

Photographische Sensitometrie

Bestimmung der optischen Dichte
Spektrale Bedingungen**DIN**
4512
Teil 9

Photographic sensitometry; determination of optical density; spectral conditions

Sensitométrie photographique; mesure de la densité optique; conditions spectrales

Mit DIN 4512 T7/01.93
und DIN 4512 T8/01.93
Ersatz für
DIN 4512 T3/01.73

Zusammenhang mit der von der International Organization for Standardization (ISO) herausgegebenen Internationalen Norm ISO 5/3 : 1984, siehe Erläuterungen.

1 Anwendungsbereich und Zweck

Diese Norm legt die spektralen Bedingungen für das Messen einiger in der Photographie verwendeten Arten der optischen Dichte fest, mit denen entwickelte Schwarzweiß- und Farbbilder auf Filmen, Papier und Platten sowie Vesikular-, Diazo-Materialien und Lichttonspuren ausgewertet werden.

2 Begriffe**2.1 Allgemeine Begriffe**

Nach DIN 4512 Teil 7

2.2 CIE-Normlichtart A

Die von der CIE vereinbarte farbmeßtechnische Lichtart A, deren Strahlungsfunktion festgelegt ist (aus: CIE Standard S 001-1986) (siehe auch DIN 5033 Teil 7).

3 Eingangsspektrum s

Um eine optische Dichte spektral festlegen zu können, müssen die spektralen Eigenschaften der Lichtquelle und der optischen Bauteile sowie die spektrale Empfindlichkeit des Empfängers bekannt sein. Das Eingangsspektrum hängt von der spektralen Strahlungsverteilung der Strahlungsquelle und der spektralen Transmission der optischen Elemente ab, die den Strahlungsfluß verändern, bevor er auf die zu messende Probe fällt. Optische Dichten werden im allgemeinen mit einer Lichtquelle der spektralen Strahlungsverteilung der Normlichtart A gemessen (siehe Abschnitt 2.2).

In einigen Reflexions- und fast allen Transmissionsdensitometern muß man ein wärmeabsorbierendes oder -reflektierendes Filter in den Beleuchtungsstrahlengang einbringen, um die Probe und die optischen Bauteile zu schützen.

Anmerkung: Aufsichtsbilder werden in der Praxis im ungefilterten Licht entsprechend CIE-Normlichtart A (S_A , Tabelle 1) betrachtet. Bei der Projektion von Diapositiven schaltet man jedoch ein Wärmeschutzfilter in den Strahlengang, wodurch die Strahlungsverteilung S_H der Tabelle 1 mit niedrigem Infrarotanteil entsteht.

3.1 Eingangsspektrum S_A für Reflexionsdensitometer

Bei Messung der Reflexionsdichte muß die relative spektrale Strahlungsverteilung (Strahlungsfunktion) des einfallenden Flusses die Verteilung der CIE-Normlichtart A sein. Diese ist in Tabelle 1 unter S_A angegeben. S_A dient auch als Symbol für die funktionelle Kennzeichnung und ist mit der Abkürzung $S_{\lambda A}$ nach DIN 5033 Teil 7 identisch.

3.2 Eingangsspektrum S_H für Transmissionsdensitometer

Bei Messung der Transmissionsdichte muß die relative spektrale Strahlungsverteilung (Strahlungsfunktion) des einfallenden Flusses die in Tabelle 1 unter S_H angegebene sein. S_H dient auch als Symbol für die funktionelle Kennzeichnung. Die Werte basieren auf der spektralen Strahlungsverteilung der CIE-Normlichtart A. Diese ist jedoch im Infrarotbereich herabgesetzt, um die Probe und die optischen Elemente vor übermäßiger Wärme zu schützen.

3.3 Vorbereitung der Proben

Einige Materialien ändern die optische Dichte bei Änderung der Temperatur und der relativen Luftfeuchte. Deshalb müssen die Proben bei der Bestimmung der optischen Dichte im Gleichgewicht mit Normalklima DIN 50014 — 23/50 — 2 sein.

4 Spektrale Empfindlichkeit s

Die spektrale Empfindlichkeit eines Densitometers hängt von der spektralen Empfindlichkeit des photoelektrischen Empfängers und von der spektralen Durchlässigkeit der optischen Elemente und Filter ab, die sich im Empfänger-system befinden. Die spektrale Empfindlichkeit des Densitometers sollte die spektrale Empfindlichkeit des Empfängers (Auge, photographisches Papier usw.), der bei praktischer Verwendung des Meßobjektes benutzt wird, annähern.

Fortsetzung Seite 2 bis 11

Normenausschuß Bild und Film (photokinetik) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

5 Spektrale Produkte Π

Die Produkte des Eingangsspektrums S und der spektralen Empfindlichkeit s des Empfängersystems bei jeder Wellenlänge sind eine Funktion der Wellenlänge und werden spektrale Produkte des Meßinstruments genannt. Wenn weder das zu messende Material noch die optischen Elemente im Beleuchtungs- oder Empfängerstrahlengang des Densitometers lumineszieren, dürfen S und s grundsätzlich von den festgelegten spektralen Funktionen abweichen, wenn auf andere Weise dieselben spektralen Produkte wie mit den festgelegten Funktionen erreicht werden.

So kann man mit einem Filter in der Empfängeranordnung eine Abweichung des Eingangsspektrums von dem festgelegten kompensieren. Solche Abweichungen sind nicht allgemein zulässig, wenn merkliche Lumineszenz der Probe oder optischer Komponenten auftritt. In diesem Fall hängt der Meßwert vom Eingangsspektrum ab.

Die spektralen Produkte eines Densitometers können wie folgt angegeben werden:

$$\Pi = Ss,$$

wobei

S die relative spektrale Strahlungsverteilung des Eingangsflusses und

s die relative spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems ist.

6 Kennzeichnung

DIN 4512 Teil 7 legt die Kennzeichnung der optischen Dichte in der Form $D(G; S; g; s)$ fest, wobei G und g die Eingangsgeometrie bzw. die Ausgangsgeometrie symbolisieren. Da diese Norm nur spektrale Bedingungen behandelt, wird die Kennzeichnung mit $D(S;s)$ abgekürzt. Um zwischen Reflexionsdichte (D_R) und Transmissionsdichte (D_T) zu unterscheiden, kann ein Index benutzt werden.

7 Spektrale Arten optischer Dichten

Zur Messung der verschiedenen spektralen Arten der optischen Dichten von strahlungsempfindlichen Materialien werden die in den Tabellen 2 bis 5 angegebenen spektralen Produkte Π verwendet. Die spektralen Produkte erhält man durch die Multiplikation der relativen spektralen Verteilung des Strahlungsflusses im Beleuchtungsstrahlengang des Densitometers (Eingangsspektrum S) mit der relativen spektralen Empfindlichkeit s des Empfängersystems in Intervallen $\Delta\lambda$ von 10 nm. Die resultierenden Produkte werden so umgerechnet, daß sich ein Maximalwert von 100 000 ergibt. Die Logarithmen zur Basis 10 dieser Werte werden in dieser Norm benutzt, um die verschiedenen spektralen Arten zu definieren.

7.1 Visuelle optische Dichte

$$D_T(S_H : V_T), D_R(S_A : V)$$

Um die Schwächung des Lichtes durch ein Bild zu ermitteln, das direkt oder durch Projektion betrachtet werden soll, wird die visuelle optische Dichte gemessen. Visuelle optische Dichten werden meistens an Schwarzweiß- und Farb-Umkehrfilmen gemessen, können aber auch für andere Bildvorlagen zweckmäßig sein.

Für die Messung der Reflexionsdichte muß die Empfindlichkeit des Empfängers zusammen mit den spektralen Eigenschaften der Komponenten auf der Ausgangsseite des Densitometers den Hellempfindlichkeitsgrad für Tagessehen $V(\lambda)^1$ annähern.

Tabelle 1. **Lichtarten für Densitometer**
(Relative spektrale Strahlungsverteilung auf 100 bei 560 nm umgerechnet)

Wellenlänge λ nm	Transmissions- densitometer Lichtart S_H	Reflexions- densitometer Lichtart S_A
340	4	4
350	5	5
360	6	6
370	8	8
380	10	10
390	12	12
400	15	15
410	18	18
420	21	21
430	25	25
440	29	29
450	33	33
460	38	38
470	43	43
480	48	48
490	54	54
500	60	60
510	66	66
520	72	72
530	79	79
540	86	86
550	93	93
560	100	100
570	107	107
580	111	114
590	115	122
600	116	129
610	119	136
620	117	144
630	113	151
640	107	158
650	102	165
660	96	172
670	89	179
680	80	185
690	72	192
700	62	198
710	53	204
720	45	210
730	37	218
740	31	222
750	24	227
760	19	232
770	15	237

Das Produkt von $V(\lambda)$ und S_A legt in 10-nm-Intervallen die spektralen Produkte fest, die das gesamte Densitometer haben soll, um visuelle optische Dichten anzuzeigen. Die Logarithmen dieser Produkte werden in Tabelle 2 angegeben.

¹⁾ Die Werte für $V(\lambda)$ wurden 1933 vom Internationalen Komitee für Maß und Gewicht festgelegt. [1]

Tabelle 2. **Zehnerlogarithmen der spektralen Produkte für visuelle optische Dichten und Kopierdichten Typ 1 und 2**
(Auf den Höchstwert 5,000 umgerechnet)

Wellenlänge λ nm	$\lg \Pi_v$ visuelle optische Dichte	$\lg \Pi_1$ Typ 1 Kopier- dichte	$\lg \Pi_2$ Typ 2 Kopier- dichte
340			< 1,000
350			2,708
360		< 1,000	4,280
370		1,640	4,583
380		2,860	4,760
390		4,460	4,851
400	< 1,000	5,000	4,916
410	1,322	4,460	4,956
420	1,914	2,860	4,988
430	2,447	1,640	5,000
440	2,811	< 1,000	4,990
450	3,090		4,951
460	3,346		4,864
470	3,582		4,743
480	3,818		4,582
490	4,041		4,351
500	4,276		3,993
510	4,513		3,402
520	4,702		2,805
530	4,825		2,211
540	4,905		< 1,000
550	4,957		
560	4,989		
570	5,000		
580	4,989		
590	4,956		
600	4,902		
610	4,827		
620	4,731		
630	4,593		
640	4,433		
650	4,238		
660	4,013		
670	3,749		
680	3,490		
690	3,188		
700	2,901		
710	2,622		
720	2,334		
730	2,041		
740	1,732		
750	1,431		
760	1,146		
770	< 1,000		

Die für die Messung der visuellen Transmissionsdichte erforderlichen spektralen Produkte sind die gleichen wie jene, die für die Reflexionsdensitometrie benutzt werden. Da jedoch der Eingangsfluß unterschiedlich ist, muß die spektrale Empfindlichkeit des Empfängersystems V_T dies so kompensieren, daß in jedem 10-nm-Intervall $S_H V_T = S_A V$ ist.

7.2 Optische Dichte Status A

Für die Transmission gelten die funktionellen Kennzeichnungen:

$$D_T(S_H : A_B), D_T(S_H : A_G), D_T(S_H : A_R);$$

für die Reflexion:

$$D_R(S_A : A'_B), D_R(S_A : A'_G), D_R(S_A : A'_R).$$

Die spektrale Empfindlichkeit für die Messung der optischen Dichte Status A wurde festgelegt, um die Empfindlichkeit zu simulieren, die früher bei der Untersuchung von Filmen und Kopien für direkte Betrachtung oder Betrachtung durch Projektion verwendet wurden. Die Zehnerlogarithmen der spektralen Produkte für das gesamte Gerät müssen die Werte der Tabelle 3 besitzen. Die Symbole A_B , A_G und A_R werden für die Transmissions-Status-A-Densitometrie zur Kennzeichnung der spektralen Empfindlichkeiten im blauen, grünen und roten Spektralbereich verwendet. Ähnlich werden die spektralen Empfindlichkeiten für die Reflexion-Status-A-Densitometrie A'_B , A'_G und A'_R angegeben.

7.3 Optische Dichte Status M

Für die Transmission gelten die funktionellen Kennzeichnungen:

$$D_T(S_H : M_B), D_T(S_H : M_G), D_T(S_H : M_R)$$

Die spektrale Empfindlichkeit für die Messung der optischen Dichte Status M wurde festgelegt, um die Empfindlichkeit zu simulieren, die früher bei der Untersuchung von photographischen Farbmaterialien zur Herstellung von Kopien, wie Farb-Negativfilmen, verwendet wurden. Die Zehnerlogarithmen der spektralen Produkte müssen die Werte der Tabelle 4 besitzen. Mit den Symbolen M_B , M_G und M_R werden die optischen Dichten Status M im blauen, grünen und roten Spektralgebiet gekennzeichnet.

7.4 Optische Dichte Status T

Für die Transmission gelten die funktionellen Kennzeichnungen:

$$D_T(S_H : T_B), D_T(S_H : T_G) \text{ und } D_T(S_H : T_R);$$

für die Reflexion:

$$D_R(S_A : T'_B), D_R(S_A : T'_G) \text{ und } D_R(S_A : T'_R).$$

Die spektrale Empfindlichkeit für die Messung der optischen Dichte Status T wurde festgelegt, um die Empfindlichkeit zu simulieren, die früher in den USA bei der Untersuchung von graphischen Materialien, wie Tinte-Papier-Drucken, Probeabzügen oder Originalvorlagen, von denen Farbauszüge angefertigt werden sollten, verwendet wurden. Die Zehnerlogarithmen der spektralen Produkte müssen die Werte der Tabelle 5 besitzen. Die Symbole T_B , T_G und T_R kennzeichnen bei Transmission die Status-T-Dichten im blauen, grünen und roten Spektralbereich, die Symbole T'_B , T'_G und T'_R die entsprechenden Status-T-Dichten bei Reflexion.

7.5 Optische Dichte Status E

Für die Reflexion gelten die funktionellen Kennzeichnungen:

$$D_R(S_A : E_B), D_R(S_A : E_G) \text{ und } D_R(S_A : E_R)$$

Die spektrale Empfindlichkeit für die Messung der optischen Dichte Status E bezieht sich auf die dokumentarische Empfindlichkeit, die festgelegt wurde, um die früher in Europa für den Handel mit graphischen Materialien, wie Tinte-Papier-Drucken, Probeabzügen und Originalvorlagen, von denen Farbauszüge angefertigt werden sollten,

Tabelle 3. **Zehnerlogarithmen der spektralen Produkte Π_A für die Messung der optischen Dichte Status A**
(Auf den Höchstwert 5,000 umgerechnet)

Wellenlänge λ nm	Blauer Bereich des Spektrums	Grüner Bereich des Spektrums	Roter Bereich des Spektrums
400	Steigung = 0,380/nm	Steigung = 0,220/nm	Steigung = 0,270/nm
410			
420			
430			
440			
450			
460			
470			
480			
490			
500	0,165	1,650	
510	Steigung = -0,140/nm	3,822	
520		4,782	
530		5,000	
540		4,906	
550		4,644	
560		4,221	
570		3,609	
580		2,766	
590		1,579	
600			2,568
610		Steigung = -0,170/nm	4,638
620			5,000
630			4,871
640			4,604
650			4,286
660			3,900
670			3,551
680			3,165
690			2,776
700			2,383
710			1,970
720			1,551
730			1,141
740			0,741
750			0,341
			Steigung = -0,040/nm