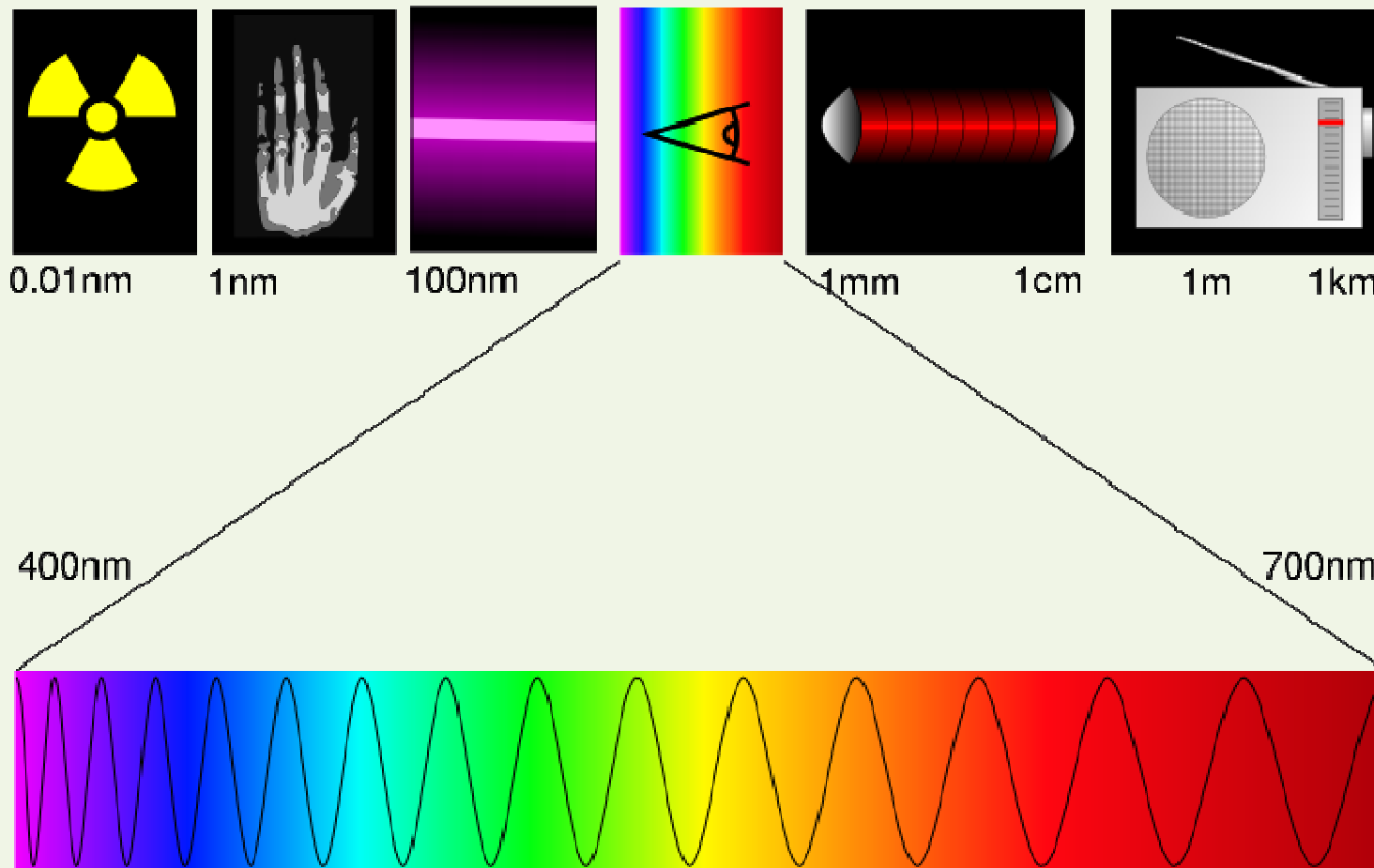


Licht und Beleuchtung für den Arbeitsplatz und im Stall

Dr. Horst Cielejewski

Referat 43 Haltungsverfahren, Technik, Bauen

Landwirtschaftskammer Nordrheinwestfalen, Münster



Der Lichtstrom Φ [Lumen (lm)]

ist die von einer Lichtquelle abgegebene und vom Auge wahrgenommene Strahlungsleistung im sichtbaren Bereich des gesamten Spektrums.

Beispiele:

Leuchtdiode		0,01 lm
Glühlampe	60 W	600 lm - 730 lm
Glühlampe	100 W	1350 lm - 1500 lm
Leuchtstoffröhre	40 W	2300 lm
Lumilux ecoplus daylight, (1,20 m lang)	36 W	ca. 3.250 lm
Kompaktleuchtstoffröhre (Osram Dulux)	36 W	ca. 2.900 lm
12V Halogenlampe	50 W	ca. 900 bis 1.200 lm
Quecksilberdampf Lampe	100 W	4500 lm
Halogenmetaldampf Lampe	70 W	ca. 6.600 lm
Halogenmetaldampf Lampe	400 W	ca.36.000 lm
Natriumdampf Lampe (Niederdruck) (Oranges Licht)	55 W	ca. 8.000 lm
Natriumdampf Lampe (Hochdruck)	400 W	ca. 50.000 lm

Lichtstärke I [Candela (cd)]

Ist das Verhältnis von Lichtstrom Φ zum ausgeleuchteten Raumwinkel Ω (Steradian)

$$1 \frac{lm}{sr} = 1 cd$$

$$I = \frac{12,566 lm}{4 \cdot \pi sr}$$

Eine Lichtquelle erscheint um so heller, je kleiner ihre Fläche im Vergleich zur Lichtstärke I ist. Die **Leuchtdichte** ist das, was Menschen als Helligkeit wahrnehmen

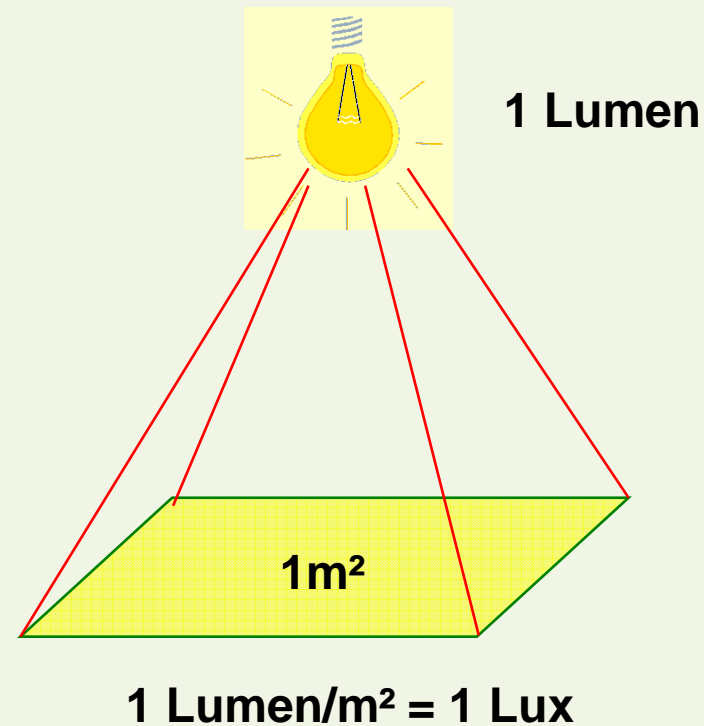
Lichtquelle	Leuchtdichte
Sonne am Mittag	1.600.000.000 cd/m ²
100 W Glühlampe klar	10.000.000 cd/m ²
Sonne am Horizont	5.000.000 cd/m ²
100 W Glühlampe matt	200.000 cd/m ²
Blauer Himmel	10.000 cd/m ²
Kerzenflamme	5.000 cd/m ²
Mond	2.500 cd/m ²
Nachthimmel	0,001 cd/m ²

Beleuchtungsstärke E [Lux (lx)]

ist das Verhältnis von Lichtstrom Φ zu beleuchteter Fläche A (als Empfänger)

Die Beleuchtungsstärke eines Empfängers nimmt mit dem Quadrat des Abstandes zur Lichtquelle ab

$$E = \frac{\Phi}{A} \left[lx = \frac{lm}{m^2} \right]$$



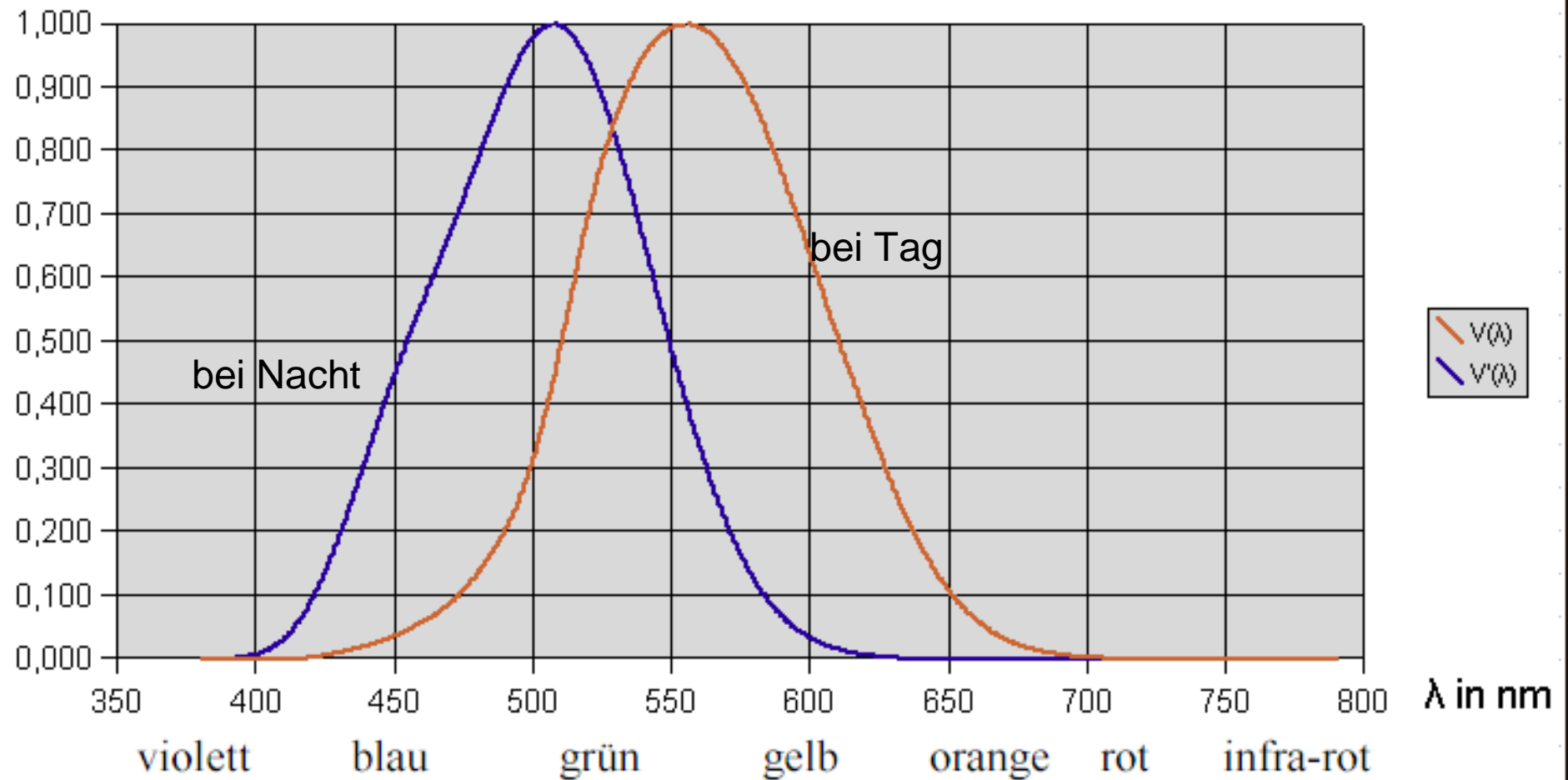
Heller Sonnentag	100.000 lx
Bedeckter Sommertag	20.000 lx
Im Schatten im Sommer	10.000 lx
Operationssaal	10.000 lx
Beleuchtung TV-Studio	1.000 lx
Bürobeleuchtung	500 lx
Flurbeleuchtung	100 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Mondlicht	0,25 lx
Sternklarer Nachthimmel	0,001 lx
Bewölkter Nachthimmel ohne Fremdlichter	0,0001 lx

Die Hellempfindlichkeit ist abhängig von der Wellenlänge und ist in sogenannten Hellempfindlichkeitskurven von der CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) für einen Standard-Beobachter festgehalten.

Es gibt mehrere solcher Kurven für verschiedene Lichtverhältnisse, z.B. $V(\lambda)$ für Tageslicht.

Es gibt ein Maximum bei ungefähr 550 nm, also bei grünem Licht. Bei rotem Licht ist die Hellempfindlichkeit um mehr als den Faktor 10 geringer; daher nehmen wir die rote LED (Wellenlänge ca. 650 nm) als viel dunkler wahr als die grüne (Wellenlänge ca. 550 nm), obwohl sie physikalisch die gleiche Strahlungsleistung abgeben.

Hellempfindlichkeit des Auges



Farbwirkung von Leuchtstofflampen

Farbwiedergabe-Index Ra

Ra = 100 erscheinen alle Farben der Umgebung natürlich

Ra-Bereich zwischen 90 und 100 = Leuchtstofflampen "de Luxe" (auch 1A)

RA-Bereich zwischen 80 und 90 = gute Farbwiedergabe (auch 1B)

Farbtemperatur (in K = Kelvin)

bis 3.300 K warmweiß

3.300 K bis 5.300 K neutralweißes Licht

über 5.300 K tageslichtweißes Licht

27 steht für Glühlampenähnlich (2.700 K),

30 für Warmton (3.000 K),

40 für Neutralweiß (4.000 K),

65 für Tageslichtweiß (6.500 K)

Zusammengefasst zu drei Ziffern

930 – beste Farbwiedergabe und Licht wirkt warm

Das Verhältnis aus Lichtstrom (Lumen) und Leistungsaufnahme (Watt) wird als **Lichtausbeute** bezeichnet

Bei einer Glühbirne beträgt die Lichtausbeute bis zu 15 lm/W, eine 100 W Glühbirne ergibt einen Lichtstrom von 1500 Lumen.

Der Rest der elektrischen Energie geht in Form von nicht sichtbarer Strahlung und Wärmestrahlung verloren.

Lichtquelle	Lichtausbeute in lm/W
Kerze (bezogen auf ca. 150 W Heizleistung)	0,1
Glühlampe (40 W)	13
Glühlampe (100 W)	15
Halogenglühlampe (12 V)	28
Energiesparlampe (mit E14 oder E27 Gewinde)	40–80
Leuchtstofflampe (36 W, mit induktivem Vorschaltgerät)	60–90
Leuchtstofflampe (36 W, mit elektronischem Vorschaltgerät)	80–110
(*)Leuchtröhre (umgangssprachlich Neonröhre)	30
Quecksilberdampf Lampe	80–100
Natriumdampf-Hochdrucklampe	bis ca. 150
Xenon-Gasentladungslampe (PKW)	90
(*) Natriumdampf-Niederdrucklampe	bis ca. 200
Schwefeldampf Lampe	ca. 95
Leuchtdiode weiß	bis ca. 35

Lampen-Typen und ihre Eigenschaften

Lampentyp	Farbtemperatur	mittlere Brenndauer	Preis	Regelbar	Bemerkung
Glühlampen	2000 - 2600K	50 - 1000h	niedrig	ja (Standard-dimmer)	Im Laufe der Brenndauer dunkelt der Glaskolben und die Lichtstärke nimmt ab.
Halogen-Glühlampen	2600 - 3300K	100 - 2000h	niedrig	ja (Standard-dimmer)	
Leuchtstoff-lampen	2700 - 4000K	8000 - 12.000h	hoch	bedingt (nur mit speziellen Dimmern und Vorschaltgeräten)	Benötigen Vorschaltgerät
Entladungslampen	2900 - 6000K	500 - 8000h	hoch	nein	Benötigen Vorschaltgerät. Einige Typen lassen sich erst wieder nach dem Abkühlen erneut starten.

Entladungslampen / Farbwiedergabeindex / Typenvergleich

Kürzel	Entladungslampen-Typ	Ra	Einsatzbereich
HQI = MHN, MH, HPI	Metallhalogen, Mittelbogen	70 - 80	Gute Beleuchtung, Projektion
CDM-T, HCI-T	Metallhalogen Keramik Brenner	80 - 90	Ausgezeichnete Beleuchtung, für Wohnraum, Präsentation, Grafik, Textil
HMI, HMP, MHD, MSR, MSI, MSP, CSR, MID	Metallhalogen, Mittelbogen	>90	Bühnenscheinwerfer, Projektion
HTI, HMD, MSR, CSS	Metallhalogen Kurzbogen	92 - 95	Bühnenscheinwerfer, Projektion
HSR, HSD, MSD	Metallhalogen Kurzbogen mit Hüllkolben	92 - 95	Bühnenscheinwerfer, Projektion
SN	Zinnhalogenid Kurzbogen	>80	Bühnenscheinwerfer, Projektion
XBO	Xenon Kurzbogen	>95	Groß- Scheinwerfer, Projektion
HPL, HQL, SHL, HRL, HBO	Quecksilberdampf (Mercury)	<60	Straßenbeleuchtung, Parkplatz, Lagerhallen
SOX, SLP, LPS	Natriumdampf- Niederdruck	monochromatisch gelbes Licht (nur eine Farbe)	Straßenbeleuchtung, Beleuchtung historischer Gebäude
NAV, SON, SHP, SHX, HPS	Natriumdampf- Hochdruck	warmgelbes Licht, schlechte Farbwiedergabe	Straßenbeleuchtung, Beleuchtung historischer Gebäude
SDW-T	Natriumdampf- Hochdruck	warmgelbes Licht, gute Farbwiedergabe 80	Verkaufsraumbeleuchtung

2.1 Landwirtschaft	
2.1.1 Beschicken und Bedienen von Fördereinrichtungen und Maschinen	200
2.1.2 Viehställe	50
2.1.3 Ställe für kranke Tiere, Abkalbställe	200
2.1.4 Futteraufbereitung, Milchräume, Gerätereinigung	200
2.7.3 Arbeitsplätze und kritische Zonen in Schlachthöfen, Metzgereien, Molkereien, Mühlen, auf Filterböden in Zuckerraffinerien	500
2.7.4 Schneiden und Sortieren von Obst und Gemüse	300
2.7.5 Herstellung von Feinkost-Nahrungsmitteln, Küchenarbeit, Herstellung von Zigarren und Zigaretten	500
2.7.6 Kontrolle von Gläsern und Flaschen, Produktkontrolle, Garnieren, Sortieren,	500
2.7.7 Laboratorien	500
2.7.8 Farbkontrolle	1000
6.2.1 Unterrichtsräume in Grund- und weiterführenden Schulen	300
6.2.2 Unterrichtsräume für Abendklassen und Erwachsenenbildung	500
6.2.3 Hörsäle	500
7.12 Zahnärztliche Behandlungsräume	
7.12.1 Allgemeinbeleuchtung	500
7.12.2 Im Patientenbereich	1000
7.12.3 In der Mundhöhle	5000
7.12.4 Weißabgleich der Zähne	5000

Richtwerte für Beleuchtungsstärken Auszug aus DIN 5035 Teil 2

- 100 Lux Lagerräume, Treppen, Verkehrswege in Gebäuden
- 200 Lux Lagerräume mit Leseaufgabe, Archive
- 300 Lux Büroarbeitsplätze ausschließl. in Fensternähe, Versand
- 500 Lux Datenverarbeitung, Kassenbereiche, Besprechungsräume
- 750 Lux Technisches Zeichnen
- 1000 LUX Farbprüfungen, Farbkontrollen, Warenprüfung

Probleme + Anforderungen:

dunkle, lichtschluckende Flächen

Schattenbildung durch eigene Person und Bauteile

gleichmäßige Ausleuchtung von Vorwarte Hof/Melkstand/Austrieb

min. ??? Lux Raumbelichtung (AVO)

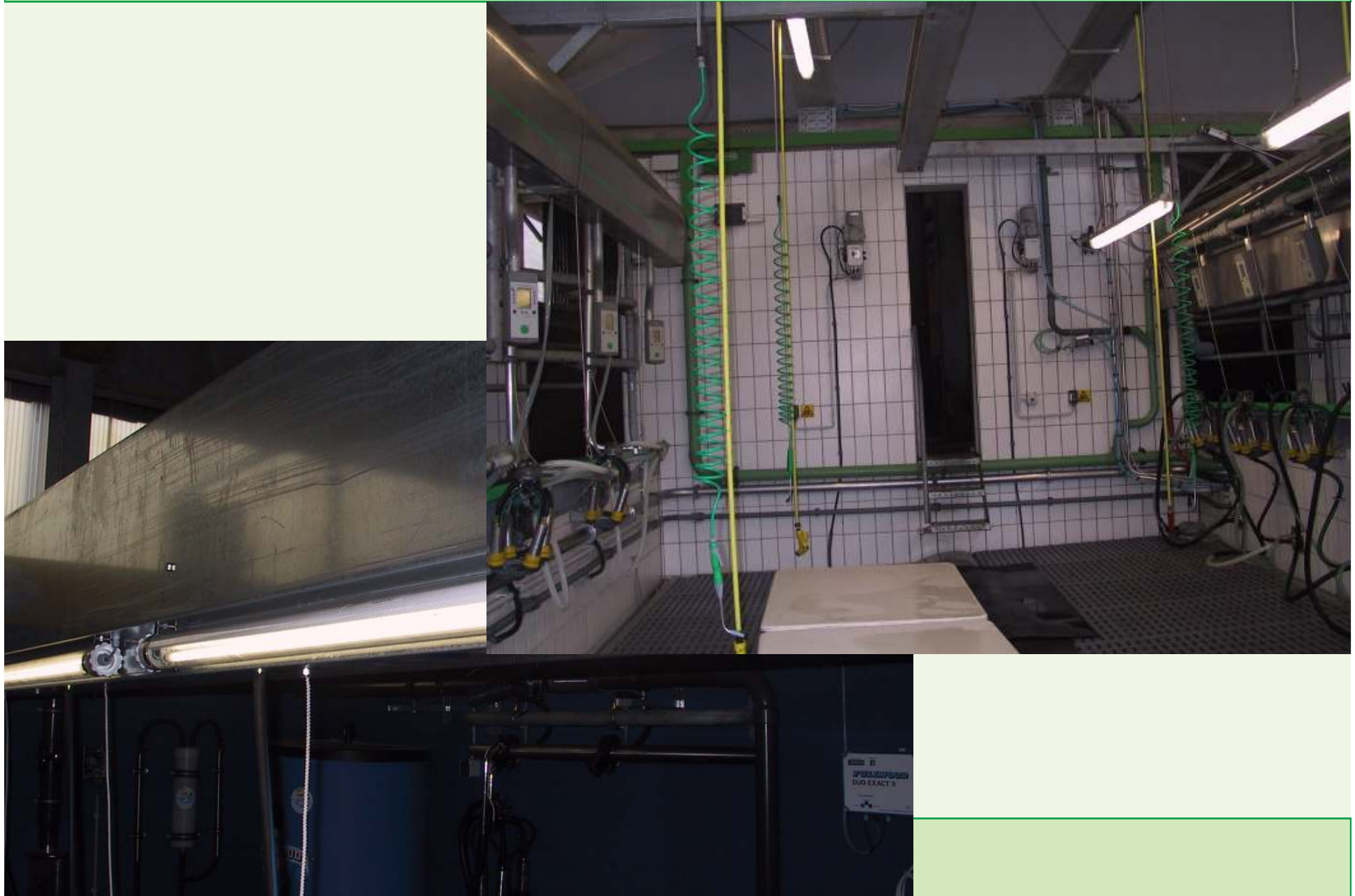
Min. ??? Lux Arbeitsfeldausleuchtung

Farbwiedergabestufe 8 oder 9 zur Bestimmung veränderter Milch

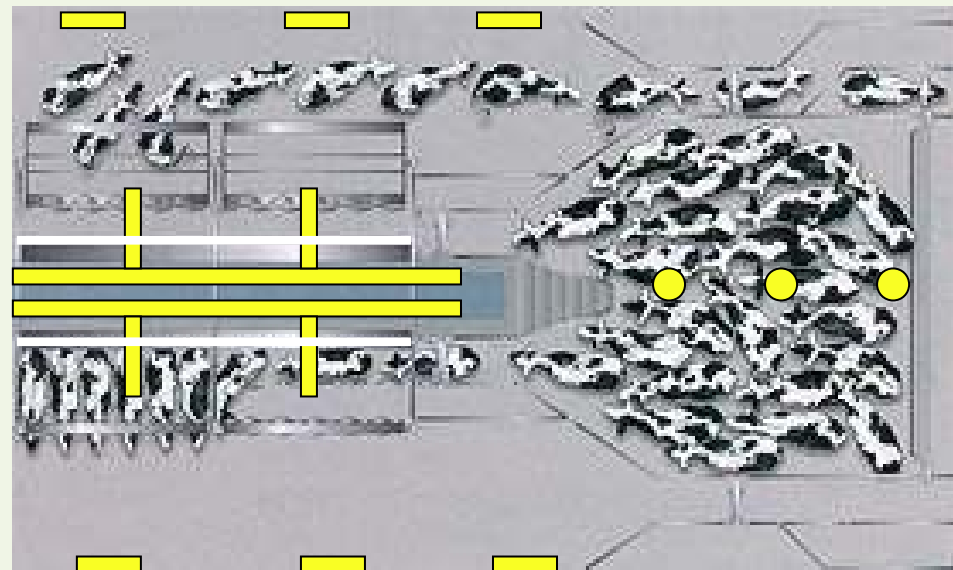
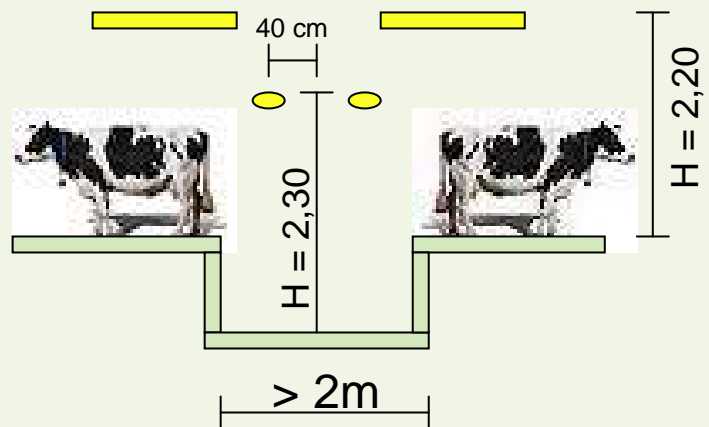
Lichtfarbe > 5000 Kelvin

■ Empfehlungen:

- | | |
|------------------------|---|
| ■ Leuchtmittel: | Leuchtstoffröhren |
| ■ Armatur: | IP 65 (Staub/Strahlwasser gesch.) |
| ■ Faustzahl: | 10 W/m ² => 800 Lux + |
| ■ Farbwiedergabestufe: | z.B. 9 1A (Ra 90 – 100) |
| ■ Farbtemperatur: | Daylight 5000-5400 Kelvin |
| ■ Zusatztechniken | Elektr. Vorschaltung 40.000 Herz |
| ■ Einbauhöhe: | max. 2,50 m über Grubenboden |
| ■ Anzahl Lichteisten: | 2 + 2 |
| ■ Lichtoptimierung: | 90 °Drehung der Leuchten 2,5m
über Standfläche |



Empfehlungen zur Positionierung



■ Fazit Licht:

- Licht optimiert die Arbeitsqualität
- Licht vermindert die Unfallgefahr
- moderne Regelungen sparen Energie
- Blendung vermeiden
- Leuchtenarmaturen an Gegebenheiten anpassen (Feuchtigkeit/Abstrahlcharakteristik)
- Geeignete Lichtfarbe wählen

Licht(programm) im Stall

- gleichmäßige Verteilung des Lichts im Stall
- Feuchtraumleuchten
- 2 x pro Jahr sauber machen
- Lichtfarbe nicht wichtig
- jährliche Kontrolle des Lichtniveaus

Lichtverlustquellen

- **Spannung**

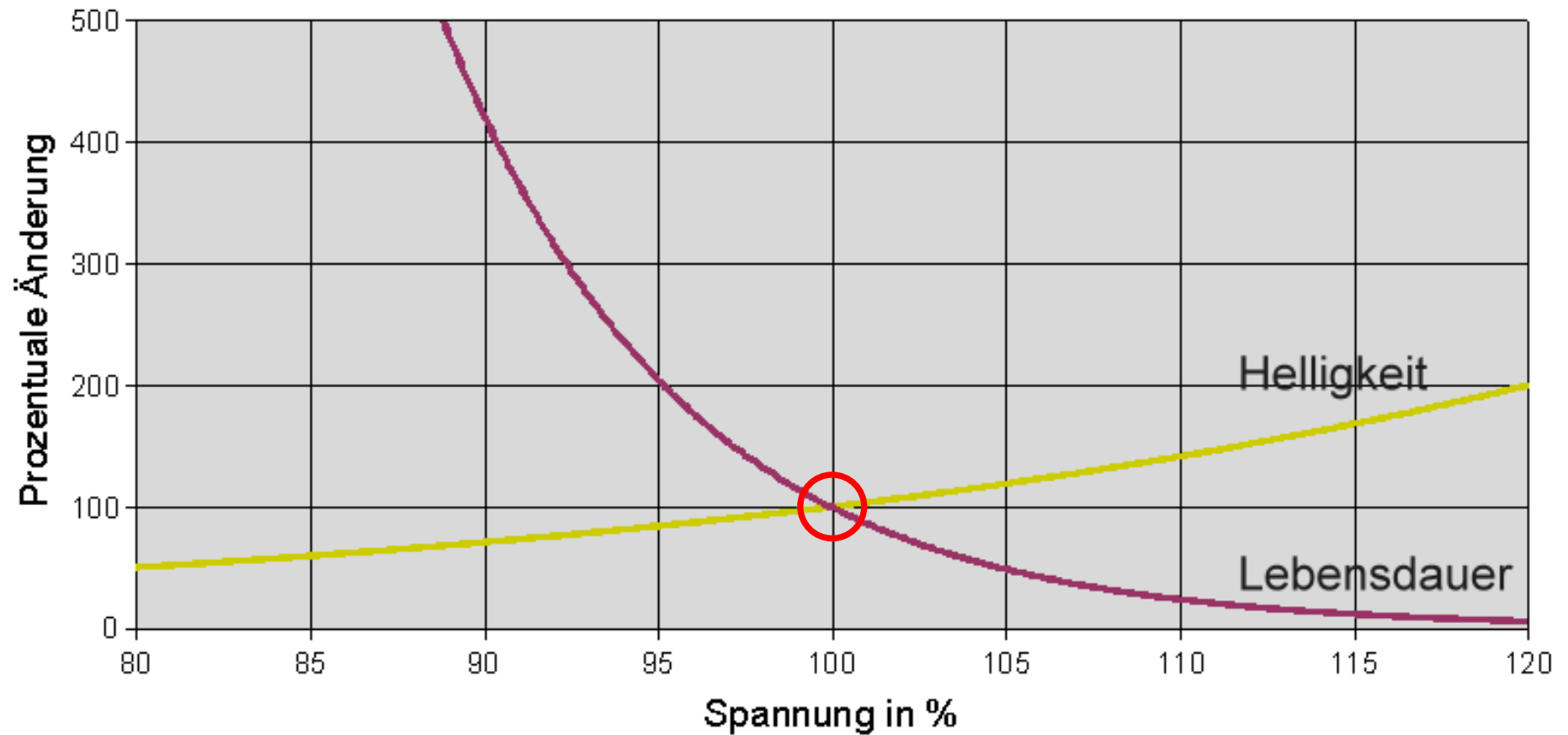
1% Spannungverlust \Rightarrow 5,0 % Lichtverlust

- **Verlust von Licht durch Alterung der Birne**

- **Verlust von Licht durch Verschmutzung der Armatur/Lampe**

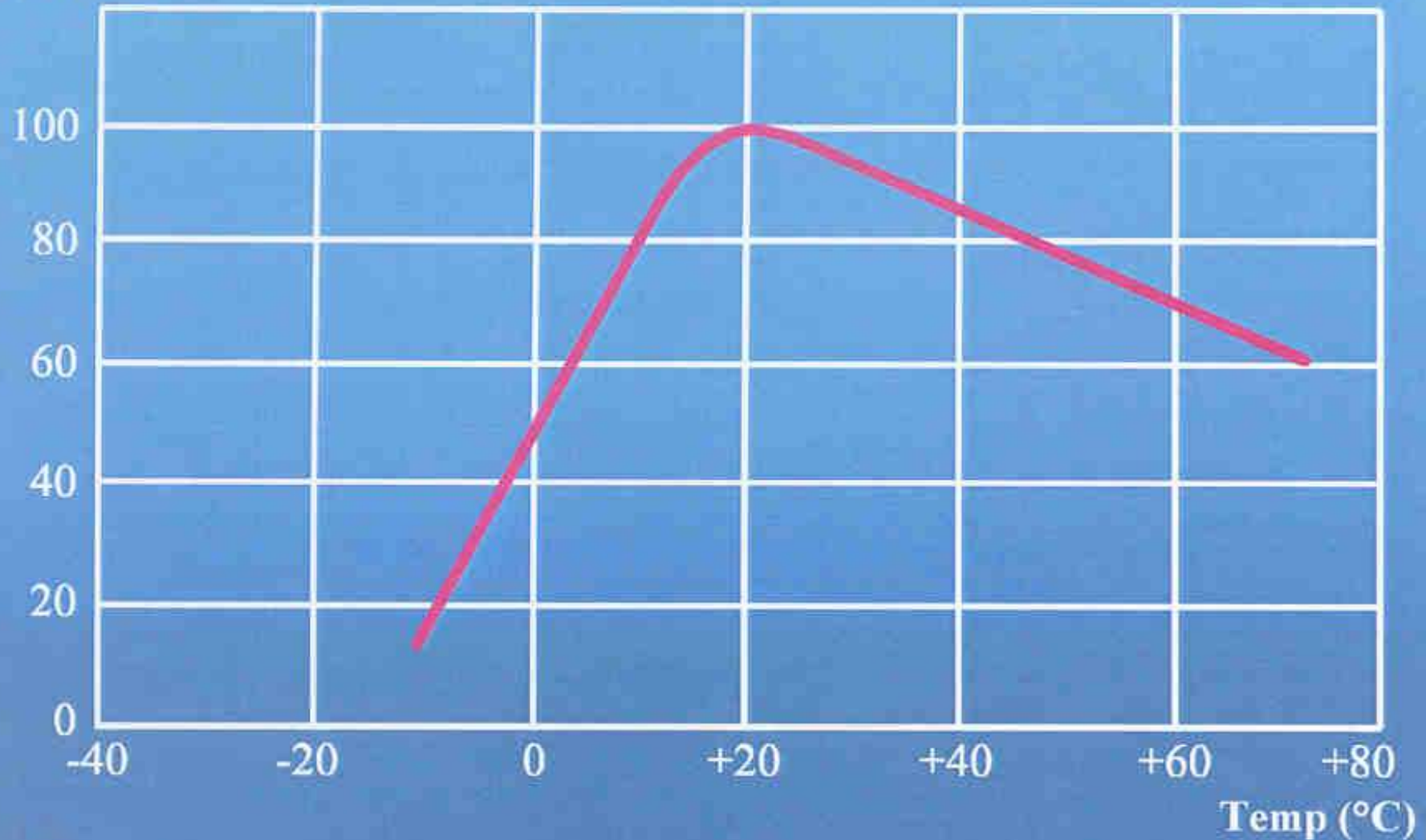
- **Temperatur**

Lebensdauer und Helligkeit in Abh. der Spannung

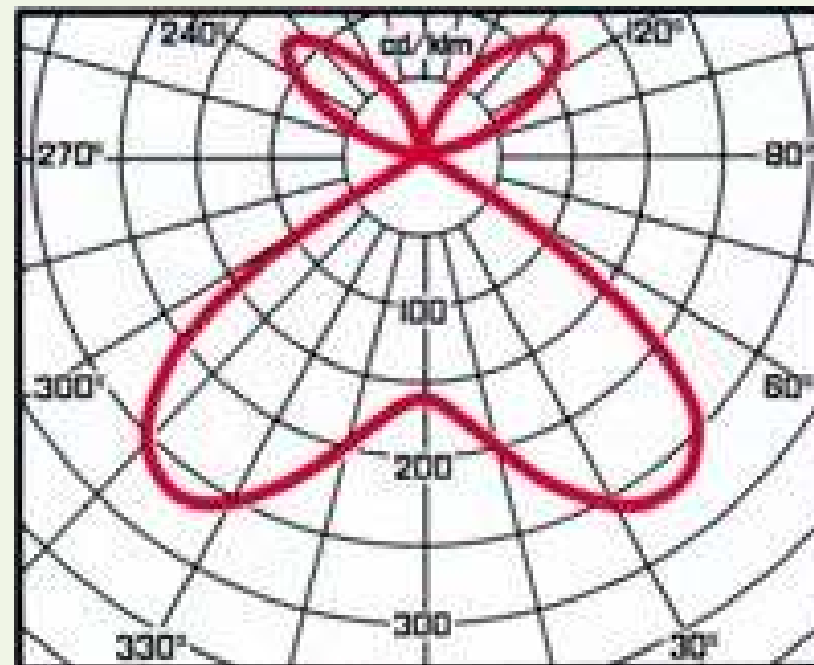


Einfluß der Temperatur auf Neon-Röhren

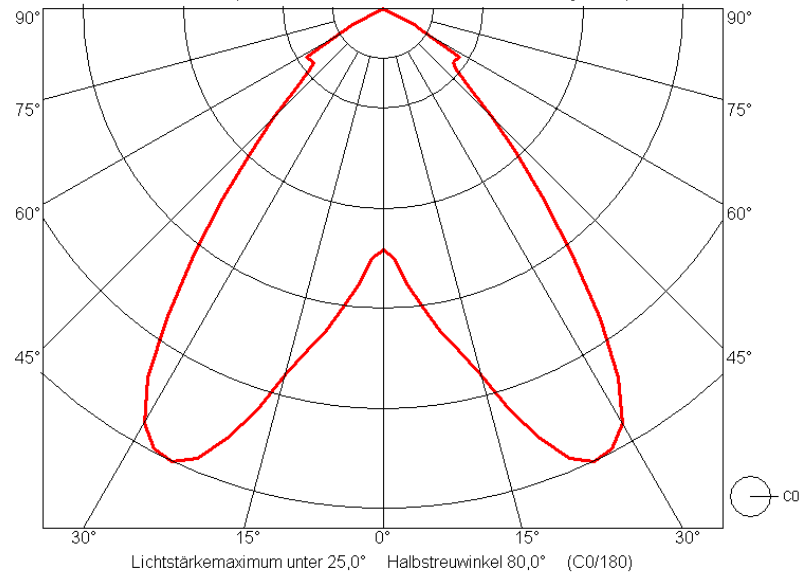
Flux %



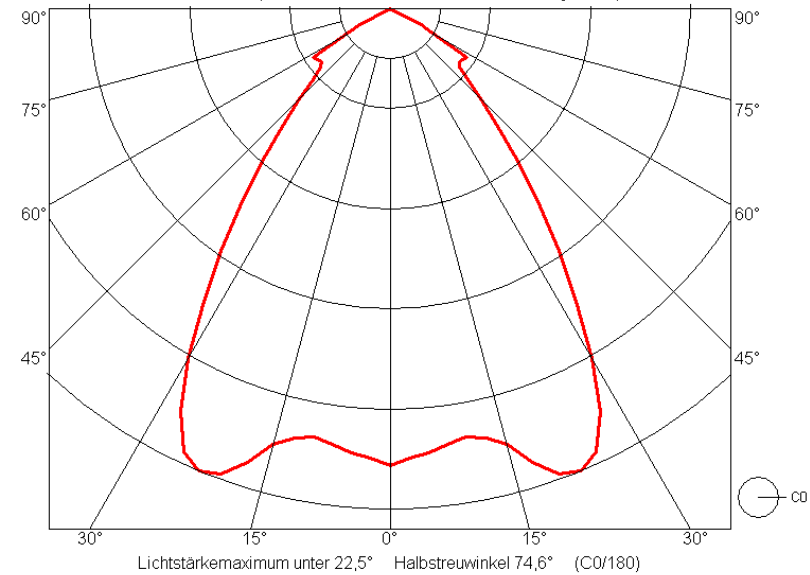
Die Lichtstärkeverteilung beschreibt die räumliche Verteilung der Lichtstärke. Form und Symmetrie der Lichtstärkeverteilung kennzeichnen tief- und breitstrahlende bzw. symmetrisch und asymmetrisch strahlende Leuchten (oder Reflektorlampen). Zur Darstellung dient die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK): Sie entsteht, wenn die in Polarkoordinaten dargestellten Lichtstärken einer Leuchte (oder Reflektorlampe) in ihren verschiedenen Ausstrahlungsrichtungen miteinander zu einem Kurvenzug verbunden werden.



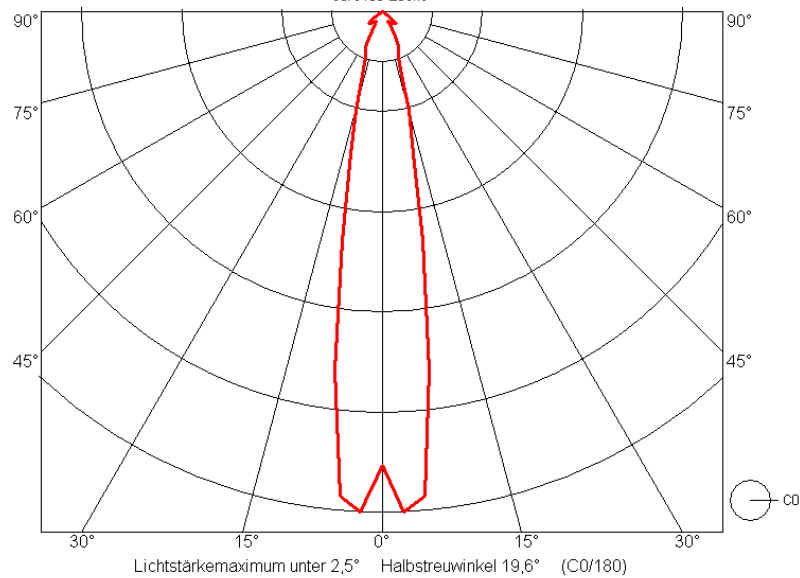
Relative Lichtstärkeverteilung für rotationssymmetrischen Reflektor
C0/C180-Ebene (Reflektor eloxiert mit mittelstarker Struktur, Reflexionsgrad 0,87)



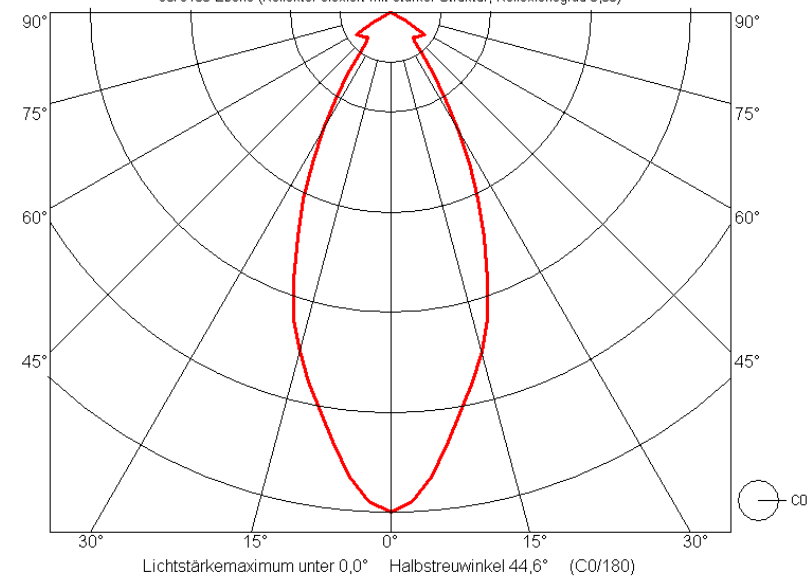
Relative Lichtstärkeverteilung für rotationssymmetrischen Reflektor
C0/C180-Ebene (Reflektor eloxiert mit starker Struktur, Reflexionsgrad 0,85)



Relative Lichtstärkeverteilung für rotationssymmetrischen Reflektor
C0/C180-Ebene



Relative Lichtstärkeverteilung für rotationssymmetrischen Reflektor
C0/C180-Ebene (Reflektor eloxiert mit starker Struktur, Reflexionsgrad 0,85)





AL 2002 ARMATUR



Schätzrahmen für Lampenbestückung

Lampenabstand = 1,5 x Einbauhöhe

$$\text{Lampenzahl} = \frac{\text{Stallfläche [m}^2\text{]} \times (160 \text{ bis } 200 \text{ lx}) \times K (2 \text{ oder } 3)}{\text{Beleuchtungsstärke der Lampe}}$$

K = 2 bei geschlossenen Ställen

K = 3 bei offenen Ställen

$$\text{—————} = 24$$

Lichtkalkulation

	139	158	150	201	245	201	150	158	139
	139	159	148	203	247	203	148	159	139
	140	160	150	203	245	203	150	160	140
	141	160	150	201	241	201	150	160	141
6.00m	141	158	149	199	240	199	149	158	141
	140	158	150	200	245	200	150	158	140
	139	159	149	202	246	202	149	159	139
	140	160	150	203	246	203	150	160	140
	140	160	150	201	242	201	150	160	140
	20.00 m								

$$E_{\max} = 247 \text{ lx}$$

$$E_{\min} = 139 \text{ lx}$$

$$E_{\emptyset} = 176 \text{ lx}$$

- Investition pro m²: 5,00 - 8,00 €
- Energiekosten pro m² / Jahr: 0,60 - 2,50 €
- Einsatzzeit pro Jahr: 1800 - 2500 h

vereinfachte Kostenschätzung

Stall: 3 reihig, 100 Plätze, 48 m x 20 m, => 28 Lampen á 250 W 20500 lm

(=> 12 Lampen á 400 W 50000 lm)

Birne hält 5 Jahre, Lampe 15 Jahre $(100 + 100 + 275) : 15 = 32 \text{ € / Jahr}$

Zinsansatz 19 € / Jahr

Strom $(2500 \text{ h} \times 250 \text{ W} \times 0,16 \text{ €/kWh})$ 100 € / Jahr

Kosten pro Lampe 151 € / Jahr

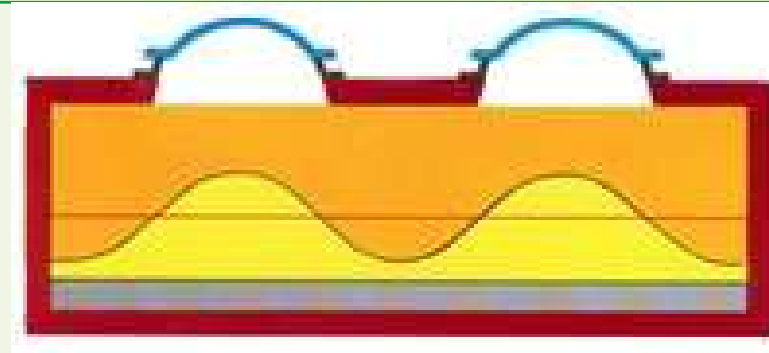
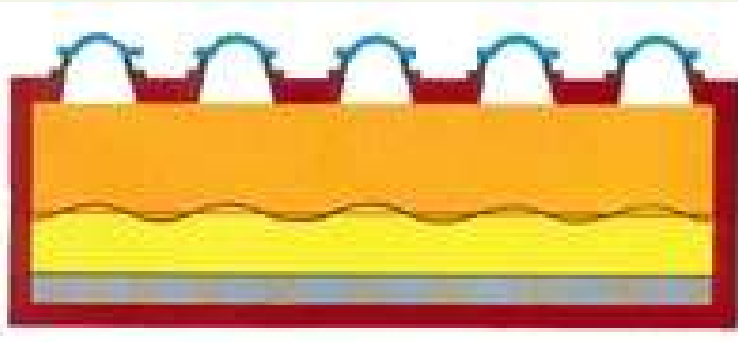
Kosten für 28 Lampen 4228 € / Jahr

Lampenkosten pro Kuh 42,28 € / Jahr

Mehr Futter für mehr Leistung 1 kg je Tag á 0,15 € 55 € / Jahr

Gesamtkosten **98 € / Jahr**

Höhere Milchleistung 2 l / Tag á 0,30 € **219 € / Jahr**



Faustregeln:

- Die Breite eines Lichtbandes sollte nicht größer sein als die halbe Höhe des Raumes
- Die Abstände der Dachlichtbänder untereinander sollten mindestens die doppelte Lichtbandbreite betragen

Anteil der notwendigen Dachoberlichtfläche an der Raumgrundfläche

in Anlehnung an DIN EN 12464-1

Viehställe	1/10
Beschicken und Bedienen von Fördereinrichtungen und Maschinen, Ställe für kranke Tiere, Abkalbeställe, Futteraufbereitung, Milchräume, Gerätereinigung	1/7
Hörsäle, Zeichensäle, Übungsräume und Laboratorien, Lehrwerkstätten, Küchen	1/5

Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit

