

DAS ZUSAMMENSPIEL DER BELICHTUNGSDATEN

AUCH MESSTECHNIK IST PLAUSIBEL

Aus allgemeinem fototechnischem Interesse, zum besseren Verständnis fachtechnischer Beiträge und für Planungszwecke wird immer wieder versucht, die Zusammenhänge zwischen Belichtungszeit, Blende, Filmempfindlichkeit, Belichtungswert und Objektivhelligkeit rechnerisch zu bestimmen. Die dafür benötigten mathematischen Formeln (z. B. die sogenannte „Kalibrierformel“) sind aber ziemlich kompliziert. Um trotzdem die häufig geäußerten Informationswünsche unserer technisch interessierten Leser zu erfüllen, stellen wir eine stark vereinfachte Rechenmethode und ein grafisches Rechenwerk vor.

Wenn man sich rechnerisch mit den verschiedenen Belichtungseinflüssen befaßt, bekommt man es mit unterschiedlich gestuften Wertereihen zu tun. Die Blendenreihe ist eine geometrische Reihe mit dem Faktor $\sqrt{2}$ und dem Anfangswert 0,5. Die Belichtungszeiten präsentieren sich in einer geometrischen Reihe mit Stufungsfaktor 2. Bei den Objektleuchtdichten („Helligkeit“) und den ASA-Werten handelt es sich um arithmetische Reihen. Die DIN-Werte hingegen sind logarithmisch gestuft. Schließlich und endlich sind die wohlbekanntesten Belichtungsdaten Exponenten zur Basis 2. Bitte lesen Sie weiter! Denn alle diese nicht ganz einfachen Dinge werden wir elegant mit einem „Additiv-System“ und mit einem „grafischen Rechenwerk“ umgehen. Auf theoretische Erwägungen verzichten wir ebenso wie auf die Einführung weiterer Einheiten. Es bleibt bei Blende, Belichtungszeit, Filmempfindlichkeit, Belichtungswert und Objektivhelligkeit. Da alle auf den Kameras, Objektiven und Belichtungsmessern angegebenen Werte ohnehin deutlich gerundet sind, geben wir uns mit der Auflösung in 1 Belichtungsstufe zu-

frieden – eine größere Genauigkeit würde sich kaum lohnen und wer will, kann ja ohne weiteres Zwischenwerte abschätzen (Interpolieren).

EINFACH ADDIEREN UND SUBTRAHIEREN NACH DEM APEX-SYSTEM

APEX ist die Abkürzung für „Additive System of Photographic Exposure“. Wendet man dieses System an, braucht man tatsächlich nur zu addieren und das Gegenteil davon – zu subtrahieren. Bereits im Jahre 1954 führte Deckel in Deutschland den „Lichtwert“ (heute „Belichtungswert“) als Additiv-System ein. Sieben Jahre später dehnte der amerikanische Normenausschuß dieses Konzept auf alle anderen Belichtungseinflüsse (Belichtungsparameter) aus und begründete das APEX-System. Auch in neuerer Fachliteratur aus der DDR findet sich ein Additiv-System. Man spricht dort von „Leitwerten“, die übrigens identisch sind mit den APEX-Werten. Das Grundprinzip aller Additiv-Systeme: Nach entsprechender mathematischer Umwandlung stehen den verschiedenen Belichtungsdaten einfache Zahlenreihen gegenüber. Wir wollen die Werte aus diesen Zahlenreihen als APEX-Werte bezeichnen. Ein Schritt in einer solchen Zahlenreihe (z. B. „+1“) entspricht einer Belichtungsstufe – also einer Verdoppelung oder Halbierung der Belichtung. Die APEX-Werte werden den vier Tabellen der folgenden Seite entnommen:

- > Blendenwerte verwandeln sich in die APEX-Werte „Av“. Aus Blende 8 wird beispielsweise Av = 6.
- > Belichtungszeiten werden zu den APEX-Werten „Tv“. Der Zeit $1/125$ sec zum Beispiel entspricht Tv = 7.
- > Zur Filmempfindlichkeit (DIN/ASA) gehören die APEX-Werte „Sv“. Statt 24 DIN schreibt man z. B. Sv = 6.
- > Die Belichtungsdaten (frü-

her „Lichtwerte“) sind bereits „additive Werte“ und brauchen deshalb nicht ins APEX-System umgesetzt zu werden. Nach DIN 19017 nennen wir den Belichtungswert kurz „B“.

> Die Objektleuchtdichte (also die Helligkeit eines fotografischen Objekts) wird in cd/m^2 (Candela pro Quadratmeter) gemessen und im APEX-Wert „Bv“ ausgedrückt. Dann werden aus $60 cd/m^2$ im APEX-System Bv = 4. (Die zugehörige Tabelle bezieht sich auf die heute durchschnittlich angewandte Kalibrierkonstante 1,28. Mehr darüber und über Objektleuchtdichten am Schluß dieses Beitrags).

WIR RECHNEN MIT DEM APEX-SYSTEM

Wie schon mehrfach gesagt, braucht man beim Rechnen mit den APEX-Werten nur zu addieren bzw. subtrahieren. Dabei sollte man, da es auch negative APEX-Werte gibt, die Minus-Vorzeichen beachten.

SO WIRD DER BELICHTUNGSWERT BERECHNET

Zuerst berechnen wir den Belichtungswert (der ja nichts anderes darstellt als eine Zusammenfassung von Zeit und Blende einerseits bzw. Objektleuchtdichte und Filmempfindlichkeit andererseits) aus den gegebenen Daten für Belichtungszeit und Blende. Die Formel dafür lautet:

$$B = Av + Tv$$

Die Blende sei 5,6 (Av = 5 gemäß Tabelle) und die Belichtungszeit sei $1/30$ sec (Tv = 5). Also:

$$B = Av + Tv = 5 + 5 = 10$$

Blende 5,6 und $1/30$ sec entsprechen dem Belichtungswert 10. Jetzt ein Beispiel für die Berechnung des Belichtungswertes aus der Objektleuchtdichte und der Filmempfindlichkeit nach der Formel:

$$B = Bv + Sv$$

Für das Beispiel ist die Objektleuchtdichte $2000 cd/m^2$ (Bv = 9) und die Filmempfindlichkeit

$$15 \text{ DIN (Sv = 3):}$$

$$B = Bv + Sv = 9 + 3 = 12$$

Als Belichtungswert ergibt sich diesesmal 12.

WENN DIE BELICHTUNGSZEIT AUSGERECHNET WERDEN SOLL

Zunächst berechnen wir den APEX-Wert „Tv“ für die Belichtungszeit aus den übrigen Daten folgendermaßen:

$$Tv = Bv + Sv - Av$$

Ein Beispiel: Objektleuchtdichte = $0,008 cd/m^2$ (Bv = -9). Filmempfindlichkeit = 21 DIN/ASA 100 (Sv = 5). Blende 1,4 (Av = 1).

$$Tv = (-9) + 5 - 1 = (-5)$$

Laut Tabelle gehört zum Tv-Wert (-5) die tatsächliche Belichtungszeit von 30 sec. Damit haben wir die zu den übrigen Belichtungseinflüssen gehörige Belichtungszeit ermittelt. Das Resultat ist trotz der nicht sehr feinen Stufung genau, wie ein Vergleich mit dem Computer-Ausdruck beweist.

LEUCHTDICHTE $CD/M^2 =$
0.008

FILM ASA=
100.000

ZEIT $1/S =$
0.033

ZEIT S=
30.625

BLLENDE=
1.400

BELICHTUNGSWERT=
-3.966

JETZT IST DIE BLENDE UNBEKANNT

Auch in diesem Fall muß wieder zuerst der APEX-Wert für die Blende (Av) ausgerechnet werden, und zwar nach folgender Beziehung:

$$Av = Bv + Sv - Tv$$

Die bekannten Belichtungsdaten für ein Beispiel: Objektleuchtdichte = $16000 cd/m^2$ (Bv = 12). Filmempfindlichkeit = 18 DIN/ASA 50 (Sv = 4). Belichtungszeit = $1/1000$ sec (Tv = 10).

$$Av = 12 + 4 - 10 = 6$$

Neben Av = 6 steht in der Tabelle der Blendenwert 8. Auch der genauer rechnende Computer kommt, wie nachstehend zu sehen, auf die Blende 8.

LEUCHTDICHTE CD/M2=
16000.000

FILM ASA=
50.000

ZEIT 1/S=
1000.000

BLLENDE=
8.000

BELICHTUNGSWERT=
15.966

WELCHE FILMEMPFINDLICHKEIT PASST ZU DEN ÜBRIGEN BELICHTUNGS-DATEN?

Auch hier verfahren wir nach dem schon bekannten Schema und berechnen erst einmal den APEX-Wert für die Filmempfindlichkeit (Sv) nach dieser Formel:

$Sv = Av - Bv + Tv$
Das obligatorische Beispiel: Bekannt ist die Blende 22 (Av = 9), die Objektleuchtdichte 4000 cd/m² (Bv = 10) und die Belichtungszeit 1/250 sec (Tv = 8). Der APEX-Wert für die Filmempfindlichkeit ergibt sich aus...

$Sv = 9 - 10 + 8 = 7$
Für Sv = 7 lesen wir in der Tabelle 27 DIN bzw. ASA 400 ab. Der Computer kommt (siehe nachstehenden Ausdruck) auf exakt ASA 378,125 - dieses Resultat unterscheidet sich um ca. 1/12 Belichtungsstufen von unserem Ergebnis.

LEUCHTDICHTE CD/M2=
4000.000

FILM ASA=
378.125

ZEIT 1/S=
250.000

BLLENDE=
22.000

BELICHTUNGSWERT=
16.885

WIE GROSS MUSS DIE OBJEKTLEUCHTDICHTE SEIN?

Es bleibt noch die Frage, wie hell das Objekt sein muß, damit mit einer bestimmten Zeit, Blende und Filmempfindlichkeit ein richtig belichtetes Bild entsteht. Es ist die Frage nach der Objektleuchtdichte.

Als Maß für die Leuchtdichte ist seit rund 10 Jahren das cd/m² gesetzlich vorgeschrieben. Bitte informieren Sie sich auch im Abschnitt „ein paar Worte über Objektleuchtdichten“ über die Natur dieser lichttechnischen Einheit.

Die nachstehende Formel dient zur Berechnung des APEX-Wertes für die Objektleuchtdichte

(Bv): $Bv = Av - Sv + Tv$
Die Beispielwerte: Blende 4 (Av = 4), Filmempfindlichkeit 24 DIN/ASA 200 (Sv = 6) und Belichtungszeit 1/8 sec (Tv = 3).

$Bv = 4 - 6 + 3 = 1$
Der APEX-Wert Bv = 1 steht gemäß Tabelle für die Objektleuchtdichte von 8,0 cd/m². Der Computer kommt genau zum gleichen Ergebnis.

LEUCHTDICHTE CD/M2=
8.000

FILM ASA=
200.000

ZEIT 1/S=
8.000

BLLENDE=
4.000

BELICHTUNGSWERT=
7.000

Nach dem additiven System ist es also recht einfach, die jeweils fehlenden oder unbekannteren Belichtungsdaten zu berechnen. Auf zusätzliche Beispiele aus der fotografischen Praxis müssen wir leider verzichten, damit das Ganze nicht zu umfänglich und unübersichtlich wird. Es dürfte aber ein leichtes sein, die vorgestellten Berechnungsmethoden auf beliebige praktische Belange zu übertragen.

Wer nicht so gern die APEX-Werte aus Tabellen abliest und die einfachen Rechnungen durchführt, der erhält genauso präzise Werte aus dem „grafischen Rechenwerk“.

SO HANDHABT MAN DAS „GRAFISCHE RECHENWERK“

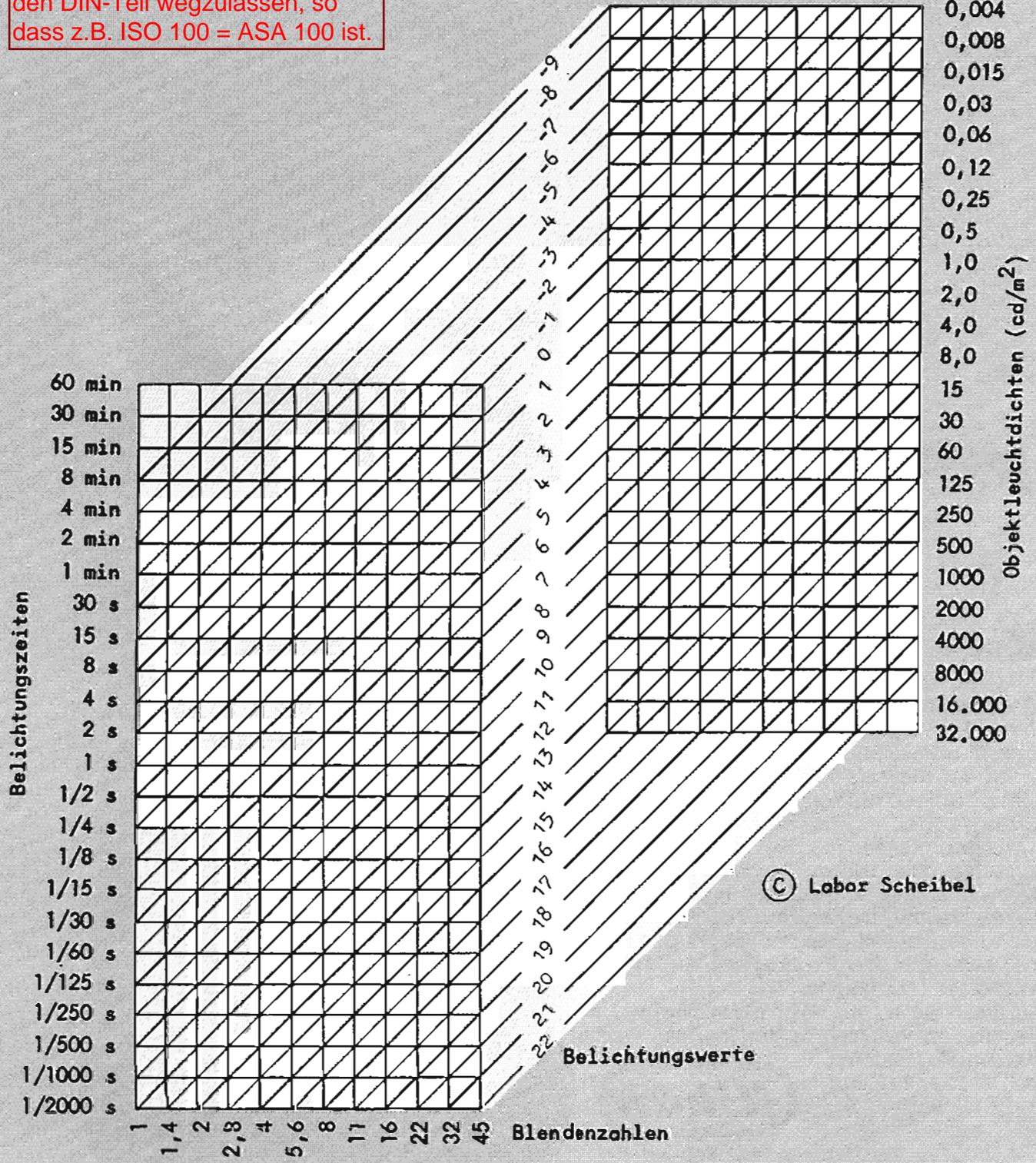
Im Diagramm S. 126 sind die Beziehungen zwischen Objektleuchtdichten, Filmempfindlichkeiten, Belichtungswerten, Blendenzahlen und Belichtungszeiten grafisch dargestellt. Die waagerechten Geraden für die Objektleuchtdichten schneiden sich mit den senkrechten Geraden für die Filmempfindlichkeiten (DIN/ASA) auf den zutreffenden Belichtungswert-Linien (diagonal verlaufend). Mit 250 cd/m² und 18-DIN-Film ergibt sich beispielsweise der Belichtungswert 10. Im linken unteren Teil des Diagramms schneiden sich die waagerechten Geraden der Belichtungszeiten mit den senkrechten Geraden der Blendenzahlen auf den zutreffenden Belichtungswert-Linien (diagonal). Bei Blende 11 und 1/250 sec liest man Belichtungswert 15 ab.

BLENDENWERTE		BELICHTUNGSZEITEN		FILMEMPFINDLICHKEIT			OBJEKTLEUCHTDICHTEN	
Blende	Av	Zeit	Tv	DIN	ASA	Sv	cd/m ²	Bv
0,7	-1	4 min	-8	6	3	0	0,008	-9
1,0	0	2 min	-7	9	6	1	0,015	-8
1,4	1	1 min	-6	12	12	2	0,03	-7
2,0	2	30 s	-5	15	25	3	0,06	-6
2,8	3	15 s	-4	18	50	4	0,12	-5
4,0	4	8 s	-3	21	100	5	0,25	-4
5,6	5	4 s	-2	24	200	6	0,5	-3
8	6	2 s	-1	27	400	7	1,0	-2
11	7	1 s	0	30	800	8	2,0	-1
16	8	1/2 s	1	33	1600	9	4,0	0
22	9	1/4 s	2	36	3200	10	8,0	1
32	10	1/8 s	3	39	6400	11	15	2
45	11	1/15 s	4				30	3
64	12	1/30 s	5				60	4
90	13	1/60 s	6				125	5
		1/125 s	7				250	6
		1/250 s	8				500	7
		1/500 s	9				1000	8
		1/1000 s	10				2000	9
		1/2000 s	11				4000	10
							8000	11
							16 000	12
							32 000	13

ISO entspricht ASA

ISO-Werte setzen sich normgemäß aus ASA und DIN zusammen wie bei ISO 100/21°. Es hat sich jedoch eingebürgert, den DIN-Teil wegzulassen, so dass z.B. ISO 100 = ASA 100 ist.

ASA-Werte (arithm.) 6 12 25 50 100 200 400 800 1600 3200 6400
 DIN-Werte 9 12 15 18 21 24 27 30 33 36 39



Das diagonale Linienfeld der Belichtungswerte verbindet die beiden Diagrammteile untereinander. Hier noch ein Beispiel, wie man mit dem grafischen Rechenwerk aus den bekannten Daten Objektleuchtdichte 1000 cd/m², Filmpflichtigkeit 24 DIN und Blendenzahl 5,6 die unbekanntenen Daten Belichtungswert und dazugehörige Belichtungszeit findet. Man verfolgt die Waagerechte für 1000 cd/m² bis zum Schnittpunkt mit der Senkrechten für 24 DIN. Jetzt steht man auf der Diagonalen für den Belichtungswert 14. Auf dieser geht man nach links unten weiter bis zum Schnittpunkt mit der Senkrechten für Blende 5,6. Von dort führt die Waagerechte nach links zur Belichtungszeit 1/500 sec. Ergebnis: Belichtungswert = 14 und Belichtungszeit = 1/500 sec. Nach dem gleichen Prinzip läßt sich das „grafische Rechenwerk“ in beliebiger Richtung „durchfahren“.

Das Diagramm erfüllt die gleichen Aufgaben wie die Rechnungen nach dem APEX-System. Es ist gewissermaßen als Alternative zu sehen. Wer etwas geübt ist im Lesen grafischer Darstellungen, wird darüber hinaus im „grafischen Rechenwerk“ sehr schön die übergeordneten Zusammenhänge erkennen. So wie beispielsweise den Ausgangspunkt der Belichtungswertskala: Blende 1,0 und 1 sec Belichtungszeit entspricht dem Belichtungswert 0. Das kann man sich leicht merken!

**EIN PAAR WORTE ÜBER
OBJEKTLEUCHTDICHTEN**

Wer schon länger das „Foto-Magazin“ liest, wird mit den Begriffen Blende, Belichtungszeit, Belichtungswert und Filmpflichtigkeit – und auch mit den zugehörigen Werteskalen – leicht umzugehen wissen. „Objektleuchtdichten“ klingt dagegen dem einen oder anderen etwas sehr technisch im Ohr. Was versteht man darunter? Vereinfacht ausgedrückt, handelt es sich um die Helligkeit des fotografischen Objekts. Es kann die reflektierte Helligkeit einer Person oder Landschaft sein. Oder die Helligkeit eines „Selbstleuchters“, wie z.

B. einer Lichtquelle. Das Maß für die Objektleuchtdichte ist cd/m² (Candela pro Quadratmeter); früher gebrauchte man das asb (Apostilb). Die Umrechnung:

1 cd/m² = 3,14 asb
1 asb = 0,318 cd/m²

Die fotometrischen Einheiten cd/m² oder auch asb bilden sozusagen die Brücke zwischen der Lichttechnik und den fototechnischen Daten. Damit sich der Leser etwas unter den Leuchtdichtewerten vorstellen kann, haben wir in untenstehender Tabelle Motive bzw.

Beleuchtungssituationen der Leuchtdichte-Skala (cd/m²) gegenübergestellt. Natürlich ist das keine Belichtungstabelle, sondern nur ein globaler Überblick.

Die Beziehung zwischen der Objektleuchtdichte als lichttechnischem Maß und den fototechnischen Daten (wie Zeit, Blende, usw.) wird über einen „Kalibrierfaktor“ oder eine „Kalibrierkonstante“ geregelt. Diese Einflußgröße kann in gewissen Grenzen beim Kalibrieren (Justieren) von Belichtungsmessern etc. frei gewählt

werden und eröffnet die Möglichkeit, Besonderheiten des Meßsystems und seiner Anwendung gewissermaßen auszugleichen. Wir kennen die Kalibrierkonstanten vieler externer und eingebauter Belichtungsmesser und haben als aktuellen Durchschnittswert 1,28 ermittelt. Unsere APEX-Tabellen und das „grafische Rechenwerk“ basieren auf der Kalibrierkonstante 1,28. In unserer Tabelle ist Bv = 8 der Objektleuchtdichte 1000 cd/m² zugeordnet. Sollte der Leser irgendwo dem Wertepaar Bv = 8 und 800 cd/m² begegnen, wurde dort die Kalibrierkonstante 1,00 zugrunde gelegt. Beide Werte sind gerundet. Der Unterschied zwischen den beiden Kalibrierungen beträgt übrigens etwa 1/3 Belichtungsstufe. Wir glauben, mit der Kalibrierkonstante 1,28 im günstigsten Einklang zur aktuellen Gerätetechnik zu stehen.

Zum Abschluß noch ein Beispiel für die Anwendung der APEX-Rechnung oder des „grafischen Rechenwerks“ beim Studium von technischen Daten. Für das Innenmeßsystem einer Spiegelreflexkamera ist der Arbeitsbereich mit Belichtungswerten von 1 bis 18 (für 21 DIN) angegeben. Welche längste Belichtungszeit mit Blende 1,4 und welche kürzeste Belichtungszeit mit Blende 22 kann die Belichtungsautomatik dieser Kamera (bei 21 DIN) steuern? Wie groß ist der Arbeitsbereich in cd/m²? Um die passende Zeit zu Belichtungswert und Blende herauszufinden, stellen wir die Formel ...

$B = Av + Tv$

einfach um in ...

$Tv = B - Av$

und rechnen entsprechend. Die Objektleuchtdichten findet man mit Hilfe der Formel ...

$Bv = Av - Sv + Tv$

Bitte rechnen Sie selbst oder benutzen das „grafische Rechenwerk“. Auf folgende Ergebnisse müßten Sie kommen: Der Meß- und Steuerungsbereich der genannten Kamera geht von Blende 1,4 und 1 sec bis Blende 22 und 1/500 sec (bei 21 DIN). Das entspricht Objektleuchtdichten zwischen 0,25 und 32 000 cd/m².

Josef Scheibel, Ing.

**MOTIVE, BELEUCHTUNG UND
ZUGEHÖRIGE OBJEKT-LEUCHTDICHTEN**

cd/m ²	Beispiele
0,004	Sternenlicht, Nachthimmel,
0,008	
0,015	Vollmond,
0,03	Kerzenlicht (nah),
0,06	
0,12	schwach bel. Straßen bei
0,25	Nacht, gemütliche
0,50	Zimmerbeleuchtung, ange-
1,0	strahlte Bauwerke, helle
2,0	Straßenbeleuchtung,
4,0	Innenräume mit heller Be-
8,0	leuchtung, Bühnen,
15	Personen vor hell beleuchte-
30	ten Schaufenstern, größeres
60	Diaprojektionsbild, Olympia-
125	Stadion München, trübe
250	Wintertage, stark bewölkt,
500	im Schatten bei Sonne,
1000	schwache Sonne,
2000	helle oder leicht ver-
4000	schleierte Sonne, strahlende
8000	Sonne im Sommer, Hochsommer-
16 000	Mittagssonne auf Schnee oder
32 000	hellem Sand,

© Labor Scheibel