

BELEUCHTUNGSSTÄRKE VON OPERATIONSFELDERN ALS FUNKTION DER STRAHLUNGSBELASTUNG UND FARBWIEDERGABE

Von

É. KASZAP, T. LANTOS, I. MOLNÁR und J. SCHANDA

Lehrstuhl für Elektrotechnik, Technische Universität Budapest

(Eingegangen am 6. Dezember 1974)

Vorgelegt von Doz. Dr. M. LUKÁTS

1. Einleitung

Von den zahlreichen Forderungen, die bei der Entwicklung von Operationslampen vor Augen zu halten sind, sind die bedeutendsten die folgenden:

- Beleuchtungsstärke,
- Strahlungsbelastung,
- Wärmebelastung,
- Farbwiedergabe.

Im allgemeinen kann man die folgenden Tendenzen beobachten:

- Erhöhung der Beleuchtungsstärke,
- Verminderung der Strahlungs- bzw. Wärmebelastung,
- Verbesserung der Farbwiedergabe.

Diese Kenndaten sind von der Strahlungsverteilung der Operationslampe abhängig, deshalb lassen sich ihre realisierbaren Werte auf Grund der strahlungstechnischen Prüfung der Operationslampe bestimmen.

Die im Auftrage des Forschungs- und Entwicklungsinstitutes der MEDICOR WERKE am Lehrstuhl für Elektrotechnik der Technischen Universität Budapest durchgeführten strahlungstechnischen Untersuchungen [1] wurden auf die Bestimmung der Zusammenhänge der obigen Kenndaten und ihrer realisierbaren Grenzwerte bzw. auf die — zu diesen notwendigen — Entwicklungsaufgaben gerichtet.

Die Ausgangsbasis für unsere theoretischen Untersuchungen ist der ideale Temperaturstrahler, *der schwarze Körper*. Die darauf bezogenen strahlungstechnischen Begriffe und Zusammenhänge lassen sich in Kenntnis des spektralen Emissionsfaktors der in den Lichtquellen angewandten *Selektivstrahler* auch für Lichtquellen anwenden. Bezüglich der im Leuchtkörper untergebrachten Lichtquellen lassen sich diese in Kenntnis der spektralen Kenndaten der optischen Elemente des Leuchtkörpers weiterformen.

2. Strahlungstechnische Begriffe und Zusammenhänge

2.1 Strahlung des schwarzen Körpers

Nach dem Planckschen Gesetz ist die spektrale Dichte der spezifischen Ausstrahlung des schwarzen Körpers:

$$M_{e\lambda}(\lambda, T) = c_1 \lambda^{-5} [\exp c_2 \lambda^{-1} T^{-1} - 1]^{-1}, \quad [W \cdot m^{-3}], \quad (1)$$

wobei

T — die Strahlungstemperatur,

λ — die Wellenlänge,

$$c_1 = 3,7415 \cdot 10^{-16} \quad W \cdot m^2,$$

$$c_2 = 1,43879 \cdot 10^{-2} \quad m \cdot K$$

sind.

Die spektrale Verteilung der spezifischen Ausstrahlung des schwarzen Körpers zeigt Abb. 1 im Falle von verschiedenen Strahlungstemperaturen. Das Maximum dieser Kurve verschiebt sich mit der Erhöhung der Temperatur des Strahlers in Richtung der kürzeren Wellenlänge. Laut des Wienschen Verschiebungsgesetzes ist das Produkt aus der Strahlungstemperatur und der

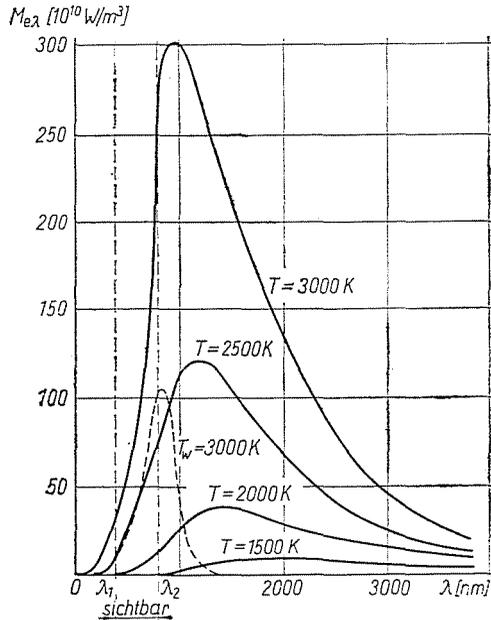


Abb. 1. Spektrale Verteilung der spezifischen Ausstrahlung
 ————— des schwarzen Körpers
 - - - - - des Wolfram-Strahlers
 ($\lambda_1 = 380 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 780 \text{ nm}$)

zur maximalen spektralen spezifischen Ausstrahlung gehörenden Wellenlänge konstant:

$$T \cdot \lambda_m = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}. \quad (2)$$

Die von dem schwarzen Körper mit Temperatur T ausgestrahlte spezifische Ausstrahlung — das Gebiet unter der entsprechenden Kurve in Abb. 1 — ist laut des Stefan-Boltzmannschen Strahlungsgesetzes der vierten Potenz der Temperatur proportional:

$$M_e = \sigma \cdot T^4 \quad [W \cdot m^{-2}], \quad (3)$$

wobei

$$\sigma = 5,6697 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}.$$

Der in den weiteren Zusammenhängen benutzte aus- bzw. eingestrahle spektrale Strahlungsfluß $\Phi_{e\lambda} [W \cdot m^{-1}]$ sowie die spektrale Bestrahlungsstärke $E_{e\lambda} [W \cdot m^{-3}]$ sind aus $M_{e\lambda}$ stammende Größen, so läßt sich ihre Verteilung bei idealen schwarzen Strahlern mit den der Abb. 1 ähnlichen glockenkurvenförmigen Funktionen beschreiben.

2.2 Selektive Strahler

Die bei den Lichtquellen angewandten strahlenden Materialien sind selektive Strahler. Ihr spektraler Strahlungsfluß weicht von dem des schwarzen Körpers ab. Diese Abweichung wird durch den spektralen Emissionsgrad $\varepsilon(\lambda)$ angegeben:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{M_{e\lambda}}{M_{e\lambda(\varepsilon=1)}}, \quad (4)$$

wobei

$M_{e\lambda}$ — die vom gegebenen selektiven Strahler,

$M_{e\lambda(\varepsilon=1)}$ — die vom schwarzen Körper stammende spektrale spezifische Ausstrahlung ist.

Die selektiven Strahler strahlen auf jeder Wellenlänge mit einer kleineren spektralen spezifischen Ausstrahlung als der schwarze Körper.

2.3 Aufteilung der optischen Strahlung nach Wellenlänge

Die sogenannte optische Strahlung wird im Wellenlängenbereich von 1 nm—1 mm auf weitere Teilgebiete aufgeteilt [2]:

Ultraviolett: Strahlung mit Wellenlängen von 1 nm bis 400 nm. Innerhalb der Ultraviolett-Strahlung unterscheidet man folgende Bereiche:

UV-A	315—400 nm,
UV-B	280—315 nm,
UV-C	100—280 nm.

Sichtbar: Die unmittelbar eine Sehempfindung hervorrufende Strahlung mit Wellenlängen von etwa 380 nm bis etwa 780 nm. In Abb. 1 liegt dieser Bereich zwischen λ_1 und λ_2 .

Infrarot: Die Wellenlänge ist größer als bei der sichtbaren Strahlung, jedoch überschreitet sie den Grenzwert von 1 mm nicht. Bereiche innerhalb der Infrarot-Strahlung:

IR-A	780 nm—1400 nm,
IR-B	1,4 μm — 3 μm ,
IR-C	3 μm — 1 mm.

3. Bestimmung der strahlungs- und lichttechnischen Kenndaten

Die spezifische Ausstrahlung der Lichtquelle:

$$M_e = \int_0^{\infty} M_{e\lambda} d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}]. \quad (5)$$

Dieselbe bei einem mit optischem Filter und reflektierendem Element ergänzten Strahlungssystem, z. B. bei einer Operationslampe:

$$M'_e = \int_0^{\infty} M_{e\lambda} \tau(\lambda) \varrho(\lambda) d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}], \quad (6)$$

wobei

$\tau(\lambda)$ — der spektrale Transmissionsgrad und
 $\varrho(\lambda)$ — der spektrale Reflexionsgrad sind.

Die Bestrahlungsstärke des Operationsfeldes, d. h. die Strahlungsbelastung:

$$E_e = \int_0^{\infty} E_{e\lambda} d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}], \quad (7)$$

wobei $E_{e\lambda}$ — die spektrale Bestrahlungsstärke ist.

Aus dem Aspekt der *Wärmebelastung des Operationsfeldes* besitzt nicht der Infraanteil der Strahlung allein eine Bedeutung. Die Wärmebelastung bedeutet — unabhängig von der Wellenlänge — den absorbierten Gesamtanteil der Bestrahlungsstärke:

$$E_a = \int_0^{\infty} E_{e\lambda} \alpha(\lambda) d\lambda \quad [W \cdot m^{-2}], \quad (8)$$

wobei $\alpha(\lambda)$ — der spektrale Absorptionsgrad der Oberfläche ist.

Die Beleuchtungsstärke des Operationsfeldes entspricht — wie die Beleuchtungsstärke im allgemeinen — der sichtbaren Strahlung gemäß Empfindung:

$$E_v = K_m \int_0^{\infty} E_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda \quad [lx], \quad (9)$$

wobei

$K_m = 680 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$ der Maximalwert des spektralen fotometrischen Strahlungsäquivalents,

$V(\lambda)$ — des spektralen Hellempfindlichkeitsgrades [2] sind.

Die Strahlung verschiedener Wellenlängen wird mit verschiedener Empfindlichkeit vom menschlichen Auge empfunden. Der *Hellempfindlichkeitsgrad* drückt ihr Maß aus, dessen Verteilung — für Tagessehen — durch die spektrale *Hellempfindlichkeitsfunktion* $V(\lambda)$ (Abb. 2) angegeben wird. Ihre Wirkung ist aus Abb. 3 ersichtlich. Wenn die Lichtquelle mit einem spektralen Strahlungsfluß $\Phi_{e\lambda}$ laut Abb. 3/a strahlt, wird der gesamte ausgestrahlte Strahlungsfluß von der Fläche unter der Kurve bestimmt. Sichtbare Strahlung bedeutet nur den in das Wellenlängenbereich zwischen λ_1 und λ_2 fallenden Teil der Strahlung, die schraffierte Fläche in Abb. 3/b. Eine Sehempfindung wird aber nur durch den Strahlungsfluß proportional der Fläche unter der Kurve $\Phi_{e\lambda} \cdot V(\lambda)$ in Abb. 3/c hervorgerufen.

Die *Lichtausbeute* ist der Quotient des ausgestrahlten, als Licht empfindbaren Strahlungsflusses — d. h. des Lichtstromes — und der aufgenommenen Leistung:

$$\eta_v = \frac{K_m \int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda}{P} \quad [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}]. \quad (10)$$

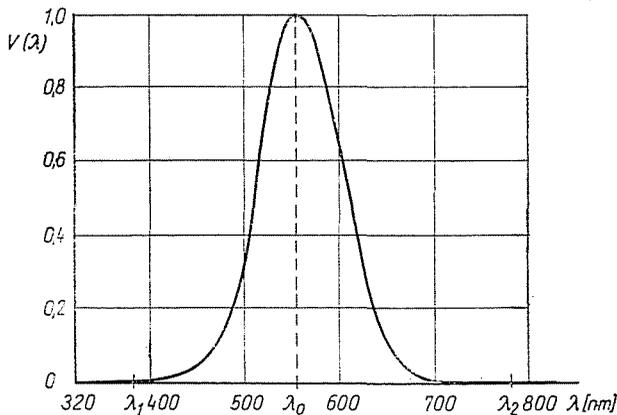


Abb. 2. Spektrale Hellempfindlichkeitsfunktion
($\lambda_1 = 380 \text{ nm}$, $\lambda_0 = 555 \text{ nm}$, $\lambda_2 = 780 \text{ nm}$)

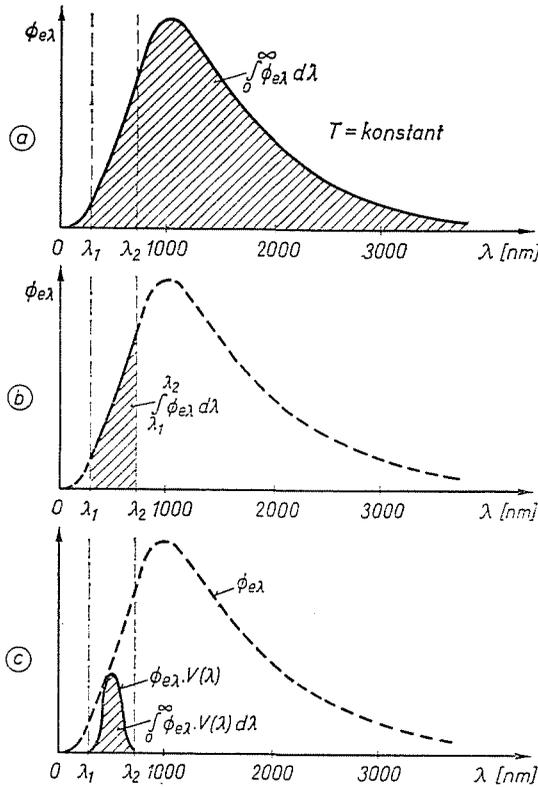


Abb. 3. Zur Wertung der Wirkungsgrade

Zur Kennzeichnung der *Farbwiedergabe* wird meistens das Maß der Farbverzerrung auf bestimmten Farbmustern angewandt. Die mathematische Abfassung des Farbwiedergabeindexes ist komplizierter, sie geht über die Grenzen dieses Artikels. (Bezüglich der z.Z. gültigen Definitionen und Berechnungsverfahren siehe z.B. [3].) Die Frage der Farbwiedergabe ist in der Krankenhauspraxis von entscheidender Bedeutung [4]. Die Farben der gesunden und kranken menschlichen Organe und Körperteile sind verschieden. Die schnelle und genaue Erkennung dieser Farbänderungen kann die Arbeit des Arztes wesentlich erleichtern. In manchen Fällen hilft die verzerrte Farbwiedergabe bei dem Diagnostizieren. Trotz alledem sind die notwendigen Farbwiedergabeforderungen bei der Beleuchtung von Operationsfeldern bis heute nicht eindeutig bestimmt. Es sind in diesem Thema weitere Versuche unter Einbeziehung praktizierender Ärzte notwendig.

Der Wert des *Lichtwirkungsgrades* — des sogenannten visuellen Wirkungsgrades — gibt eine Möglichkeit zur Auswertung der Lichtwirkung von Strah-

lern. Das ist das Verhältnis zwischen dem von der Lichtquelle ausgestrahlten sichtbaren und dem gesamten Strahlungsfluß:

$$V = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} d\lambda}, \quad (11)$$

d. h. das Verhältnis zwischen den schraffierten Flächen in Abb. 3/c und 3/a, dessen Wert — im Falle einer Strahlung des schwarzen Körpers — als Funktion der Strahlungstemperatur laut Abb. 4 gebildet wird. Das strahlende Material der bei den Operationslampen angewandten Glühlampen ist Wolfram, dessen spektraler Emissionsgrad bei 3000 K in Abb. 5 gezeigt wird [5]. Seine Strahlungsverteilung wurde in Abb. 1 mit gestrichelter Linie eingezeichnet. Das Wolfram — als selektiver Strahler — besitzt bei jeder Wellenlänge einen kleineren spektralen Strahlungsfluß, als der schwarze Körper gleicher Temperatur, aber es fällt ein größerer Anteil seiner Strahlung in den sichtbaren Bereich, deshalb ist seine Lichtausbeute (Abb. 6) — und so auch sein Lichtwirkungsgrad — größer, als die des schwarzen Körpers.

Es ist aber zu bemerken, daß die für den schwarzen Körper bei 6500 K bekommene maximale — etwa 14%ige — Lichtausbeute mit Wolfram nicht zu erreichen ist, weil eine so hohe Temperatur mit Wolfram nicht verwirklicht werden kann (Schmelzpunkt 3653 K).

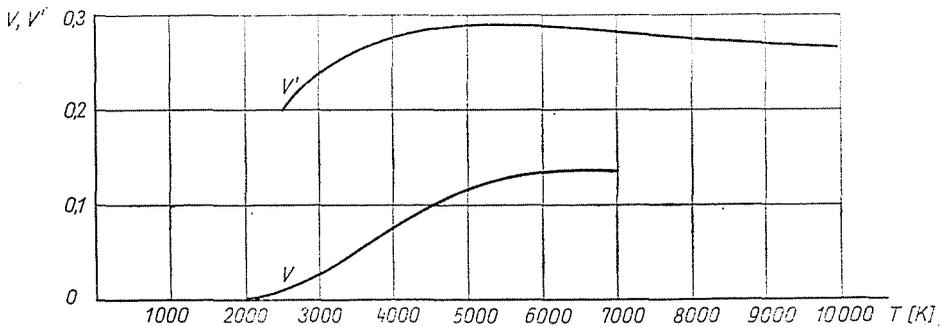


Abb. 4. Lichtwirkungsgrad (V) und Anpassungswirkungsgrad (V') des schwarzen Körpers

Bei den Operationslampen wird die Lichtquelle in einem über entsprechende optische Kenndaten verfügenden Leuchtkörper untergebracht. Zur Charakterisierung des den Ansprüchen auf diese Art angepaßten optischen Systems wurde der von uns als *Anpassungswirkungsgrad* benannte Begriff

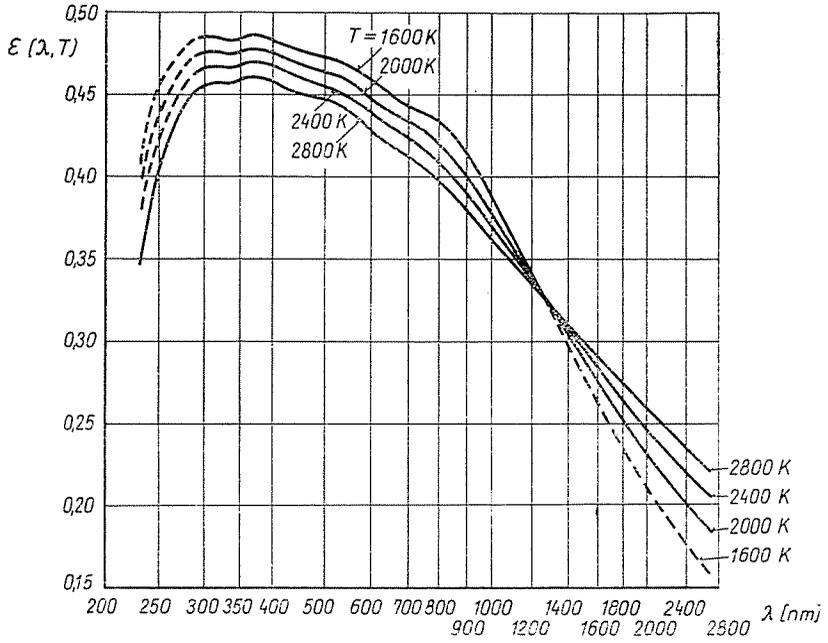


Abb. 5. Spektraler Emissionsgrad des Wolframs

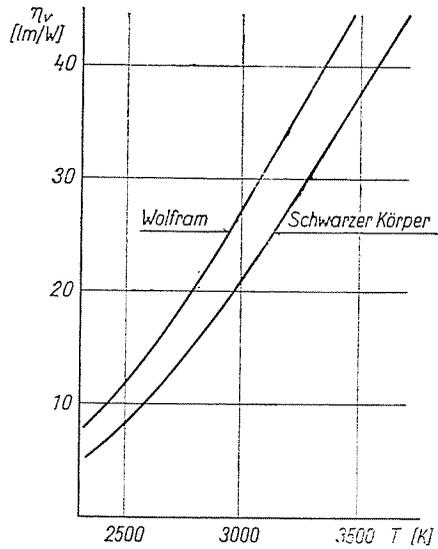


Abb. 6. Lichtausbeute des Wolframs und des schwarzen Körpers

eingeführt, dessen allgemeine mathematische Bestimmung lautet:

$$V' = \frac{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} \varrho(\lambda) \tau(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \Phi_{e\lambda} \varrho(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda} . \quad (12)$$

Das ist das Verhältnis zwischen dem von dem System ausgestrahlten sichtbaren und dem von ihm ausgestrahlten gesamten Strahlungsfluß. Es ist im wesentlichen der Lichtwirkungsgrad irgendeines — den spektralen Ansprüchen entsprechend geformten — optischen Systems.

Im Zusammenhang (12) sind:

$\varrho(\lambda)$ — der spektrale Reflexionsgrad der im optischen System untergebrachten spiegelnden Flächen,

$\tau(\lambda)$ — der spektrale Transmissionsgrad des angewandten Filters.

Mit Hilfe von entsprechenden Filtern kann die Farbtemperatur der Strahlung von Operationslampen über die mit Wolfram-Glühlampen erreichbare maximale Temperatur erhöht werden.

4. Beziehung zwischen der Beleuchtungsstärke und der Wärmebelastung von Operationsfeldern

Der Licht- bzw. Anpassungswirkungsgrad läßt sich aus der spektralen Bestrahlungsstärke $E_{e\lambda}$ ähnlicherweise bestimmen. So kann man auf Grund der vorliegenden Zusammenhänge die Beleuchtungsstärke durch die Strahlungsbelastung und den entsprechenden Wirkungsgrad ausdrücken.

Die von der Operationslampe hervorgerufene Beleuchtungsstärke ist somit:

$$E'_v = K_m \cdot E'_e \cdot V' \quad [lx]. \quad (13)$$

Wie schon in der Einführung erwähnt, ist die Hauptforderung an eine Operationslampe, eine je größere Beleuchtungsstärke bei je kleinerer Wärmebelastung zu sichern. Eine auf der Hand liegende Art für die Erhöhung der Beleuchtungsstärke wäre die Erhöhung der Temperatur — d. h. der Ausstrahlung — des entsprechend ausgewählten Strahlers. Dadurch wird aber auch die Strahlungs- und Wärmebelastung des Operationsfeldes erhöht. In den Operationslampen müssen deshalb sogenannte Wärmefilter angewandt werden, die die nicht sichtbare, doch eine Wärmebelastung hervorrufende Strahlung absorbieren. Für die entsprechende Abführung der von dem Filter absorbierten Strahlung muß natürlich gesorgt werden.

Im Laufe unserer Forschungen wurden theoretische Untersuchungen zur Bestimmung der mit den verschiedenen Filtertypen erreichbaren Beleuchtungsstärke-Grenzwerten durchgeführt. Als erster Schritt wurde ein idealer Strahler untersucht, der im ultravioletten und infraroten Bereich überhaupt nicht strahlt, im sichtbaren Bereich aber eine Strahlungsflußverteilung wie der schwarze Körper aufzeigt. Es wird also von ihm nur die in Abb. 3/b schraffierte Strahlung ausgestrahlt. Ein solcher Strahler läßt sich theoretisch ableiten, wenn man den Ultraviolett- und Infrarot-Bereich der Strahlung des schwarzen Körpers mit einem idealen — außerhalb des sichtbaren Bereiches vollkommen absorbierenden, im sichtbaren aber vollkommen durchlässigen — optischen Filter abschwächt. Dadurch wird die Wärmebelastung der beleuchteten Fläche in großem Maße vermindert, ohne die Lichtwirkung, also die Beleuchtungsstärke zu verringern.

Es wurden Anpassungswirkungsgrad-Werte einer mittels solcher idealen Filter auf den sichtbaren Bereich beschränkten Strahlung des schwarzen Körpers für verschiedene Verteilungstemperaturen ausgerechnet. Aus Diagramm V' in Abb. 4 ist ersichtlich, daß diese Werte bei allen Temperaturwerten größer, als die des Lichtwirkungsgrades des schwarzen Körpers ohne Filter sind. Das allein bedeutet noch keine größere Beleuchtungsstärke, sondern eine kleinere Wärmebelastung bei gleicher Beleuchtungsstärke. Dadurch wird die Möglichkeit gegeben, mit einer größeren eingespeisten Leistung den ausgestrahlten Strahlungsfluß und so die Beleuchtungsstärke bei entsprechend kleiner Wärmebelastung zu erhöhen.

Die Tabelle gibt die auf diese Art erreichbaren Beleuchtungsstärken von bei verschiedenen Temperaturen strahlenden schwarzen Körpern an. Als Ausgangswert unserer Berechnungen wurde die zulässige Strahlungsbelastung für die Operationsfläche mit $250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ aufgenommen [6].

T [K]	E'_v [lx]
3 0 0 0	4 0 5 9 6
4 0 0 0	4 7 5 6 6
5 0 0 0	4 9 3 5 1
5 2 5 0	4 9 4 7 0
5 5 0 0	4 9 3 6 8
6 0 0 0	4 9 0 9 6
6 5 0 0	4 8 6 7 1
7 0 0 0	4 8 2 0 0

Aus der Tabelle ist ersichtlich, daß sich die von der Operationslampe hervorgerufene Beleuchtungsstärke unter Anwendung eines idealen Filters bis $49,5 \text{ klx}$ erhöhen läßt. Ein mit einem solchen idealen Filter ausgerüsteter Strahler — mit Rücksicht darauf, daß die spektrale Strahlungsverteilung innerhalb des sichtbaren Bereiches unverzerrt ist — entspricht hinsicht-

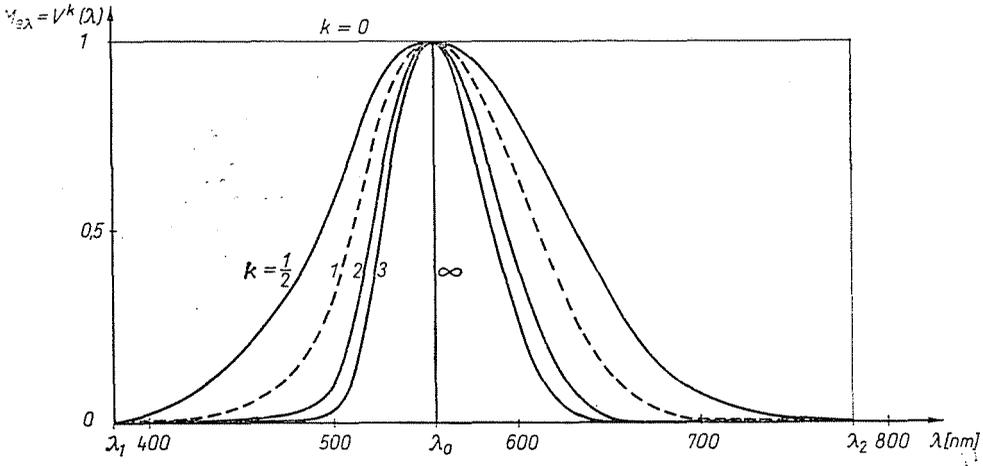


Abb. 7. Spektrale Verteilung der spezifischen Ausstrahlung der Strahlungen nach der Funktion $V^k(\lambda)$

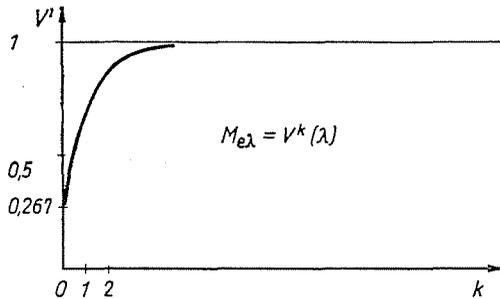


Abb. 8. Anpassungswirkungsgrad der Strahlung nach der Funktion $V^k(\lambda)$

lich Farbwiedergabe dem gleichen Strahler ohne Filter. Aus den Daten der Tabelle ist ferner ersichtlich, daß der Wert der maximalen Beleuchtungsstärke in den für den günstigsten geltenden Farbtemperaturbereich von 5000—6000 K fällt.

Die realen Filter absorbieren auch einen Teil der Strahlung innerhalb des sichtbaren Bereiches und lassen einen Teil der außerhalb des sichtbaren Bereiches fallenden Strahlung durch. Deshalb weichen auch die Werte des realisierbaren Anpassungswirkungsgrades von den vorhergehenden ab. Als weiterer Unterschied gilt, daß die realen Lichtquellen selektive Strahler sind, deren spektrale Strahlungsflußverteilung von der des schwarzen Körpers abweicht.

Wenn man mit entsprechenden Filtern auch die Strahlung mit kleinerer Lichtausbeute innerhalb des sichtbaren Bereiches ausfiltert, läßt sich die Wärmebelastung bei praktisch unveränderter Beleuchtungsstärke, aber auf

Kosten der Farbwiedergabe, weiter vermindern. Als Resultat ergibt sich die Erhöhung des Anpassungswirkungsgrades und die Möglichkeit, die Beleuchtungsstärke durch die Erhöhung des Strahlungsflusses weiter zu steigern. Als zweiter Schritt wurden die so erzielbaren Strahlungsverteilungen und die mit diesen erreichbaren Grenzwerte untersucht.

Mit Rücksicht darauf, daß die spektrale Hellempfindlichkeitskurve glockenförmig ist, wird die von dem Auge empfundene Strahlungsflußverteilung auch ähnlich sein (siehe Abb. 3/c). Am zweckmäßigsten schien es deshalb die Lösung unter den Potenzfunktionen der $V(\lambda)$ Kurve zu suchen [1]. In Abb. 7 wurde die Gestalt einiger solchen Funktionen aufgezeichnet. Sie sind prinzipiell, mit entsprechenden Filtern, realisierbar.

Für den Fall verschiedener Potenzen wurde der Anpassungswirkungsgrad der Strahlung nach der Funktion $V^k(\lambda)$ ausgerechnet (Abb. 8). Der Wert bei $k = 0$, d. h. im Falle des äquiennergetischen Strahlers, beträgt 26,7%. Mit der Erhöhung des Exponenten wird der Anpassungswirkungsgrad exponentiell erhöht und seinen größten Wert, 100% bekommt man bei $k = \infty$. Das bedeutet die monochromatische Strahlung mit der Wellenlänge von 555 nm.

Laut unserer Prüfung [7] läßt sich die auf diese Art erreichbare maximale Beleuchtungsstärke beim schwarzen Körper — abhängig von den Farbwiedergabeforderungen — bis zu 170 000 lx, unter Beibehaltung der Strahlungsbelastungsgrenze von $250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ erhöhen. Da mit der Erhöhung des Exponenten „ k “ das von dem Auge empfundene Wellenlängenbereich immer enger und so die Farbwiedergabe vermindert wird, läßt sich das theoretische Maximum von 170 000 lx nur im Falle erreichen, wenn man die Farbwiedergabeforderungen völlig aufgibt. Bei der Beleuchtung von Operationsfeldern läßt sich also dieser Grenzwert nicht mehr als reell betrachten. Die genaue Bestimmung der realisierbaren Grenzwerte auf Grund des Vorhergehenden ist nur nach der Klärung der Farbwiedergabeforderungen möglich. Eine reelle Lösung wäre die Bildung einer Filterkombination, die über 630–650 nm schon keine Strahlung mehr durchläßt. Da die Glühlampen unter 430 nm — unterer Grenzwert für befriedigende Farbwiedergabe — kaum strahlen, ist die Ausfilterung des Spektralbereiches zwischen 630–780 nm am wichtigsten. Das würde auch gleichzeitig die Erhöhung des Wertes der zulässigen maximalen Beleuchtungsstärke etwa auf das Zweifache ermöglichen.

Weitere Möglichkeiten bietet die Anwendung von Linien- bzw. Bandstrahlern, die in den für die Farbwiedergabe wichtigen Spektralbereichen eine hohe Ausstrahlung aufweisen [8]. Genauere Werte können zur Zeit über eine solche Lösung noch nicht gegeben werden, da die quantitativen Anforderungen der Chirurgen bezüglich der Farbwiedergabe noch nicht bekannt sind.

Zusammenfassung

Die Verfasser legen die auf dem Gebiet der Operationslampen am Lehrstuhl für Elektrotechnik der Technischen Universität Budapest durchgeführten strahlungstechnischen Untersuchungen dar. Sie bestimmen den Begriff des Anpassungswirkungsgrades und seine numerischen Werte im Falle verschiedener Strahlungsverteilungen und geben die Art der Berechnung der mit Operationslampen realisierbaren maximalen Beleuchtungsstärke an. Es werden konkrete Rechenergebnisse für vorausgesetzte Strahlungsverteilungen mitgeteilt.

Literatur

1. Tanulmány műtőlámpák fejlesztésével kapcsolatos vizsgálatokról I. Teil. Fényforrások. Manuskript. Lehrstuhl für Elektrotechnik, TU Budapest, 1972.
2. Internationales Wörterbuch der Lichttechnik CIE N^o. 17. (E-1.1) 1970. 3. Auflage.
3. Dr. SCHANDA J.: A színvisszaadás fogalma és mérőszáma. Kolorisztikai értesítő. 1972. H. 11–12. S. 279–288.
4. Dr. SCHANDA J.: A színvisszaadás az orvosi fénytechnikában. Villamosság 22. 1974. H. 7. S. 198–201.
5. E. HELBIG: Lichtmeßtechnik. Akademischer Verlag Leipzig, 1972. S. 71.
6. IES Lighting handbook. The standard lighting guide. 5. ed. New York, 1972. p. 12–12.
7. Tanulmány műtőlámpák fejlesztésével kapcsolatos vizsgálatokról. Manuskript. Lehrstuhl für Elektrotechnik, TU Budapest, 1973.
8. W. A. THORNTON: Matching Lights, Metamers, and Human Visual Response. J. Color & App 2/1. 23–9. 1973.

Éva KASZAP

Dr. Tibor LANTOS

Dr. István MOLNÁR

Dr. János SCHANDA

H-1521 Budapest