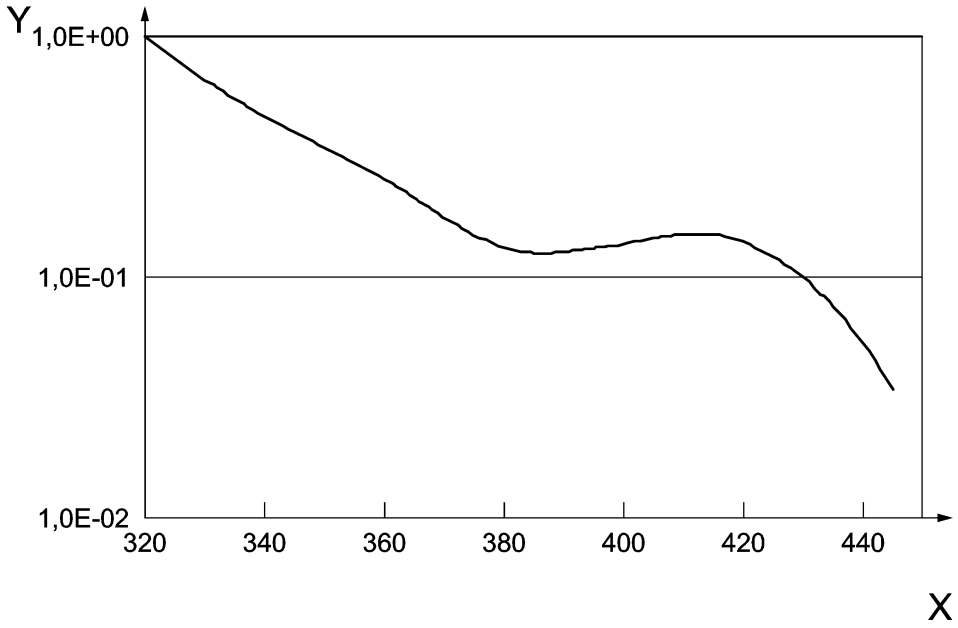
Als Seborrohoe wird eine gesteigerte Sebumproduktion der Talgdrüsen besonders im Gesicht, am behaarten Kopf und im Bereich der vorderen und hinteren Schweißrinne bezeichnet. Verstopfungen der Talgdrüsen und Infektionen mit dem Bakterium proprioni acnes führen zur Acne vulgaris. Die Bakterien bilden als Stoffwechselprodukt Propoporphyrin IX. Antiseborrhoische Wirkungen können sowohl durch direkte Inaktivierung der in den Talgabsonderungen enthaltenen proprioni acnes-Bakterien über Expositionen im UV und im Blaulichtbereich erfolgen [12] (siehe Bild 11 und Tabelle A.10), als auch über eine photodynamische Reaktion durch Anregung des im Talg enthaltenen Protoporphyrin IX (siehe Bild 17), wie auch durch Kombination beider Effekte hervorgerufen werden.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{\text{ipa}}(\lambda)$

Bild 11 — Wirkungsspektrum der Inaktivierung von proprioni acnes-Bakterien $A_{\text{ipa}}(\lambda)$

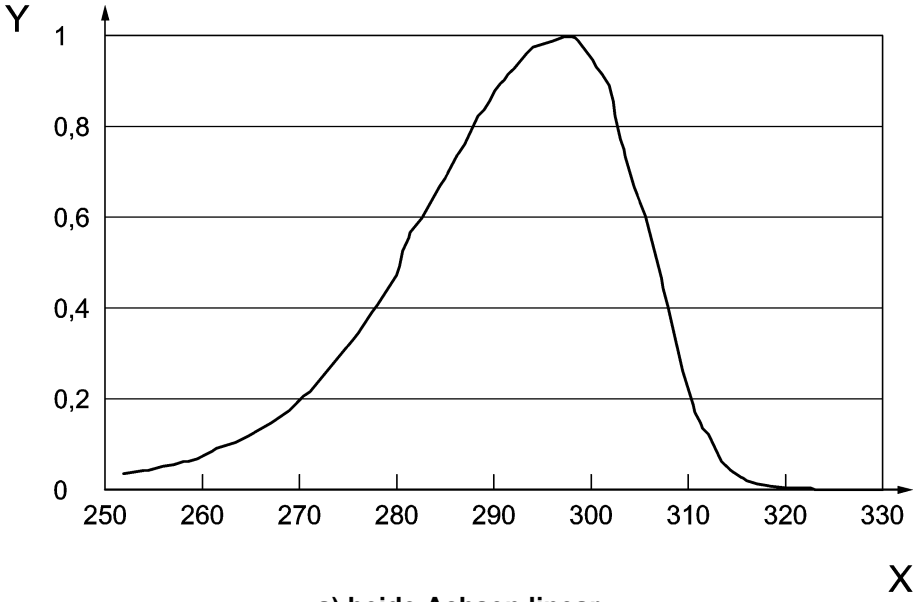
4.3.3 Sonstige Wirkungen photochemischer Genese

Die nachstehend angeführten photobiologischen Wirkungen basieren auf Wechselwirkungen mit sonstigen Chromophoren, die im Hautgewebe vorhanden sind.

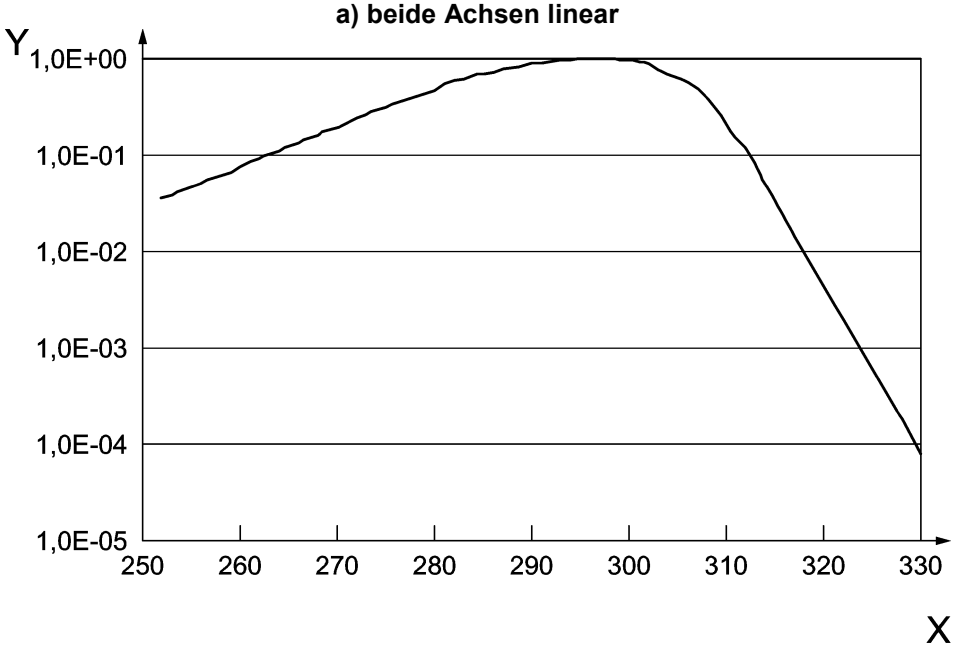
AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.3.1 Prävitamin D-Bildung (Kurzzeichen: vd)

Durch UV-Bestrahlung wird das Provitamin 7-Dehydrocholesterin in der Oberhaut in Prävitamin umgewandelt. Durch Hydroxilierung in Leber und Niere sowie in der Epidermis entstehen die bioaktiven Verbindungen des Vitamin D_3, die den Calciumstoffwechsel regulieren und Hormoncharakter haben. Sie beeinflussen die interzelluläre Kommunikation, die Zelldifferenzierung, endokrine Regelsysteme, Immunreaktionen, Akrophagenfunktionen sowie den Muskel- und Myokardstoffwechsel. Das Wirkungsspektrum der UV-induzierten Prävitamin D_3-Bildung ist in der CIE 174:2006 festgelegt und erstreckt sich über den Wellenlängenbereich 250 nm $\leq \lambda \leq$ 330 nm (siehe Bild 12 und Tabelle A.11).



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{vd}(\lambda)$

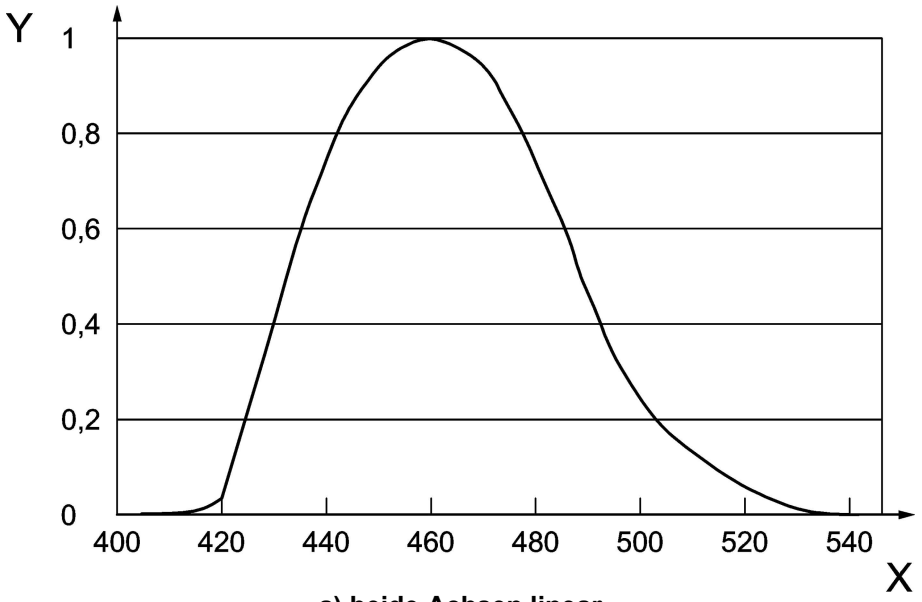
Bild 12 — Wirkungsspektrum der Prävitamin D_3-Bildung $A_{vd}(\lambda)$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

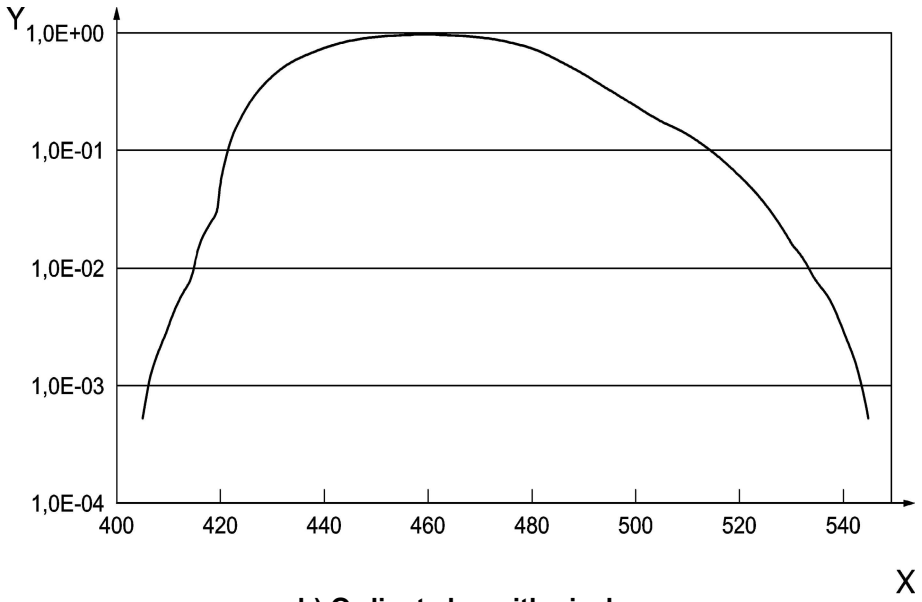
4.3.3.2 Photoisomerisierung von Bilirubin (Kurzzeichen: bi)

Bilirubin wirkt zytotoxisch (vor allem neurotoxisch). Es kann daher bei Neugeborenen zu einer Bilirubinenzephalopathie führen. Durch die Bestrahlung von Bilirubin in Hautpartien im Wellenlängenbereich 400 nm $\leq \lambda \leq$ 550 nm (siehe Bild 13 und Tabelle A.12) werden sowohl durch Photooxidation eine autosensibilisierte Photodestruktion ausgelöst als auch durch Photoisomerisierung instabile Konfigurationsisomere und stabile Strukturisomere gebildet [13].

ANMERKUNG Für therapeutische Anwendung sollte die photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke E_{bi} auf der Haut mindestens 0,05 Wm^{-2} betragen.



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{bi}(\lambda)$

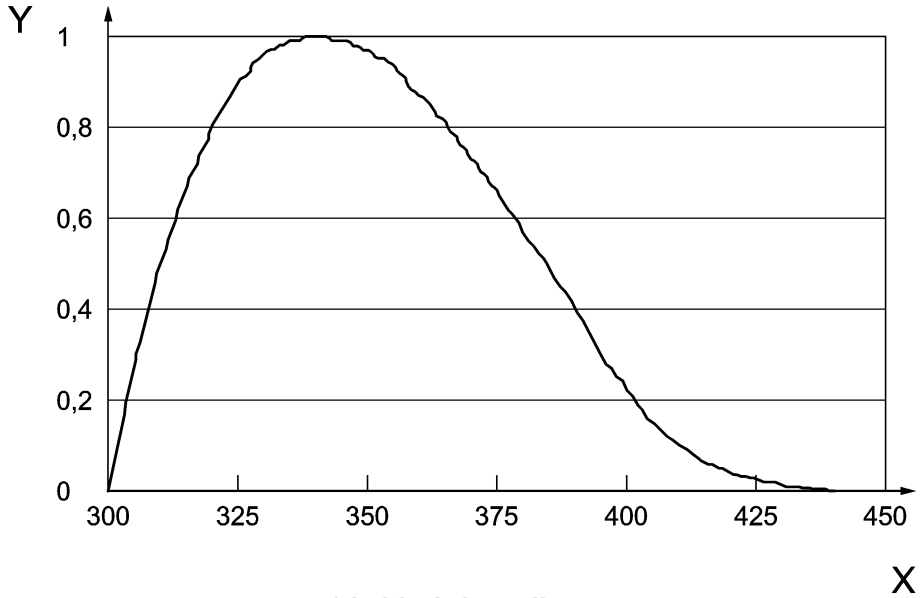
Bild 13 — Wirkungsspektrum für die Photoisomerisierung von Bilirubin $A_{bi}(\lambda)$

AVA Documents Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

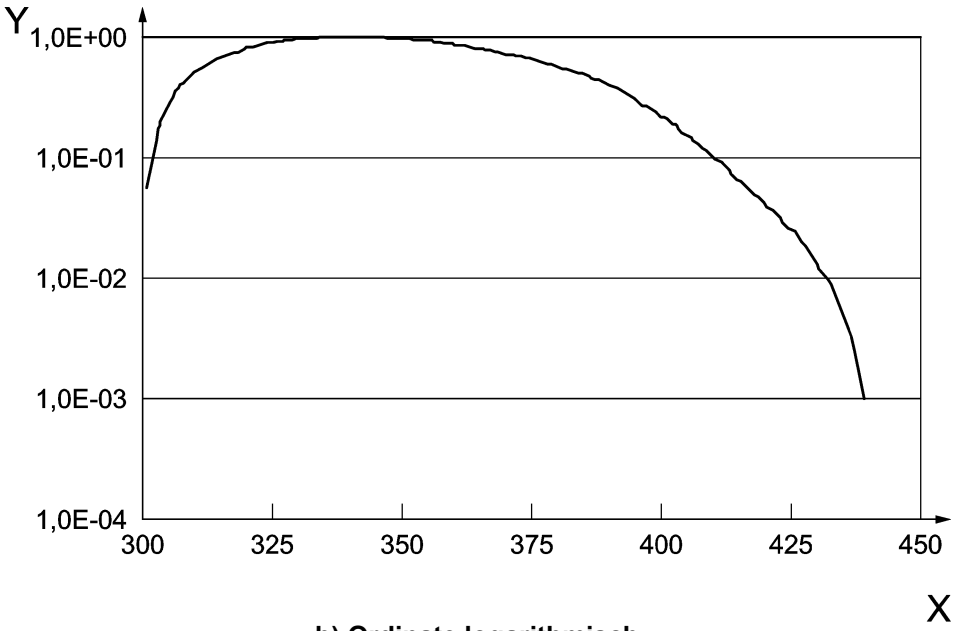
4.3.3.3 Sofortpigmentierung (Kurzzeichen: pi)

Unmittelbar nach Überschreitung der Schwellenbestrahlung (siehe Tabelle 1) im Wellenlängenbereich 300 nm $\leq \lambda \leq$ 440 nm zeigt sich eine graubraune Hautfärbung, die sich dosisabhängig innerhalb von Minuten bis wenigen Tagen zurückbildet (siehe Bild 14 und Tabelle A.13).

Die Sofortpigmentierung beruht auf einer reversiblen oxidativen Melanindunkelung prädisponierter Menschen.



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

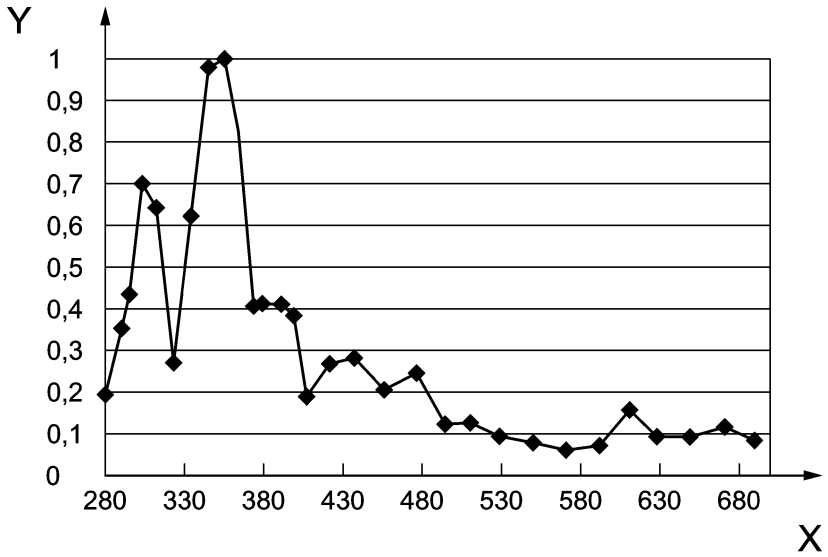
X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{pi}(\lambda)$

Bild 14 — Wirkungsspektrum der Sofortpigmentierung $A_{pi}(\lambda)$

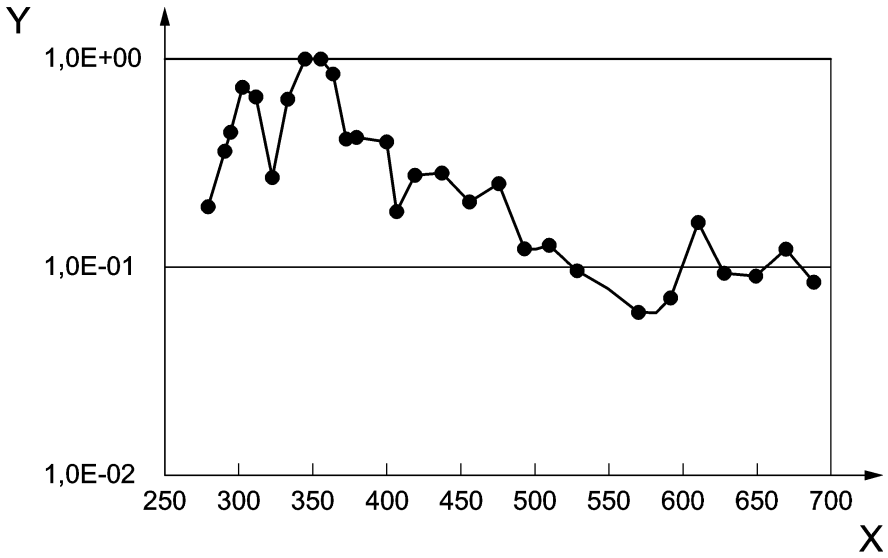
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.3.4 Bildung freier Radikale (Kurzzeichen: ra)

Das Wirkungsspektrum basiert auf der Bestimmung von freien Radikalen (Hydroxyl-, Superoxidradikale) je mg Haut mittels Elektronenspinresonanz-Spektroskopie nach Bestrahlung von menschlichen Hautbiopsien des Hauttyps II mit simulierter Sonnenstrahlung [14]. Untersucht wurde der Spektralbereich $290 \leq \lambda \leq 700$ nm, wobei sich das Wirkungsmaximum bei 355 nm (siehe Bild 15 und Tabelle A.14) ergibt.



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{ra}(\lambda)$

Bild 15 — Wirkungsspektrum für die Bildung freier Radikale $A_{ra}(\lambda)$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.4 Wirkungen mit Photosensibilisatoren

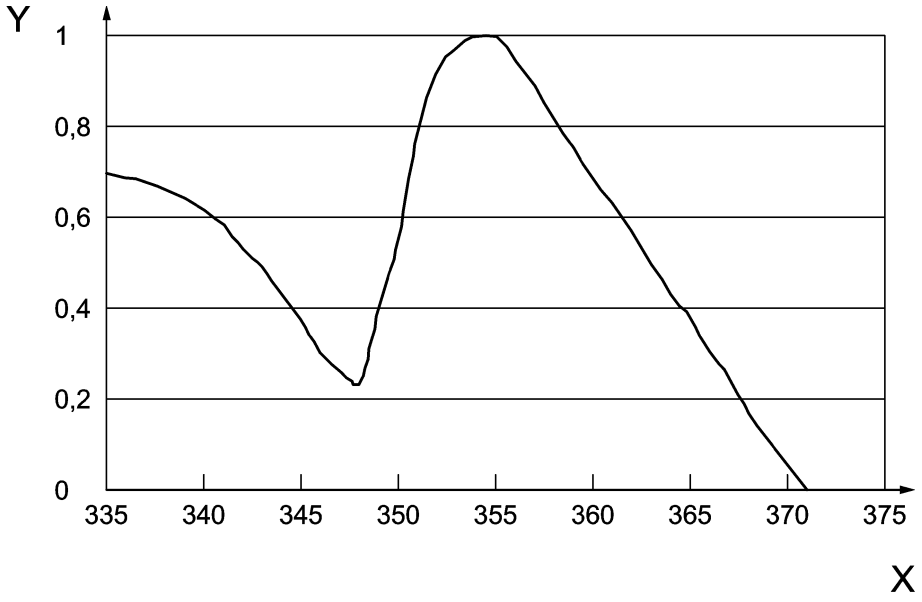
Bei diesen photobiologischen Wirkungen erfolgt vor der Bestrahlung eine Sensibilisierung der Haut mit einer von außen zugeführten Substanz.

4.3.4.1 Photochemotherapie der Psoriasis (PUVA-Therapie) (Kurzzeichen: pu)

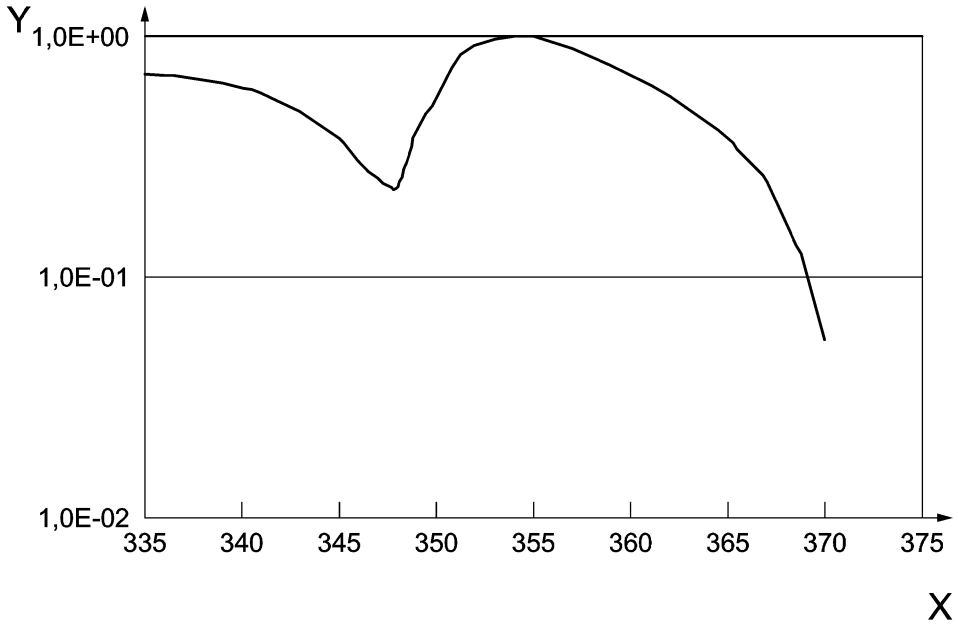
Bei der Photochemotherapie wird ein Photosensibilisator (z. B. 8-Methoxypsoralen 8-MOP) verwendet, der durch Photoaddition insbesondere an Nukleinsäuren gebunden wird. Das Wirkungsspektrum für den therapeutischen Effekt bei der Verwendung von 8-Methoxypsoralen liegt im Wellenlängenbereich zwischen 335 nm und 370 nm [15] (siehe Bild 16 und Tabelle A.15).

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

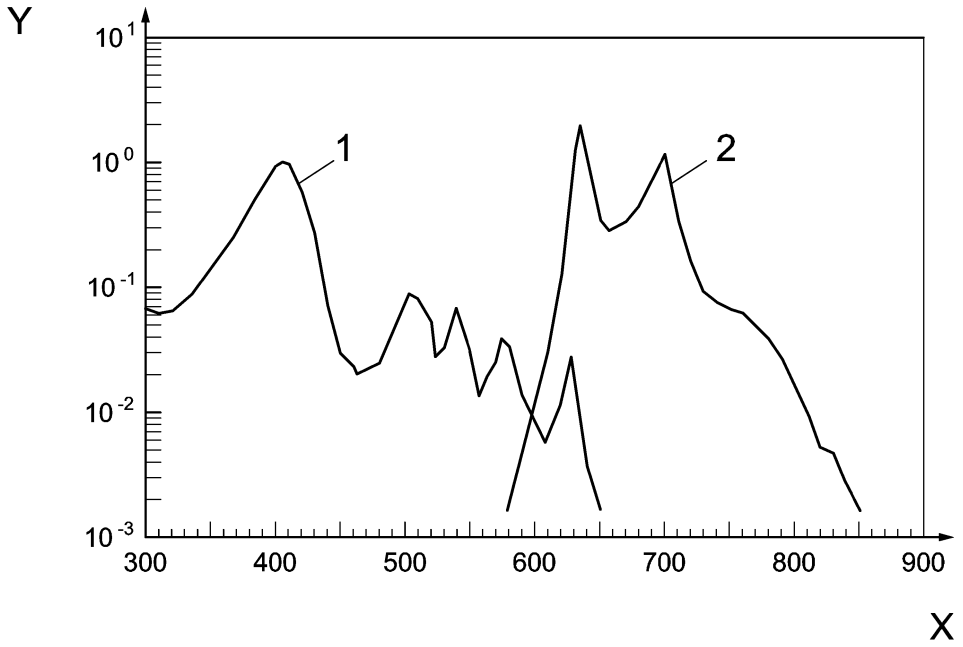
X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{pu}(\lambda)$

Bild 16 — Wirkungsspektrum der antipsoriatischen Wirkung von UV-A-Strahlung bei Anwendung von 8-MOP $A_{pu}(\lambda)$

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

4.3.4.2 Photodynamische Therapie

Die photodynamische Therapie basiert auf der Bildung von reaktivem Sauerstoff und freien Radikalen mit phototoxischer Wirkung nach Strahlungsabsorption durch einen Sensibilisator (z. B. Protoporphyrin IX) das bevorzugt in bestimmten, z. B. präkanzerogenen und kanzerogen veränderten Zellen angereichert wird. Die sekundär stimulierte Strahlungsemission kann zur Diagnostik der veränderten Zellen genutzt werden (siehe Bild 17).



Legende

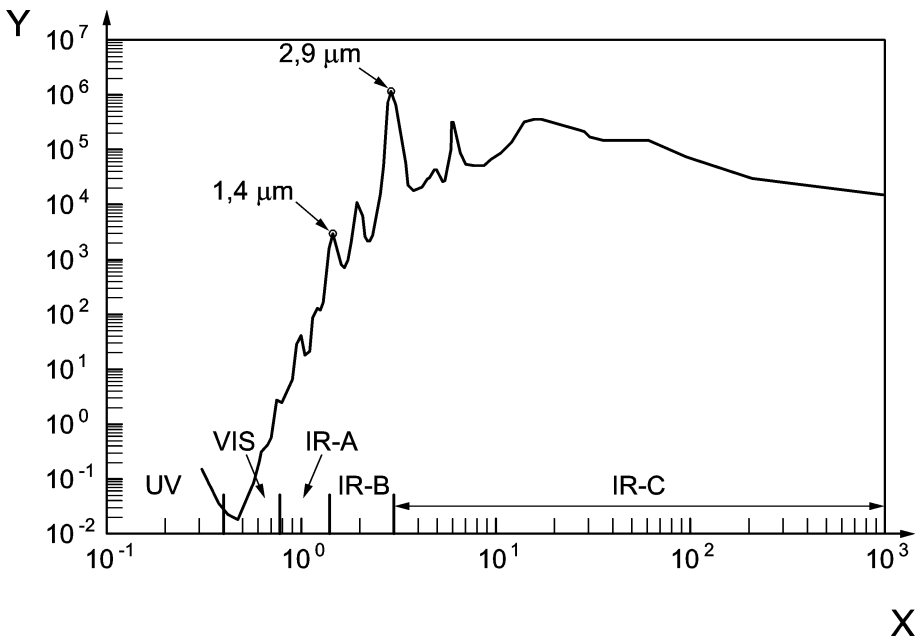
X Wellenlänge λ in nm
Y normierte Wirkungsquerschnitte $\sigma_{abs}(\lambda)$ (Kurve 1), $\sigma_{em}(\lambda)$ (Kurve 2)
1 Absorption
2 stimulierte Emission

Bild 17 — Absorptionsspektrum und Spektrum der stimulierten Emission von Protoporphyrin IX

4.3.5 Erwärmungseffekte in der Haut durch optische Strahlung

Die Absorption optischer Strahlung führt zu einer Erwärmung der Haut. Die Wellenlängenabhängigkeit wird im Wesentlichen durch die Absorption des Wassers bestimmt, da die Haut zu 59 % bis 72 % aus Wasser besteht (siehe Bild 18). In der Haut absorbierte optische Strahlung kann zur Ausbildung eines sofortigen Wärmeerythems bis hin zu Verbrennungen führen. UV-Wirkungen können dadurch ebenfalls verstärkt werden. Die Schmerzschwelle liegt bei einer Hauttemperatur von etwa 42 °C bis 45 °C. Häufige Übererwärmungen der Haut unterhalb der Hitzeschmerzschwelle können chronische Schäden wie z. B. die Hitzemelanose (Erythema ab igne) verursachen, die sich in Form netzartiger, permanenter Hautrötungen und Hyperpigmentierungen äußert.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



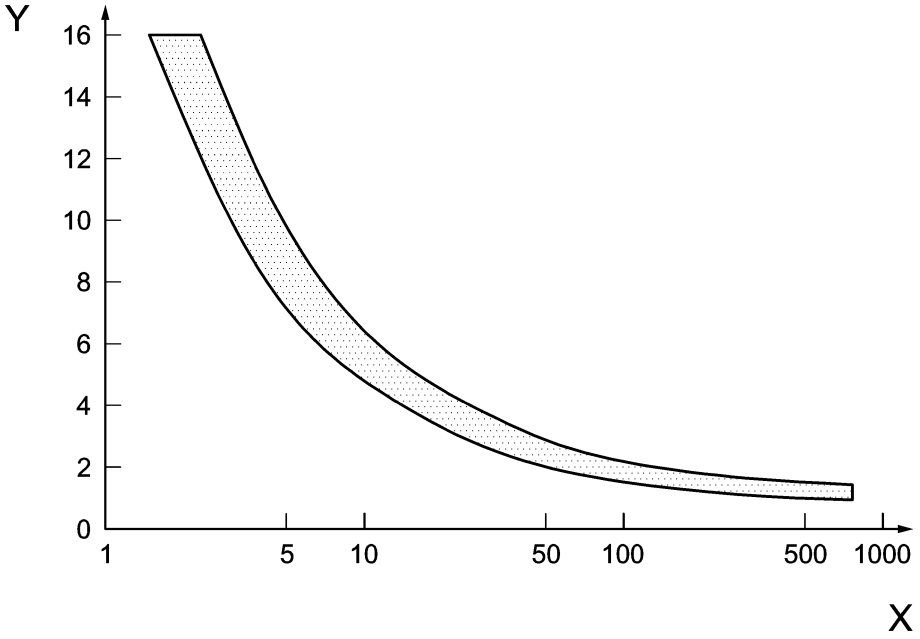
Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y Absorptionskoeffizient in m^{-1}

Bild 18 — Absorptionskoeffizient des Wassers in Abhängigkeit der Wellenlänge

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12

In DIN 33403-3 ist die Abhängigkeit der Schmerzgrenze der unbekleideten Haut von der Bestrahlungsstärke angegeben (siehe Bild 19).



Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y Bestrahlungsstärke in kWm^{-2}

Bild 19 — Schmerzgrenze der unbekleideten Haut in Abhängigkeit von der Bestrahlungsstärke nach DIN 33403–3

ANMERKUNG Die Wärmewirkung durch Strahlung kann vorzugsweise im Bereich von 600 nm $\leq \lambda \leq$ 1 400 nm therapeutisch genutzt werden.

4.4 Wirkungen auf und über das Auge

4.4.1 Allgemeines

Optische Strahlung kann zu Wirkungen an oberflächlichen und inneren Strukturen des Auges führen. Zu unterscheiden sind photobiologische und thermische Effekte, die von der Bestrahlungsstärke, Strahldichte, deren spektraler Zusammensetzung und Einwirkdauer abhängen. Oberflächeneffekte werden durch einwirkende Bestrahlungsstärke hervorgerufen, während Effekte im Auge nach Eindringen der Strahlung durch die Pupille hervorgerufen werden. Da beim zweiten Mechanismus das optische System des Auges beteiligt ist, ist die zu bewertende Größe die Strahldichte.

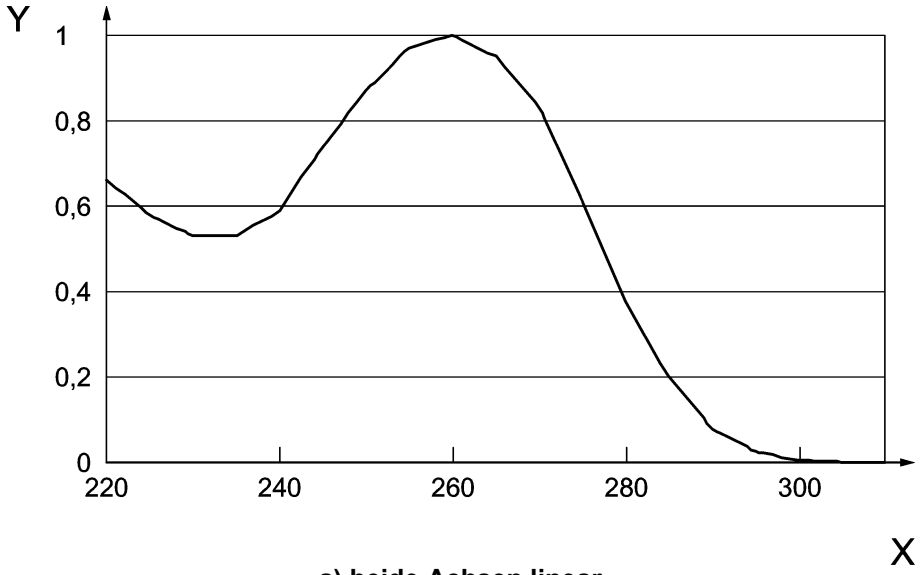
Auf der Netzhaut des Auges finden sich neben den Rezeptoren für das Sehen auch solche zur Beeinflussung vegetativer Vorgänge (siehe Anhang B).

ANMERKUNG Die Wirkungen auf und über die Netzhaut sind im hohen Ausmaß mit den optischen Eigenschaften der Augenlinse verknüpft, die sich altersabhängig ändern. In der Regel beziehen sich die Wirkungsspektren auf die Linsentransmission eines etwa 25-Jährigen [16].

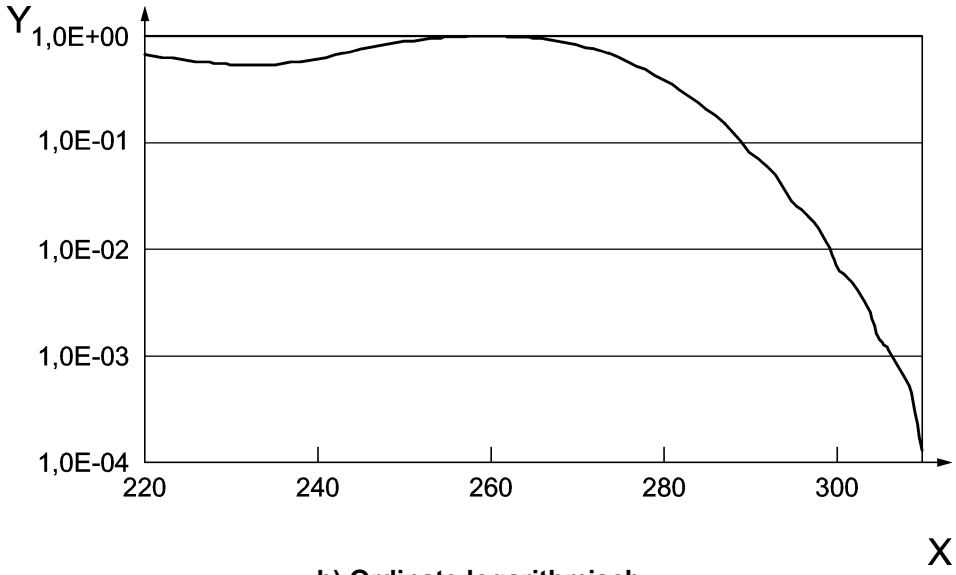
4.4.2 Photokonjunktivitis (Kurzzeichen: ko)

Die Photokonjunktivitis ist eine durch UV-Bestrahlung hervorgerufene Entzündung der Bindehaut des Auges. Das Wirkungsspektrum liegt im Spektralbereich 220 nm $\leq \lambda \leq$ 300 nm (siehe Bild 20 und Tabelle A.16) und die Schwellenbestrahlung beträgt $H_{s,ko} = 50\ Jm^{-2}$ [17].

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12



a) beide Achsen linear



b) Ordinate logarithmisch

Legende

X Wellenlänge λ in nm
Y spektraler Wirkungsfaktor $A_{ko}(\lambda)$

Bild 20 — Wirkungsspektrum für die Photokonjunktivitis $A_{ko}(\lambda)$

4.4.3 Photokeratitis (Kurzzeichen: ke)

Die Photokeratitis ist eine durch UV-Bestrahlung hervorgerufene Entzündung des Epithels der Hornhaut. Aufgrund verschiedener Untersuchungen wird als wirksamer Spektralbereich 200 nm $\leq \lambda \leq$ 400 nm angegeben, wobei die hauptsächliche Wirkung auf den Bereich 200 nm $\leq \lambda \leq$ 320 nm zurückzuführen ist. Das von der CIE empfohlene Wirkungsspektrum (CIE 106/2:1993, siehe Bild 21 und Tabelle A.17) basiert auf Daten aus Untersuchungen an Kaninchen [18]. Nach Überschreiten der Schwellenbestrahlung von $H_{s,ke}$ = 100 Jm^{-2} setzt eine merkliche Reaktion etwa 4 bis 12 Stunden nach der Exposition ein, die zumeist nach ein bis zwei Tagen wieder abklingt (Symptome: „Sand im Auge“, leichte Sehtrübung).

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: DIN 5031-10:2013-12