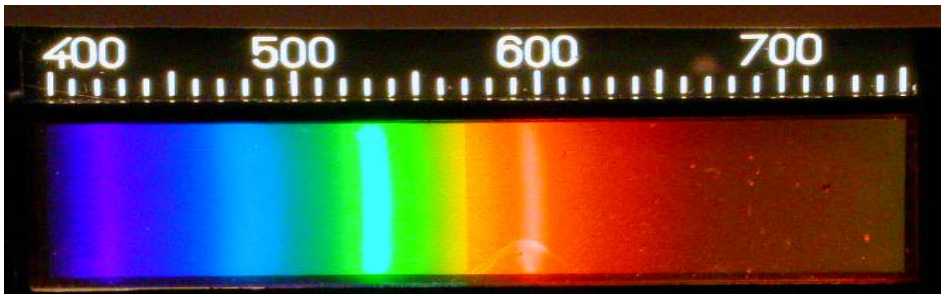
Light for Vitality
7.November, Dresden

Welche Lichtfarbe braucht der Mensch ?

D. GALL TU Ilmenau

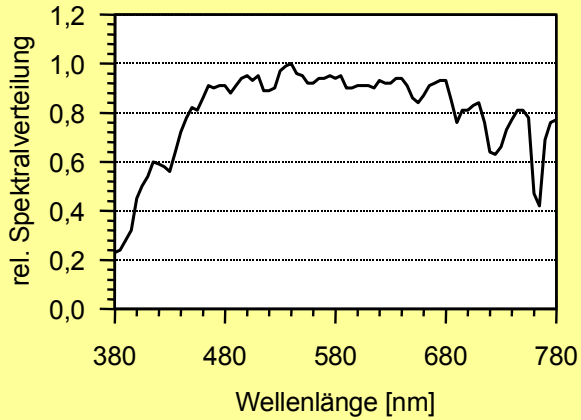
Na-Niederdruck-
lampe



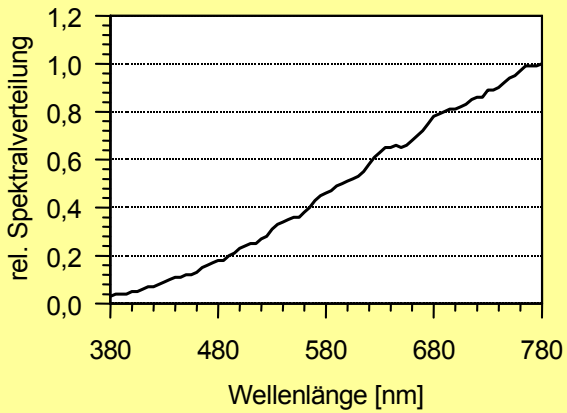
Dreibanden-
Leuchtstofflampe

Tageslicht

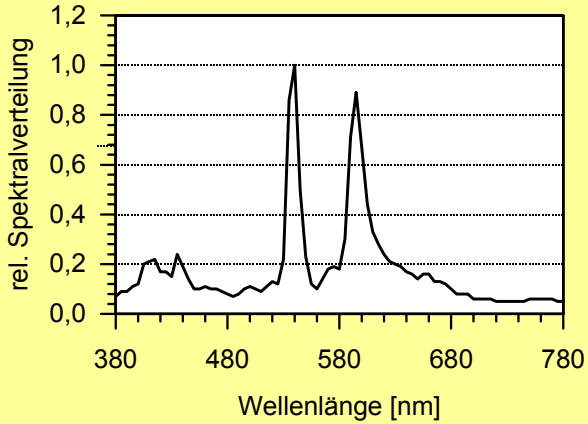
Spektrenverteilung einiger Lichtquellen



direkte Sonne
CCT: 5080 K

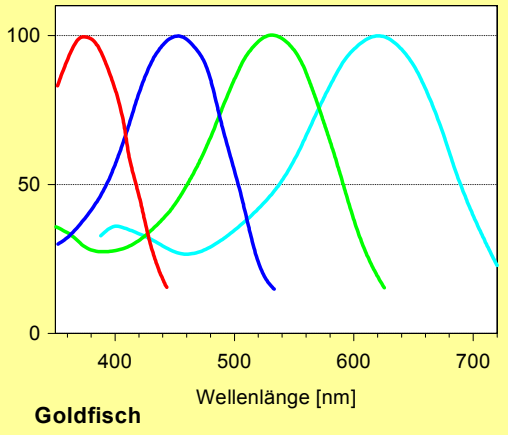


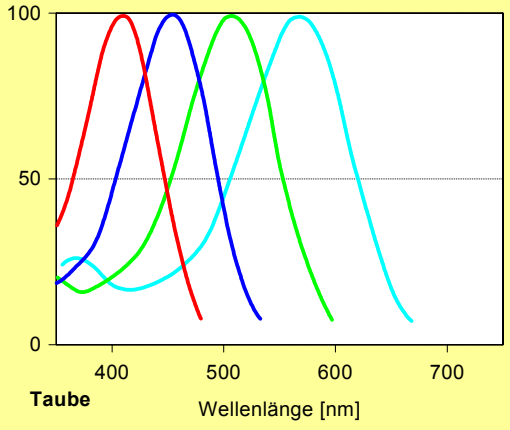
Glühlampe
CCT: 2800 K

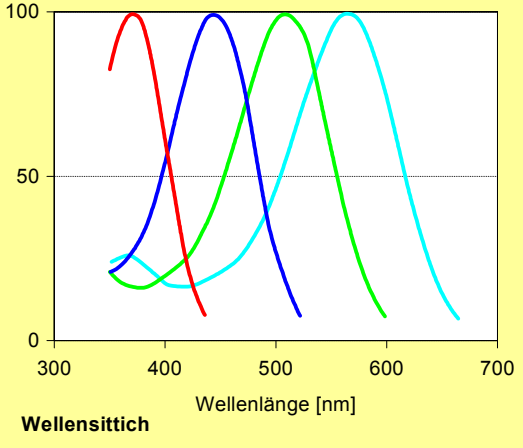


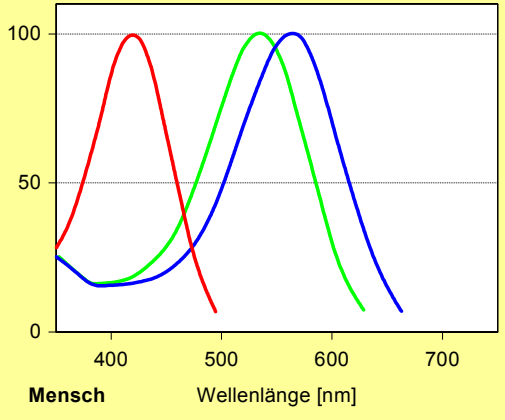
Halogenmetalldampflampe
CCT: 3630 K

Spektrale Absorptionskurven der Empfänger

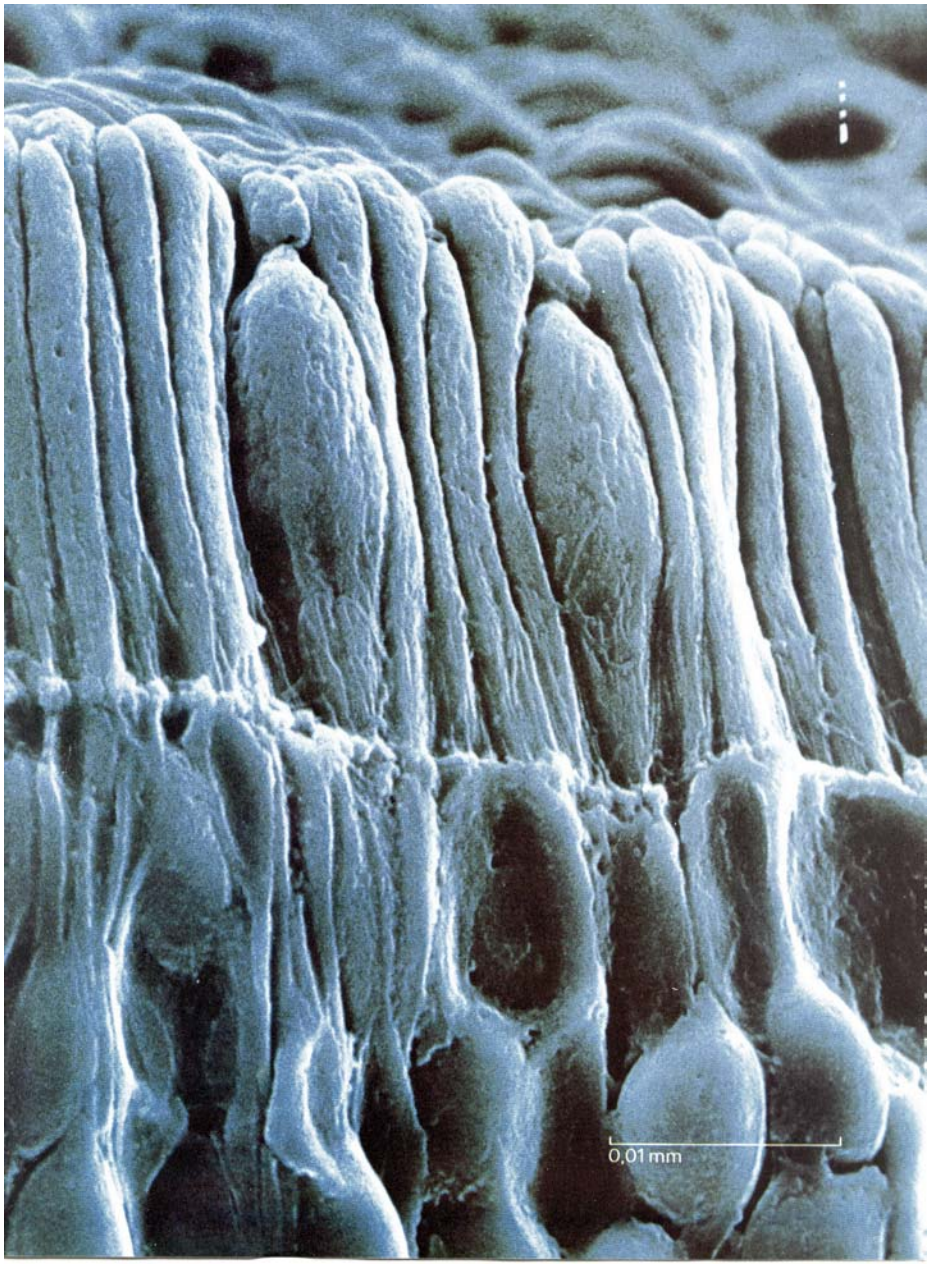








(R.SÖLCH 1998)



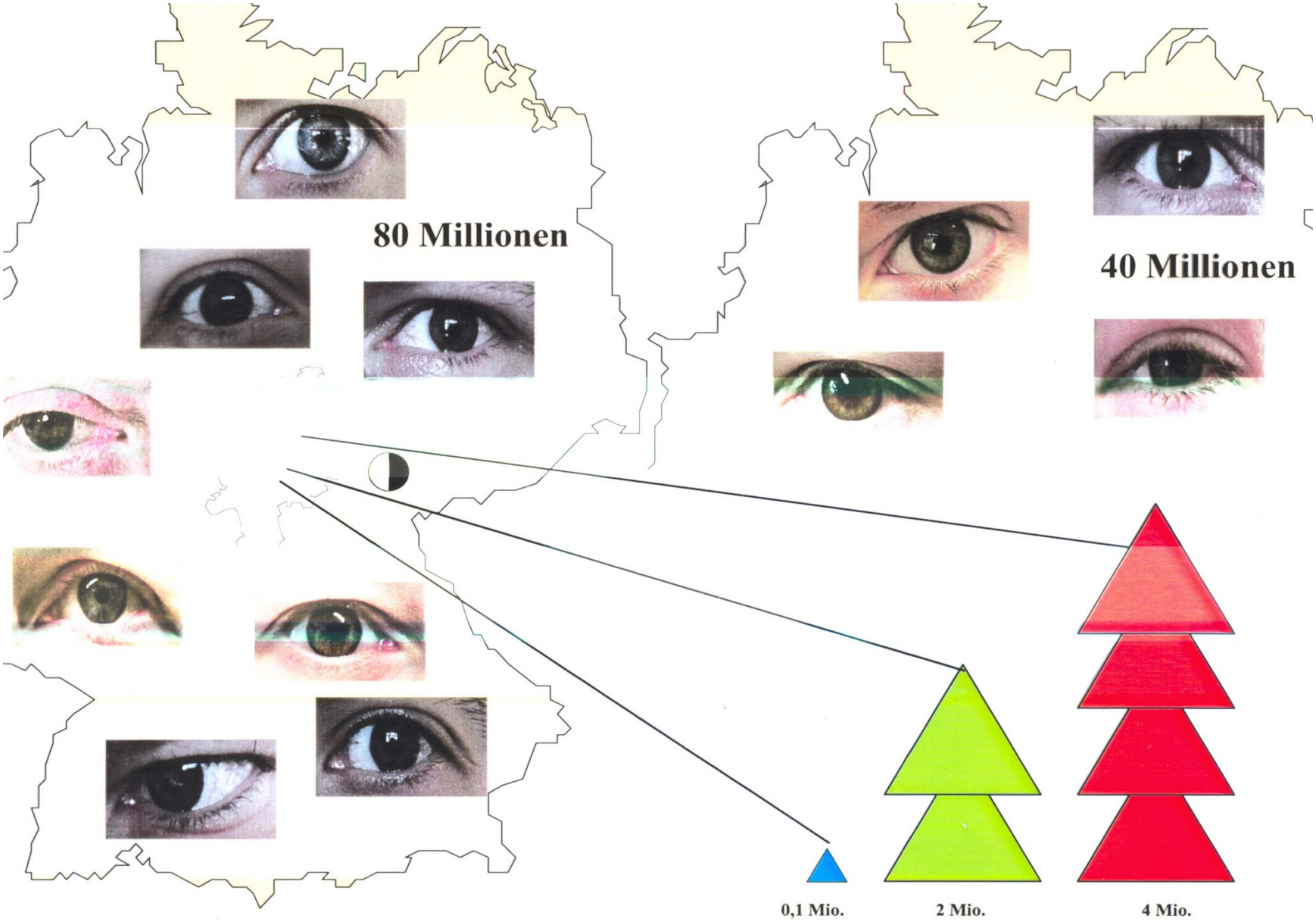
Netzhaut: Zapfen und Stäbchen

aus: Bild der Wissenschaft 1975

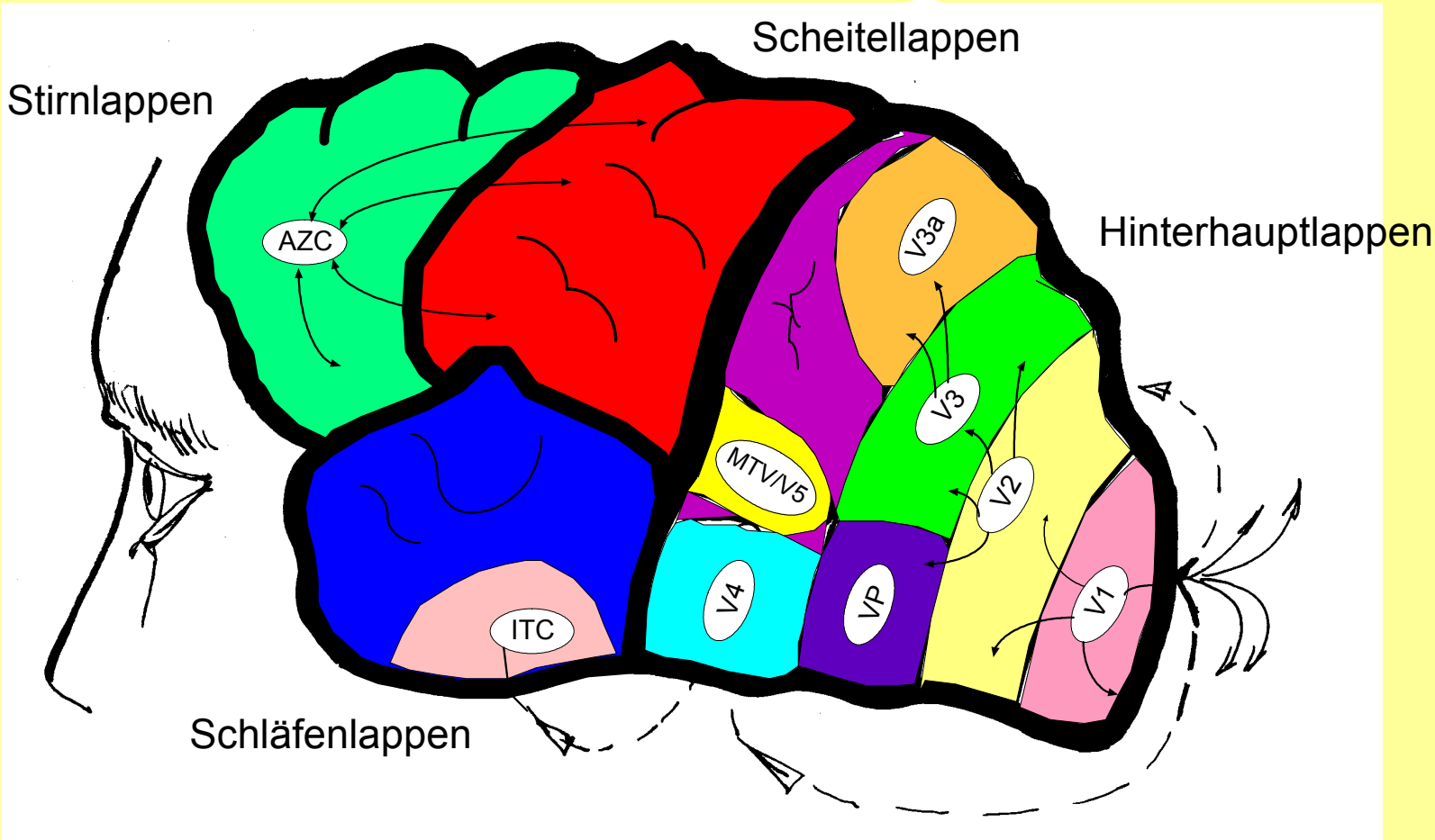
Übergangsstufen zum dreidimensionalen Farbensehen

Entwicklungs-stufen	...	Entwicklungsstufe 2 (2 Empfindungsdi-mensionen)	Entwicklungsstufe 2 B (2 Empfindungsdi-mensionen)	...	Entwicklungsstufe 3 (3 Empfindungs-dimensionen)
Zapfen der Netzhaut	...	K-Zapfen M-Zapfen	K-Zapfen M-Zapfen L-Zapfen	...	K-Zapfen M-Zapfen L-Zapfen
Neutronale Kanäle	...	Hell/Dunkelkanäle K/M-Kanäle	Hell/Dunkelkanäle K/ML-Kanäle	...	Hell/Dunkelkanäle K/ML-Kanäle M/L-Kanäle
Empfindungs-paare	...	Weiß/Schwarz Urfarbe X/Urfarbe Y	Weiß/Schwarz Urfarbe X/Urfarbe Y	...	Weiß/Schwarz Gelb/Blau Rot/Grün

(R. SÖLCH 1998)


80 Millionen
40 Millionen
0,1 Mio.
2 Mio.
4 Mio.

Das menschliche Gehirn



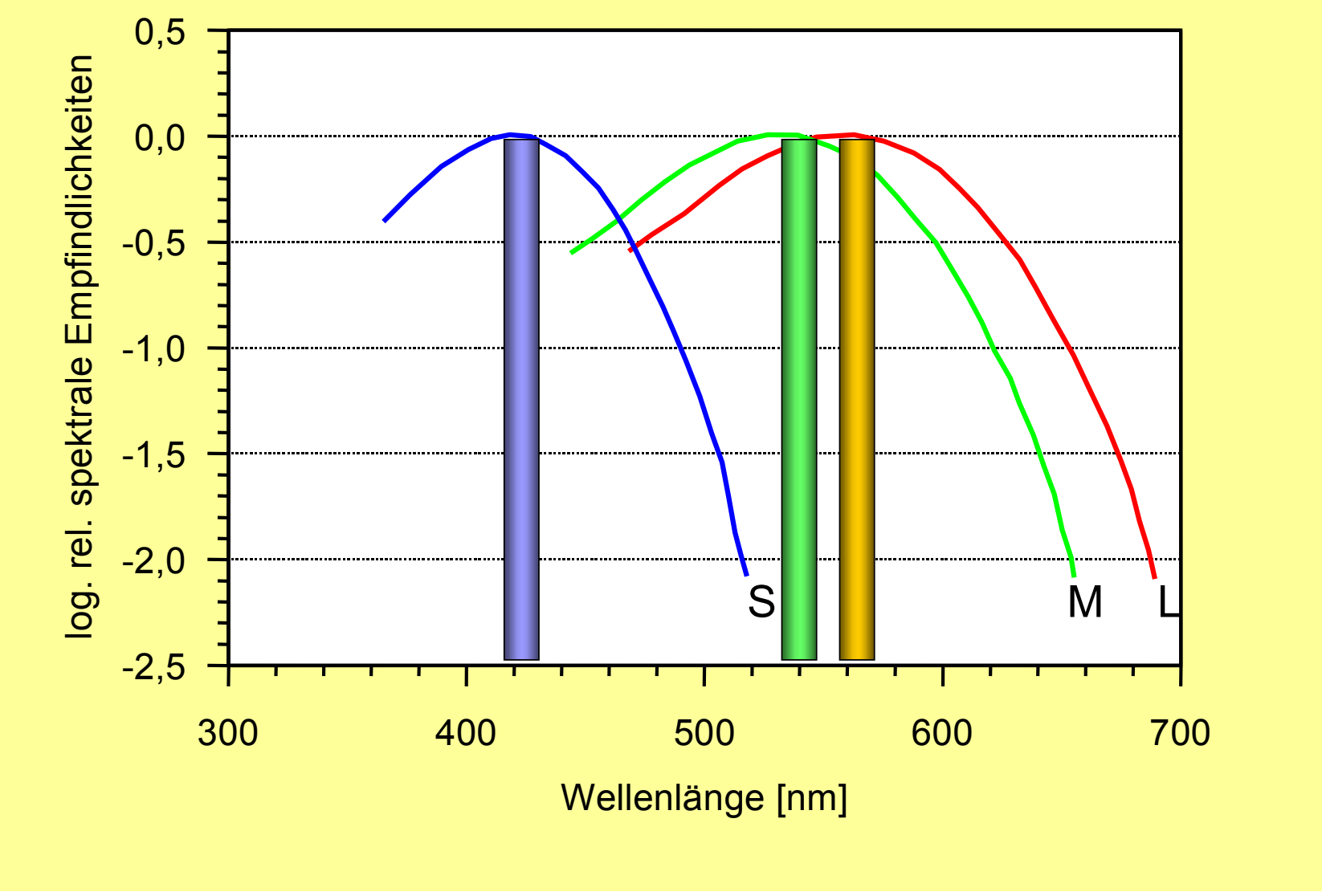
Kriterien bei der Spektrenauswahl:

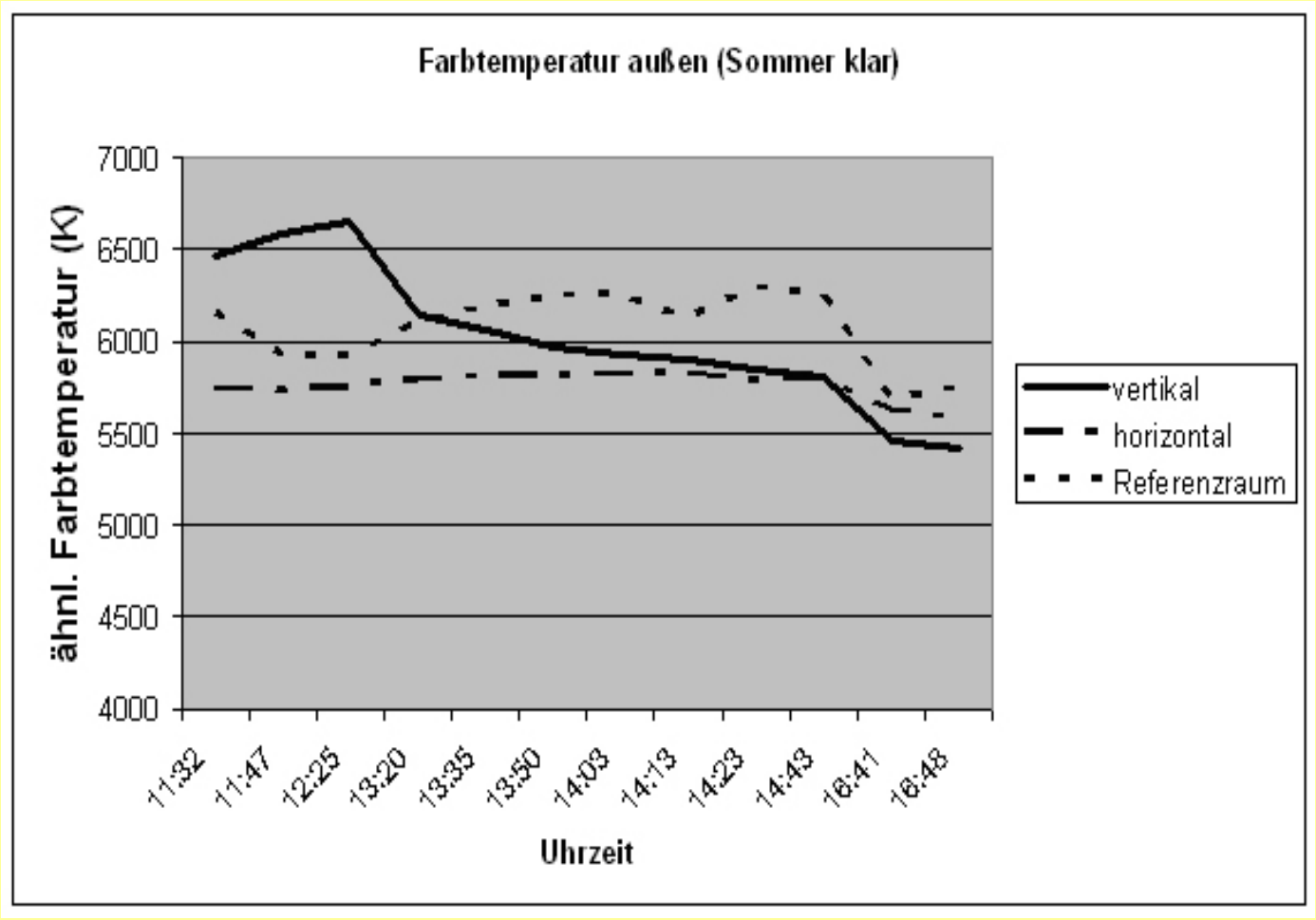
- Lichtausbeute
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Sehfunktionen
- Schädigungspotentiale
- circadiane Beeinflussung (Gesundheitsanteil)

Kriterien bei der Spektrenauswahl:

- Lichtausbeute
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Sehfunktionen
- Schädigungspotentiale
- circadiane Beeinflussung (Gesundheitsanteil)

Rel. Spektrale Empfindlichkeit (Absorption) der optischen Sensoren im Auge




Farbtemperatur außen (Sommer klar)
ähnl. Farbtemperatur (K)
7000
6500
6000
5500
5000
4500
4000
11:32
11:47
12:25
13:20
13:35
13:50
14:03
14:13
14:23
14:43
16:41
16:48
Uhrzeit
vertikal
horizontal
Referenzraum

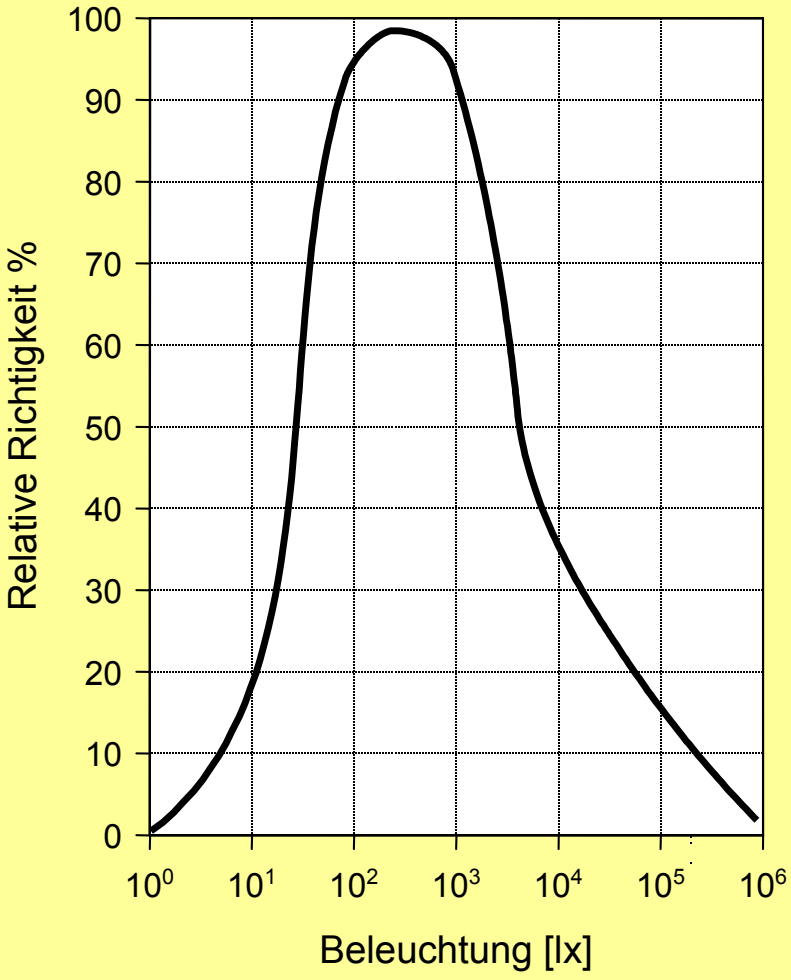
S. VOGEL (2003)

Stimmungsattribute für verschiedene Lichtfarben

	Lichtfarben		
Beleuchtungs-stärke	**Warmton**	**Weiß**	**Tageslicht**
über 3000 lx	übertrieben künstlich	freundlich lebendig	freundlich
700 – 3000 lx	freundlich	freundlich	neutral
unter 700 lx	dämmrig	dämmrig trübe	dämmrig kalt

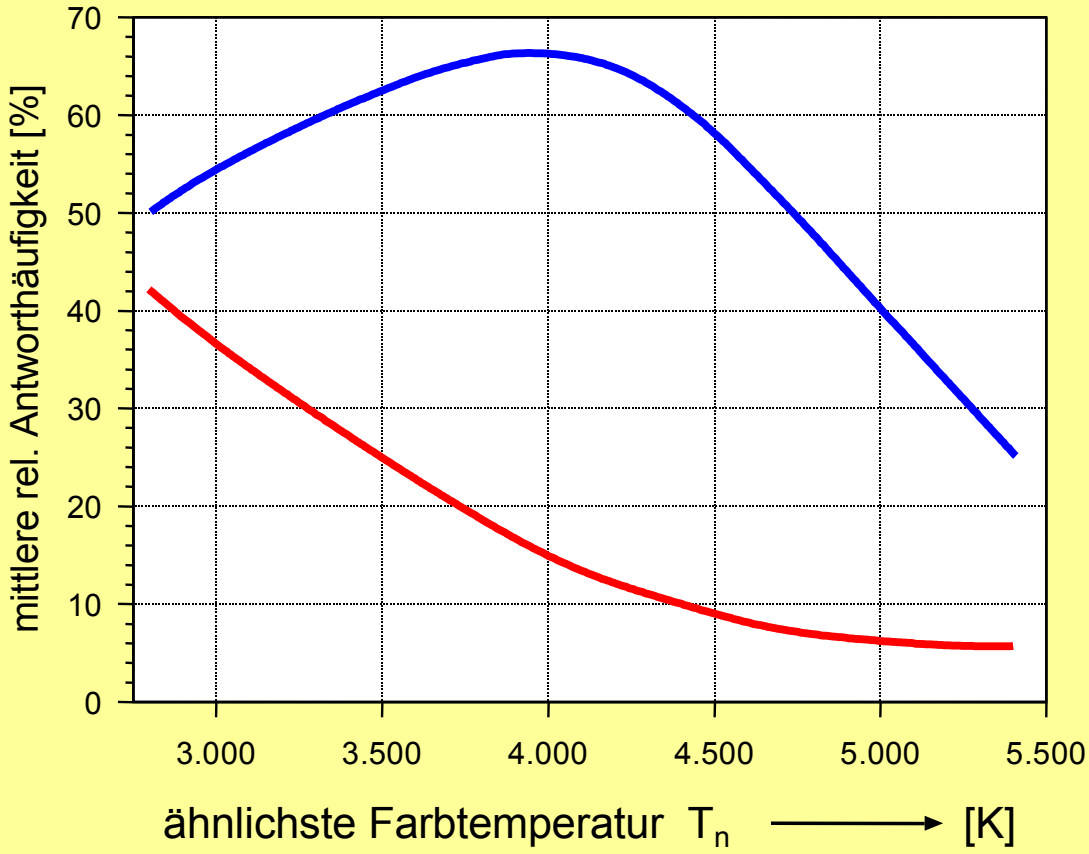
(BODMANN u.a.)

Rel. Richtigkeit der Wahrnehmung von Raumfarben



(zit. A.NEMCSIS 1993)

Antworthäufigkeit in Abhängigkeit von der ähnlichsten Farbtemperatur CCT



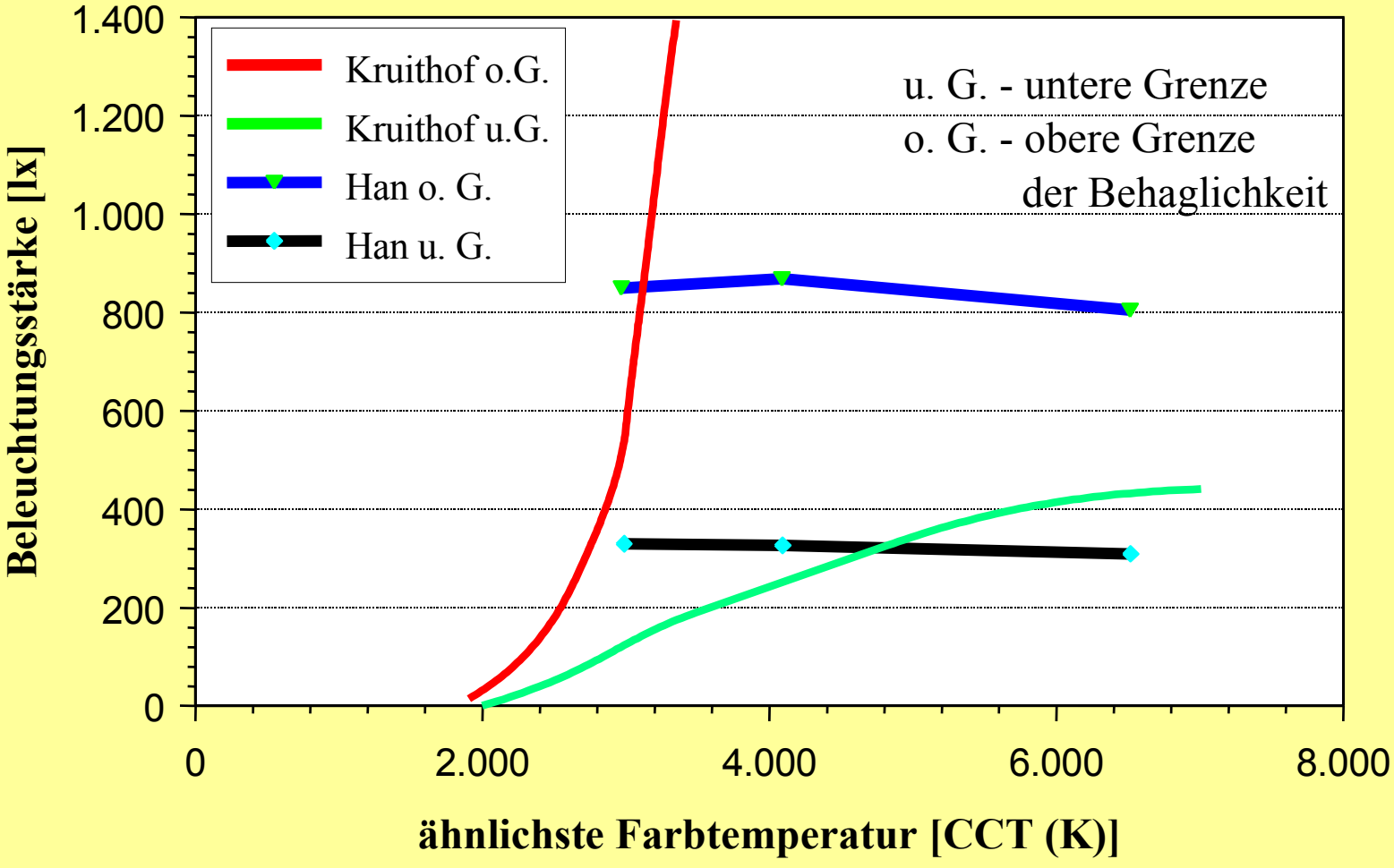
Voreinstimmung auf 5400 K

Antwortklasse „freundlich, lebendig, frisch“

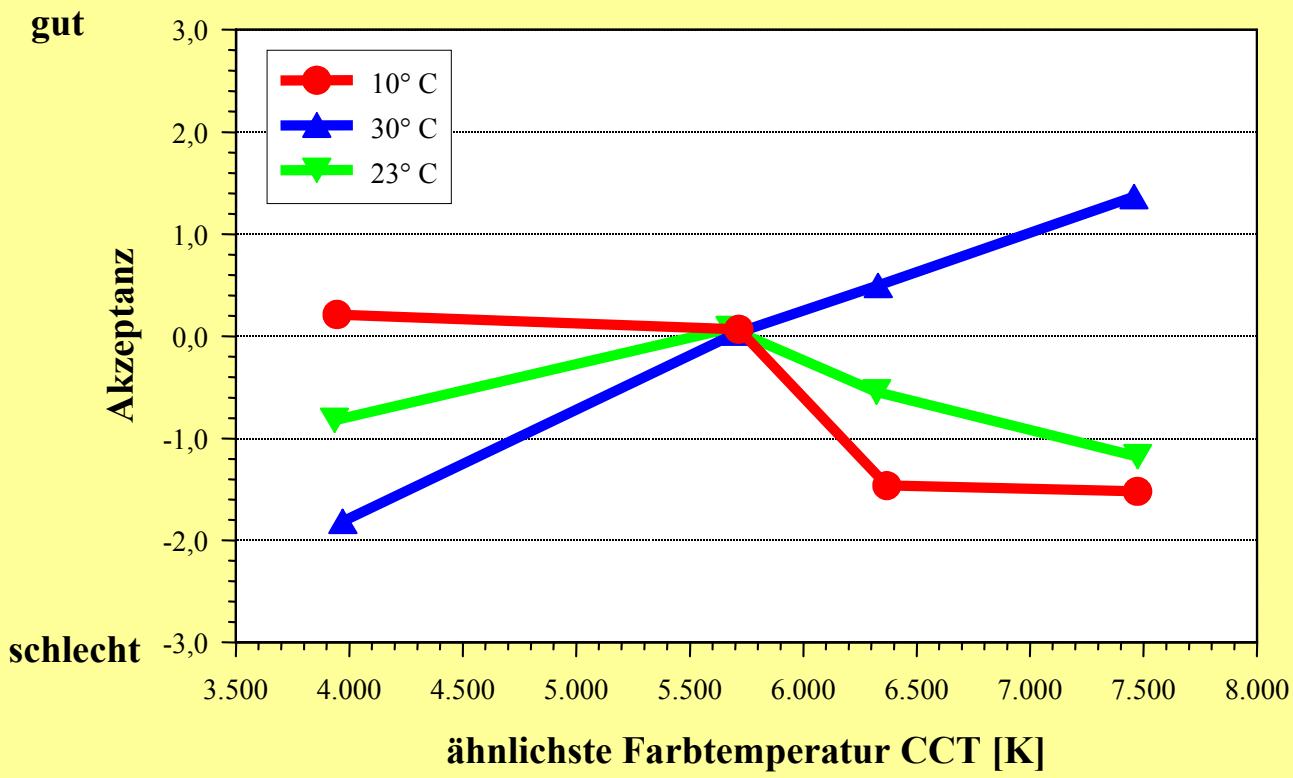
„ „ „ fade, einschläfernd“

(G. STECK 1975)

Lichtfarbe und Beleuchtungsniveau



Zusammenhang zwischen ähnlichster Farbtemperatur und Akzeptanz

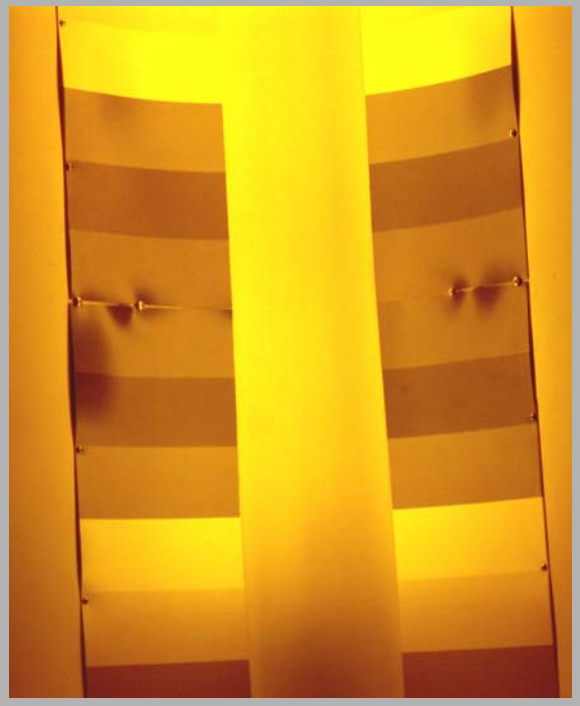


Parameter: Raumtemperatur; 1000 lx

(nach NAKAMURA 25. CIE 2003)

Kriterien bei der Spektrenauswahl:

- Lichtausbeute
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Sehfunktionen
- Schädigungspotentiale
- circadiane Beeinflussung (Gesundheitsanteil)

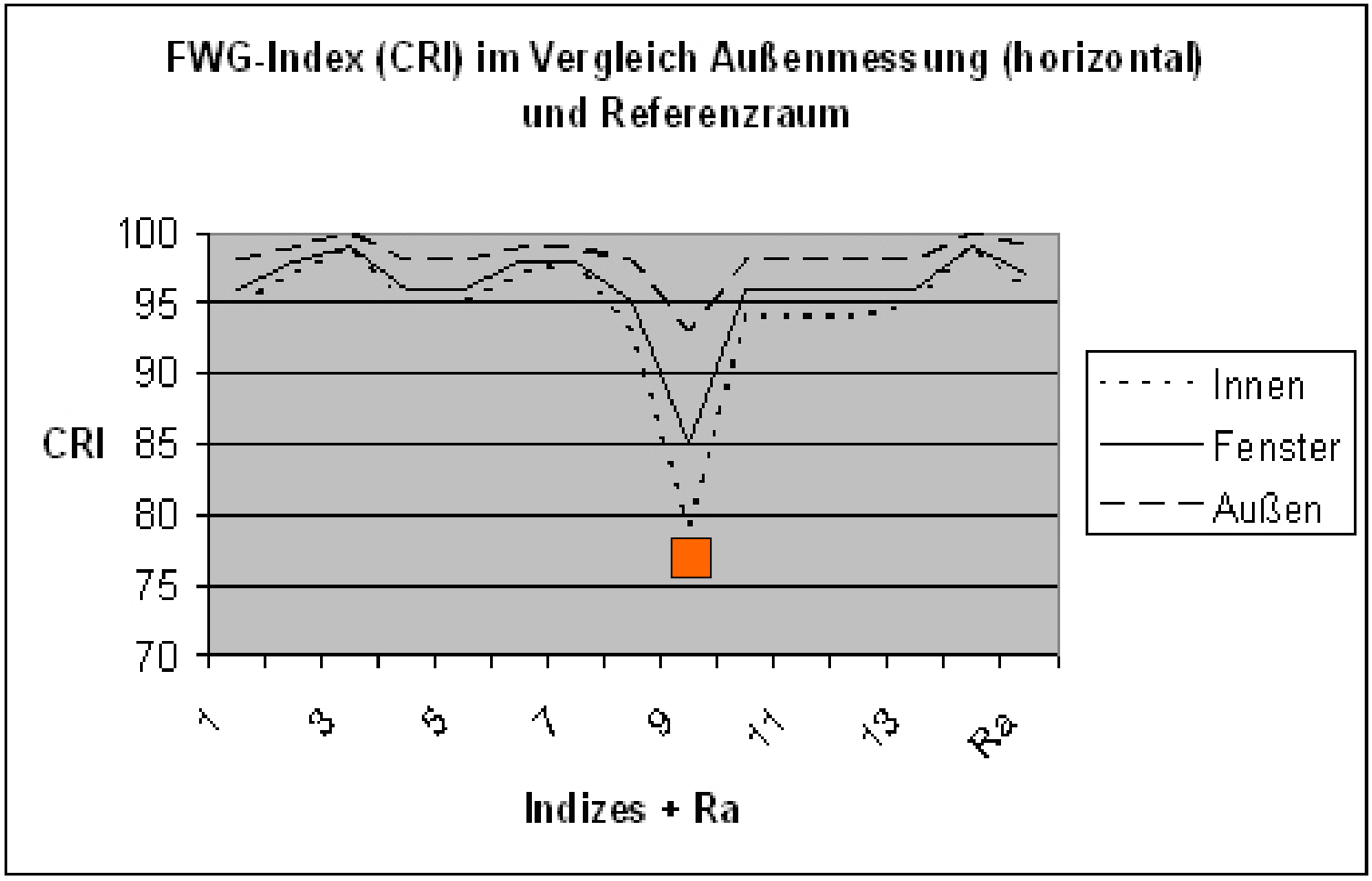


Natrium-Niederdrucklampe ***Tageslicht***

Farbwiedergabe

Hochdrucklampen ***Tageslicht***

Farbwiedergabe


FWG-Index (CRI) im Vergleich Außenmessung (horizontal) und Referenzraum
100
95
90
85
80
75
70
CRI
1
3
5
7
9
11
13
Ra
Indizes + Ra
Innen
Fenster
Außen

S. VOGEL (2003)

Einschätzung der Farbwiedergabe-Eigenschaften (allgemein)

Lampe	Ra	CCT	FWG-Präferenz (allgemein)
RGB-LED	25	4270	0,5
RGB-LED	63	4140	1,1
LED-"Amber Weiß"	81	4120	0,6
LED-"Weiß"	83	5031	0,05
Halogenglühlampe	98	2840	- 0,4
Glühlampe	98	2640	- 1,4

E · 200 lx

CCT –ähnl.Farbtemperatur in Kelvin

Ra – allg. Farbwiedergabeindex

(NARENDRAN u.a. 2002)

Einschätzung der Farbwiedergabe-Eigenschaften der Haut

Lampe	Ra	CCT	FWG-Präferenz der Hautfarbe
RGB-LED	25	4270	+ 0,8
RGB-LED	63	4140	+ 0,6
LED-"Amber Weiß"	81	4120	- 0,25
LED-"Weiß"	83	5031	- 0,4
Halogenglühlampe	98	2840	- 0,5
Glühlampe	98	2640	- 1,2

E · 200 lx

CCT in Kelvin (ähnl.Farbtemperatur)

Ra – allg. Farbwiedergabeindex

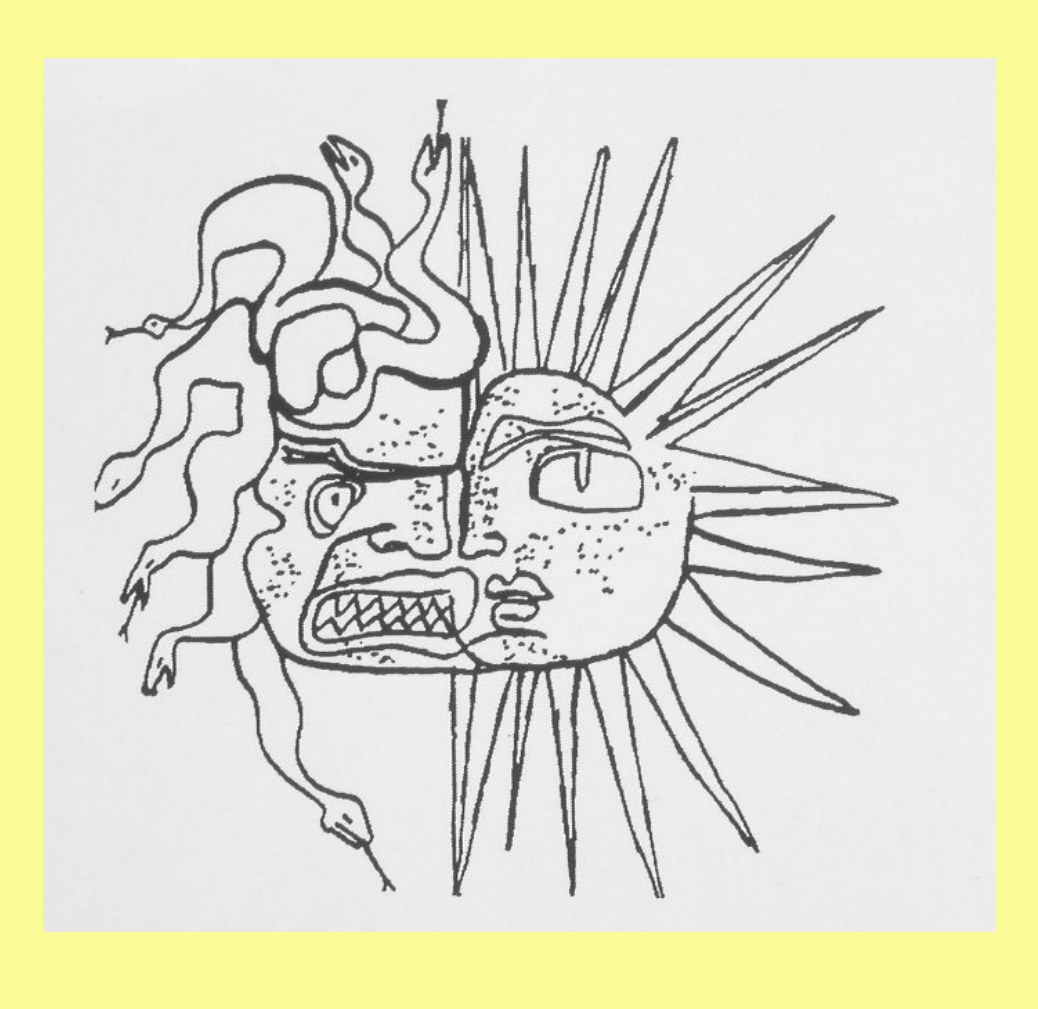
(NARENDRAN u.a. 2002)

Kriterien bei der Spektrenauswahl:

- Lichtausbeute
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Sehfunktionen
- Schädigungspotentiale
- circadiane Beeinflussung (Gesundheitsanteil)

„Sonnen- Anbeter“

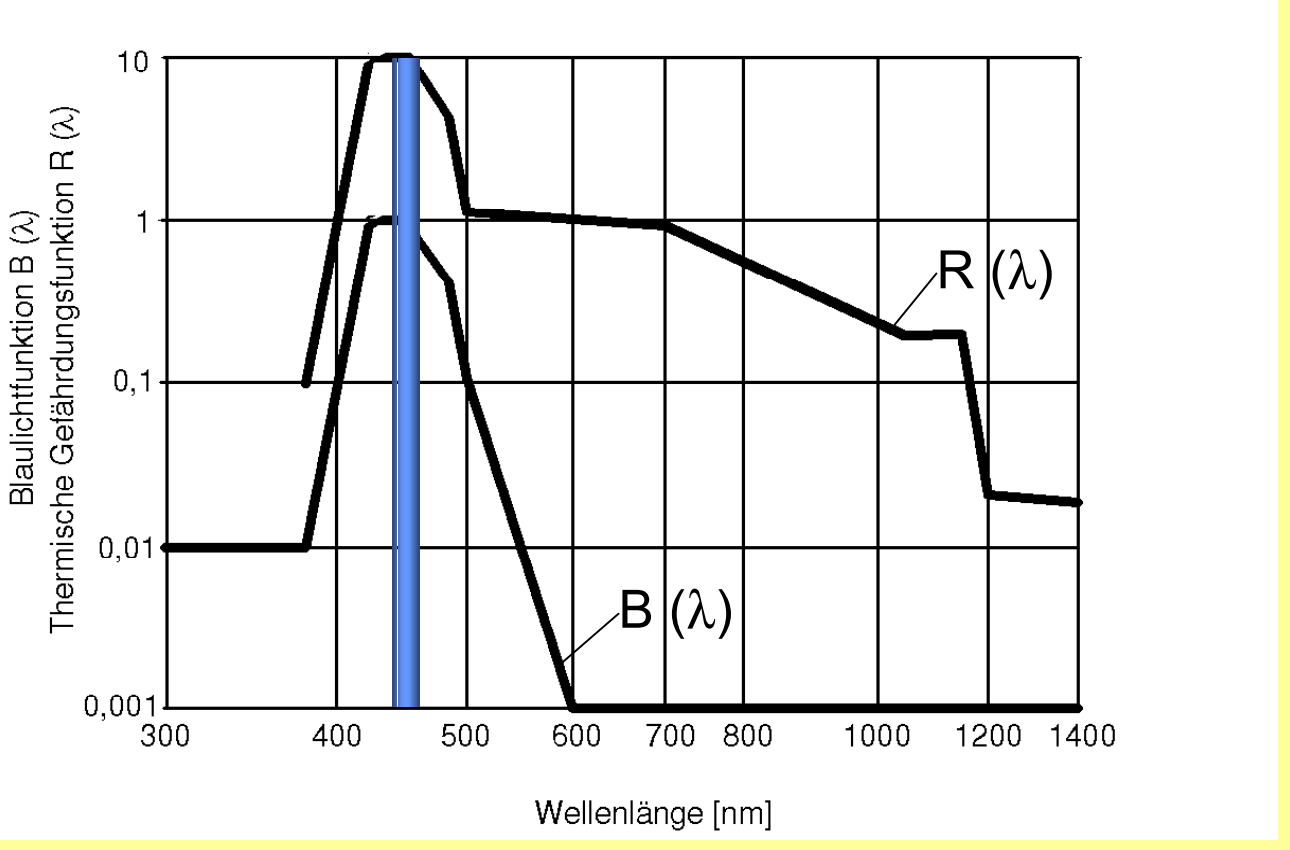
E.Barlach



„Zwei Gesichter
der Sonne“

LE CORBUSIER

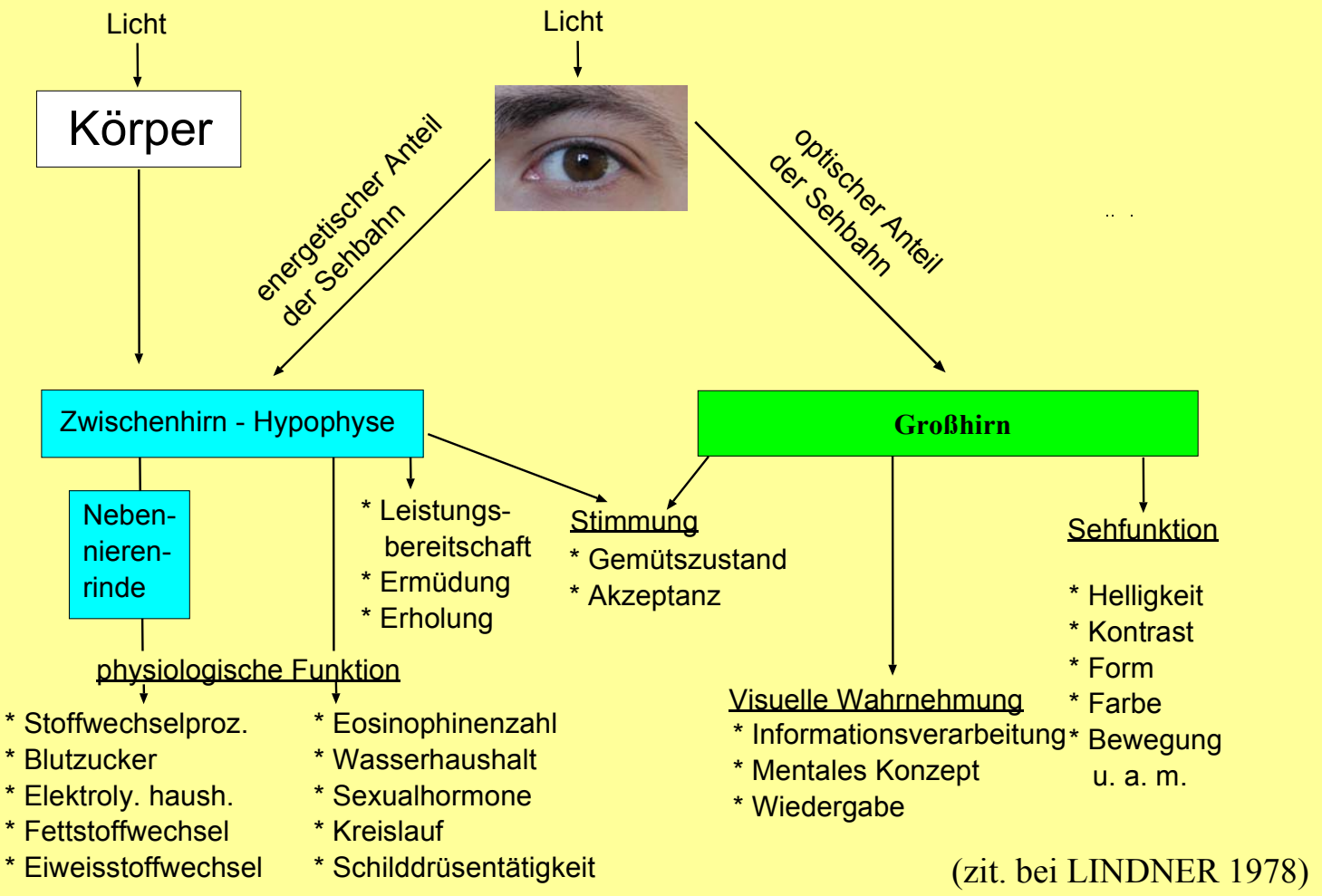
Wellenlängenabhängigkeit – Thermische Netzhautgefährdung



Wellenlängenabhängigkeit der thermischen Netzhautgefährdung R(8) und der Photochemischen Netzhautgefährdung durch blaues Licht B(8) [SUTTER]

Kriterien bei der Spektrenauswahl:

- Lichtausbeute
- Lichtfarbe
- Farbwiedergabe
- Sehfunktionen
- Schädigungspotentiale
- circadiane Beeinflussung (Gesundheitsanteil)



(zit. bei LINDNER 1978)

„Energetischer Anteil“ der Sehbahn

„In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass der Münsteraner Anatom H. Becher (1955) ein flächenhaft über die ganze Netzhaut ausgebreitetes Kerngebiet im III.Neuron nachgewiesen hat, das den Stäbchen und Zapfen vorgelagert ist („heliotropes Bewirkungssystem“).

....

Die Existenz einer retino-hypothalamischen Bahn wurde bereits Mehrfach zweifelsfrei bestätigt.“

(Hollwich, 1981)

„Energetischer Anteil“ der Sehbahn

„Trotz diesen zustimmenden Aussagen (L. S. und B. S.) über die von mir erstmals hervorgehobene Doppelrolle des menschlichen Auges hat sich die Lichtindustrie .... völlig einseitig auf den Sehvorgang orientiert.“

(Hollwich, 1981)

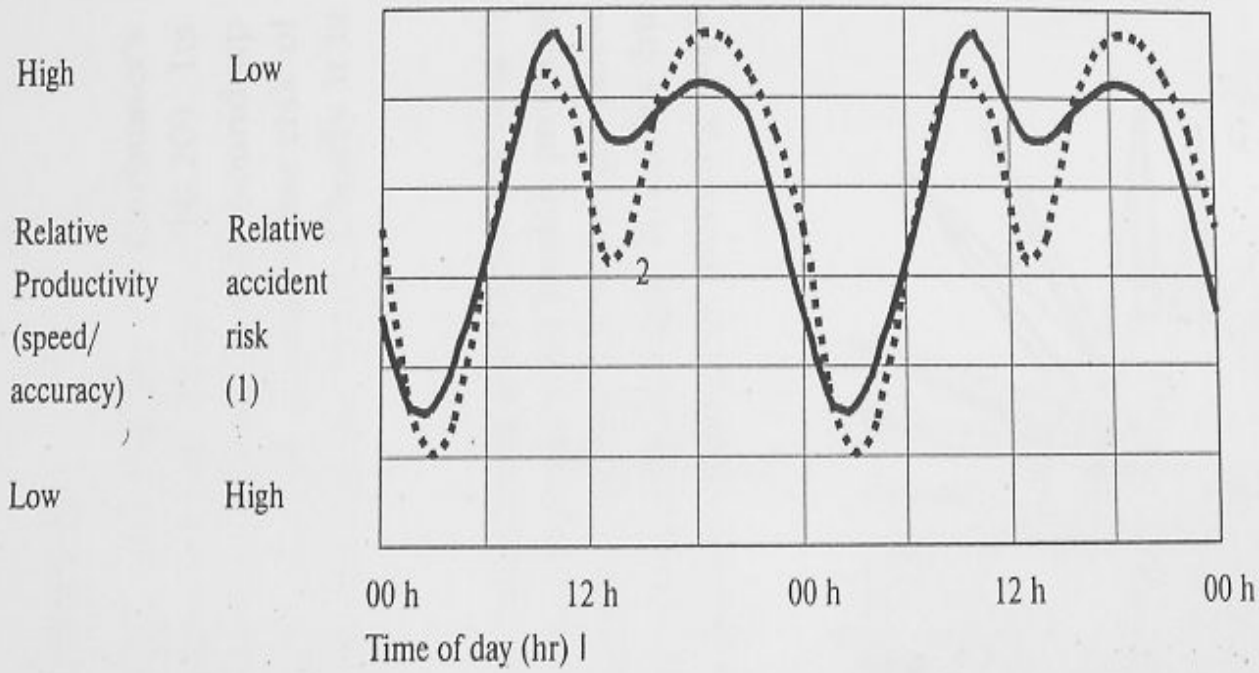
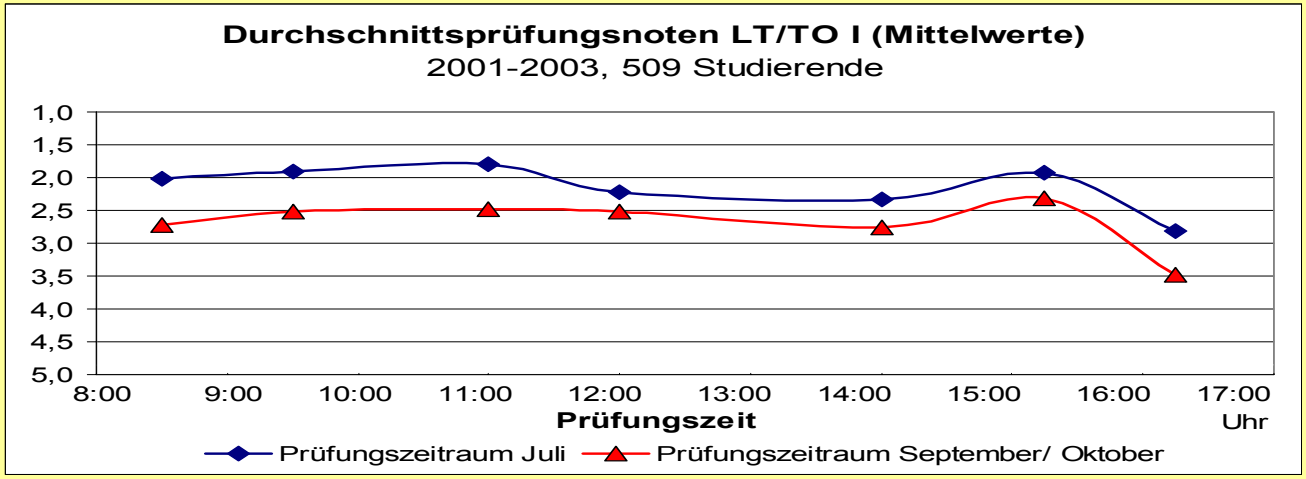
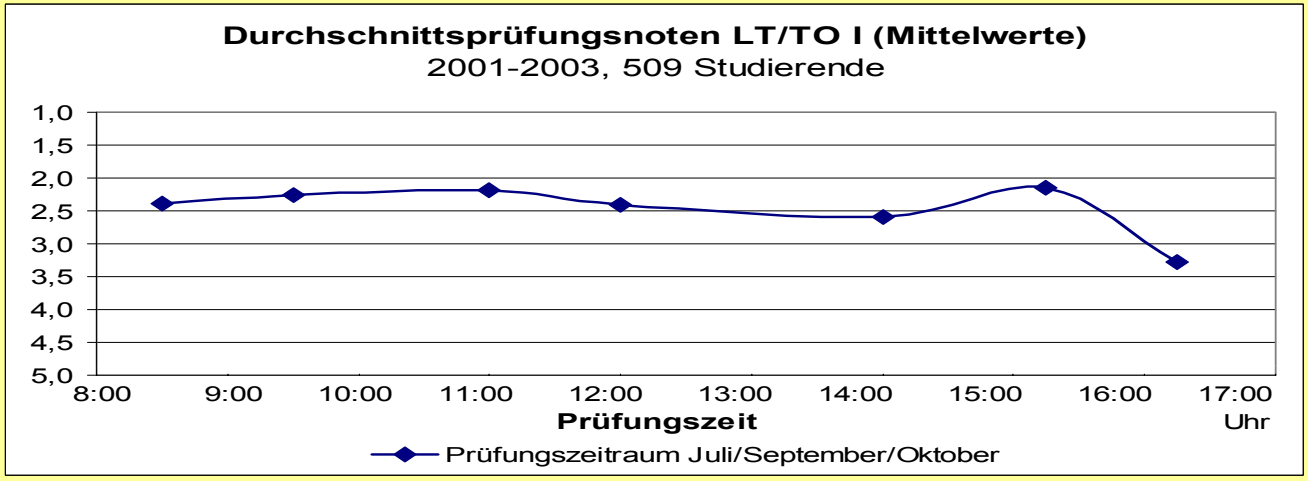


Fig 2.8 Double plot of typical daily spread in productivity (2) and accident risk (1).Depending on the task the differences can vary even more than 20 % between morning and the nighttime shift [2.28, 2.29].

Produktivität und Unfälle über die Tageszeit

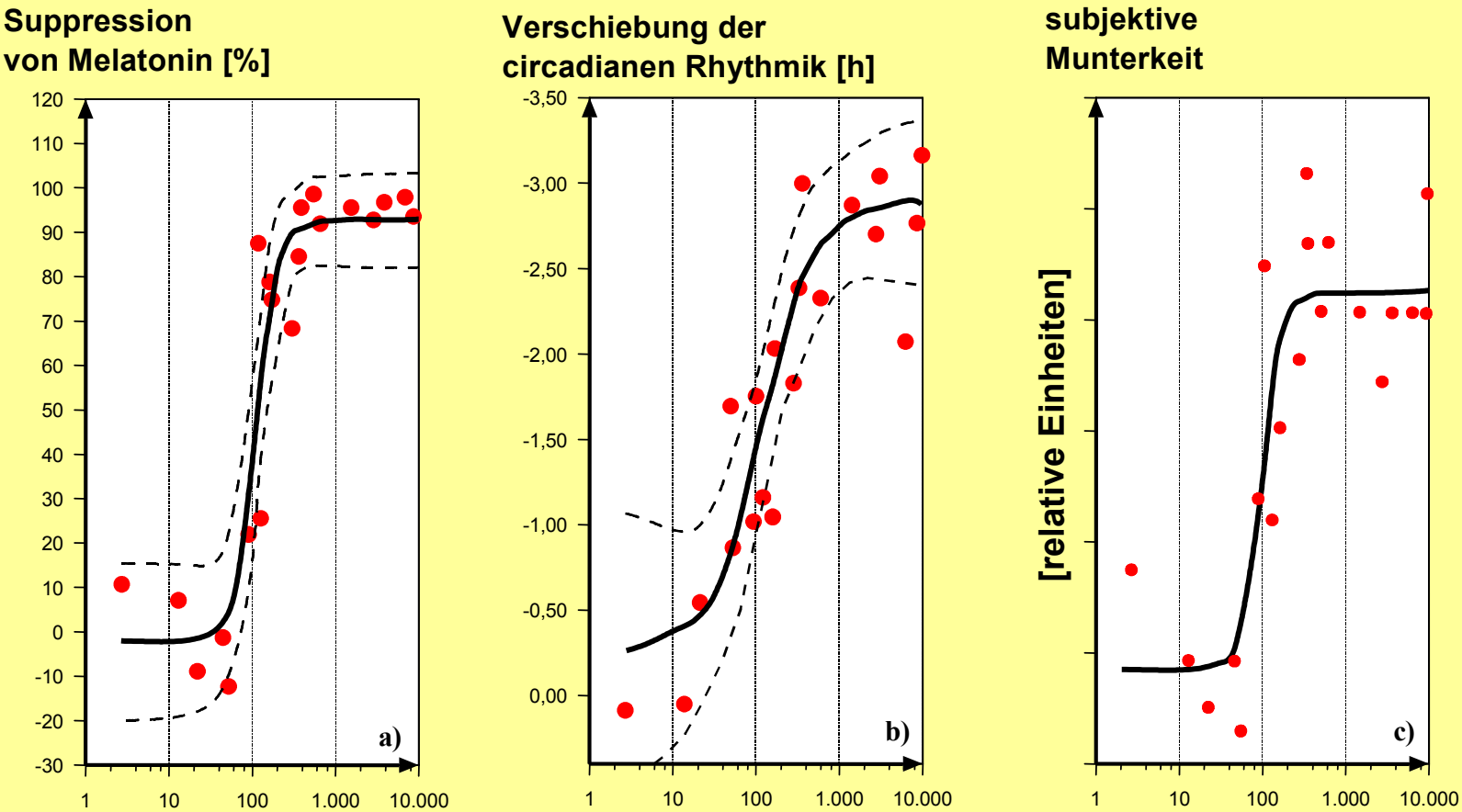
Prüfungen





(TU Ilmenau)

Belichtung und unspezifische Lichtwirkung



Parameter: (weißes Licht)

(zit. bei SCHIERZ Licht 2002)

Belichtung pro Tag

	Mittlere Beleuchtungs-stärke (lx)	Belichtung / Tag	
		(klx · h)	Maximum (klx · h)
Student (29 TP)	**185**	**5 ± 4,9**	**21**
Büroangestellter (26 TP)	**172**	**7 ± 5**	**21**
Busfahrer (22 TP)	**462**	**44 ± 40**	**161**

Parameter: Messgerät am Arm, 1 Messung/Minute, auf E am Auge korrigiert, 3 –9 Stunden Schlaf

(IWATA, T. u.a. CIE 2003)

Belichtung und Schlafqualität

	Gruppe 1	Gruppe 2
	M/A groß H groß (5,4 klx·h)	M/A gering H klein (3,4 klx·h)
Schlaf-Wachphase	92 %	85 %
Schlafeffizienz (Dauer)	91 %	81 %

<u>Anmerkung:</u> Es besteht keine Korrelation zur subjektiven Einschätzung

<u>Es bedeutet:</u>

M/A – Verhältnis zur Belichtung am Morgen (2-4h) nach dem Aufstehen zur Dosis am Abend (2-0h) vor dem Schlafen (15 TP)

H - Belichtung

(IWATA, T. u.a. CIE 2003)

Depressionsbehandlung mit Licht

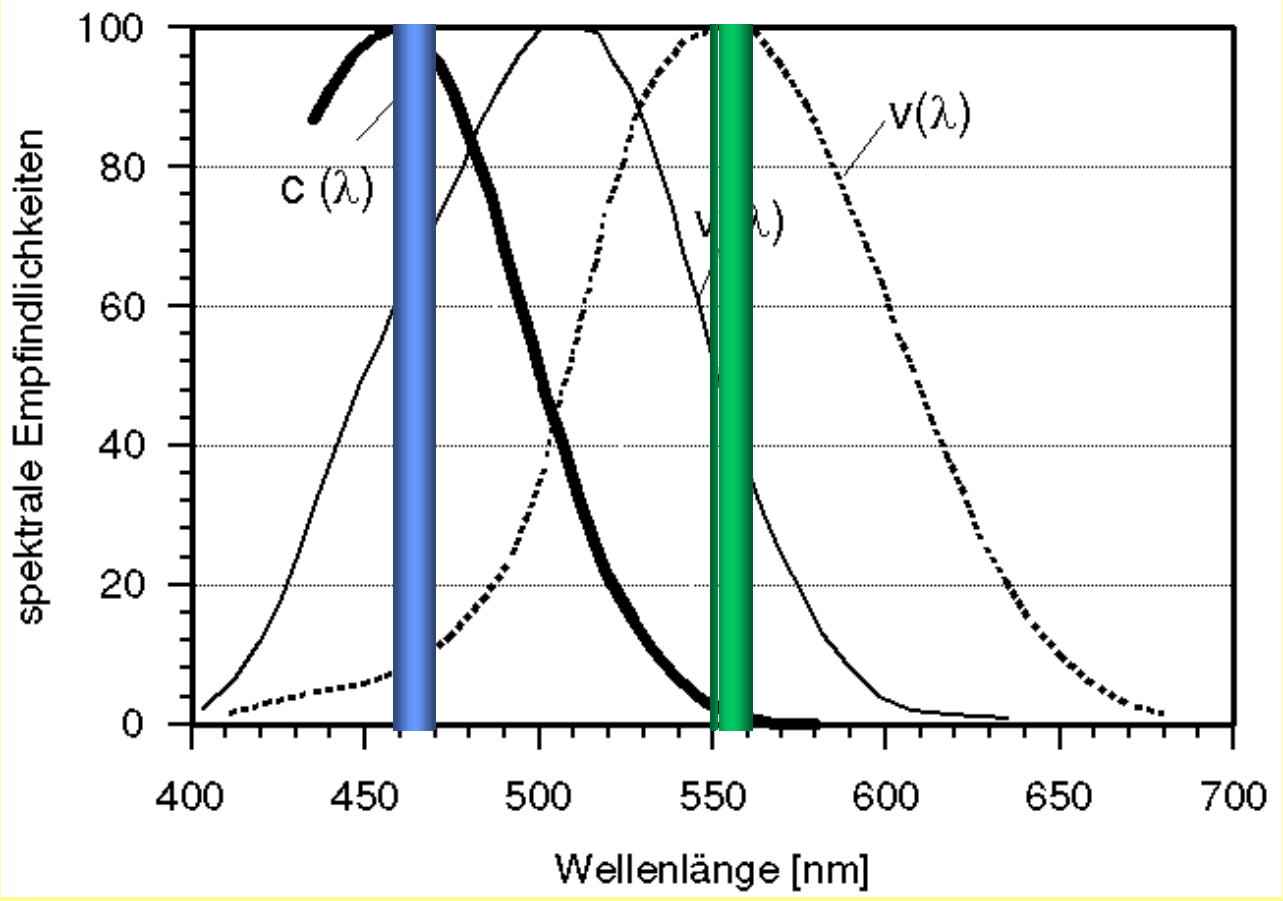
Verlaufskriterien	Johanniskraut	Johanniskraut + Licht
sehr viel besser	62. 5	75
viel besser	12. 5	12. 5
unverändert	20	7. 5
schlechter	5	5
gesamt in %	**100**	**100**

Klinischer Gesamteindruck nach CGI

Lampe:
- Lichtfarbe Tageslichtweiß/Doppelrohrlampe
- Leuchtdichte: 24 000 cdm^{-2}
- Beleuchtungsstärke am Auge (1100 lx; 50 cm Abstand)

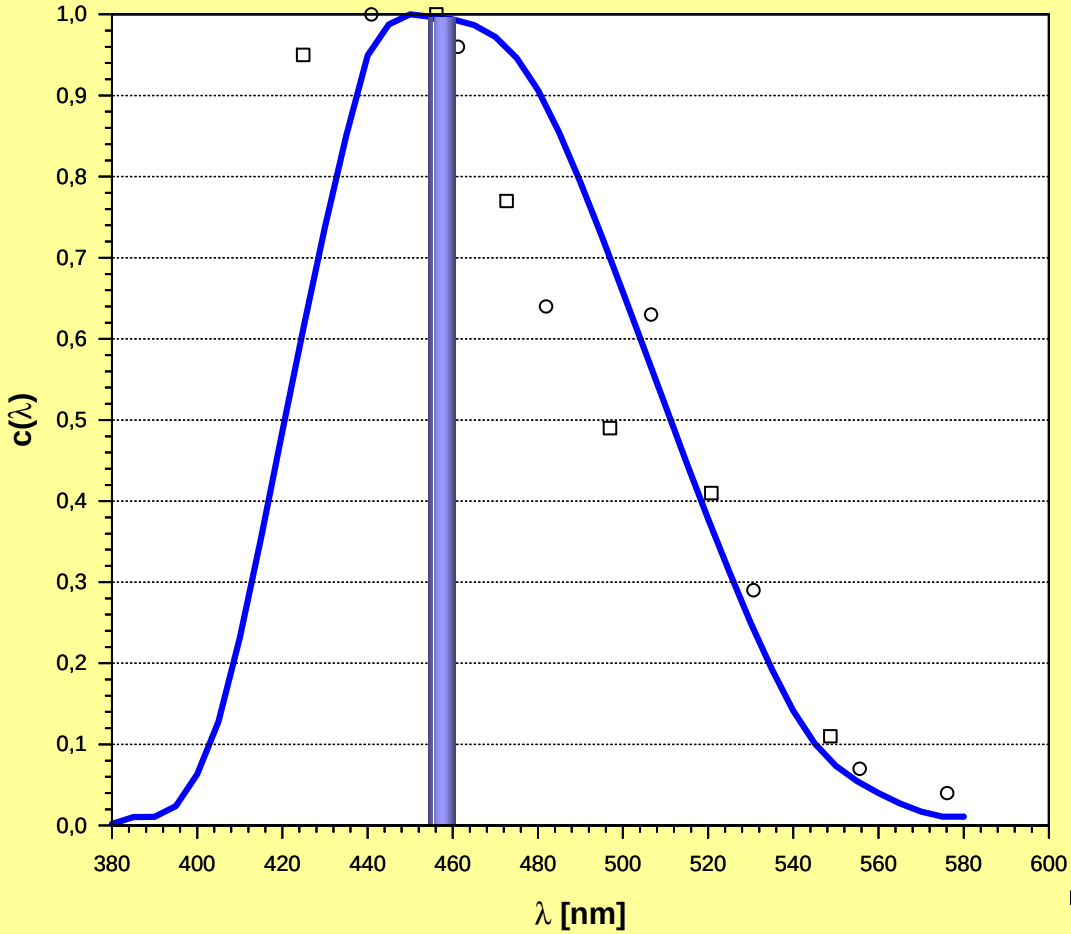
(D. Müller 2002)

Empfindungsfunktionen



Genormte Helligkeitsfunktion v(8) und v´(8) und circadiane Wirkungsfunktion c(8)

gemittelte circadiane Wirkungskurve c(8)



□ Thapan u.a. (2001)

○ Brainard u.a. (2001)

$$a_{cv} = \frac{\int_{380nm}^{780nm} E_{e\lambda} \cdot c(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380nm}^{780nm} E_{e\lambda} \cdot v(\lambda) \cdot d\lambda}$$

$$E_c = a_{cv} \cdot E_v$$

Es bedeutet:

a_{cv}	**- circadianer Wirkungsfaktor**
c(8)	**- circadiane Wirkungsfunktion**
E_c	**- circadiane Beleuchtungsstärke (lx_c)**
E_v	**- Beleuchtungsstärke (lx)**

Ähnlichste Farbtemperaturen (CCT) im Innenraum

		CCT	Circadianer Wirkungsfaktor (a_{cv})
Fenster	Sommer	6000 K	1,0
	Winter	5400 K	0,84
Innen	Sommer	5200 K	0,80
	Winter	5700 K	0,94

- gemittelte Farbtemperaturen und a_{cv}-Werte

(J. VOGEL 2003)

a_{cv}-Werte einiger Lampen

	Lampe	circadianer Wirkungsfaktor	
		a_{cv}	a_{cv} (nach REA)
a	direkte Sonne (CCT: 5081 K)	0,83	
b	blauer Himmel (CCT: 19963 K)	1,73	
c	bewölkter Himmel (CCT: 5924 K)	1,02	1,00 (CCT : 6500 K)
d	Glühlampe (CCT: 2800 K)	0,41	0,45
e	Halogenglühlampe (neutralweiß - Keramik)(CCT: 3640 K)	0,45	
f	Natriumdampfhochdrucklampe (CCT: 2770 K)	0,32	0,20 (CCT : 2200 K?)
	Leuchtstofflampe		
a	warmton (CCT: 2827 K)	0,36	
b	neutralweiß (CCT: 3678 K)	0,60	0,66 (CCT : 4100 K)
c	"Biolux" (CCT: 6125 K)	1,03	
d	"Daylight" (CCT: 5145 K)	0,85	
e	"Truelite" (CCT: 5600 K)	0,89	
	LED (blau $\lambda = 468$ nm)	6,90	13,0 (λ = 460 nm)
	LED (weiß)	1,05...2,0	

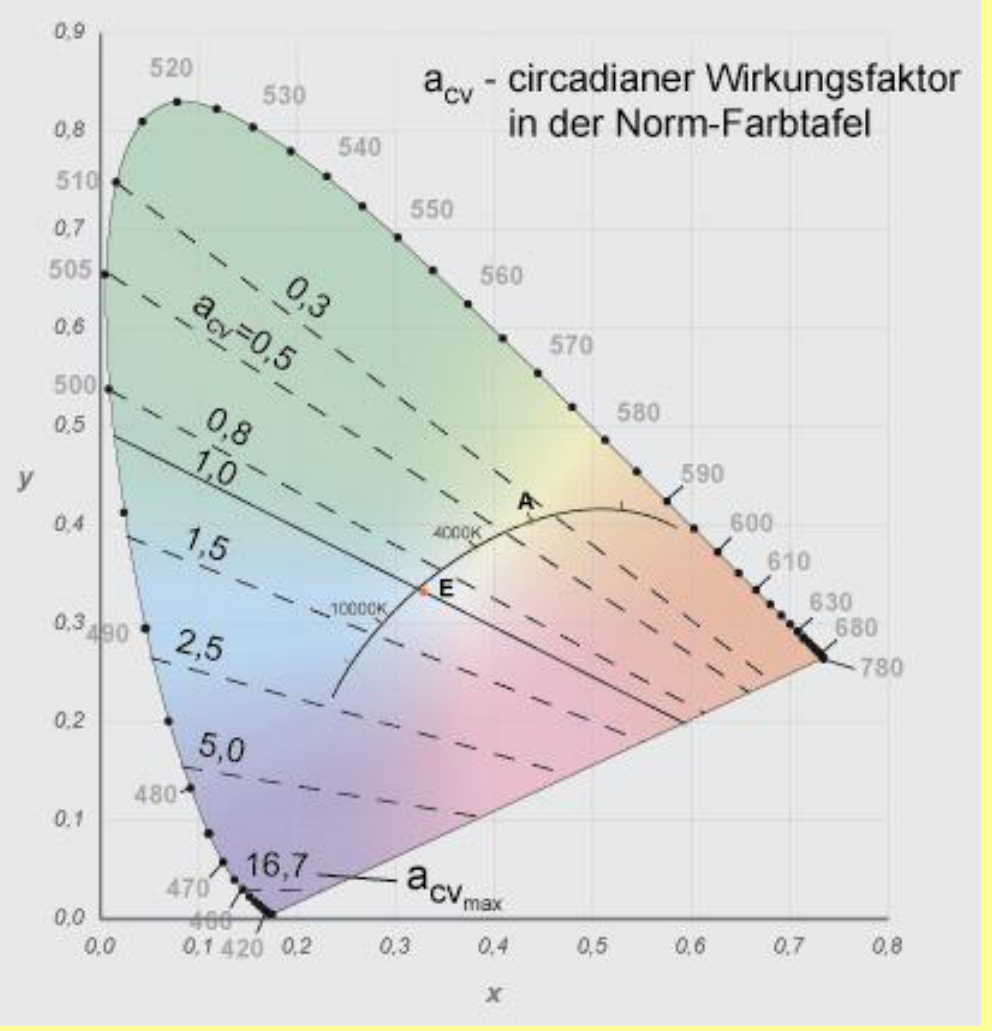
a_{cv}-Werte einiger „Bio“-Lampen (z/y-Wert)

Lampe	**a_{cv}**
TRUE –LITE 58W (AURU-LIGHT)	**0, 932**
NARVA VITAL 58W/955	**0, 984**
BIO-LICHT 58W/5700 K	**0, 936**
Biolux OSRAM 58W/72-965	**1, 17**
PHILIPS TLD 58W/965	**1, 19**

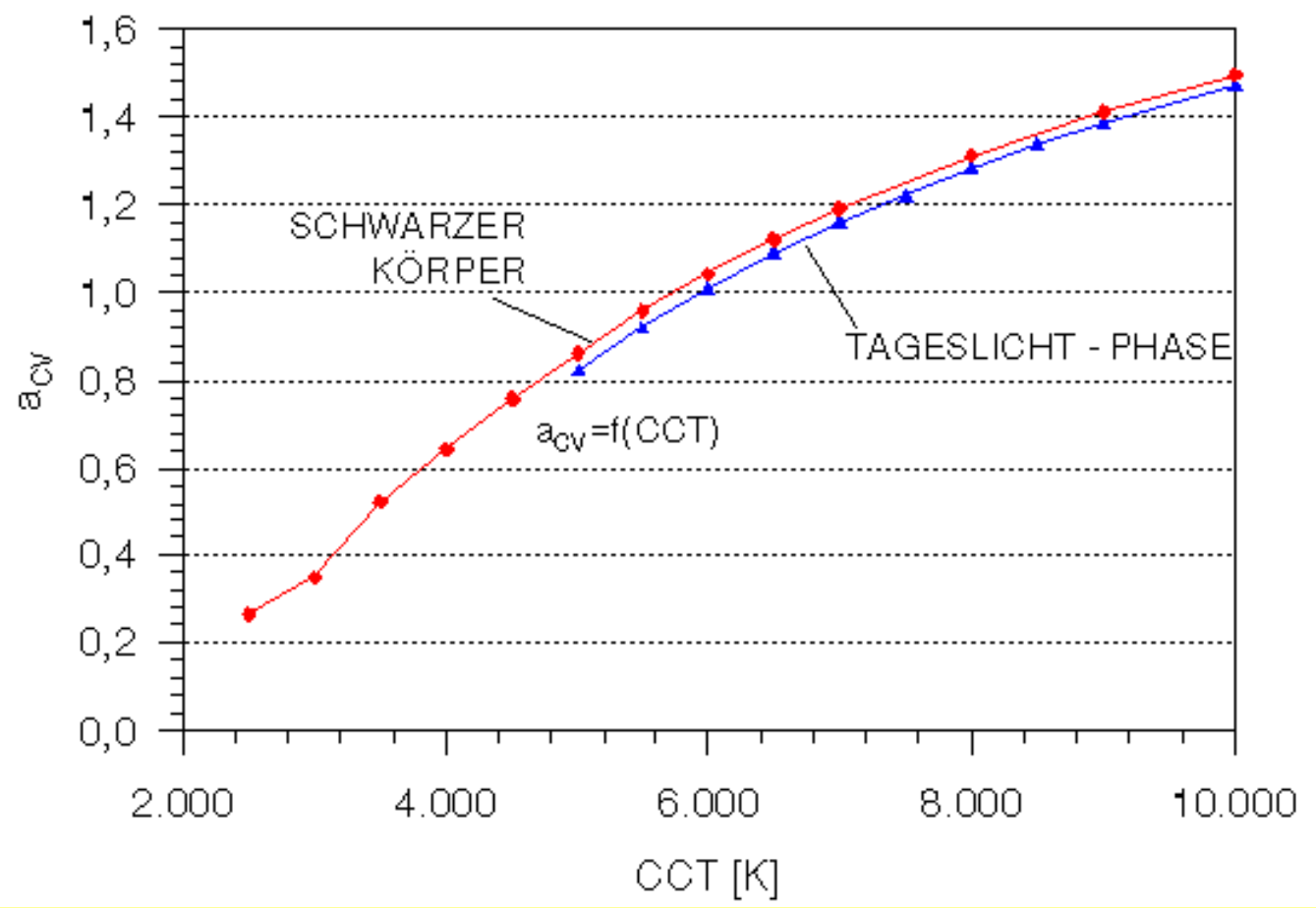
Circadiane Wirkungsfaktoren von Monitoren

Standard	Farbwertanteile						circ. Wirkungs-faktor (a_{cv})		
	Blau		Grün		Rot		Blau	Grün	Rot
	x	y	x	y	x	y			
EBU / HDTV	0,15	0,06	0,29	0,60	0,64	0,33	10,8	0,18	0,03
NTSC	0,14	0,08	0,21	0,71	0,67	0,33	9,8	0,11	0

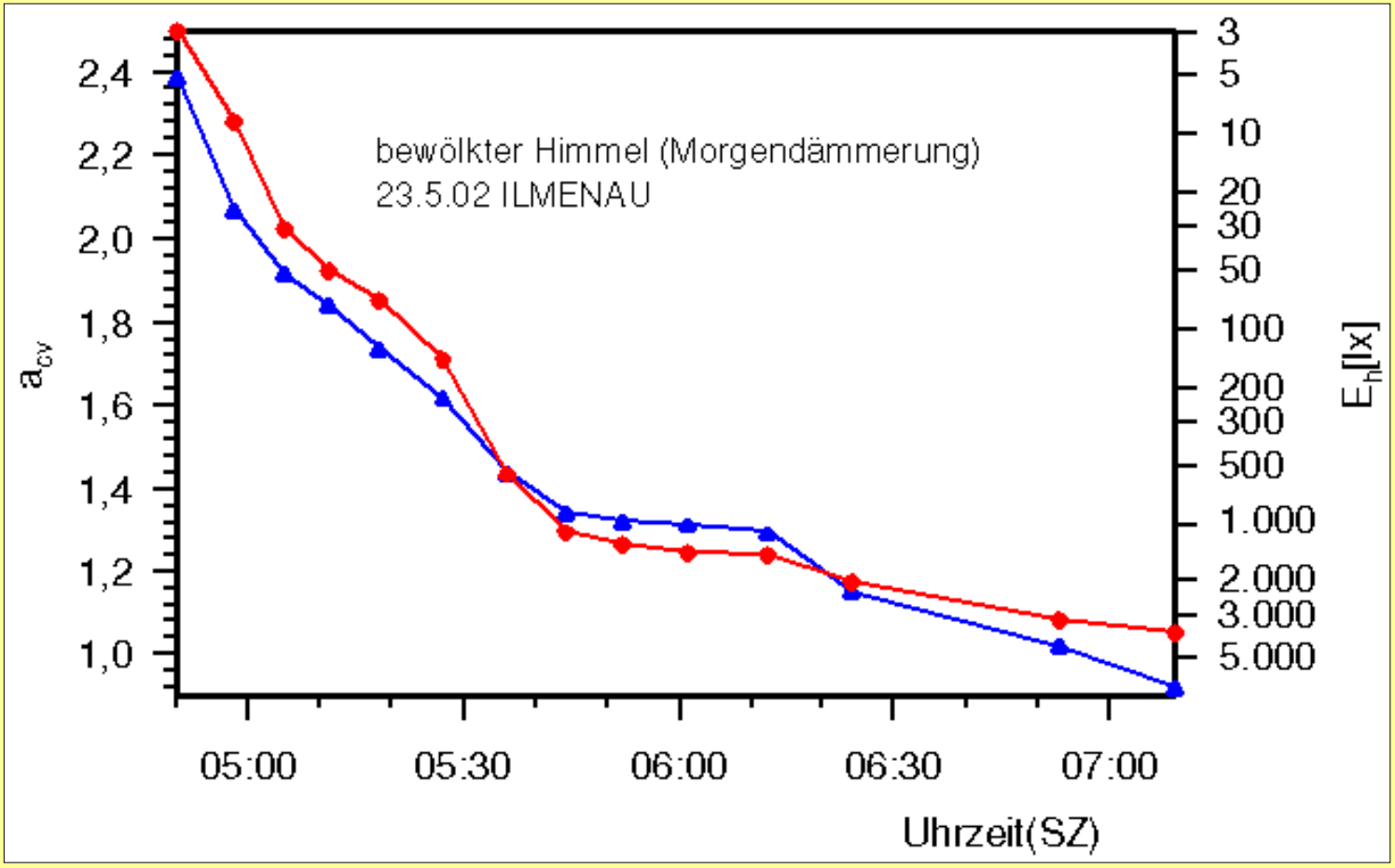
Farbe und energetische Wirkung des Lichtes



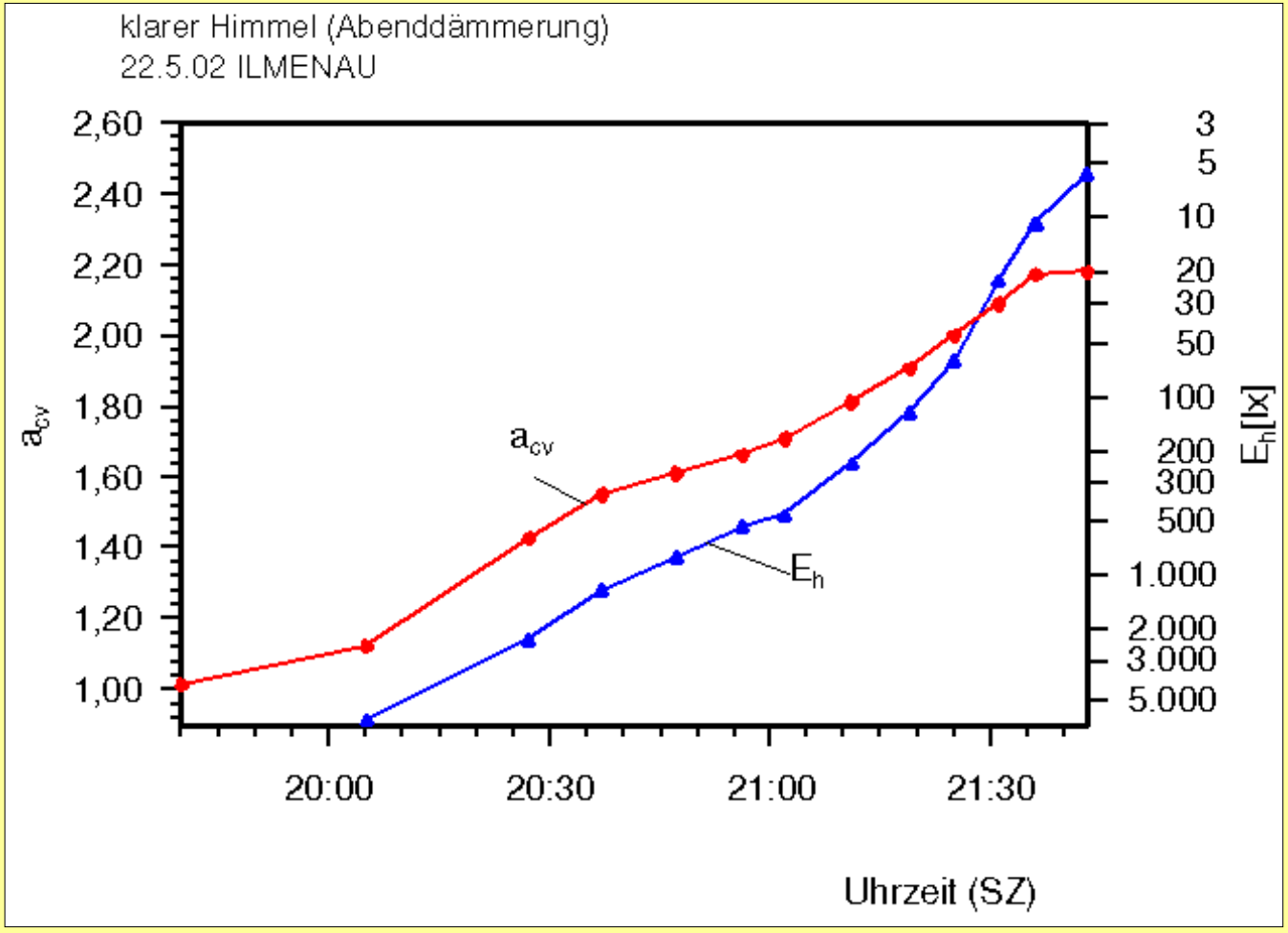
Circadianer Wirkungsfaktor a_{cv} als Funktion der Farbtemperatur (CCT)



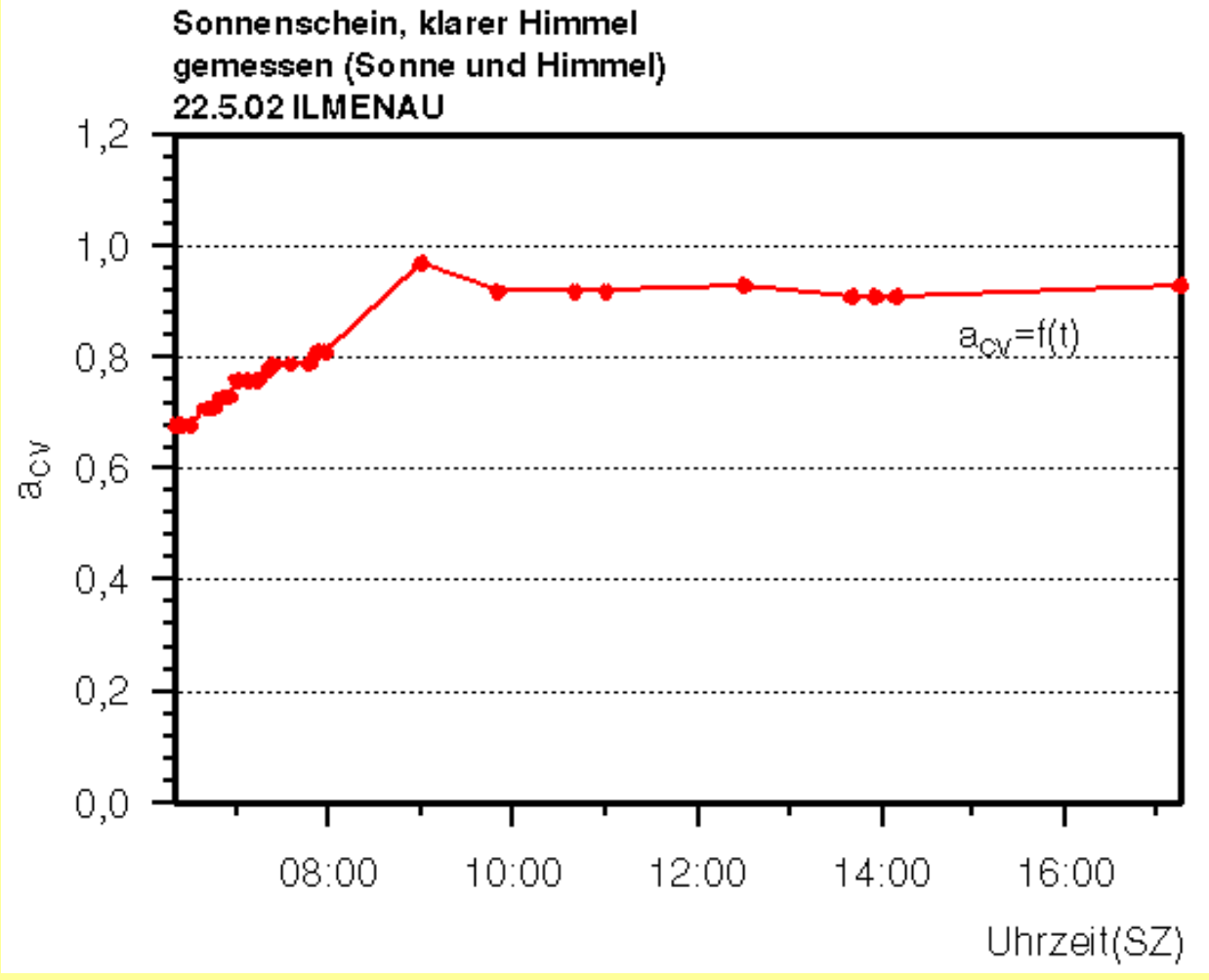
Circadianer Wirkungsfaktor in der Morgendämmerung



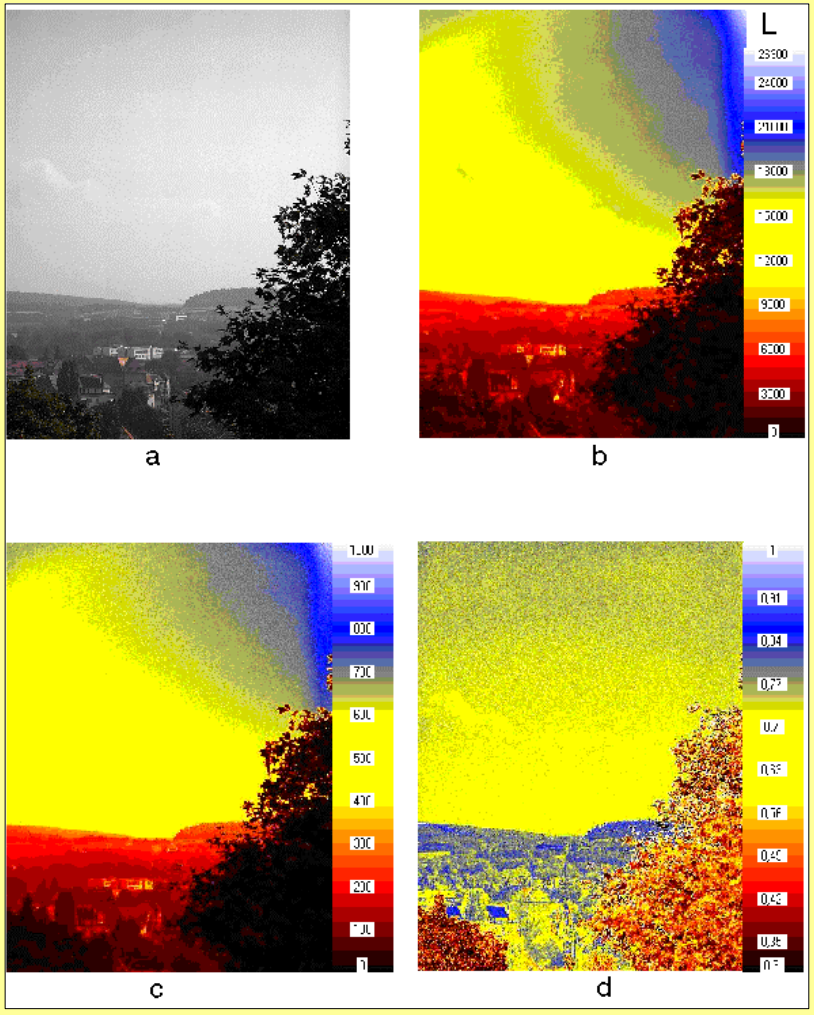
Circadianer Wirkungsfaktor in der Abenddämmerung



Circadianer Wirkungsfaktor als Funktion der Tageszeit



Circadiane Bewertung einer Landschaft



a. Leuchtdichteverteilung L (x, y)
b. Foto der Landschaft
c. Relative circadiane Leuchtdichte-verteilung $L_{c,\,rel}$ (x, y)
d. Relativer Wirkungsfaktor (a_{cv}, rel = f(x, y))