

Quelle: <https://www.arbeitssicherheit.de//document/ec57d908-5a3e-312e-90a7-256563f18850>

Bibliografie	
Titel	Technische Regeln zur Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung - TROS Inkohärente Optische Strahlung - Teil 2: Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung
Redaktionelle Abkürzung	TROS IOS Teil 2
Normtyp	Technische Regel
Normgeber	Bund
Gliederungs-Nr.	Keine FN

Anlage 2 TROS IOS Teil 2 - Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung

(1) Die biophysikalisch relevanten Expositionswerte für optische Strahlung lassen sich anhand der nachstehenden Formeln bestimmen. Welche Formel zu verwenden ist, hängt von dem Spektralbereich der von der Quelle ausgehenden Strahlung ab; die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Expositionsgrenzwerten der Tabelle A2.1 zu vergleichen. Für die jeweilige optische Quelle können mehrere Expositionsgrenzwerte relevant sein.

(2) Die Buchstaben a) bis o) beziehen sich auf die entsprechenden Zeilen in Tabelle A2.1.

Kommentare zu Tabelle A2.1:

- 1) Strahlung unterhalb von 180 nm wird in Luft sehr stark absorbiert und kommt nur an wenigen Arbeitsplätzen vor. Bewertungen von Strahlungsexpositionen unterhalb von 180 nm sind daher nur sehr selten und nur bei sehr starker Strahlungsintensität in diesem Wellenlängenbereich notwendig. Über die Wichtungsfunktion $S(\lambda)$ liegen unterhalb von 180 nm noch keine gesicherten Erkenntnisse vor, Hinweise zur Vorgehensweise sind in [Abschnitt 6.7 dieser TROS IOS](#) zu finden.
- 2) Es gibt Strahlungsquellen (beispielsweise Metallschmelzen), die erhebliche Strahlungsanteile im Wellenlängenbereich über 3000 nm besitzen. Hier kann es erforderlich sein, Strahlungsanteile bis zu einer Wellenlänge von 20 μm mit zu berücksichtigen. Für die Formeln m), n) und o) ist die obere Integrations- bzw. Summengrenze auf 20 μm zu setzen. Zur Messung und Berechnung bei thermischen Strahlungsquellen sind Verfahren in der TROS IOS, Teil 2 "Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung" angegeben.

Hinweise:

$E\lambda(\lambda, t), E\lambda(\lambda)$	<i>spektrale Bestrahlungsstärke oder spektrale Leistungsdichte</i> : die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Nanometer ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nm}^{-1}$); $E\lambda(\lambda, t)$ und $E\lambda(\lambda)$ werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller angegeben werden;
---	--

E_{eff} *effektive Bestrahlungsstärke (UV-Wellenlängenbereich)*: Bestrahlungsstärke im UV-Wellenlängenbereich von 100 nm bis 400 nm, spektral gewichtet mit $S(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$);

$E\lambda(\lambda, t), E\lambda(\lambda)$	<i>spektrale Bestrahlungsstärke oder spektrale Leistungsdichte</i> : die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Nanometer ($W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$); $E\lambda(\lambda, t)$ und $E\lambda(\lambda)$ werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller angegeben werden;
H	<i>Bestrahlung</i> : das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ($J \cdot m^{-2}$);
H_{eff}	<i>effektive Bestrahlung</i> : Bestrahlung, spektral gewichtet mit $S(\lambda)$, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ($J \cdot m^{-2}$);
EUVA	<i>Gesamtbestrahlungsstärke (UV-A)</i> : Bestrahlungsstärke im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);
HUVA	<i>Bestrahlung</i> : das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge im UV-A-Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ($J \cdot m^{-2}$);
$S(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der gesundheitlichen Auswirkungen von UV-Strahlung auf Auge und Haut, dimensionslos (Tabelle A2.2);
t, Δt	<i>Zeit, Expositionsdauer</i> , ausgedrückt in Sekunden (s);
λ	<i>Wellenlänge</i> , ausgedrückt in Nanometern (nm);
$L\lambda(\lambda)$	<i>spektrale Strahldichte</i> der Quelle, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian pro Nanometer ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$);
$R(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der dem Auge durch sichtbare und IR-A-Strahlung zugefügten thermischen Schädigung, dimensionslos (Tabelle A2.3);
LR	<i>effektive Strahldichte (thermische Schädigung)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $R(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$);
LIR_3	<i>effektive Strahldichte (thermische Schädigung bei schwachem visuellen Reiz)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $R(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$);
$B(\lambda)$	<i>spektrale Wichtung</i> unter Berücksichtigung der Wellenlängenabhängigkeit der fotochemischen Schädigung des Auges, dimensionslos (Tabelle A2.3);
LB	<i>effektive Strahldichte (fotochemische Schädigung)</i> : Strahldichte, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Steradian ($W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$);
EB	<i>effektive Bestrahlungsstärke (fotochemische Schädigung)</i> : Bestrahlungsstärke, spektral gewichtet mit $B(\lambda)$, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);

$E\lambda(\lambda, t)$, $E\lambda(\lambda)$	<i>spektrale Bestrahlungsstärke oder spektrale Leistungsdichte</i> : die auf eine Fläche einfallende Strahlungsleistung je Flächeneinheit, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter pro Nanometer ($W \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$); $E\lambda(\lambda, t)$ und $E\lambda(\lambda)$ werden aus Messungen gewonnen oder können vom Hersteller angegeben werden;
--	---

- EIR *Gesamtbestrahlungsstärke (thermische Schädigung)*: berechnete Bestrahlungsstärke im IR-Wellenlängenbereich von 780 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);
- EHaut *Gesamtbestrahlungsstärke (sichtbar, IR-A und IR-B)*: berechnete Bestrahlungsstärke im sichtbaren und IR-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 20000 nm, ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);
- HHaut *Bestrahlung*: das Integral der Bestrahlungsstärke über die Zeit und die Wellenlänge im sichtbaren und IR-Wellenlängenbereich von 380 nm bis 3000 nm, ausgedrückt in Joule pro Quadratmeter ($J \cdot m^{-2}$);
- α *Winkelausdehnung*: der ebene Winkel, unter dem eine Quelle von einem Raumpunkt erscheint, ausgedrückt in Milliradian (mrad).
- γ *Messempfangswinkel*, ausgedrückt in Milliradian (mrad);

Kommentar zu den Hinweisen:

- 3) Es wird zwischen der effektiven Strahldichte L_R (380 nm bis 1 400 nm) und der effektiven Strahldichte L_{IR} (780 nm bis 1 400 nm) unterschieden. Hintergrund ist die unterschiedliche Herkunft der Grenzwerte. Quellen oberhalb von 780 nm sind für das Auge in der Regel nicht sichtbar, daher ist die Pupille des Auges größer und die eintretende Strahlung entsprechend höher im Vergleich zur Pupille, die durch sichtbare Anteile kleiner ist.

Abb. A2.1

Vereinfachte Darstellung der EGW entsprechend der [Abschnitte 5 und 6 der TROS IOS, Teil 2 "Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung"](#)

Tab. A2.1

Expositionsgrenzwerte für inkohärente optische Strahlung

Kennbuchstabe	Wellenlänge in nm	Expositionsgrenzwert	Zeitbasis	Winkel	Körperteil	Gefährdung(en)
a)	100-400 (UV-A, UV-B, UV-C)		8 h		Auge: Hornhaut Bindehaut Linse	Photokeratitis Konjunktivitis Kataraktogenese
					Haut	Erythem Elastose Hautkrebs
b)	315-400 (UV-A)		8 h		Auge: Linse	Kataraktogenese

Kennbuchstabe	Wellenlänge in nm	Expositionsgrenzwert	Zeitbasis	Winkel	Körperteil	Gefährdung(en)
c)	300-700 (Blaulicht) siehe Fußnote 1		$t \leq 10\,000\text{ s}$	bei $\alpha \geq 11\text{ mrad}$	Auge: Netzhaut	Photoretinitis
d)			$t > 10\,000\text{ s}$			
e)			$t \leq 10\,000\text{ s}$	bei $\alpha < 11\text{ mrad}$ siehe Fußnote 2		
f)			$t > 10\,000\text{ s}$			
g)	380-1 400 (Sichtbar, IR-A)		$t > 10\text{ s}$	$C\alpha = 1,7$ bei $\alpha < 1,7\text{ mrad}$ $C\alpha = \alpha$ bei $1,7\text{ mrad} \leq \alpha \leq 100\text{ mrad}$ $C\alpha = 100$ bei $\alpha > 100\text{ mrad}$	Auge: Netzhaut	Netzhautverbrennung
h)			$10\ \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{ s}$			
i)			$t < 10\ \mu\text{s}$			
j)	780-1 400 (IR-A)		$t > 10\text{ s}$	$C\alpha = 11$ bei $\alpha < 11\text{ mrad}$ $C\alpha = \alpha$ bei $11\text{ mrad} \leq \alpha \leq 100\text{ mrad}$ $C\alpha = 100$ bei $\alpha > 100\text{ mrad}$ (Messgesichtsfeld $\gamma = 11\text{ mrad}$)	Auge: Netzhaut	Netzhautverbrennung
k)			$10\ \mu\text{s} \leq t \leq 10\text{ s}$			
l)			$t < 10\ \mu\text{s}$			
m)	780-3 000 (IR-A, IR-B)		$t \leq 1\,000\text{ s}$		Auge: Hornhaut Linse	Hornhautverbrennung Kataraktogenese
n)			$t > 1\,000\text{ s}$			
o)1)	380-10 ⁶		$t < 10\text{ s}$		Haut	Verbrennung
o)2)	380-10 ⁶		$10\text{ s} \leq t \leq 1000\text{ s}$			

Fußnote 1	Der Bereich von 300 nm bis 700 nm deckt Teile der UV-B-Strahlung, die gesamte UV-A-Strahlung und den größten Teil der sichtbaren Strahlung ab; die damit verbundene Gefährdung wird oft als Gefährdung durch "Blaulicht" bezeichnet.
------------------	--

Fußnote 2: Bei stetiger Fixierung von sehr kleinen Quellen mit einem Öffnungswinkel von weniger als 11 mrad kann LB in EB umgewandelt werden. Dies ist normalerweise nur bei ophthalmischen Instrumenten oder einer Augenstabilisierung während einer Betäubung der Fall. Die maximale "Starrzeit" errechnet sich anhand der Formel $t_{max} = 100/EB$, wobei EB in $W \cdot m^{-2}$ ausgedrückt wird. Wegen der Augenbewegungen bei normalen visuellen Anforderungen werden 100 s hierbei nicht überschritten.

<i>Fußnote</i> 1	Der Bereich von 300 nm bis 700 nm deckt Teile der UV-B-Strahlung, die gesamte UV-A-Strahlung und den größten Teil der sichtbaren Strahlung ab; die damit verbundene Gefährdung wird oft als Gefährdung durch "Blaulicht" bezeichnet.
---------------------	--

Fußnote
3 Grenzwerte j, k, l, gelten für IR-Strahlungsquellen, die keine oder nur geringe Strahlung aus dem sichtbaren Spektralbereich emittieren. Weitere Hinweise dazu werden im TROS IOS, Teil 2 "Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung" gegeben.

Fußnote
4 Die Anwendung der Grenzwerte m, n wird im TROS IOS, Teil 2 "Messungen und Berechnungen von Expositionen gegenüber inkohärenter optischer Strahlung" erläutert.

Fußnote
5 Dieser Expositionsgrenzwert gilt für einmalige oder wiederholte IR-Einwirkungen während einer täglichen Arbeitszeit von 8 h. Dauert die tägliche Arbeitszeit länger als 8 h, dann darf dennoch der festgelegte 8-Stunden-Expositionsgrenzwert nicht überschritten werden.

Fußnote
6 Dieser Expositionsgrenzwert gilt für Expositionenzeiten größer als 10 Sekunden bis 1000 Sekunden. Ist die Expositionszeit länger als 1 000 Sekunden, müssen Abkühlzeiten von mindestens 5 Minuten eingeführt werden.

Tab. A2.2
Wichtungsfunktion $S(\lambda)$ (dimensionslos)

λ in nm	$S(\lambda)$						
180	0,0120	235	0,2400	290	0,6400	345	0,000240
181	0,0126	236	0,2510	291	0,6186	346	0,000231
182	0,0132	237	0,2624	292	0,5980	347	0,000223
183	0,0138	238	0,2744	293	0,5780	348	0,000215
184	0,0144	239	0,2869	294	0,5587	349	0,000207
185	0,0151	240	0,3000	295	0,5400	350	0,000200
186	0,0158	241	0,3111	296	0,4984	351	0,000191
187	0,0166	242	0,3227	297	0,4600	352	0,000183
188	0,0173	243	0,3347	298	0,3989	353	0,000175
189	0,0181	244	0,3471	299	0,3459	354	0,000167
190	0,0190	245	0,3600	300	0,3000	355	0,000160
191	0,0199	246	0,3730	301	0,2210	356	0,000153
192	0,0208	247	0,3865	302	0,1629	357	0,000147
193	0,0218	248	0,4005	303	0,1200	358	0,000141
194	0,0228	249	0,4150	304	0,0849	359	0,000136

λ in nm	$S(\lambda)$						
195	0,0239	250	0,4300	305	0,0600	360	0,000130
196	0,0250	251	0,4465	306	0,0454	361	0,000126
197	0,0262	252	0,4637	307	0,0344	362	0,000122
198	0,0274	253	0,4815	308	0,0260	363	0,000118
199	0,0287	254	0,5000	309	0,0197	364	0,000114
200	0,0300	255	0,5200	310	0,0150	365	0,000110
201	0,0334	256	0,5437	311	0,0111	366	0,000106
202	0,0371	257	0,5685	312	0,0081	367	0,000103
203	0,0412	258	0,5945	313	0,0060	368	0,000099
204	0,0459	259	0,6216	314	0,0042	369	0,000096
205	0,0510	260	0,6500	315	0,0030	370	0,000093
206	0,0551	261	0,6792	316	0,0024	371	0,000090
207	0,0595	262	0,7098	317	0,0020	372	0,000086
208	0,0643	263	0,7417	318	0,0016	373	0,000083
209	0,0694	264	0,7751	319	0,0012	374	0,000080
210	0,0750	265	0,8100	320	0,0010	375	0,000077
211	0,0786	266	0,8449	321	0,000819	376	0,000074
212	0,0824	267	0,8812	322	0,000670	377	0,000072
213	0,0864	268	0,9192	323	0,000540	378	0,000069
214	0,0906	269	0,9587	324	0,000520	379	0,000066
215	0,0950	270	1,0000	325	0,000500	380	0,000064
216	0,0995	271	0,9919	326	0,000479	381	0,000062
217	0,1043	272	0,9838	327	0,000459	382	0,000059
218	0,1093	273	0,9758	328	0,000440	383	0,000057
219	0,1145	274	0,9679	329	0,000425	384	0,000055
220	0,1200	275	0,9600	330	0,000410	385	0,000053

λ in nm	$S(\lambda)$						
221	0,1257	276	0,9434	331	0,000396	386	0,000051
222	0,1316	277	0,9272	332	0,000383	387	0,000049
223	0,1378	278	0,9112	333	0,000370	388	0,000047
224	0,1444	279	0,8954	334	0,000355	389	0,000046
225	0,1500	280	0,8800	335	0,000340	390	0,000044
226	0,1583	281	0,8568	336	0,000327	391	0,000042
227	0,1658	282	0,8342	337	0,000315	392	0,000041
228	0,1737	283	0,8122	338	0,000303	393	0,000039
229	0,1819	284	0,7908	339	0,000291	394	0,000037
230	0,1900	285	0,7700	340	0,000280	395	0,000036
231	0,1995	286	0,7420	341	0,000271	396	0,000035
232	0,2089	287	0,7151	342	0,000263	397	0,000033
233	0,2188	288	0,6891	343	0,000255	398	0,000032
234	0,2292	289	0,6641	344	0,000248	399	0,000031
						400	0,000030

Tab. A2.3
Wichtungsfunktionen $B(\lambda)$, $R(\lambda)$ (dimensionslos)

λ in nm	$B(\lambda)$	$R(\lambda)$
$300 \leq \lambda < 380$	0,01	-
380	0,01	0,1
385	0,013	0,13
390	0,025	0,25
395	0,05	0,5
400	0,1	1,0
405	0,2	2,0
410	0,4	4,0
415	0,8	8,0

λ in nm	$B(\lambda)$	$R(\lambda)$
420	0,9	9,0
425	0,95	9,5
430	0,98	9,8
435	1,0	10,0
440	1,0	10,0
445	0,97	9,7
450	0,94	9,4
455	0,9	9,0
460	0,8	8,0
465	0,7	7,0
470	0,62	6,2
475	0,55	5,5
480	0,45	4,5
485	0,32	3,2
490	0,22	2,2
495	0,16	1,6
500	0,1	1,0
$500 < \lambda \leq 600$	$100,02 \cdot (450 - \lambda)$	1,0
$600 < \lambda \leq 700$	0,001	1,0
$700 < \lambda \leq 1050$	-	$100,002 \cdot (700 - \lambda)$
$1050 < \lambda \leq 1150$	-	0,2
$1150 < \lambda \leq 1200$	-	$0,2 \cdot 100,02 \cdot (1150 - \lambda)$
$1200 < \lambda \leq 1400$	-	0,02