

Kolloquium für Prof. Dr. Dietrich Gall
8. September 2017

Biologische Lichtwirkungen und deren messtechnische Erfassung

Dr. Cornelia Vandahl
TU Ilmenau
Fachgebiet Lichttechnik

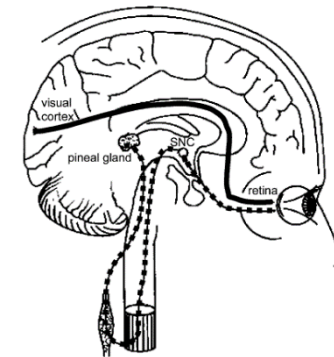
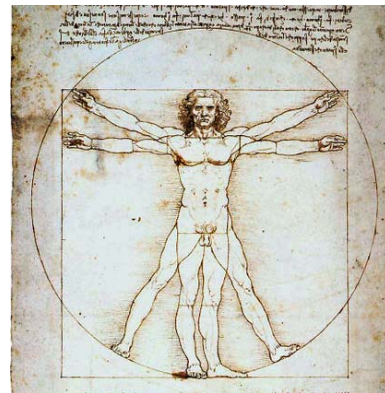
Lichtwirkungen auf den Menschen

LICHT

Licht zum Sehen



Biologische Wirkung

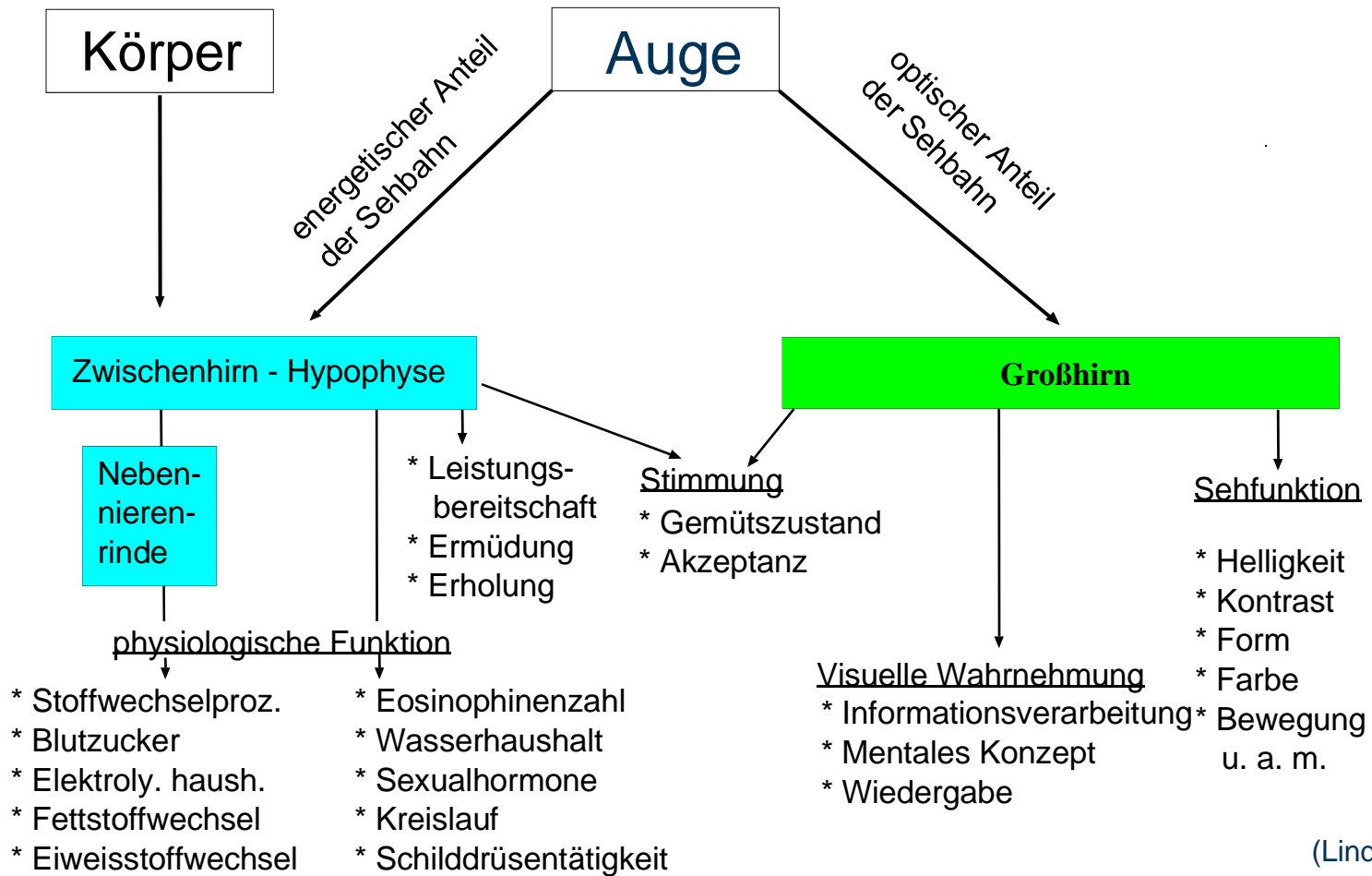




Inhalt

- Eigenschaften des nicht-visuellen Systems
- Kennzahlen zur Beschreibung
- Messmethoden
- Messbeispiele

Lichtwirkungen



(Lindner 1978)

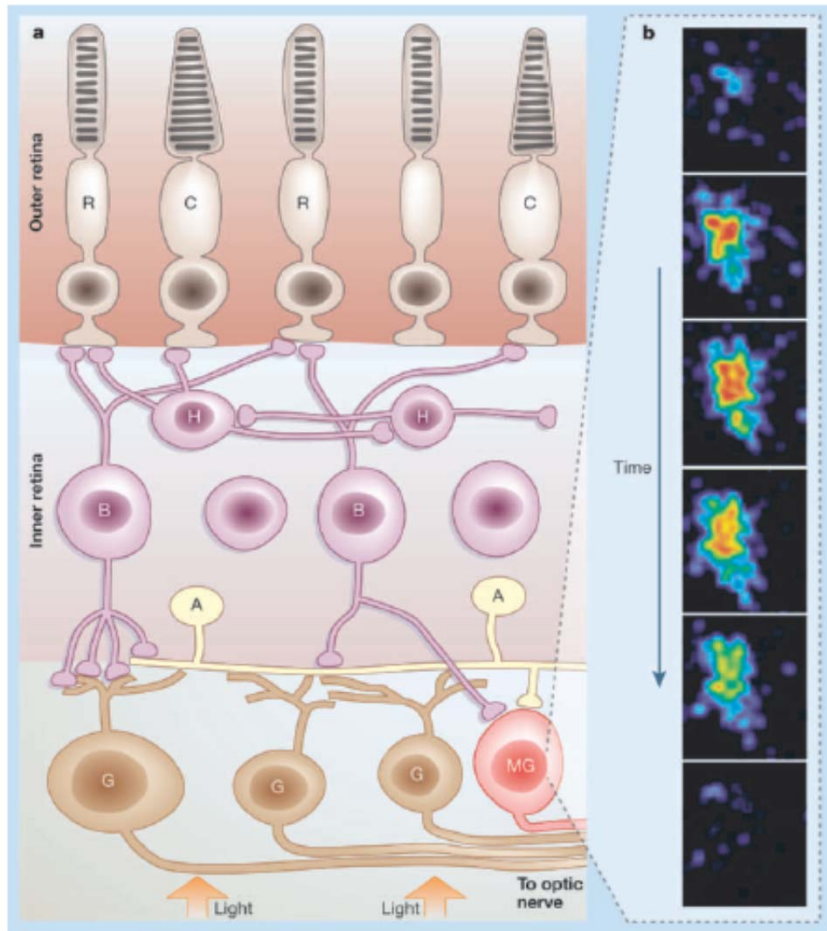
Hollwich 1981

„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.“

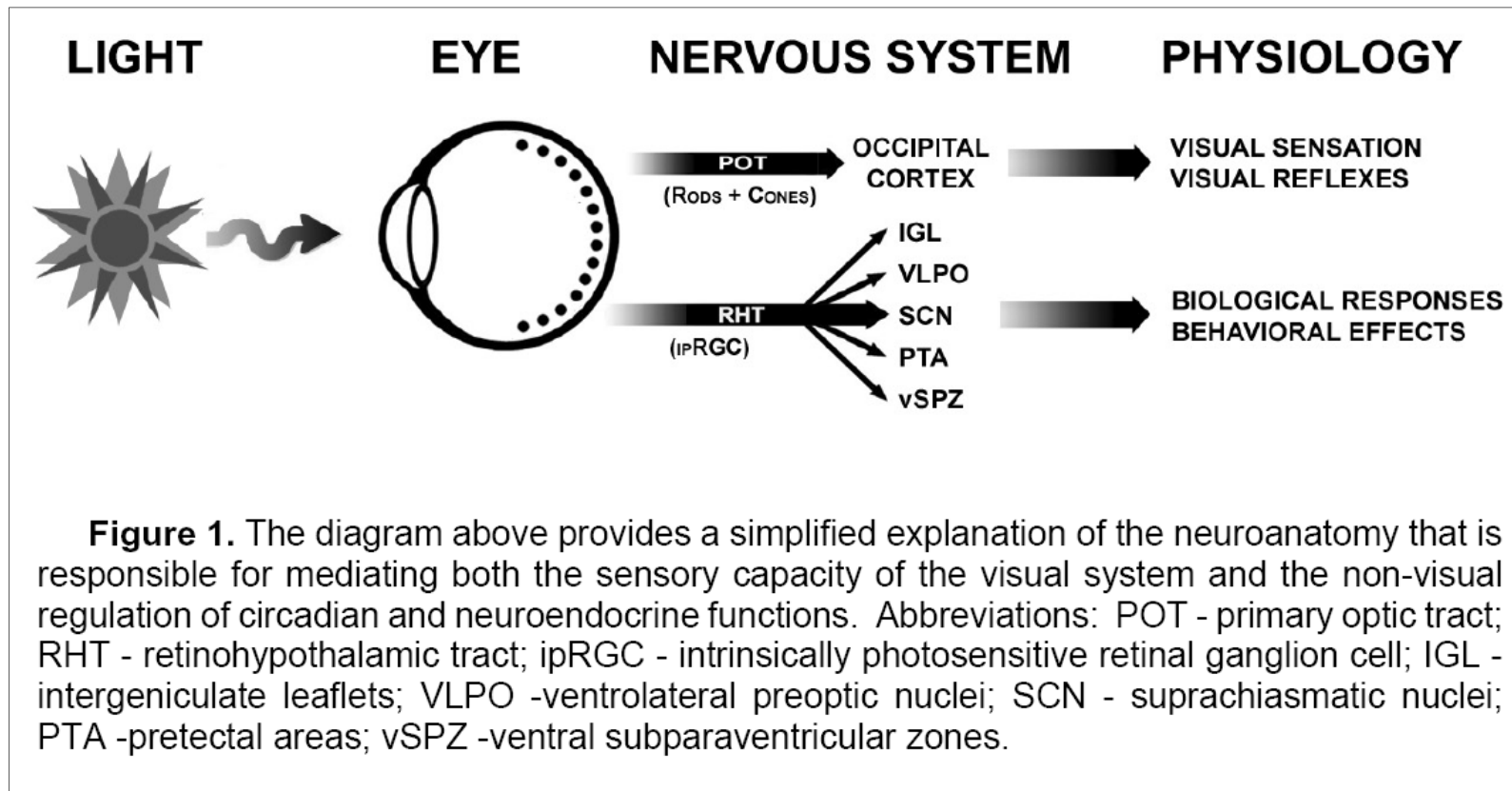
„Trotz diesen zustimmenden Aussagen ... über die von mir erstmals hervorgehobene Doppelrolle des menschlichen Auges (Anmerkung: 1948) hat sich die Lichtindustrie völlig einseitig auf den Sehvorgang orientiert.“

Lichtempfindliche Ganglienzellen



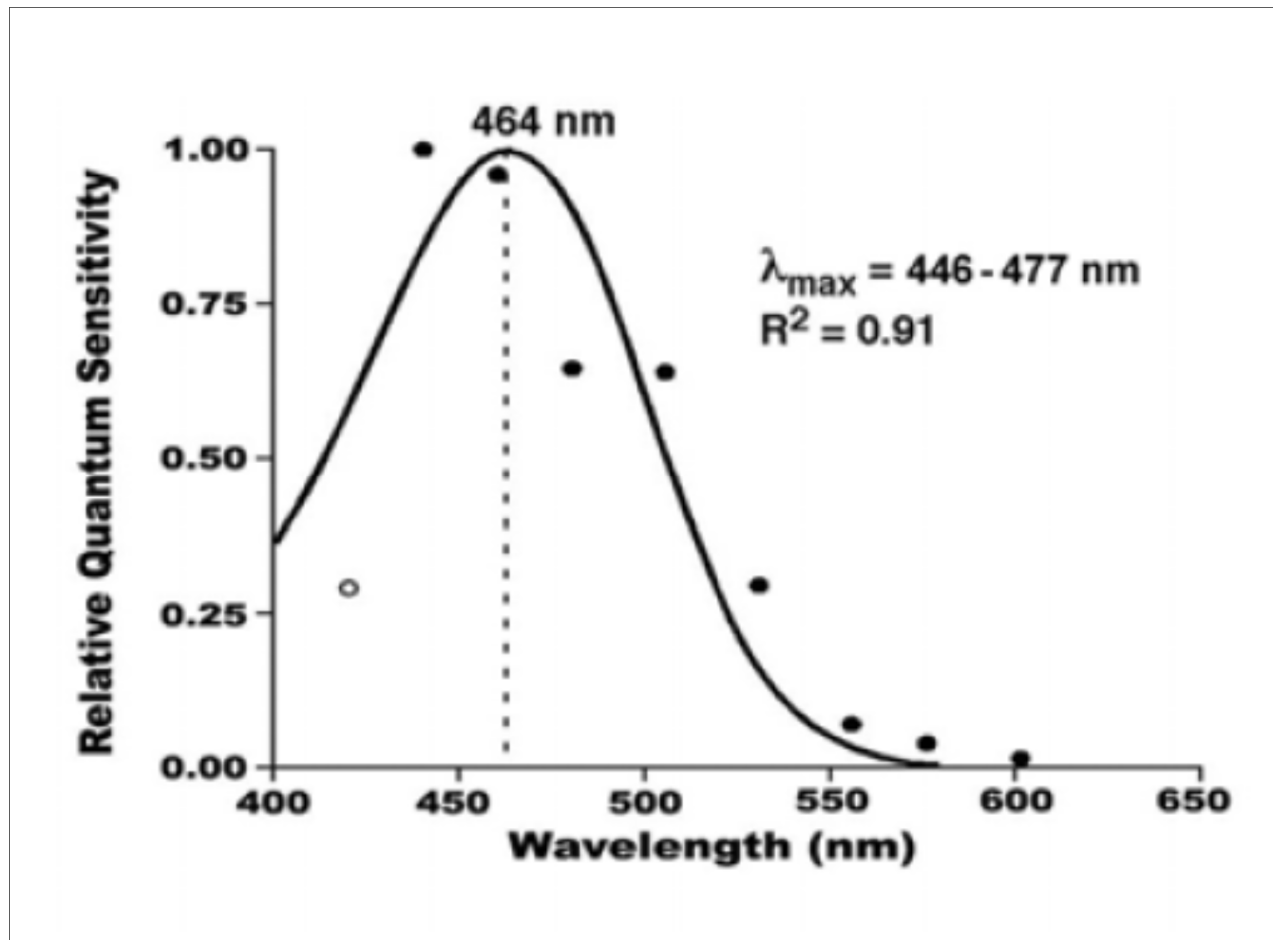
(Foster 2005)

Lichtwirkungen über das Auge



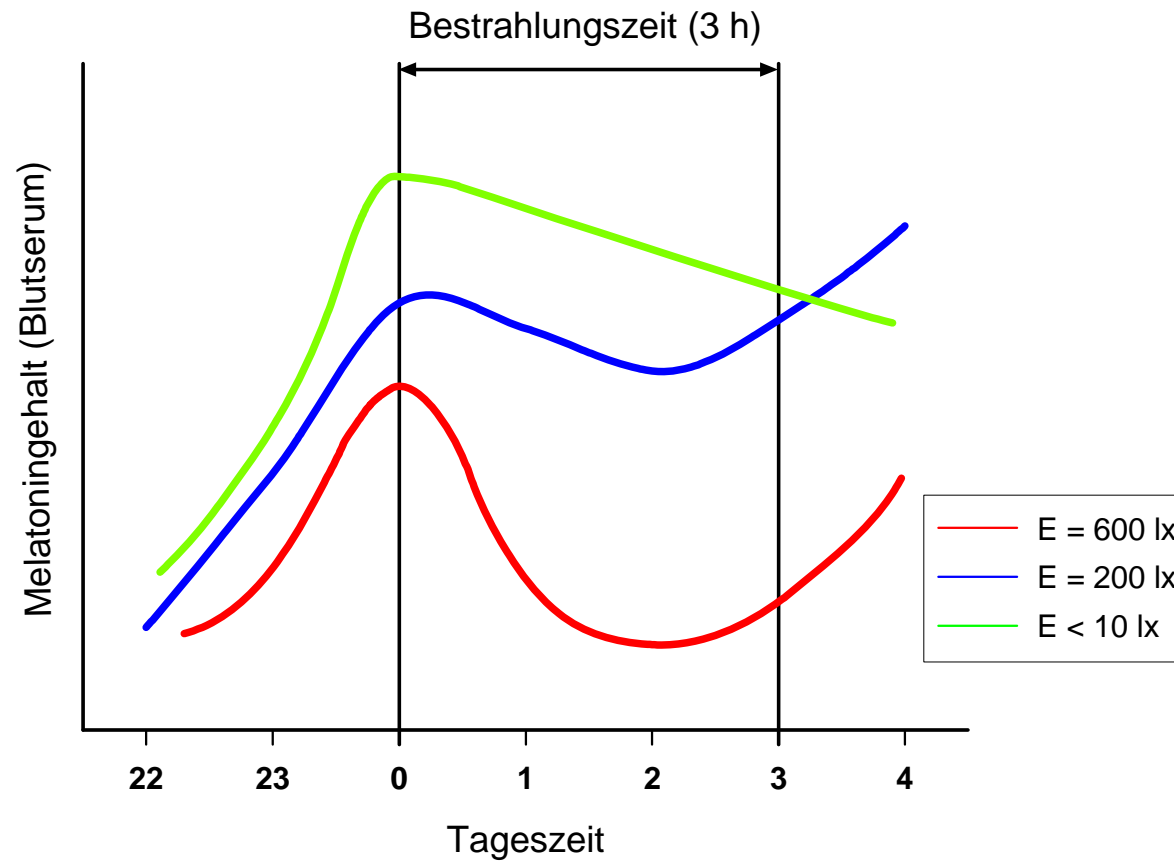
(Brainard 2004)

Wirkungsspektrum für die Melatoninunterdrückung



(Brainard2001)

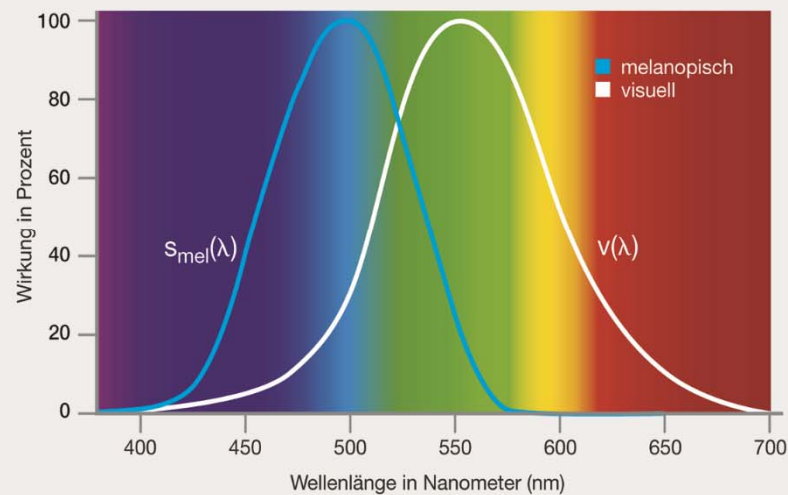
Melatoningehalt im Blut



(McIntyre 1989)

Eigenschaften des nicht-visuellen Systems

Spektrale Wirkungsfunktionen

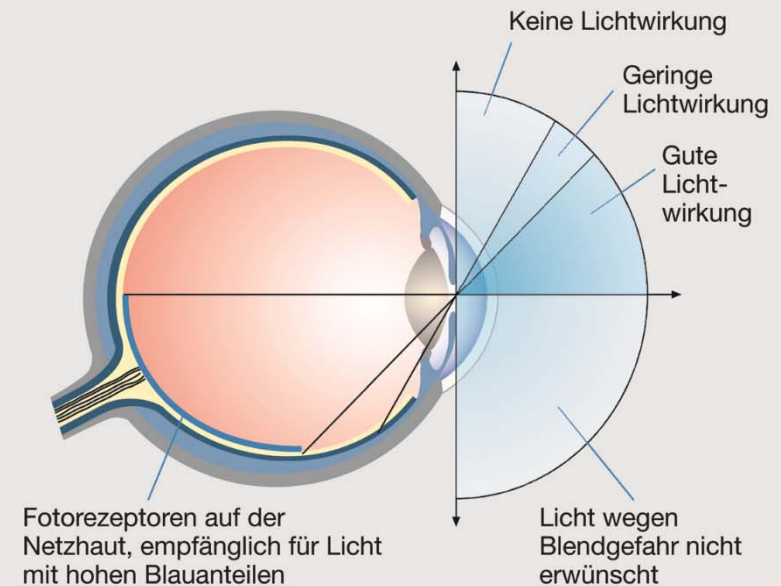


26

© licht.de

Hohe Wirksamkeit von blauem Licht

Ansprache der Fotorezeptoren



27

© licht.de

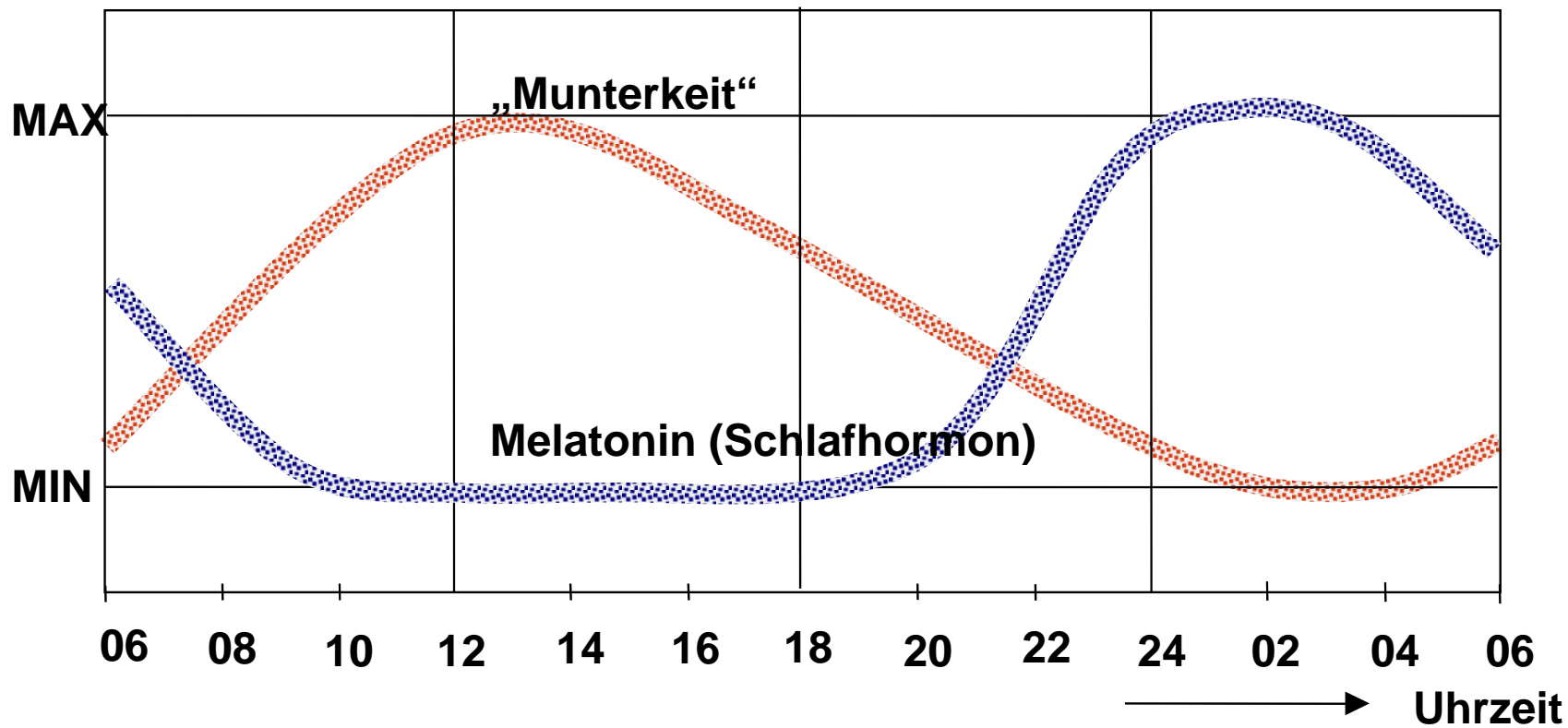
Hohe Wirksamkeit von großen hellen Flächen im Blickfeld

Licht und biologische Rhythmen

- Die Steuerung der biologischen Rhythmen erfolgt durch das circadiane System
- Diese wird durch Licht (hell-dunkel) synchronisiert
- Das System kann durch falsche Signale gestört werden

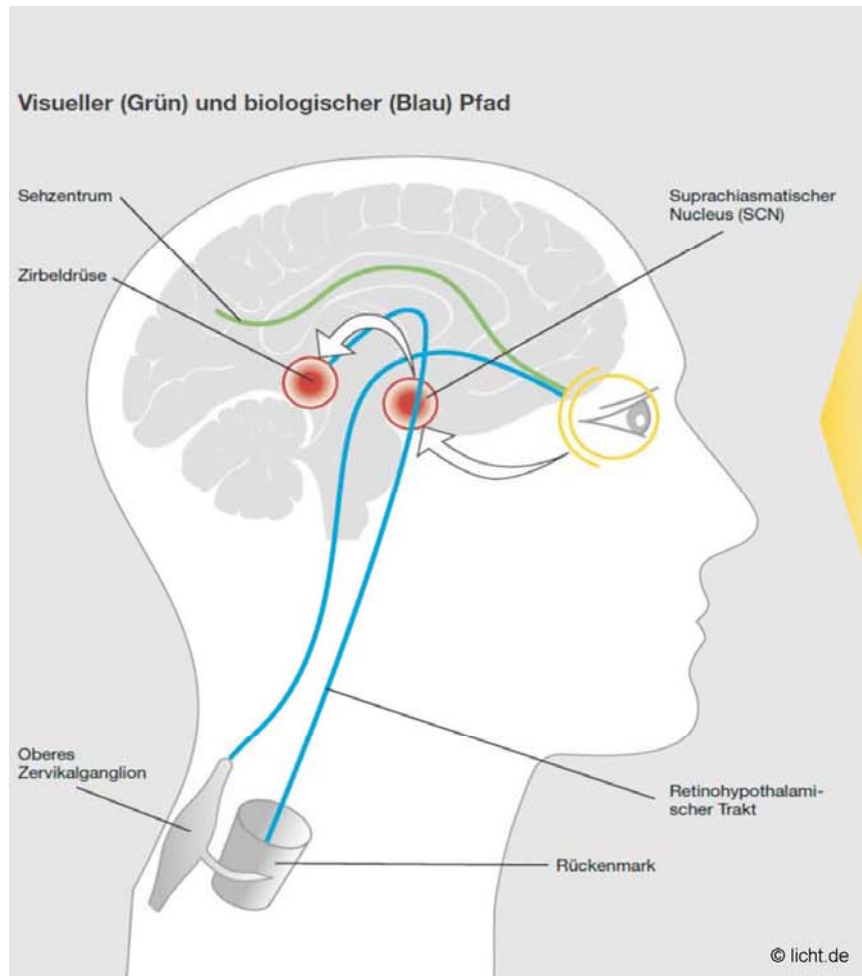
- Weitreichende Einflüsse auf Wachheit, Aktiviertheit, Schlafqualität und Gesundheit

Melatoninrhythmus



(Halbritter, Licht und Gesundheit 2004)

Lichtwirkungen auf den Menschen



Dreifache Wirkung

- 1 Visuelle Funktionen (das Sehen)
- 2 Emotionale Qualität
- 3 Biologische Impulse (stellt die „innere Uhr“)

„Innere Uhr“ (circadianes System)

- ... ist genetisch verinnerlicht
- ... steuert Schlaf- und Wachphasen, Körperfunktionen und Stimmung

→ **Licht taktet die innere Uhr.**

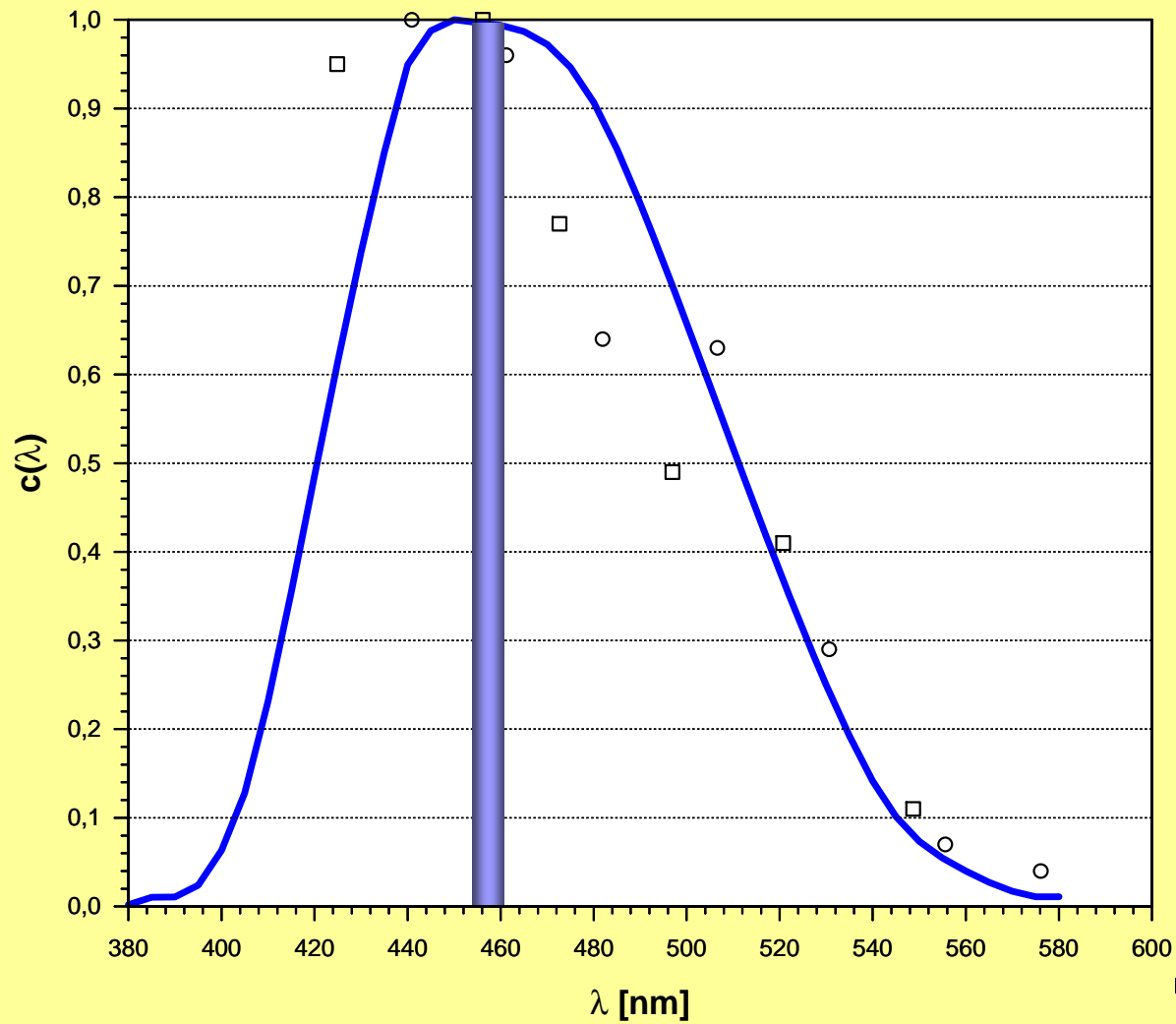
Nicht-visuelle Lichtwirkungen

- Melatoninunterdrückung in der Nacht
- Verschiebung der circadianen Phase
- Änderung der circadianen Amplitude
- Aktivierung mit Licht
- Steuerung des Pupillenreflexes

Parameter

- Spektrale Verteilung des Lichtes
- Örtliche Verteilung auf den Netzhaut
- Zeitpunkt und Zeitdauer der Beleuchtung
- die Beleuchtungsszenarien der vorangegangenen Stunden und Tage (hinsichtlich Beleuchtungsniveau, Spektrum, Zeitverlauf)

gemittelte circadiane Wirkungskurve $c(\lambda)$



□ Thapan u.a. (2001)

○ Brainard u.a. (2001)

(Gall)

Circadiane Metrik nach Gall

Circadian bewertete
Größe:

$$X_{ec} = \int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

Lichttechnische Größe:

$$X_v = k_m \int X_{e\lambda} v(\lambda) d\lambda$$

Circadianer
Wirkungsfaktor:

$$a_{cv} = \frac{\int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda}{\int X_{e\lambda} v(\lambda) d\lambda}$$

Spektrale Messung

$$X_{ec} = \int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

Spektralradiometer

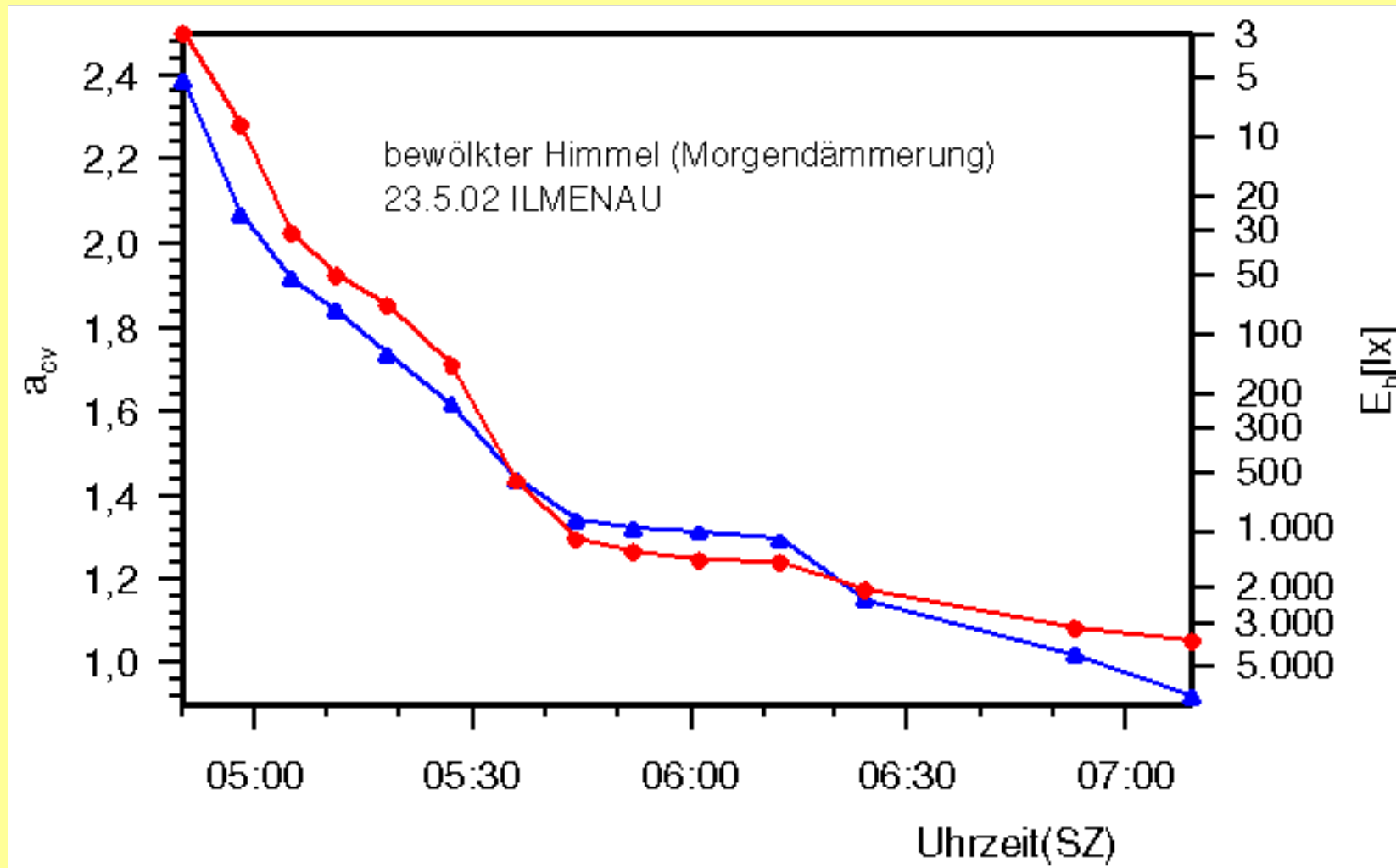


a_{cv} -Werte einiger Lampen

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	"Biolum" (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 ($\lambda = 460$ nm)
	LED (weiß)	1,05...2,0	

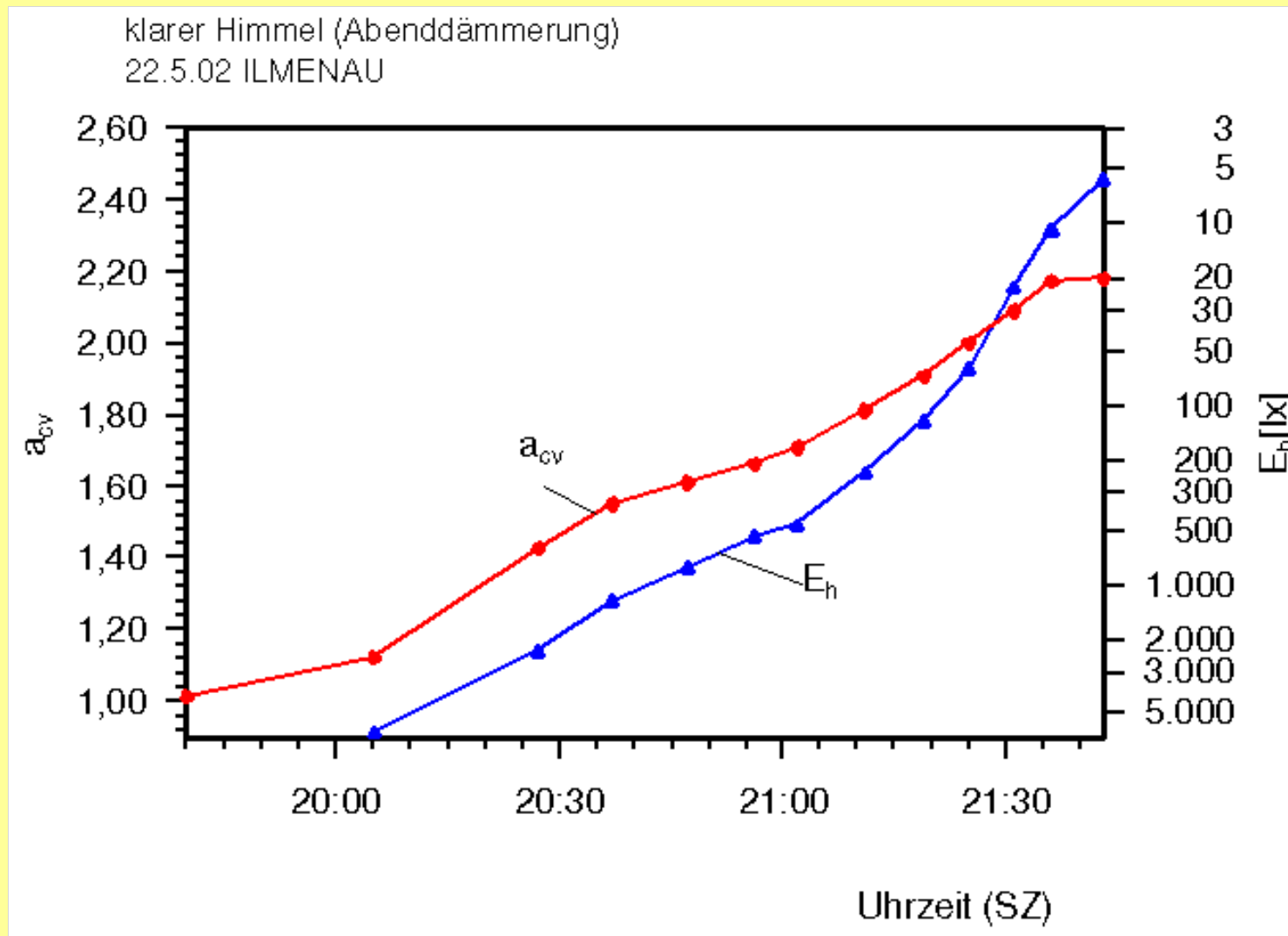
(Gall)

Circadianer Wirkungsfaktor in der Morgendämmerung



(Gall)

Circadianer Wirkungsfaktor in der Abenddämmerung



(Gall)

Circadiane Wirkungsfaktoren von Monitoren

Standard	Farbwertanteile						circ. Wirkungsfaktor (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

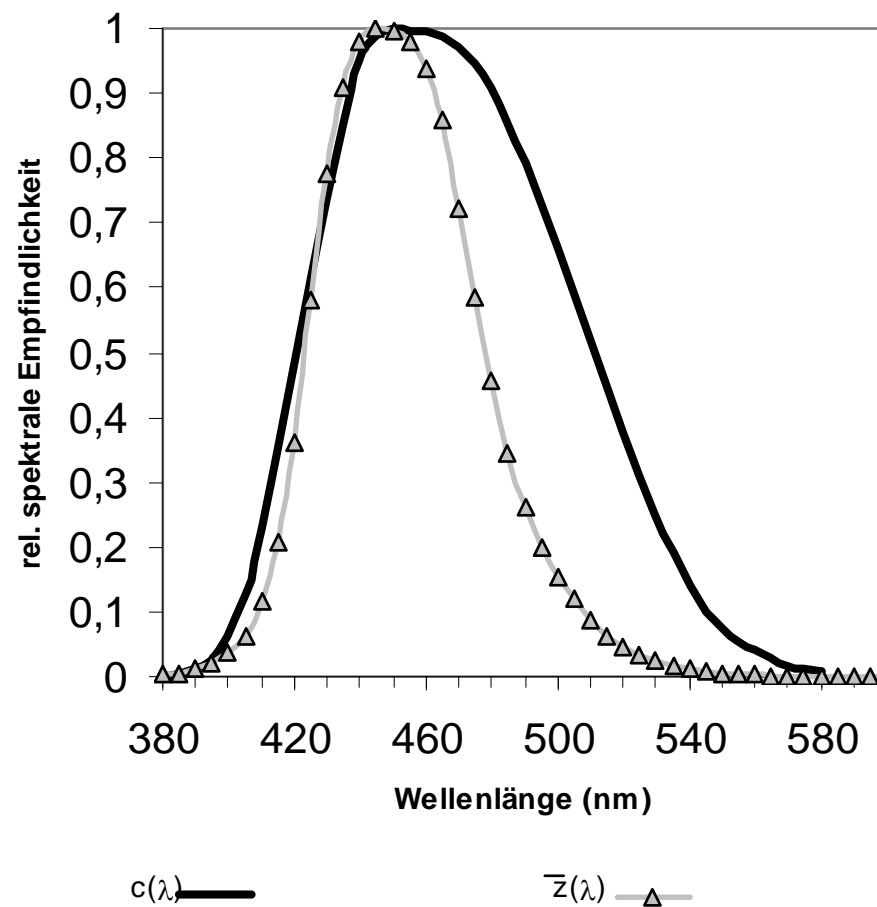
(Gall nach Porsch 2003)

Integrale Messung

$$X_{ec} = \int X_{e\lambda} c(\lambda) d\lambda$$

Messung mit $c(\lambda)$ -angepassten Empfängern
auch ortsaufgelöst möglich

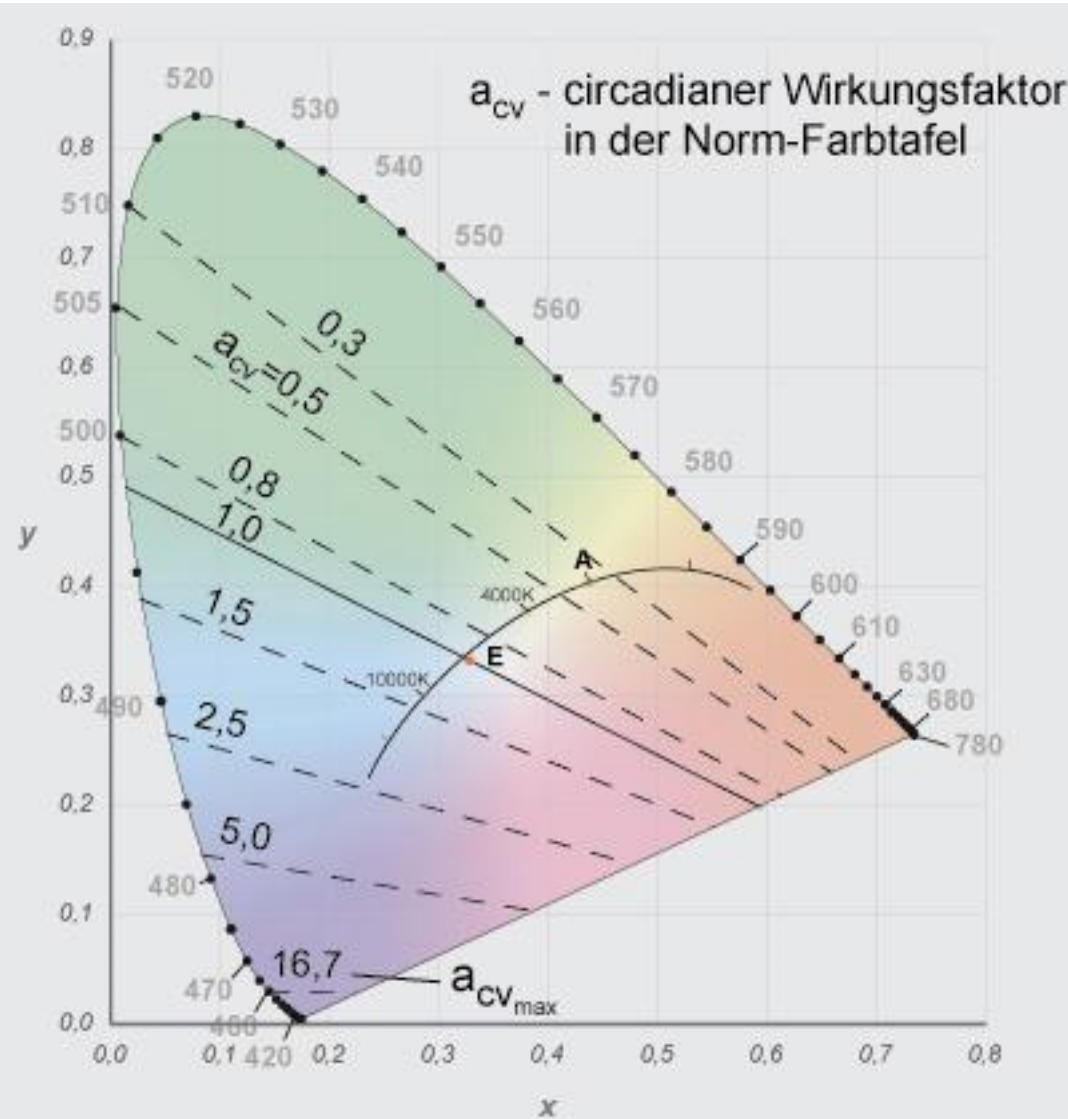
Farbmessgerät HCT-99



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

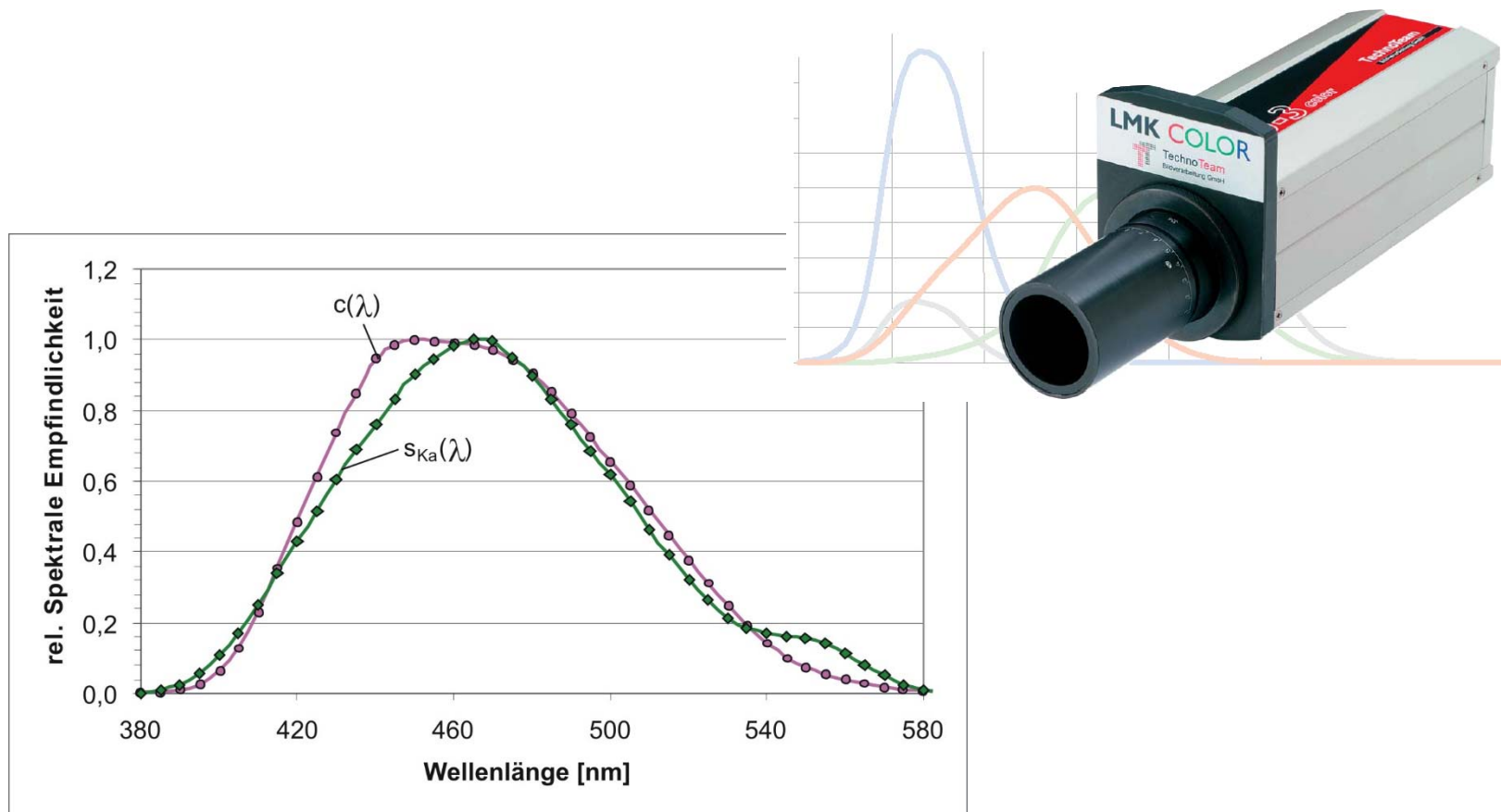
Lampe	a_{cv}
TRUE –LITE 58W (AURU-LIGHT)	0, 932
NARVA VITAL 58W/955	0, 984
BIO-LICHT 58W/5700 K	0, 936
Biolux OSRAM 58W/72-965	1, 17
PHILIPS TLD 58W/965	1, 19

Farbe und energetische Wirkung des Lichtes



(Gall)

Ortsaufgelöste Messung: LMK color



(Technoteam)

Messbeispiel 1



Leuchtstofflampe 6000 K

Spektrale Messung:

$CCT = 4805 \text{ K}$

$L = 1050 \text{ cd/m}^2$

$L_{ec} = 0,875 \text{ W/m}^2$ (c(λ)-bewertet)

$a_{cv} = 0,57$

LMK color

$a_{cv} = 0,51$

HCT-99

$a_{cv} = 0,69$

Messbeispiel 2



Leuchtstofflampe 3000 K

Spektrale Messung:

$$\text{CCT} = 2895 \text{ K}$$

$$L = 179,5 \text{ cd/m}^2$$

$$L_{\text{ec}} = 0,084 \text{ W/m}^2 \text{ (c}(\lambda)\text{-bewertet)}$$

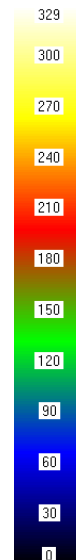
$$a_{\text{cv}} = 0,32$$

LMK color

$$a_{\text{cv}} = 0,35$$

Messbeispiel 2

Leuchtdichte
[cd/m²]

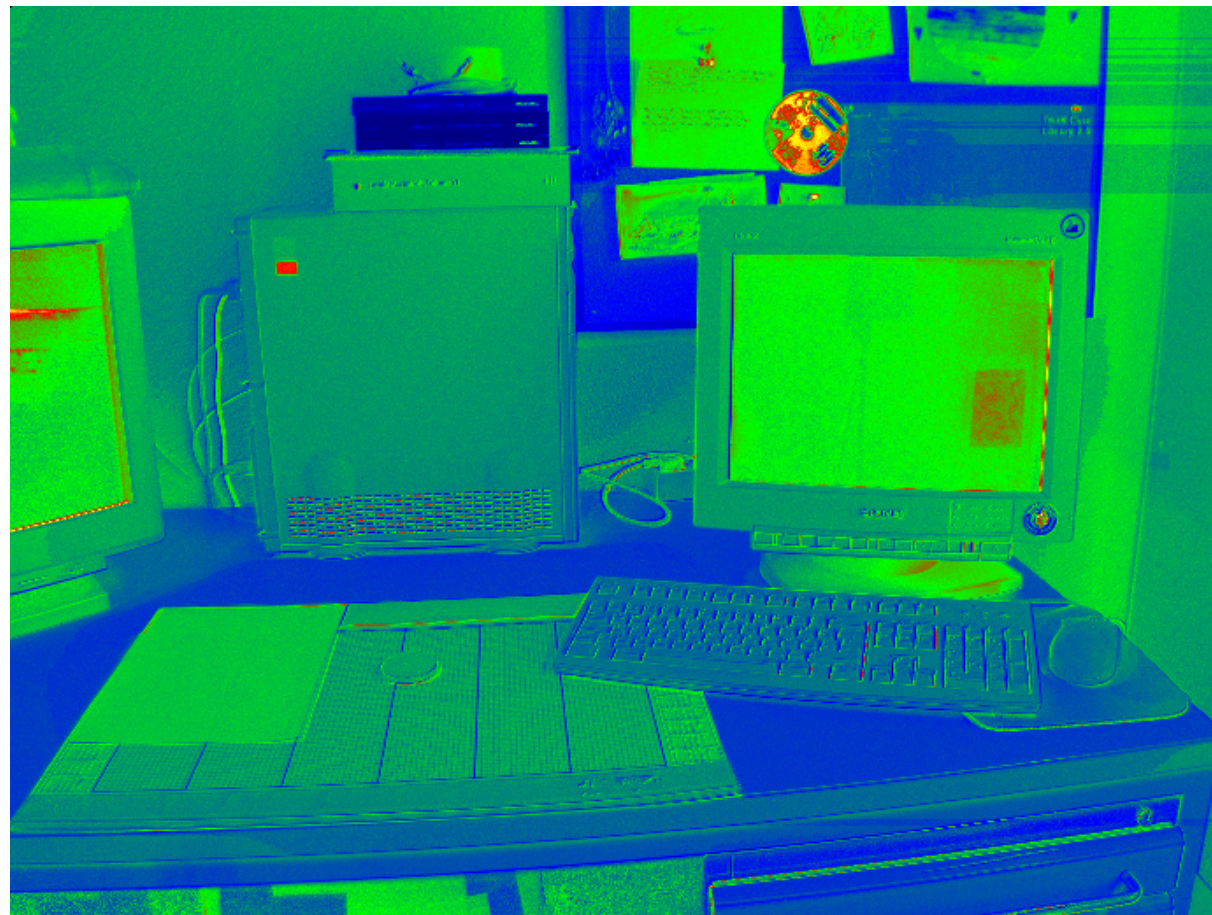


Circadiane
„Leuchtdichte“
[cd_c/m²]



Messbeispiel 2

Circadianer
Wirkungsfaktor



Mobile Langzeitmessungen

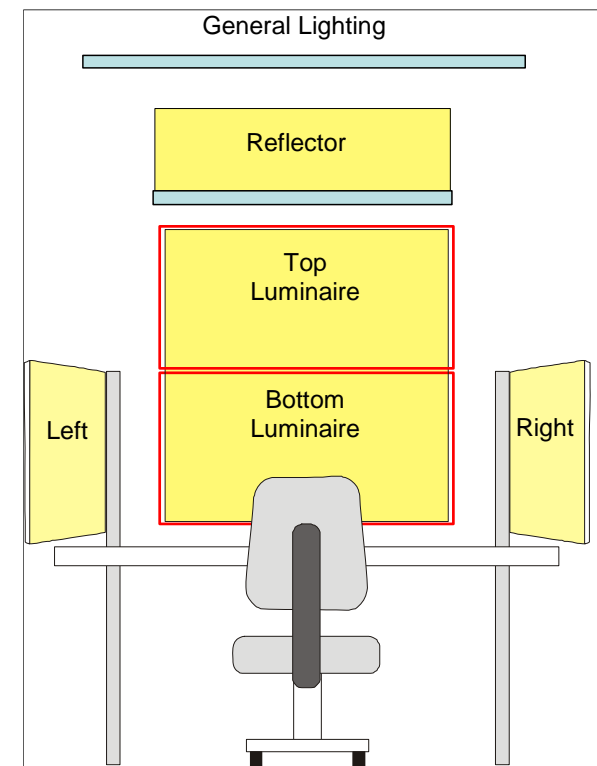
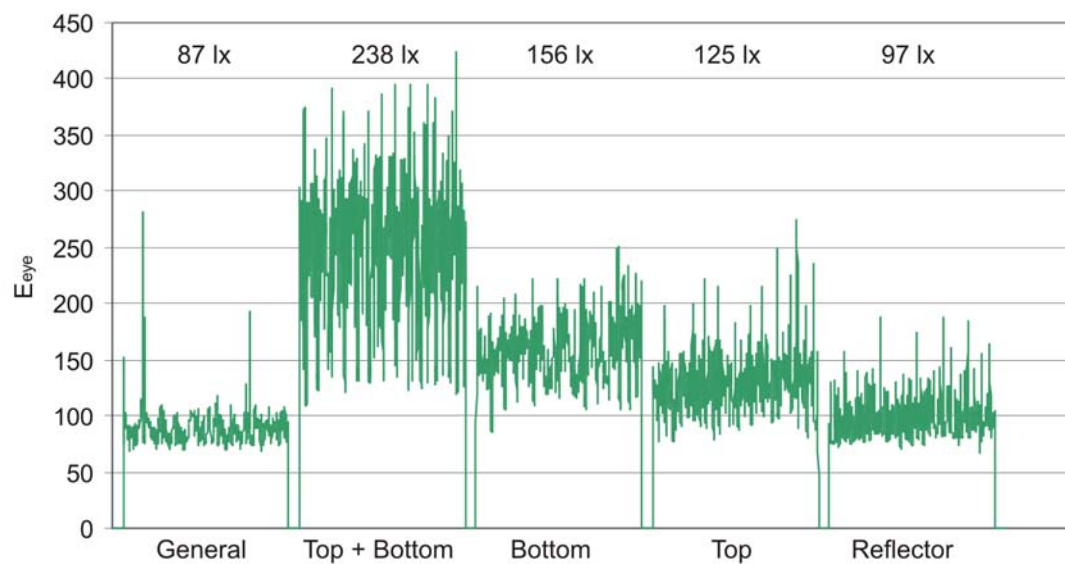
Mobiler Gesichtsfeldsensor
(Kaltenbach,
Vollmer, 2003)



LuxBlick (Wolf, 2008)



Mobile Langzeitmessungen



Lichtwirkungen im Altenheim



(TU Ilmenau 2006)

Lichtwirkung auf Alzheimerpatienten

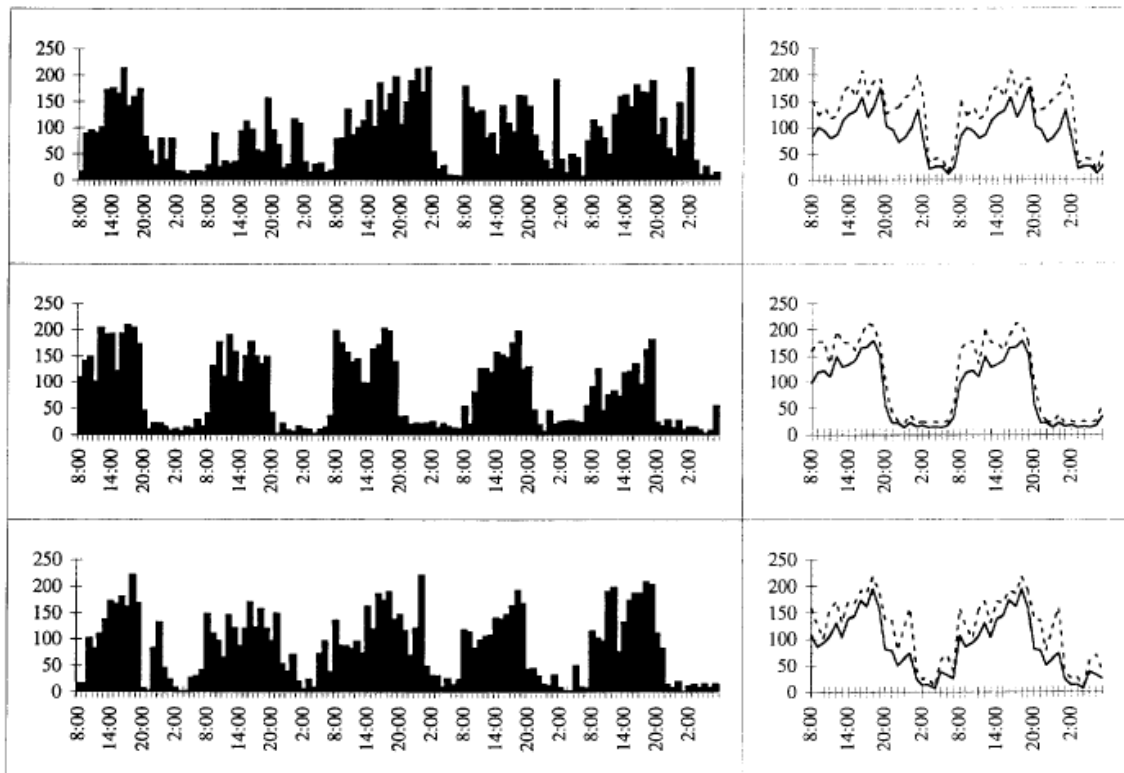
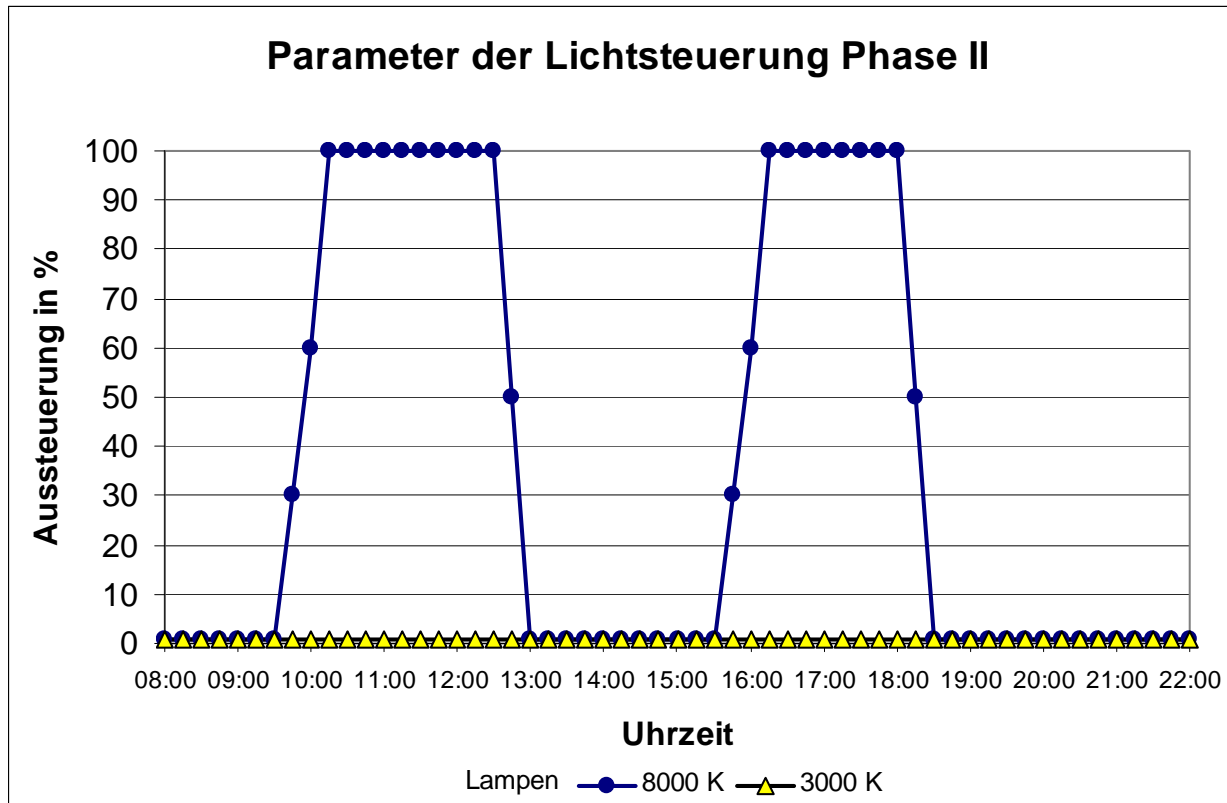


Figure 2. Raw activity data (left panels) of a patient with Alzheimer's disease assessed three times for 5 days: before (upper left panel), during (middle left panel), and after (lower left panel) light treatment. The right panels show double plots of the average 24-hour activity level (solid line) and one standard deviation above this level (dashed line). Note the decreased variability and the smoother average during light treatment. Furthermore, note that the average daytime and nighttime activity levels do not change markedly, indicating that bright light induces a reduction in "noise" rather than an increase in amplitude.

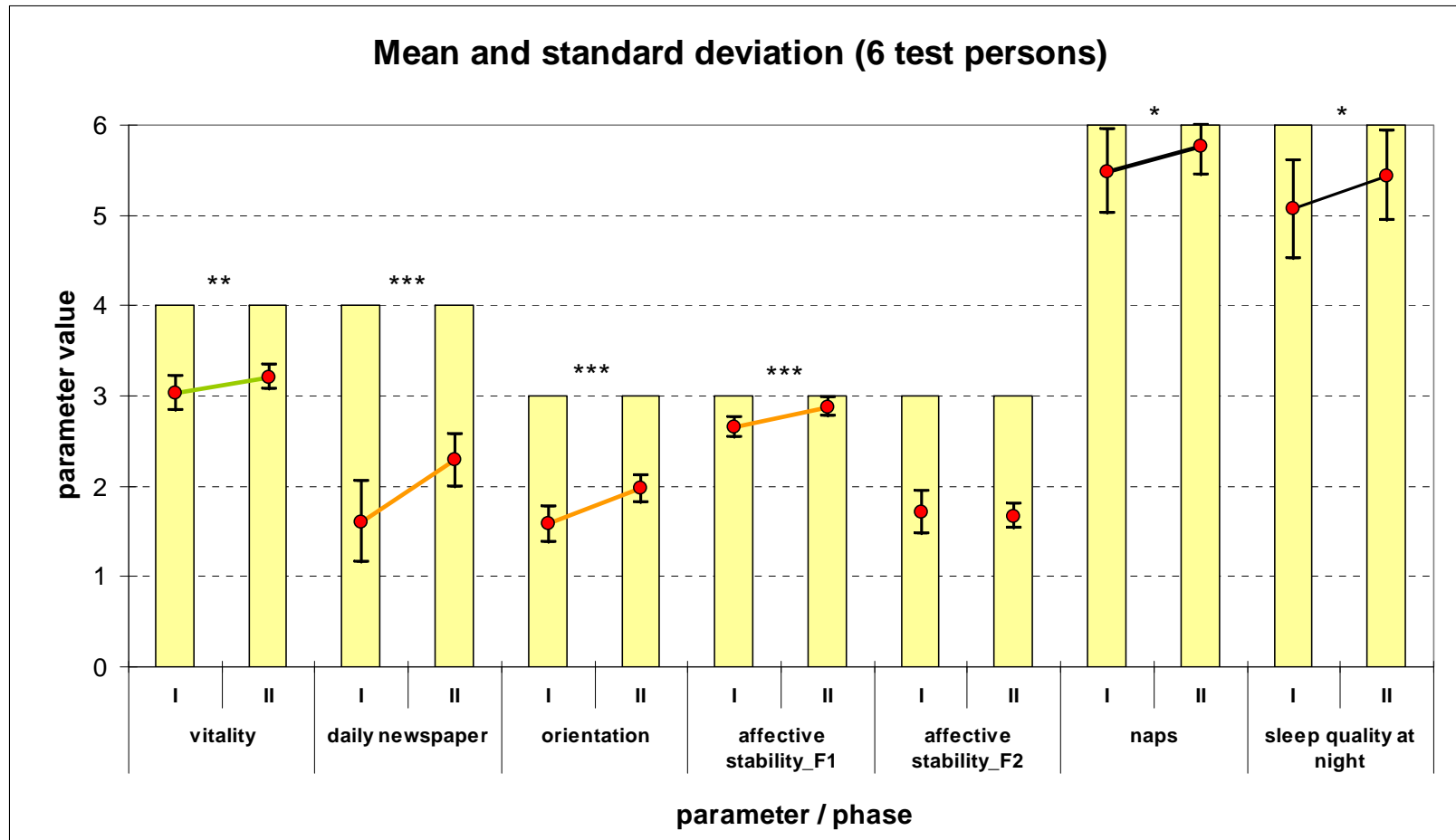
(van Someren 1997)

Beleuchtungsszenario im Altenheim



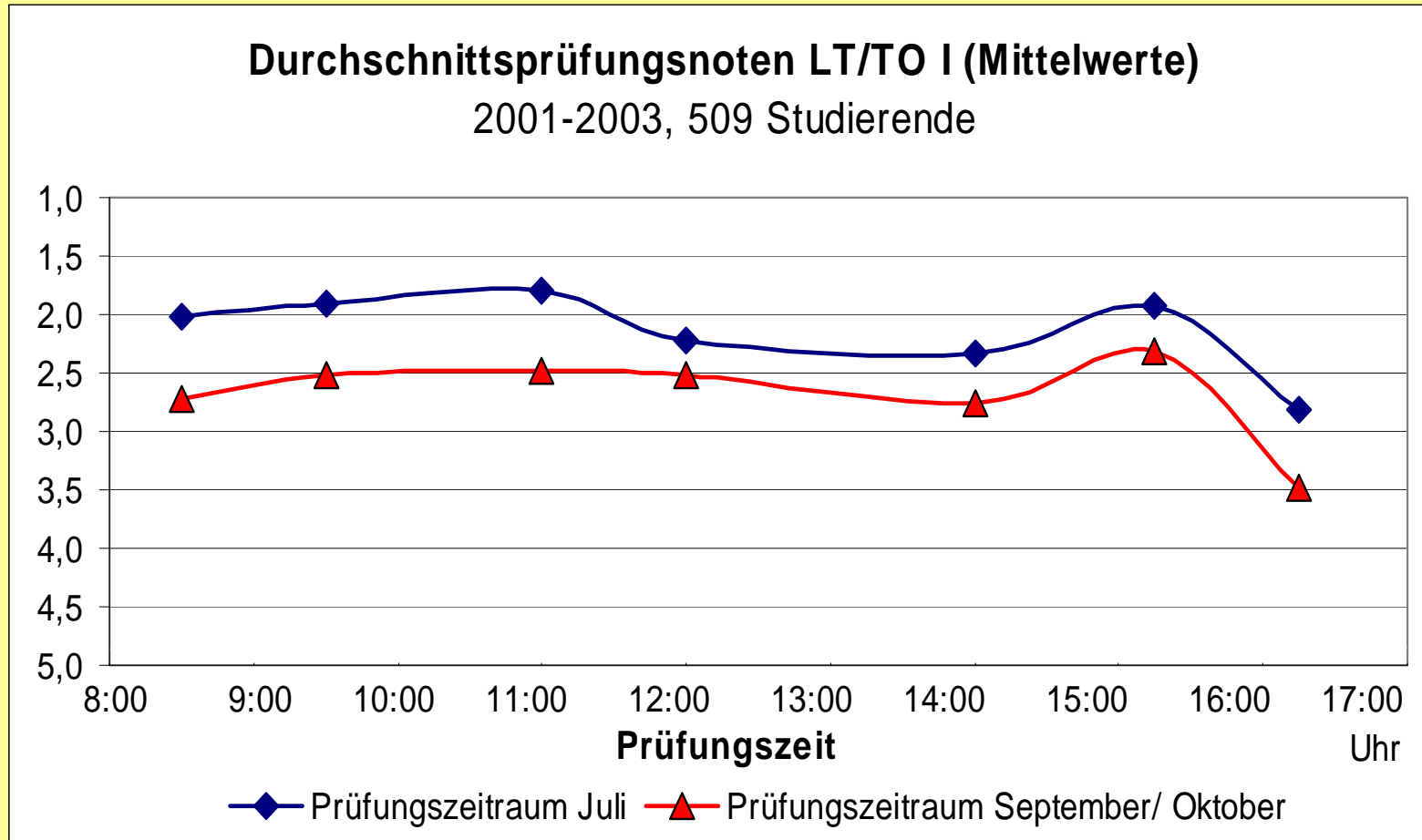
(Bieske2006)

Phasenvergleiche



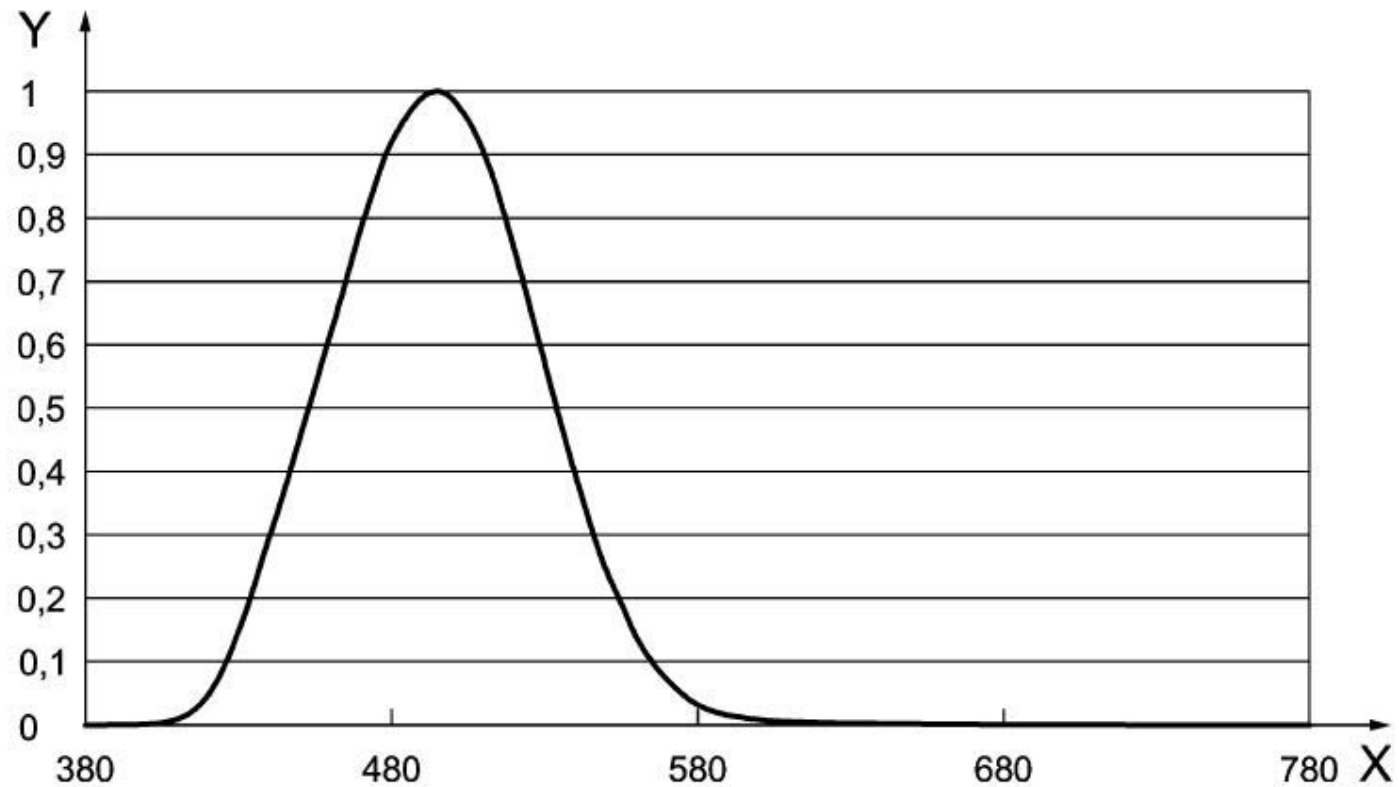
(Bieske2006)

Prüfungen



(Gall, TU Ilmenau)

DIN SPEC 5031-100 (2015): $s_{\text{mel}}(\lambda)$



Legende

X Wellenlänge λ in nm

Y spektraler Wirkungsfaktor $s_{\text{mel}}(\lambda)$

Melanopische Wirkung des Lichts

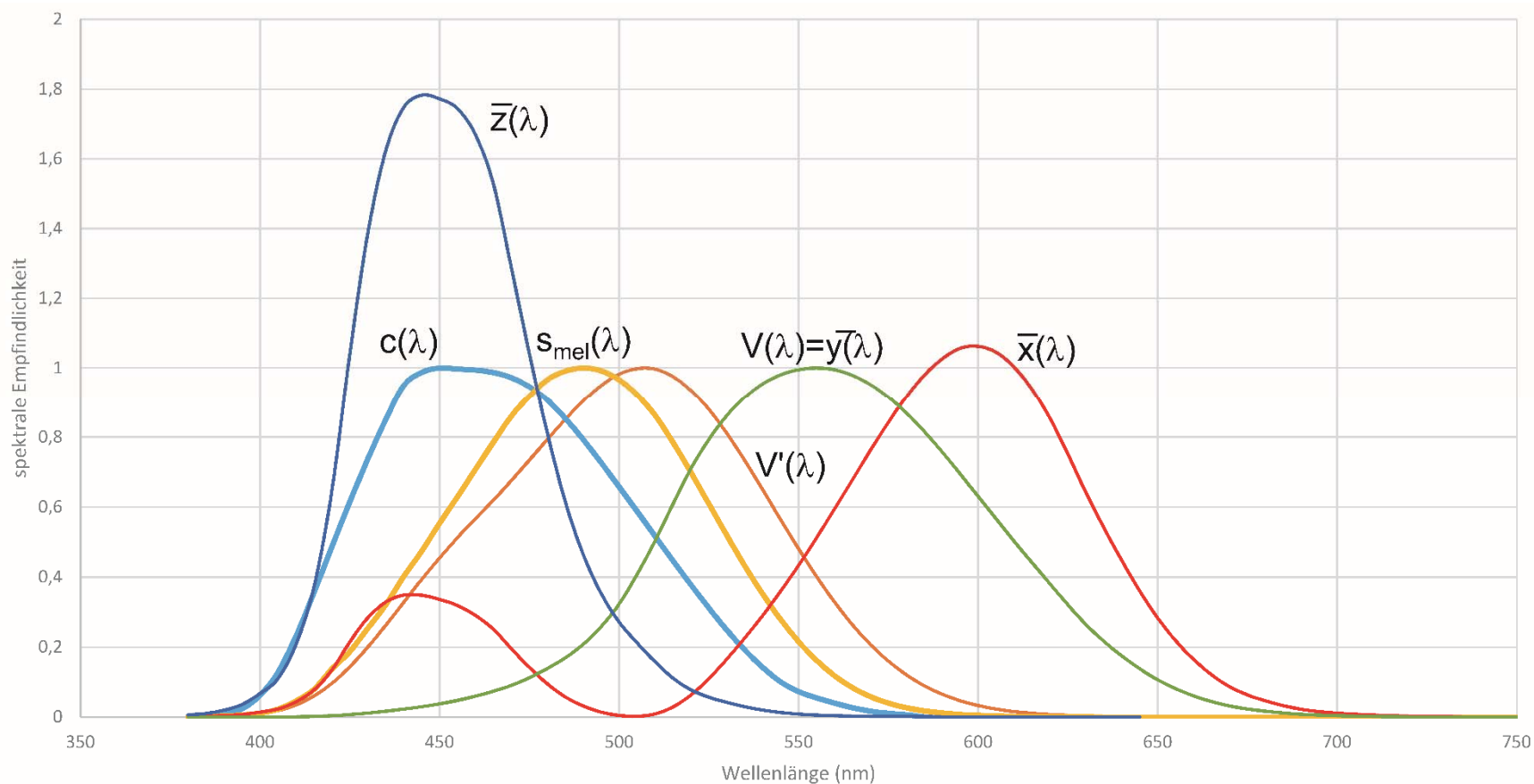
nach DIN SPEC 5031-100 (2015)

Bewertungsgröße $S_{\text{mel}}(\lambda)$

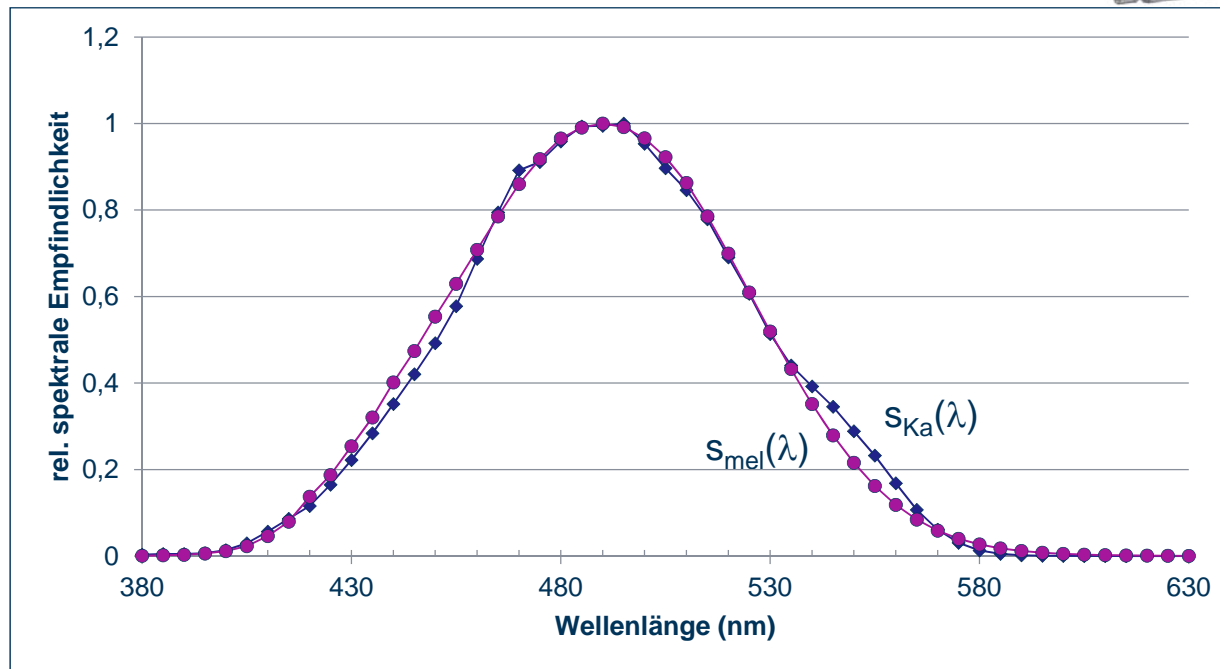
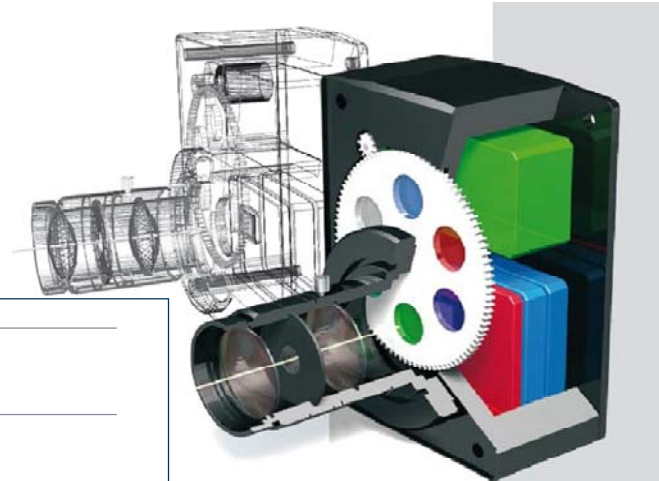
Melanopisch
bewertete Größe: $X_{\text{mel}} = \int X_{\lambda} S_{\text{mel}}(\lambda) d\lambda$

Melanopischer
Wirkungsfaktor: $a_{\text{mel,v}} = \frac{\int X_{\lambda} S_{\text{mel}}(\lambda) d\lambda}{\int X_{\lambda} v(\lambda) d\lambda}$

Vergleich spektraler Empfindlichkeiten



Ortsaufgelöste Messung: LMK color

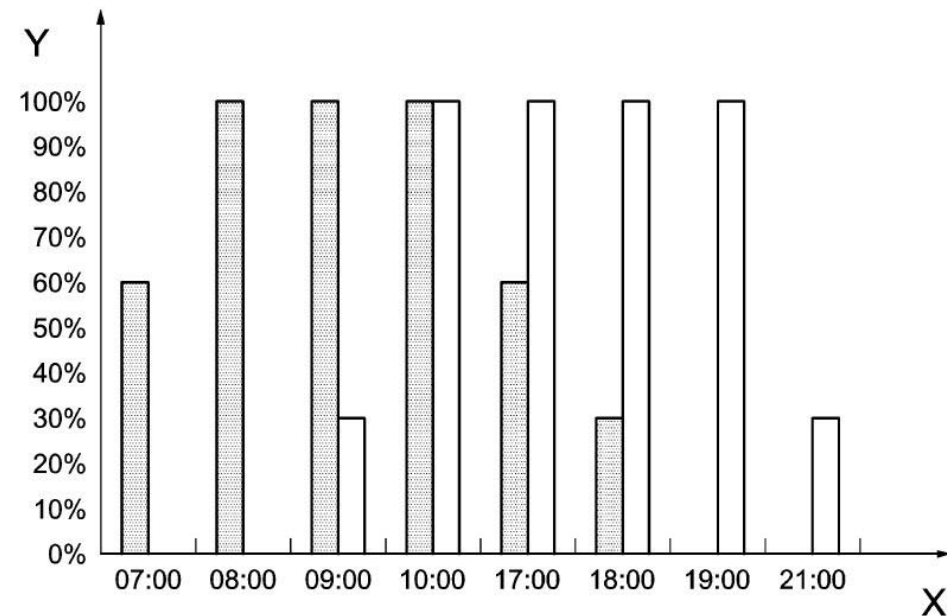


(Technoteam)

DIN SPEC 67600 (2013)

Planungsempfehlungen für biologisch wirksame Beleuchtung

Beispielszene für die Beleuchtung im Altenheim



Legende

X Tageszeit

Y relative Beleuchtungsstärke in %

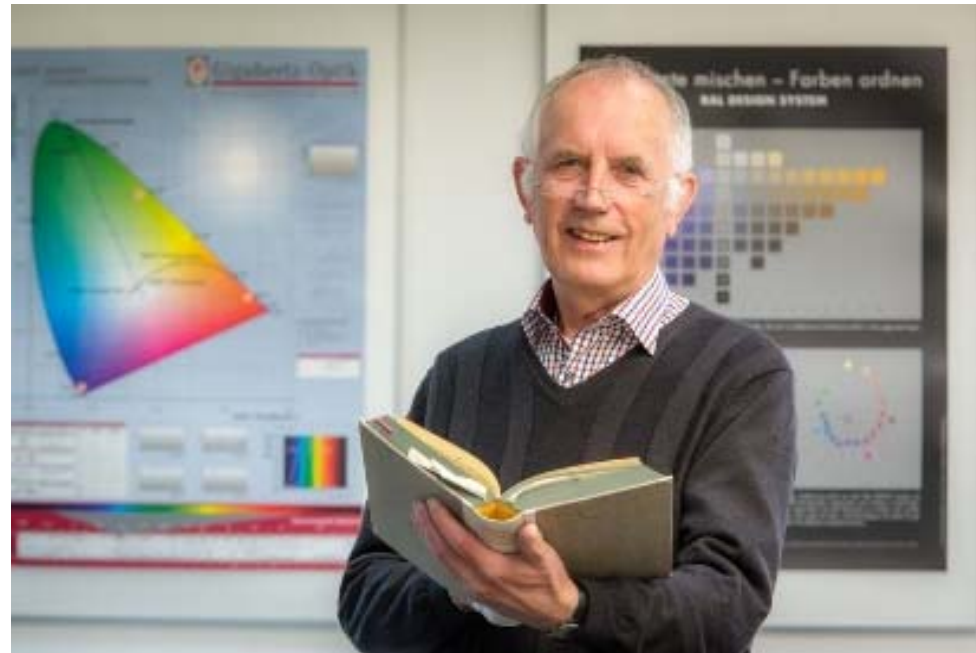
■ Tageslicht

□ Warmweiß

Zusammenfassung

- Seit der Entdeckung der lichtempfindlichen Ganglienzellen im Jahr 2001 sind die nicht-visuellen Lichtwirkungen immer mehr in den Fokus der Lichtanwendung gerückt
- Prof. Gall hat dieses Thema dank seiner intensiven Arbeit von Beginn an mit geprägt
- In heute verfügbaren Empfehlungen finden sich viele Spuren seines Handelns

Vielen Dank



Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.

Dietrich Gall

28.5.1940 – 2.1.2017