

Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik

Teil 10: Photobiologisch wirksame Strahlung
Größen, Kurzzeichen und Wirkungsspektren

DIN
5031-10

ICS 17.180.01

Optical radiation physics and illuminating engineering —
Part 10: Photobiologically effective radiation, quantities, symbols and actions

Ersatz für die
im Januar 1986
zurückgezogene
Ausgabe 1979-11

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	1	4.3.6 Wärmeeffekte optischer Strahlung	11
1 Anwendungsbereich	2	4.3.7 Vitamin D-Bildung (Kurzzeichen: vd)	11
2 Normative Verweisungen	2	4.3.8 Photoisomerisierung von Bilirubin (Kurzzeichen: bi)	12
3 Definitionen	2	4.3.9 Photoimmunologische Wirkungen (Kurzzeichen: im)	13
3.1 Photobiologisch wirksame Bestrahlung H_{biol} ; Dosis	2	4.3.10 Phototherapie der Psoriasis (Kurzzeichen: ps)	13
3.2 Photobiologisch wirksame Bestrahlungs- stärke E_{biol}	2	4.3.11 Photochemotherapie der Psoriasis (PUVA-Therapie) (Kurzzeichen: pu)	13
3.3 Photobiologisch wirksame Strahlungsgröße X_{biol}	2	4.3.12 Phototherapie der atopischen Dermatitis (Kurzzeichen: ad)	14
3.4 Schwellenbestrahlung $H_{\text{s,biol}}$	2	4.4 Wirkungen auf und über das Auge	14
3.5 Schwellenbestrahlungsdauer $t_{\text{s,biol}}$	2	4.4.1 Photokonjunktivitis (Kurzzeichen: ko)	14
4 Photobiologische Wirkungen	3	4.4.2 Photokeratitis (Kurzzeichen: ke)	15
4.1 Allgemeines	3	4.4.3 Katarakt der Augenlinse (Kurzzeichen: ka)	16
4.2 Inaktivierung von Mikroorganismen (Kurzzeichen: ia)	4	4.4.4 Schädigung der Retina (Kurzzeichen: re)	16
4.3 Wirkungen auf und über die menschliche Haut ..	6	4.5 Wirkungen auf Pflanzen	16
4.3.1 Allgemeines	6	4.5.1 Photosynthese (Kurzzeichen: sy)	16
4.3.2 UV-Erythem (Kurzzeichen: er)	7	4.5.2 Chlorophyllphotosynthese (Kurzzeichen: ch) ..	19
4.3.3 Photokarzinogenese (Kurzzeichen: ca)	8	4.5.3 Photomorphogenese (Kurzzeichen: mo)	19
4.3.4 Photoinduzierte Alterung der Haut (Kurzzeichen: pa)	8	4.5.4 Phototropismus (Kurzzeichen: tp)	19
4.3.5 UV-Pigmentierung	8	4.6 Übrige photobiologische Wirkungen	19
4.3.5.1 Sofortpigmentierung (Kurzzeichen: pi)	8		
4.3.5.2 Verzögerte Pigmentierung (Kurzzeichen: pp) ..	9		

Vorwort

Die Norm wurde vom Normenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN, Arbeitsausschuß FNL 7 "Strahlenkunde", erarbeitet.
DIN 5031 "Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik" besteht aus den Teilen 1 bis 10 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
- Beiblatt 1 zu DIN 5031 Inhaltsverzeichnis über Größen, Formelzeichen und Einheiten sowie Stichwortverzeichnis zu DIN 5031 Teil 1 bis Teil 10

Änderungen

Gegenüber der im Januar 1986 zurückgezogenen Ausgabe November 1979 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Norm wurde inhaltlich vollständig überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 5031-10: 1979-11

Fortsetzung Seite 2 bis 19

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

1 Anwendungsbereich

Die Norm dient zur Beurteilung der photobiologischen Wirkung optischer Strahlung.

Die 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 und von der Struktur des biologischen Objektes ab. Sie sind demnach abhängig von:

- Bestrahlungsstärke E (siehe DIN 5031-1);
- Strahlungsfunktion $S(\lambda)$ (siehe DIN 5031-8);
- Wirkungsspektrum $s(\lambda)_{\text{biol}}$: 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. Die Gültigkeit des Bunsen-Roscoe'schen Gesetzes und des Additivitätstheorems wird näherungsweise angesetzt.

Mit den Wirkungsspektren erhält man Bezugsgrößen zur Beurteilung der biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlungsquellen.

Bei der Bestrahlung von biologischen Objekten treten Wirkungen auf, von denen in dieser Norm die direkten photobiologischen Wirkungen beschrieben werden.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

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 5050-1

Solarien und Heimsonnen — Meßverfahren, Typeinteilung, Kennzeichnung

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Definitionen:

3.1 Photobiologisch wirksame Bestrahlung H_{biol} ; Dosis

Integral der photobiologisch wirksamen Bestrahlungsstärke E_{biol} über die Zeit t des Bestrahlungsvorganges nach Gleichung (1) in J:

$$H_{\text{biol}} = \int_0^{t_1} E(t)_{\text{biol}} dt \quad (1)$$

Dabei ist:

t_1 Dauer des Bestrahlungsvorgangs, in Sekunden.

3.2 Photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke E_{biol}

Mit der relativen spektralen Empfindlichkeit des betrachteten photobiologischen Vorganges $s(\lambda)_{\text{biol}}$ bewertete Bestrahlungsstärke E nach Gleichung (2) in Wm^{-2}

$$E_{\text{biol}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_{\lambda}(\lambda) s(\lambda)_{\text{biol}} d\lambda \quad (2)$$

Dabei ist:

E_{biol} photobiologisch wirksame Bestrahlungsstärke;

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

3.3 Photobiologisch wirksame Strahlungsgröße X_{biol}

In allgemeiner Form nach Gleichung (3):

$$X_{\text{biol}} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) s(\lambda)_{\text{biol}} d\lambda \quad (3)$$

Dabei ist:

X_{biol} photobiologisch wirksame Strahlungsgröße;

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

$s(\lambda)_{\text{biol}}$ relative spektrale Empfindlichkeit des betrachteten photobiologischen Vorganges, normiert auf den Maximalwert $s(\lambda)_{\text{biol,max}} = 1$ (Wirkungsspektrum);

λ_1, λ_2 Grenzwellenlängen 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 nach Gleichung (4):

$$X_{\text{er}} = \int_{\lambda_1 = 200 \text{ nm}}^{\lambda_2 = 400 \text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) s(\lambda)_{\text{er}} d\lambda \quad (4)$$

Dabei ist:

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

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

3.4 Schwellenbestrahlung $H_{\text{s,biol}}$

Diejenige photobiologisch wirksame Bestrahlung $H_{\text{s,biol}}$ in J, die eine gerade merkliche Schwellenreaktion erzeugt.

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

3.5 Schwellenbestrahlungsdauer $t_{\text{s,biol}}$

Diejenige Bestrahlungsdauer, für die bei einer photobiologisch wirksamen Bestrahlungsstärke E_{biol} die Schwellenbestrahlung $H_{\text{s,biol}}$ erreicht wird, nach Gleichung (5) in Sekunden:

$$t_{\text{s,biol}} = \frac{H_{\text{s,biol}}}{E_{\text{biol}}} \quad (5)$$

4 Photobiologische Wirkungen

4.1 Allgemeines

Photobiologische Wirkungen sind in Tabelle 1 dargestellt und werden hauptsächlich durch photochemische Reaktionen, unter anderem durch photooxydative Vorgänge hervorgerufen. Diese Mechanismen können auf die DNS (Desoxyribonukleinsäure) und andere Makromoleküle einwirken.

Die DNS enthält den genetischen Code zur Biosynthese von Struktur- und Enzym-Proteinen, der für Aufbau und Funktion der Zelle unverzichtbar ist. Photochemische Veränderungen des DNS-Moleküls können das Teilungsvermögen der Zelle hemmen oder vollständig aufheben sowie Mutationen und Zelltod bewirken.

Tabelle 1: Photobiologische Wirkungen:
Kurzzeichen, Schwellenbestrahlung $H_{s,biol}$, Bereich der spektralen Empfindlichkeit λ_1, λ_2
und Wellenlänge der maximalen Empfindlichkeit λ_{max}

siehe Abschnitt	photobiologische Wirkung	Kurzzeichen	$H_{s,biol}$ Jm^{-2}	λ_1 nm	λ_2 nm	λ_{max} nm
4.2	Inaktivierung von Mikroorganismen	ia	—	200	350	260
4.3.2	UV-Erythem	er	200 bis 450	200	400	298
4.3.3	Photokarzinogenese	ca	—	200	400	298
4.3.4	Photoinduzierte Alterung der Haut	pa	—	200	400	—
4.3.5.1	Sofortpigmentierung	pi	10^5	300	440	340
4.3.5.2	Verzögerte Pigmentierung	pp	300 bis 450	200	400	298
4.3.7	Vitamin D-Bildung	vd	< 200	255	320	295
4.3.8	Bilirubinisomerisierung	bi	—	400	550	460
4.3.9	Photoimmunologische Wirkungen	im	—	200	400	—
4.3.10	Phototherapie der Psoriasis	ps	$10 \cdot 125$	290	320	—
4.3.11	Photochemotherapie der Psoriasis (PUVA-Therapie)	pu	—	300	400	330
4.3.12	Phototherapie der atopischen Dermatitis	ad	—	300	440	—
4.4.1	Photokonjunktivitis	ko	50	200	320	260
4.4.2	Photokeratitis	ke	100	230	330	288
4.4.3	Schädigung der Augenlinse: UV-Katarakt IR-Katarakt	ka	— —	280 780	400 2 000	— —
4.4.4	Schädigung der Retina	re	—	380	800	450
4.5.1	Photosynthese	sy	—	380	800	425
4.5.2	Chlorophyllsynthese	ch	—	380	800	660
4.5.3	Photomorphogenese	mo	—	380	800	—
4.5.4	Phototropismus	tp	—	380	520	440

4.2 Inaktivierung von Mikroorganismen (Kurzzeichen: ia)

Zur Inaktivierung von Mikroorganismen in Luft, Flüssigkeiten und auf Oberflächen, eignet sich die 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. Licht reaktiviert die Mikroorganismen.

**Tabelle 2: Schwellenbestrahlung $H_{s,biol}$ in Jm^{-2}
für 90 %ige Inaktivierung verschiedener Mikroorganismen
mit einer bei 254 nm emittierenden UV-Strahlungsquelle**

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

Als Beispiel ist in Bild 1 und Tabelle 3 das Wirkungsspektrum zur Inaktivierung von Escherichia coli Bakterien in Abhängigkeit von der Wellenlänge dargestellt.

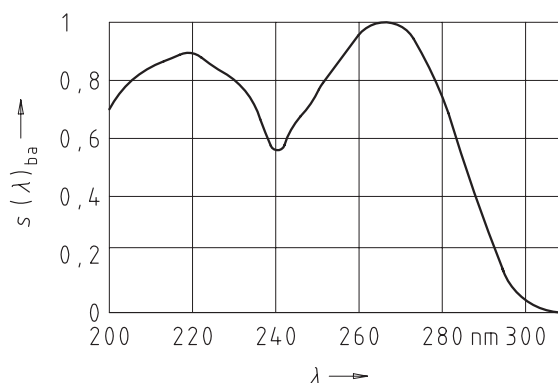


**Bild 1: Wirkungsspektrum für Inaktivierung
von Escherichia coli Bakterien $s(\lambda)_{ba}$**

Tabelle 3: Wirkungsspektrum für Inaktivierung von Escherichia coli Bakterien $s(\lambda)_{ba}$ in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ

λ nm	$s(\lambda)_{ba}$ für E.coli	λ nm	$s(\lambda)_{ba}$ für E.coli	λ nm	$s(\lambda)_{ba}$ für E.coli	λ nm	$s(\lambda)_{ba}$ für E.coli	λ nm	$s(\lambda)_{ba}$ für E.coli
200	0,70	223	0,87	246	0,68	269	0,98	292	0,26
201	0,72	224	0,86	247	0,70	270	0,98	293	0,22
202	0,74	225	0,85	248	0,72	271	0,96	294	0,19
203	0,76	226	0,84	249	0,74	272	0,95	295	0,15
204	0,78	227	0,83	250	0,76	273	0,93	296	0,13
205	0,80	228	0,82	251	0,78	274	0,92	297	0,010
206	0,81	229	0,81	252	0,80	275	0,90	298	0,078
207	0,83	230	0,80	253	0,82	276	0,87	299	0,054
208	0,84	231	0,79	254	0,84	277	0,84	300	0,030
209	0,84	232	0,77	255	0,86	278	0,82	301	0,025
210	0,85	233	0,76	256	0,88	279	0,79	302	0,020
211	0,86	234	0,73	257	0,90	280	0,76	303	0,016
212	0,86	235	0,70	258	0,91	281	0,72	304	0,011
213	0,87	236	0,66	259	0,93	282	0,67	305	0,006 0
214	0,87	237	0,62	260	0,95	283	0,63	306	0,005 0
215	0,88	238	0,58	261	0,96	284	0,58	307	0,004 0
216	0,89	239	0,56	262	0,97	285	0,54	308	0,003 0
217	0,89	240	0,56	263	0,98	286	0,50	309	0,002 0
218	0,90	241	0,58	264	0,99	287	0,46	310	0,001 0
219	0,90	242	0,60	265	1,00	288	0,41		
220	0,90	243	0,62	266	1,00	289	0,37		
221	0,89	244	0,64	267	0,99	290	0,33		
222	0,89	245	0,66	268	0,99	291	0,29		

4.3 Wirkungen auf und über die menschliche Haut

4.3.1 Allgemeines

Durch DNS-Schäden ausgelöste direkte und indirekte Strahlungseffekte sollten nach Möglichkeit vermieden werden (z. B. UV-Erythem, UV-Karzinogenese). Strahlungseffekte werden jedoch auch zu Therapiezwecken genutzt (z. B. bei der Phototherapie der Psoriasis).

Von den möglichen Photoprodukten sind Pyrimidindimere die biologisch wichtigsten (Wirkungsspektrum siehe Bild 2 und Tabelle 4). Im UV-A-Bereich wird die Dimerenbildung von Strangbrüchen und DNS-Protein-Vernetzungen überlagert (Sensibilisierungseffekte).

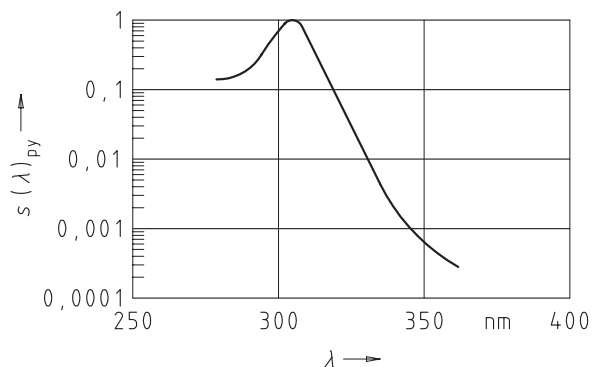


Bild 2: Wirkungsspektrum der Pyrimidindimerisierung $s(\lambda)_{py}$ von DNS aus UV-bestrahlter menschlicher Haut

Tabelle 4: Wirkungsspektrum der Pyrimidindimerisierung $s(\lambda)_{py}$ von DNS aus UV-bestrahlter menschlicher Haut

λ nm	$s(\lambda)_{py}$	λ nm	$s(\lambda)_{py}$	λ nm	$s(\lambda)_{py}$	λ nm	$s(\lambda)_{py}$	λ nm	$s(\lambda)_{py}$
280	0,14	297	0,51	314	0,24	331	0,008 2	348	0,000 88
281	0,14	298	0,56	315	0,20	332	0,006 8	349	0,000 78
282	0,14	299	0,63	316	0,17	333	0,005 7	350	0,000 70
283	0,14	300	0,70	317	0,14	334	0,004 8	351	0,000 64
284	0,15	301	0,78	318	0,12	335	0,004 0	352	0,000 60
285	0,15	302	0,87	319	0,097	336	0,003 4	353	0,000 57
286	0,15	303	0,95	320	0,080	337	0,002 9	354	0,000 53
287	0,16	304	1,00	321	0,066	338	0,002 5	355	0,000 50
288	0,17	305	1,00	322	0,054	339	0,002 2	356	0,000 46
289	0,18	306	0,94	323	0,044	340	0,002 0	357	0,000 42
290	0,20	307	0,84	324	0,035	341	0,001 8	358	0,000 38
291	0,23	308	0,72	325	0,028	342	0,001 7	359	0,000 34
292	0,26	309	0,60	326	0,023	343	0,001 6	360	0,000 30
293	0,30	310	0,50	327	0,018	344	0,001 4		
294	0,35	311	0,41	328	0,015	345	0,001 3		
295	0,40	312	0,35	329	0,012	346	0,001 2		
296	0,45	313	0,29	330	0,010	347	0,001 0		