



SKAPETZE
LICHTMACHER

Grundlagen & Qualitätsmerkmale von Licht

Karin Wagner

Themen

- Wahrnehmung
- Lichttechnische Grundgrößen und deren Zusammenhang
- Lichtwirkung
- Produktion von LEDs

Wahrnehmung

- die Wahrnehmung ist subjektiv und somit sehr individuell
- die visuelle Wahrnehmung verändert sich im Laufe des Lebens
- Linse: bei einem gesunden Auge durchsichtig und klar, vergilbt im Laufe des Lebens, ältere Menschen benötigen bis zu 4x mehr Licht (vgl. 60 J. vs. 20 J.)
- Zapfen: photoptisches Sehen, RGB Zäpfchen ermöglichen Farbsehen
- Stäbchen: skoptopisches Sehen, sehr lichtempfindlich, Sehen bei Dämmerung
- Adaption von dunkel nach hell geht schnell, hell nach dunkel bis zu 30 Minuten

Helligkeit

- wird in Lumen (lm) angegeben
- gibt an, wie hell eine Leuchte oder ein Leuchtmittel ist
- zum Vergleich:

	100 Watt	75 Watt	60 Watt	40 Watt	25 Watt
Glühlampe	1380 lm	970 lm	730 lm	430 lm	230 lm
Halogenlampe	1700 lm	1200 lm	900 lm	500 lm	300 lm

Helligkeit

Faustregeln

- wichtiger als die Helligkeit ist in der Regel die Lichtwirkung (Richtung, Abstrahlwinkel, etc.)
- ca. 100 Lumen / Quadratmeter:
Flure, Laufwege, Wohn-/Schlafräume
- ca. 300 Lumen / Quadratmeter:
Küche, Bad

Lichtfarbe

- wird in Kelvin (K) angegeben
- gibt an, wie warm oder kalt ein Leuchtmittel empfunden wird
- je höher der Kelvin Wert, desto kühler ist das Licht
- Zum Vergleich:

	Kerze	Glühlampe	Morgen- / Abendsonne	Mittagssonne	Dämmerung (blaue Stunde)
Farbtemperatur	1500 K	2600 - 3000 K	5000 K	5500 - 5800 K	9000 - 12000 K

Lichtfarbe

künstliches Licht



Bis 2700 K - extra warmweiss / 3000 K - warmweiß / 4000 K - neutralweiß / 5500 K - tageslichtweiß, kaltweiß

Human Centric Lighting

Tageslichtverlauf

- unser Körper wird von verschiedenen Hormonen gesteuert
- Licht beeinflusst diese Hormone
- Sommer > mehr und länger Licht > energiegeladen & aktiv
- Winter > weniger Licht & Sonnenstunden > müde & schlapp
- mit HCL kann man sich dies auch in Innenräumen zu nutze machen bzw. sich selbst auch manipulieren

Farbwiedergabeindex

- wird als CRI (Color Rendering Index) oder Ra angegeben
- gibt an, wie genau Farben dargestellt werden
- Referenzwert CRI 100 entspricht der Qualität des Tageslichts
- CRI >80 ist der Standard in Innenräumen
- Bestimmte Anwendungsbereiche, z.B. Friseur, Bekleidungsgeschäfte, erfordern einen höheren CRI
- Leuchten mit besserem CRI sind häufig weniger energieeffizient

Farbwiedergabeindex

CRI > 80

CRI > 99

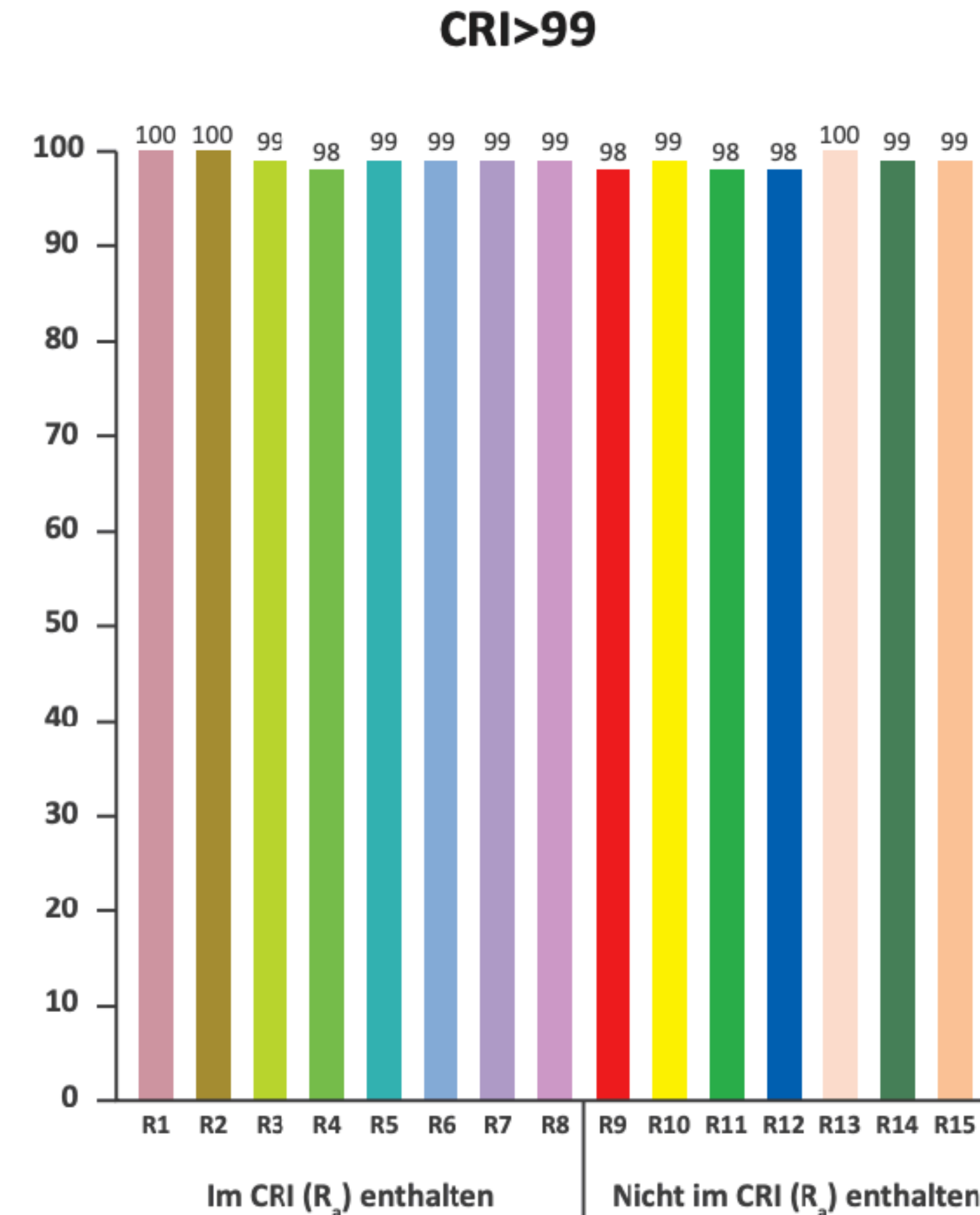
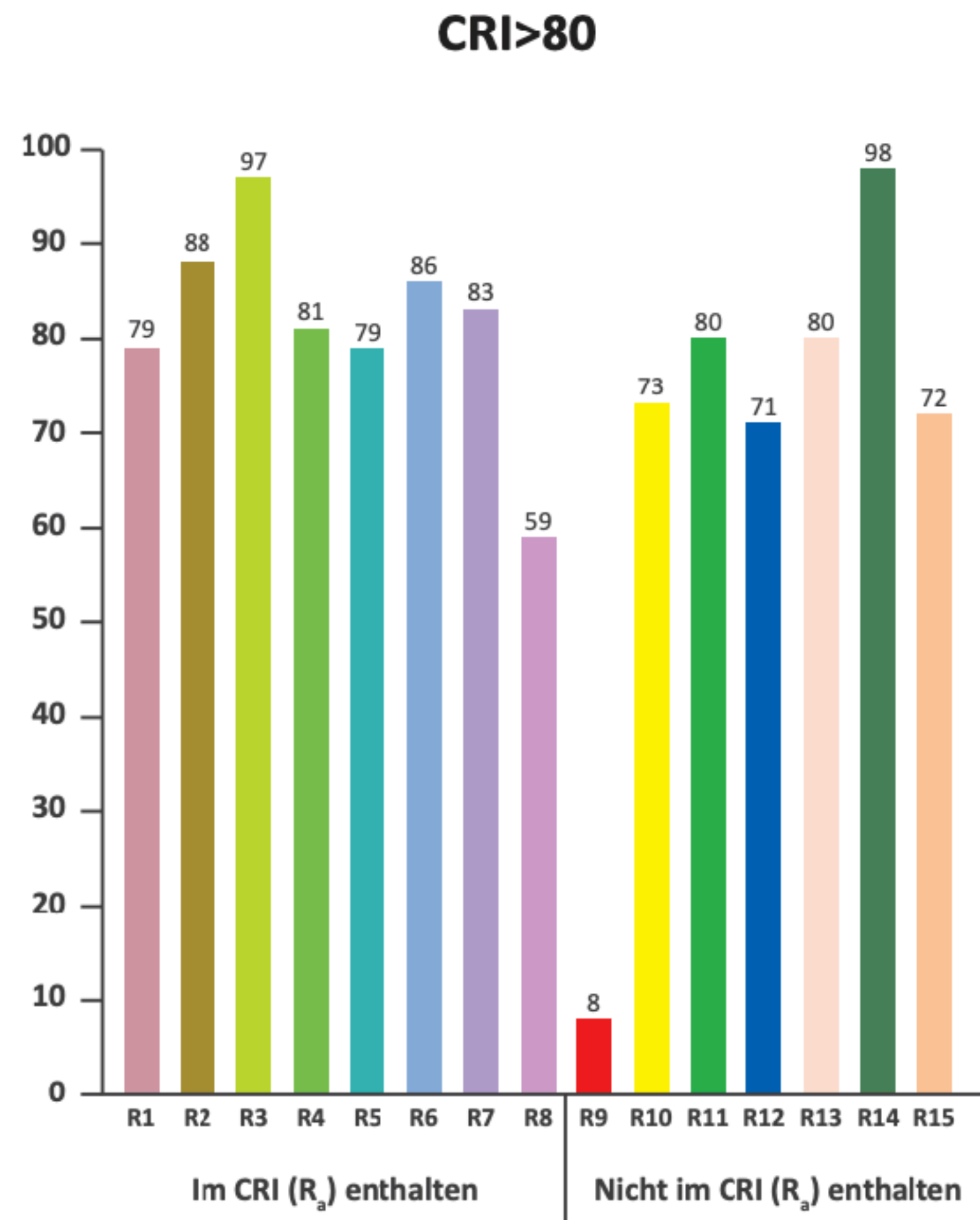


Farbwiedergabeindex

Messung

- es gibt insgesamt 14 genormte Testfarben
- der Durchschnitt der ersten 8 Farben ergibt den CRI bzw. Ra Wert
- d.h. nicht alle Farben werden gleich gut wiedergegeben
- bei Lichtquellen mit hohem CRI ist der R9 Wert sehr hoch ausgeprägt
- Spezielle LED-Streifen im Food-Bereich haben eine dominante Wellenlänge, wodurch Lebensmittel besonders appetitlich aussehen:
Brot: 583nm = gelb // Gemüse: 560nm = grün

Farbwiedergabeindex



Leistung

- wird in Watt (W) angegeben
- Indikator der Helligkeit einer Leuchte oder eines Leuchtmittel
- Leuchten mit höherer Leistung sind aber nicht zwingend heller (Stichwort: Effizienz)
- zur Errechnung des Stromverbrauchs

Energieeffizienzklassen

Energieeffizienzklasse	Helligkeit/Leistung
A	210 Lumen/Watt
B	185 - 210 Lumen/Watt
C	160 - 185 Lumen/Watt
D	135 - 160 Lumen/Watt
E	110 - 135 Lumen/Watt
F	85 - 110 Lumen/Watt
G	<85 Lumen/Watt

Beleuchtungsstärke

- wird in LUX angegeben
- errechneter Wert, der angibt, wie hell eine Oberfläche ist
- vereinfachte Formel: $\text{Lux} = \text{Lumen} / \text{m}^2$
- Korrekturfaktoren
Art der Beleuchtung, z.B. direkt und / oder indirekt
Raumgestaltung (Farben, Materialien, ect.)
- Normen regeln die empfohlene minimale Beleuchtungsstärke für verschiedene Anwendungsbereiche

Beleuchtungsstärke

Vergleich

Beleuchtungsstärke in Lux	Beispiel
0,27 lx	Vollmond im Zenit
750 lx	Dämmerung, Sonne knapp unter dem Horizont
1400 lx	Fußballstadion
10.000 lx	Schatten im Sommer
20.000 lx	Mittagssonne im Winter, 16°, klarer Himmel
90.000 lx	Mittagssonne im Sommer, 60°, klarer Himmel
130.000 lx	Sonne im Zenit, klarer Himmel

Beleuchtungsstärke

Empfehlungen nach DIN 5035

Beleuchtungsstärke in Lux	Raumart bzw. Tätigkeit (Auswahl)
100 lx	Lagerräume, Ruheräume, Umkleideräume, Sanitärräume, Flure und Treppen
200 lx	Sanitärräume, Toiletten, Speiseräume, Räume mit Publikumsverkehr
300 lx	Empfangstheke, Schalter, Materialaufbereitung, Arbeitsplätze für allgemeine Maschinenarbeiten, Unterrichtsräume sowie Verkaufsräume
500 lx	Kassenbereich, Laborräume, Arbeitsplätze in Büros, Datenverarbeitung, Räume für medizinische Betreuung, Werkstätten
750 lx	Räume für technisches Zeichnen, Gravieren, Polieren und Schleifen von Glas, Formen kleinerer Teile, Herstellung von Glasinstrumenten, Messarbeitsplätze
1000 lx	Großraumbüros mit dunklen Wänden, Arbeitsplatz für Feinarbeiten, Retuschieren
1500 lx	Arbeitsplätze zur Bearbeitung von Uhren, Schmuck, Edelsteinen

Schutzart

Schutz gegen Wasser und Staub

IP44	Schutz gegen Fremdkörper / Berührung	Schutz gegen Wasser
0	Kein Schutz	Kein Schutz
1	Geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser ≥ 50 mm Geschützt gegen den Zugang mit dem Handrücken	Schutz gegen Tropfwasser
2	Geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 12,5$ mm Geschützt gegen den Zugang mit einem Finger	Schutz gegen fallendes Tropfwasser, wenn das Gehäuse bis zu 15° geneigt ist
3	Geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 2,5$ mm Geschützt gegen den Zugang mit einem Werkzeug	Schutz gegen fallendes Sprühwasser, bis 60° gegen die Senkrechte
4	Geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser $\geq 1,0$ mm Geschützt gegen den Zugang mit einem Draht	Schutz gegen allseitiges Spritzwasser
5	Geschützt gegen Staub in schädigender Menge vollständiger Schutz gegen Berührung	Schutz gegen Stahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel
6	staubdicht / vollständiger Schutz gegen Berührung	Schutz gegen starkes Strahlwasser
7	-	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen
8	-	Schutz gegen dauerndes Untertauchen soweit nicht anders angegeben bei 1m Wassertiefe

2,25 m

0,6 m

0,6 m



☂
IP23



☂
IP67

☂
IP65

☂
IP44

☂
IP68



Schutzklasse

- Schutzklasse 1: Leuchten mit Schutzleiter
Gehäuse meist aus Metall / 230V Leuchten
- Schutzklasse 2: ohne Schutzleiter
Gehäuse aus nicht leitenden Materialien (verstärkte Isolierung) oder
anderweitig doppelt isoliert
- Schutzklasse 3: Kleinspannung
Niedervoltleuchten mit 12V oder 24V

Blendung

- die Blendungsbewertung einer Leuchte wird als UGR-Wert angegeben
- für bestimmte Bereiche, z.B. Arbeitsplätze sind entblendete Leuchten mit $UGR > 19$ vorgeschrieben
- UGR-Wert wird unter Berücksichtigung des Blickwinkels berechnet

Abstrahlwinkel

- gibt an, wie die Lichtwirkung einer Leuchte oder eines Leuchtmittels ist
- kleiner Abstrahlwinkel, z.B. 38° -> kleiner Lichtkegel
gezielte Beleuchtung, z.B. bei Spots
- großer Abstrahlwinkel, z.B. 120° -> flächige Ausleuchtung
gleichmäßige Beleuchtung, z.B. bei LED-Strips

Abstrahlwinkel



Direktes Licht

- das Licht ist direkt gerichtet, z.B. auf eine Arbeitsfläche
- Lichtquelle ist sichtbar
- kann zielgerichtet (Spots) oder flächig sein (LED-Streifen abhängig von der Platzierung)

Indirektes Licht

- das Licht ist indirekt gerichtet, z.B. an die Wand oder die Decke und wird dadurch in den Raum reflektiert
- Lichtquelle selbst bleibt verborgen
- Licht ist häufig sehr diffus, weich, schattenfrei

Direkt vs. Indirekt

Beispiel s.LUCE Ring



Lichtwirkung

- kann durch verschiedene Linsen, Diffusoren, Abdeckungen, etc. Beeinflusst werden
- hartes Licht > harte Schatten
- weiches Licht > weiche Schatten

Lichtwirkung

- kann durch verschiedene Linsen, Diffusoren, Abdeckungen, etc. beeinflusst werden
- hartes Licht > harte Schatten
- weiches Licht > weiche Schatten

Lichtwirkung

Glaslinsen Puk



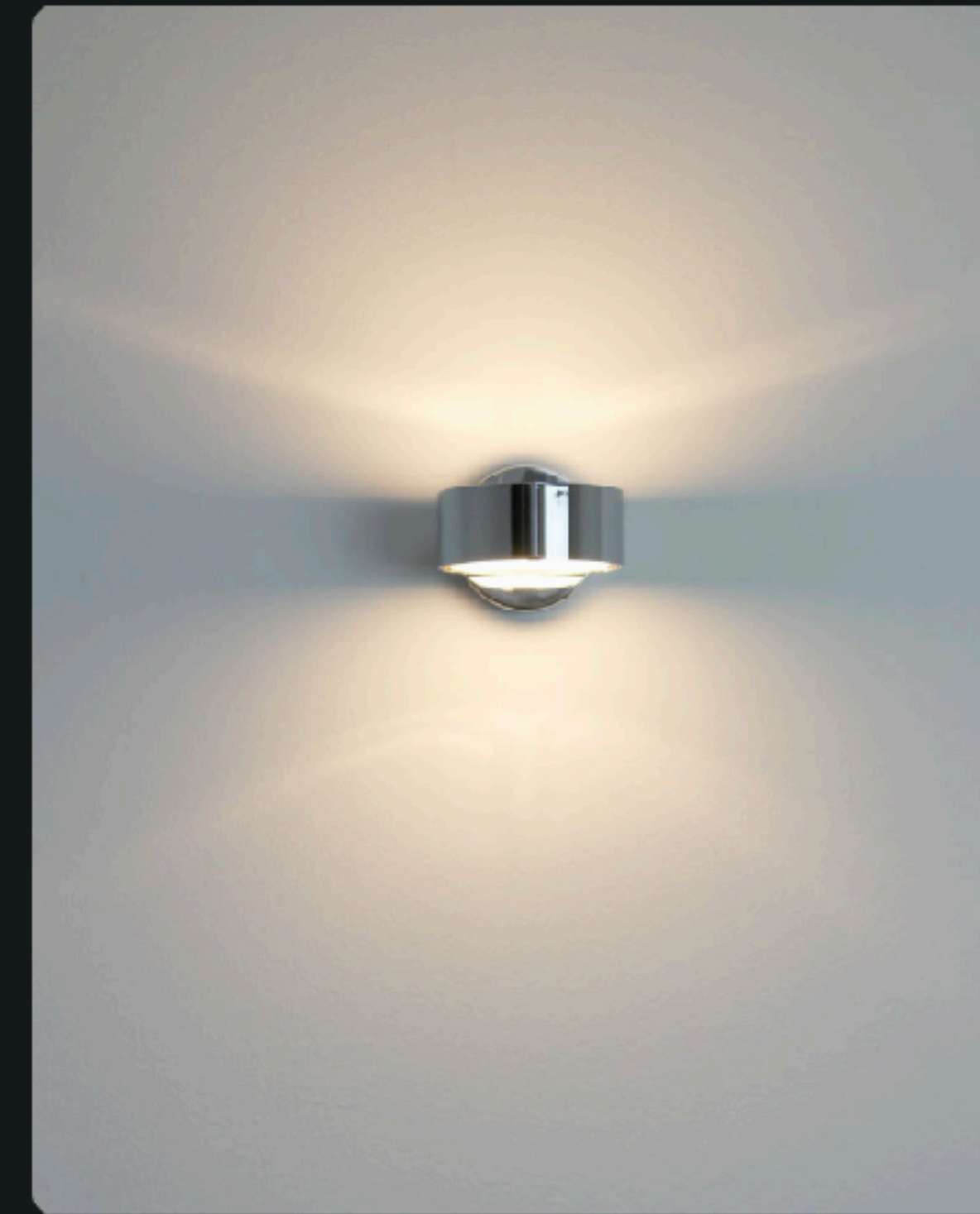
Linse Klar / Linse Klar



Linse Klar / Glas



Linse Matt / Glas

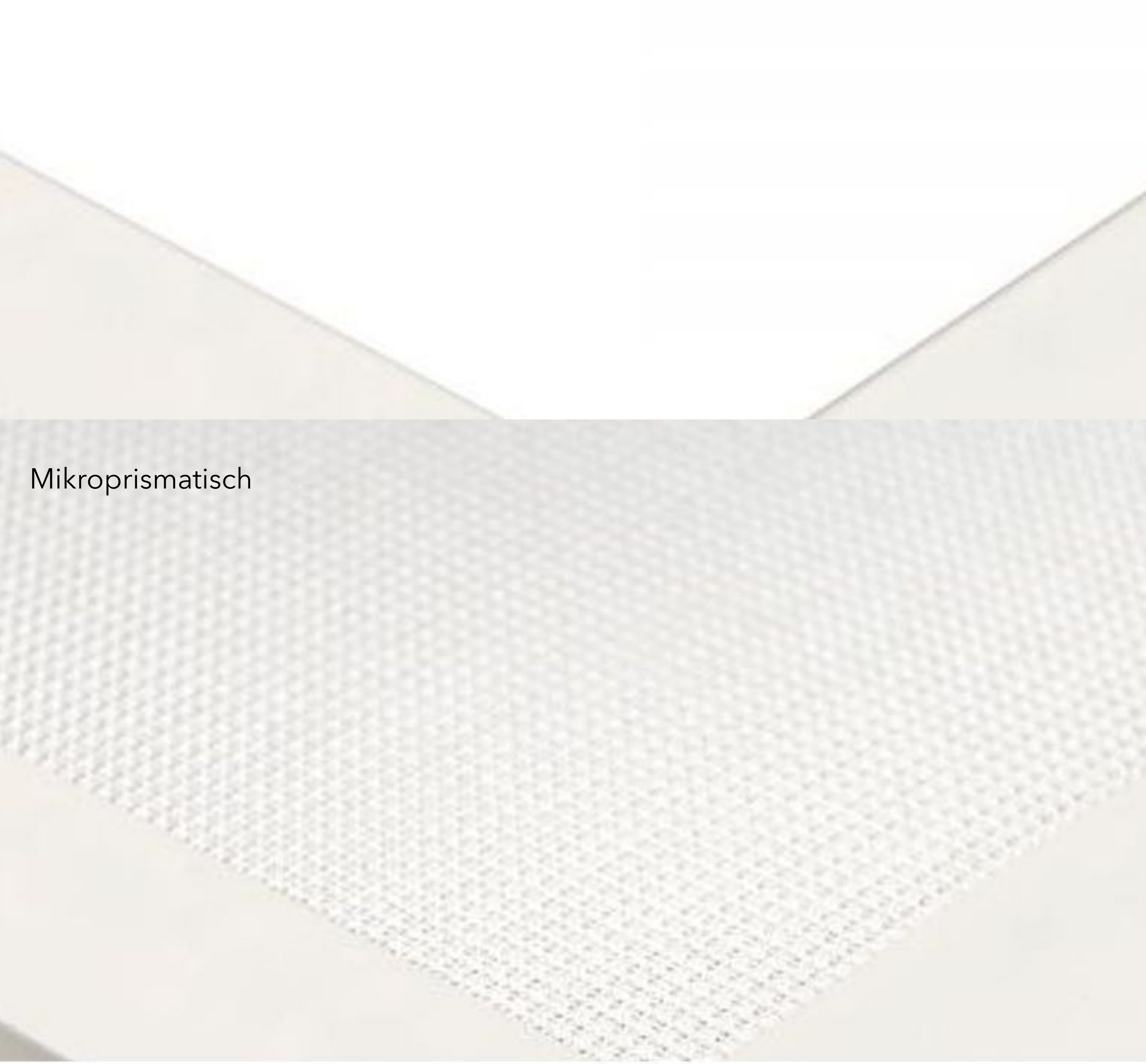


Glas / Glas

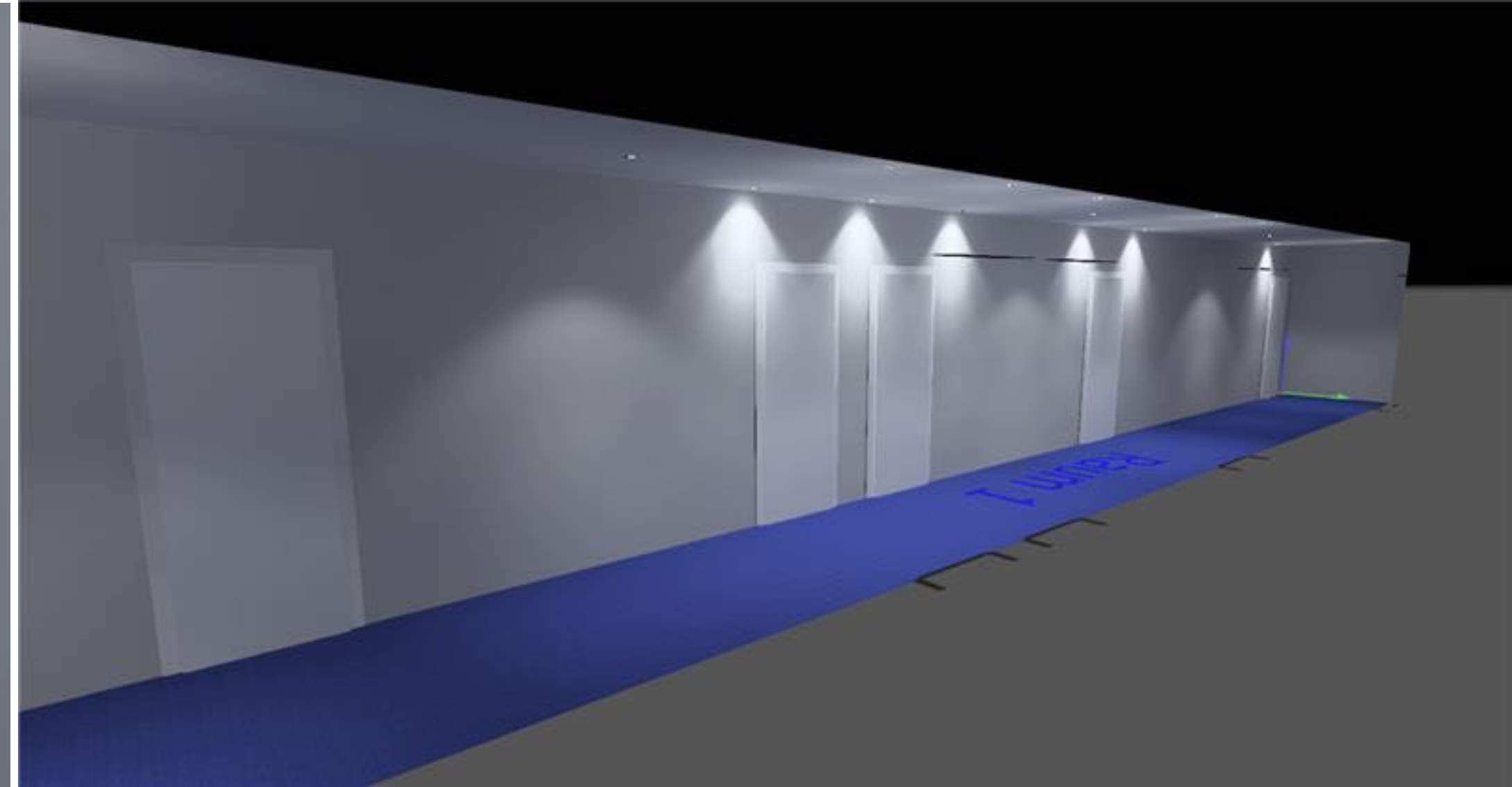
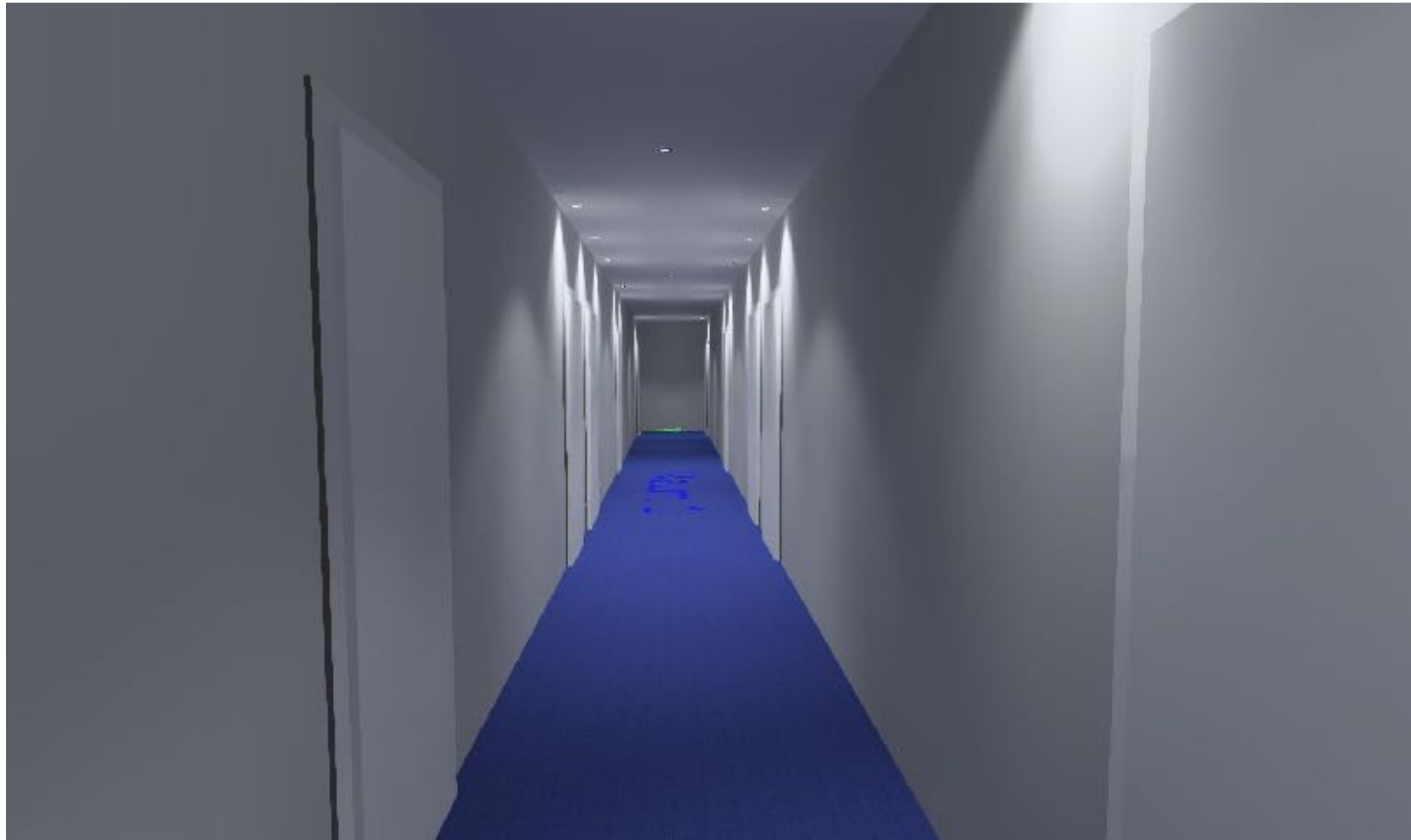
Opal

Raster

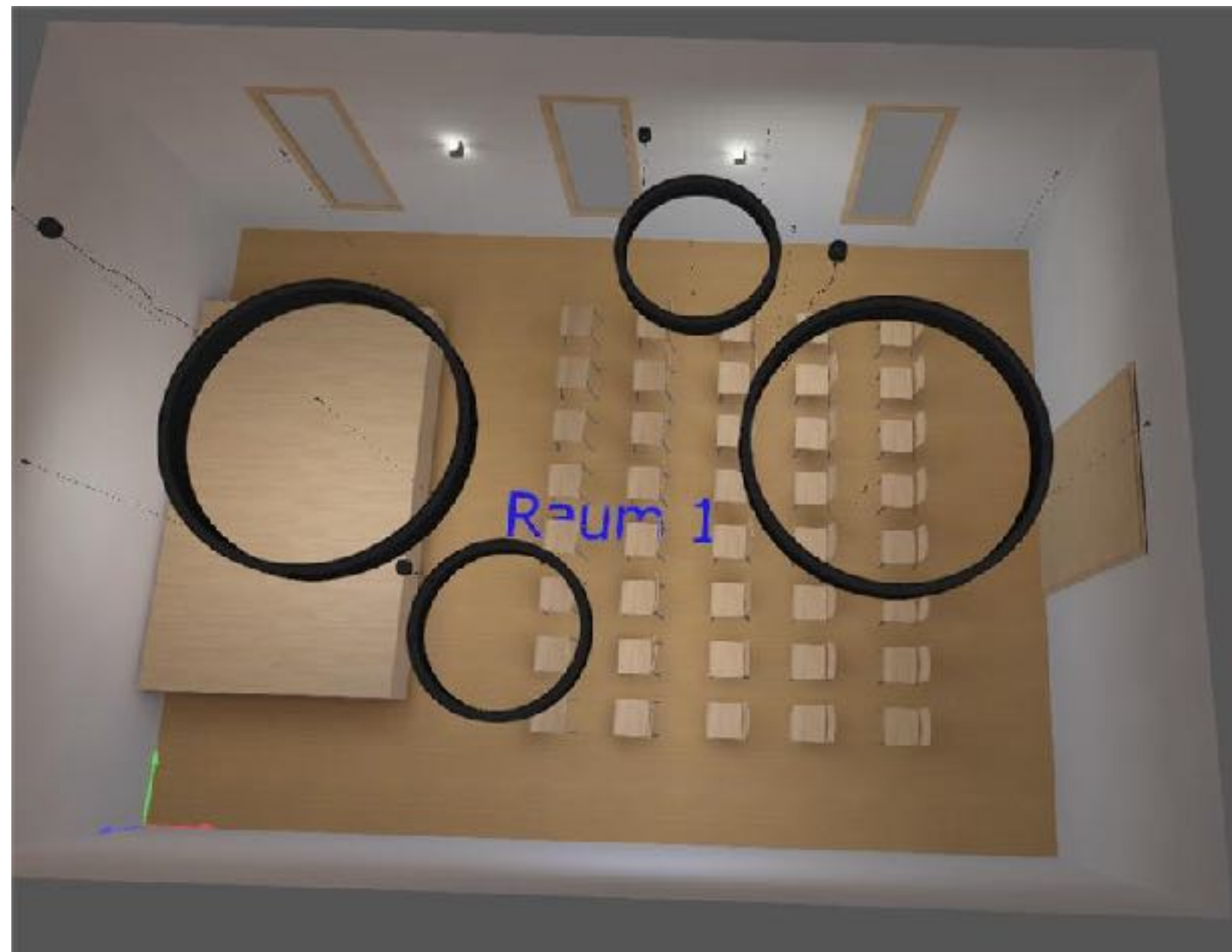
Mikroprismatisch



Lichtwirkung



Lichtwirkung



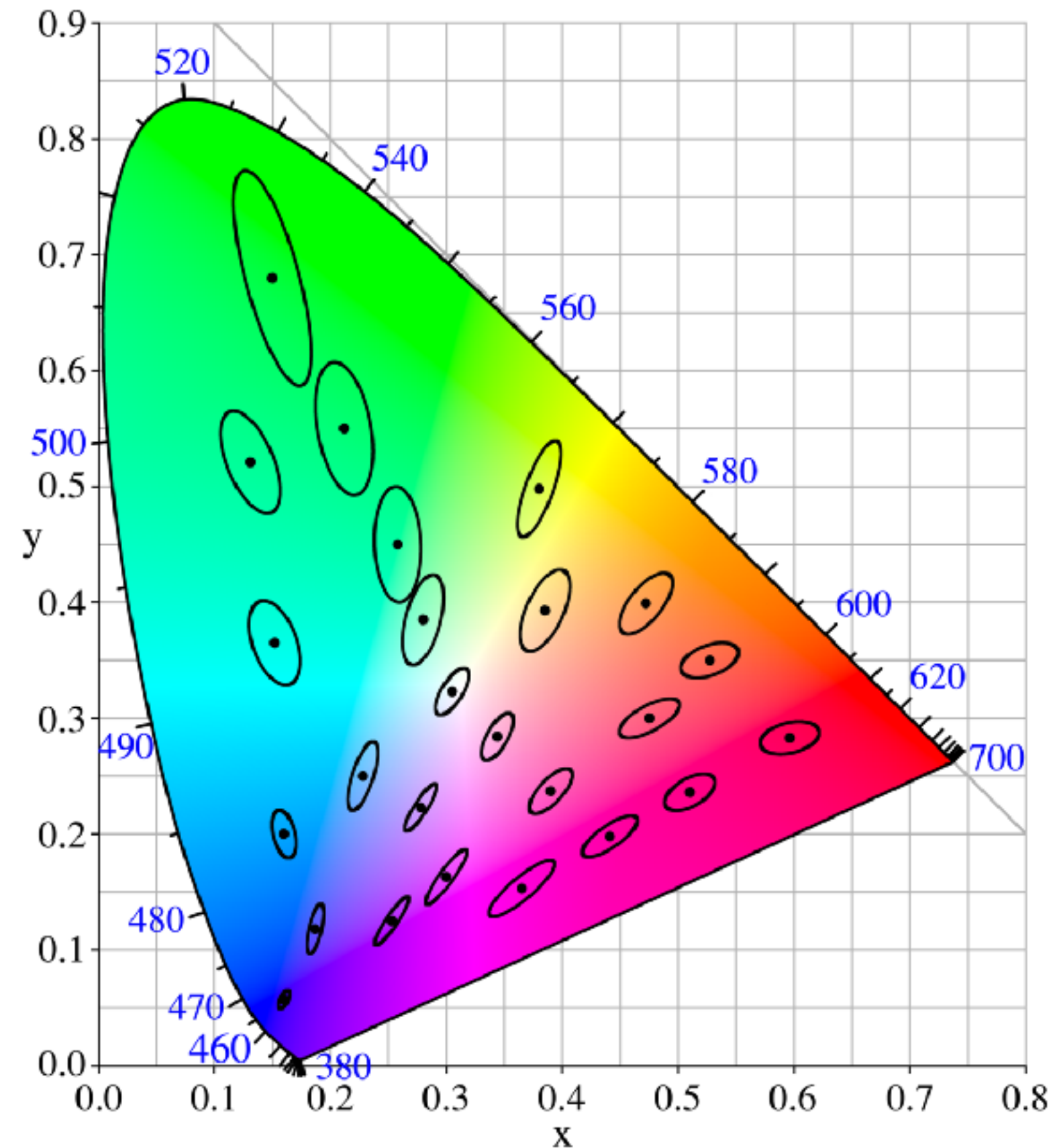
Flickern / Flicker Free

- 14 - 16 Bilder / Sekunde: bewegte Sequenz (14-16 Hz oder fps)
- bereits ab ca. 18 Bilder: ruckelfrei (individuell abhängig)
- Unterbewusst können Frequenzen bis 100Hz als flimmern wahrgenommen werden, je nach Umgebungsbedingungen sogar bis zu 500Hz
- Leuchten können als Flicker Free gekennzeichnet werden, wenn die genormten Grenzwerte (i.d.R. bezogen auf ungedimmten Zustand) unterschritten werden

Color Binning

- Bei der Produktion von LEDs werden diese geprüft und anhand fein abgestufter Kriterien in verschiedene Bins sortiert (Binning)
- die Lichtfarben orientieren sich an der Mac Adam Ellipse
- Je kleiner das Colour-Binning durch den Hersteller gewählt wird, umso weniger Farbunterschiede sind sichtbar
- Kleineres Color-Binning = höherer Preis

Mac Adam Ellipse



10-fach vergrößert

- Ellipsen sind anhand der menschlichen Wahrnehmung ausgerichtet
- Farbunterschiede im blau-violetten Bereich werden stärker wahrgenommen = kleinere Ellipsen / im grünen Bereich weniger stark = größere Ellipsen
- 1 SDCM = Farben werden gleich wahrgenommen
- 2-3 SDCM = geringe Abweichungen wahrnehmbar
- ab 4 SDCM = Farbunterschiede werden deutlicher wahrgenommen

Quellen & weiterführende Informationen

- Licht & Sehen, Farbwahrnehmung, Human Centric Lighting,
- Lichtfarbe, Mac Adam Ellipse & Binning
- Photometrische Größen, Farbwiedergabeindex, UGR
- Schutzart/Schutzklasse, Schutzart im Badezimmer
- Licht und seine Wirkung
- Die Wirkung des Lichts auf den Menschen
- Abstrahlwinkel