



# LED-Beleuchtung

Vorabendseminar The logo for swissgee, featuring a stylized red and yellow shape to the left of the word "swissgee" in a bold, black, sans-serif font.

09.Mai 2023

Markus Binda  
Fachdelegierter fvb

# Agenda

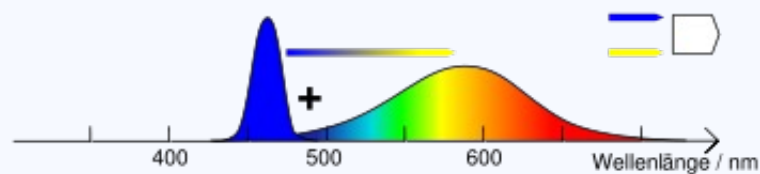
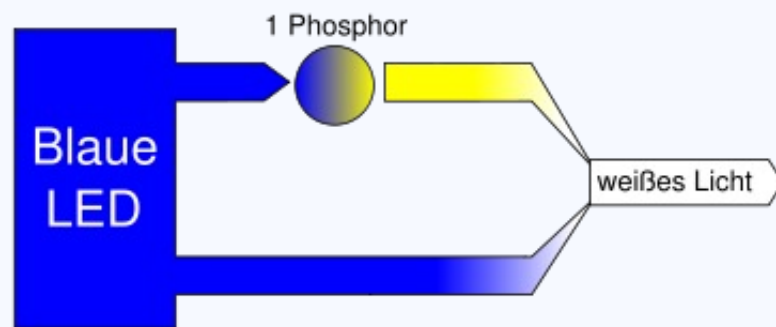
- **Stand der Technik**
- **Qualitätskriterien**
- **Wirtschaftlichkeit**

# Stand der Technik

## Kleine Rückblende

- 1907 Henry Joseph Round entdeckt das Prinzip der Elektrolumineszenz
- 1962 Erste Anwendung einer roten LED durch Nick Holonyak (GE)
- **1988 / 1992 Akasaki und Nakamura fertigen die ersten hocheffizienten blauen LEDs auf Basis von InGaN (Indium-Gallium-Nitrid).  
Dafür erhalten sie 2014 den Nobelpreis für Physik!**

# Stand der Technik



Die blauen LEDs von Akasaki und Nakamura, ergänzt mit hocheffektiven «Phosphor-Schichten» zur Umwandlung des blauen in weisses Licht, haben ab ca. 2008 den Siegeszug der LED in der Beleuchtungstechnik erst ermöglicht.

**Diese Technologie ist auch heute der aktuelle Stand der Technik!**

# Stand der Technik

## Aktuelle Bauformen

- **SMD Gehäuse**  
Häufigste Bauart  
Low-, Mid- und Power LED von 0.1W bis 5W  
Lichtausbeute bis zu 230 lm/W
- **COB (Chip on Board)**  
Mehrere LED-Chips werden ohne Gehäuse direkt auf dem Träger verbaut.  
Leistung von 5W bis 75W.  
Lichtausbeute bis zu 200 lm/W

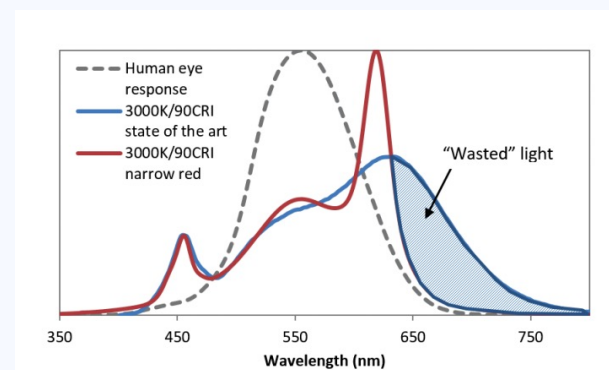
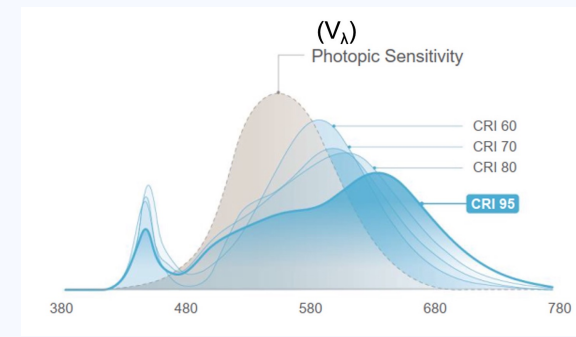


# Stand der Technik

## Narrow Band Red

Bei “traditioneller” Led Technologie bedeutete eine höhere Farbwiedergabe automatisch eine tiefere Effizienz, weil das Spektrum von der Hellempfindlichkeitskurve ( $V_\lambda$ ) abweicht.

Mit dem Einsatz der “Narrow Band Red” - Technologie kann man nun die Effizienz von CRI80 auch bei CRI90 erreichen.



# Stand der Technik

## OLED????

Die OLED-Technologie wird heute sehr erfolgreich bei Displays (TV, Smartphone, Monitor) sowie im Automotive-Bereich eingesetzt.

**In der allgemeinen Beleuchtungstechnik wird sich OLED in absehbarer Zukunft nicht durchsetzen können!**

- **Die Effizienz von OLED ist heute ungefähr halb so gross wie bei LED**
- **Die Kosten/Im sind bei OLED um Faktor 4 höher als bei LED**
- **Die Lebensdauer von OLED erreicht nur 30 bis 50% der Lebensdauer von LED**








# Qualitätskriterien

## Farbwiedergabe

### Der Farbwiedergabeindex $R_a$ (CRI)

Die Bestimmung des  $R_a$  erfolgt über den Vergleich der Abweichungen der ersten 8 Testfarben nach DIN 6169 mit einer Referenzlichtquelle.

**Nur bedingt für LED - Leuchten anwendbar**

|   |                    |
|---|--------------------|
|    | # 1 Alrosa         |
|    | # 2 Senfgelb       |
|    | # 3 Gelbgrün       |
|    | # 4 Hellgrün       |
|    | # 5 Türkisblau     |
|   | # 6 Himmelblau     |
|  | # 7 Asterviolett   |
|  | # 8 Fliederviolett |



# Qualitätskriterien















## Farbwiedergabe

### Der Farbwiedergabeindex $R_e$

Bei der Bestimmung des  $R_e$  wird die Anzahl der Referenzfarben nach DIN 6169 auf 14 erweitert.

**Damit wird eine bessere Beurteilung gegenüber dem Index  $R_a$  möglich**

Die 14 Testfarben nach DIN 6169

|   |                    |  |                       |
|---|--------------------|--|-----------------------|
|    | # 1 Altrosa        |   | # 9 Rot gesättigt     |
|    | # 2 Senfgelb       |   | # 10 Gelb gesättigt   |
|    | # 3 Gelbgrün       |   | # 11 Grün gesättigt   |
|    | # 4 Hellgrün       |   | # 12 Blau gesättigt   |
|    | # 5 Türkisblau     |   | # 13 Rosa (Hautfarbe) |
|   | # 6 Himmelblau     |  | # 14 Blattgrün        |
|  | # 7 Asterviolett   |  |                       |
|  | # 8 Fliederviolett |  |                       |

# Qualitätskriterien

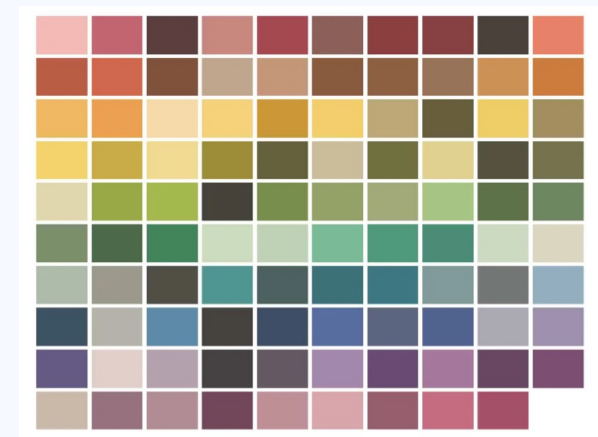
## Farbwiedergabe

### TM 30

Die Bestimmung der Farbtreue  $R_f$  nach TM 30 erfolgt über den Vergleich der Abweichungen von 99 Test-farben mit einer Referenzlichtquelle.

Neben der Farbtreue wird auch die Farbsättigung  $R_g$  ausgewiesen.

**Die CIE (Internationale Beleuchtungskommission) hält weiter am  $R_a$  fest. Ein überarbeiteter  $R_f$  könnte sich aber durchsetzen!**



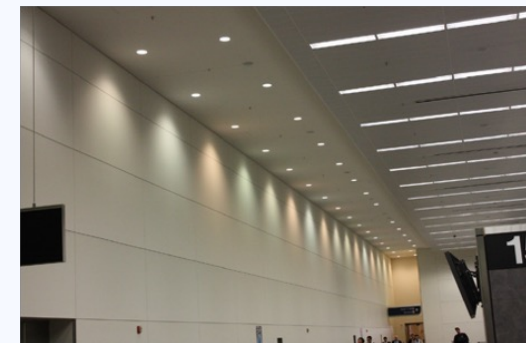
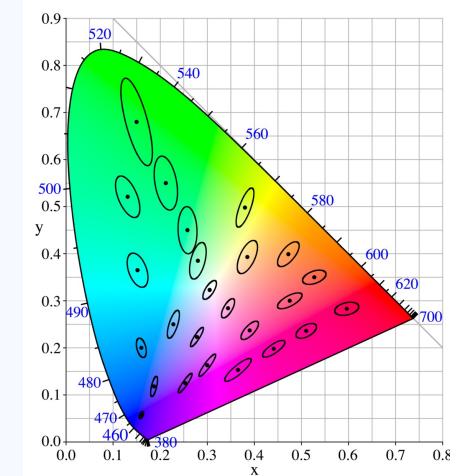
# Qualitätskriterien

## Farborttoleranz / Farbkonsistenz / SDCM

### MacAdam-Ellipse

Eine MacAdam-Ellipse beschreibt einen Bereich von Koordinaten im CIE-Farbdiagramm, innerhalb dessen das menschliche Auge keine Farbunterschiede zum Zentrum der Ellipse erkennt.

Beim Vergrössern der Durchmesser dieser Ellipsen erhält man 3-, 5- oder 7-Stufen-MacAdam-Ellipsen. LED mit 3-MacAdam haben eine bessere SDCM als LED mit einer 5-Stufen-MacAdam-Ellipse.



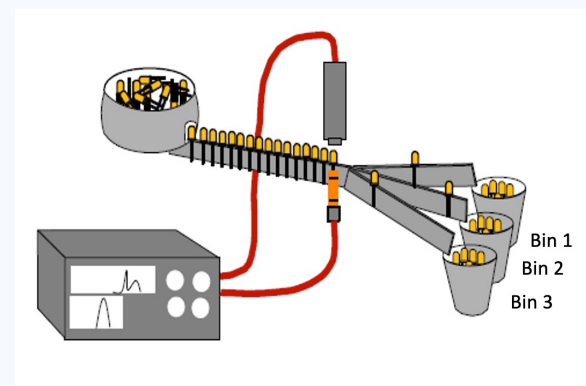
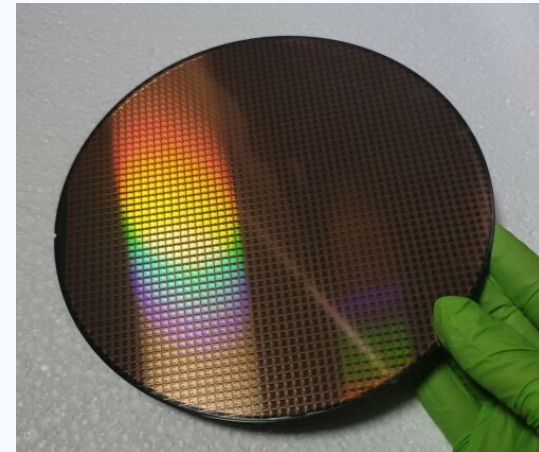
# Qualitätskriterien

## Farborttoleranz / Farbkonsistenz / SDCM

### Binning

Bei der Produktion von LEDs werden pro Silizium-Wafer bis zu tausend LED-Chips produziert.

Diese werden nach der Produktion auf Leuchtkraft, Spannung und Farbort getestet. LEDs mit gleichen Eigenschaften kommen in einen Behälter (engl. Bin). Die Mischung der verschiedenen LEDs bestimmt die Farbkonsistenz (SDCM) einer LED Platine.



# Qualitätskriterien

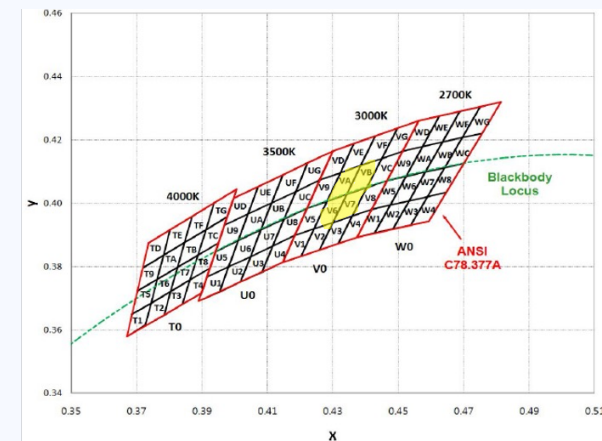
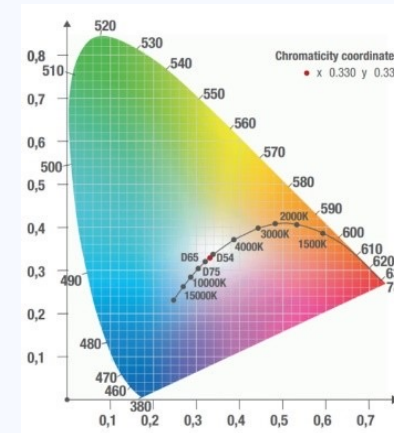
## Farborttoleranz / Farbkonsistenz / SDCM

### Binning

Die verschiedenen Bins befinden sich in der Nähe der Planckschen Kurve (weisses Licht) im CIE-Farbraum .

Für eine LED-Platine mit Farbtemperatur 3000K könnte jetzt eine Mischung aus den Bins VA, VB, V6 und V7 eingesetzt werden.

**Mit gleichem Binning können Platinen aus verschiedenen LED-Generationen mit identischem Farbort und gleicher Farbkonsistenz hergestellt werden!**



# Qualitätskriterien

## Lebensdauer von LED-Leuchten

### Bemessungslebensdauer $L_x B_y$

Der Lichtstrom von LED-Leuchten nimmt im Laufe der Zeit ab. Die Bemessungslebensdauer ( $L_x$ ) ist erreicht, wenn der Lichtstrom auf x % des Anfangslichtstromes gefallen ist.

Der Anteil von LED in einer Leuchte, die nach der Bemessungslebensdauer einen grösseren Lichtstromrückgang als x % haben, werden mit  $B_y$  angegeben.

# Qualitätskriterien

## Lebensdauer von LED-Leuchten

### Bemessungslebensdauer $L_x B_y$

$$L_{80}B_{10} = 75'000h$$

Nach 75'000 Betriebsstunden beträgt der Lichtstrom der Leuchte 80% des Neuwertes ( $x=80$ )  
10% der eingesetzten LEDs sind unter dem 80%-Wert, 90% überschreiten ihn ( $y=10$ )

$$L_{90}B_{50} = 50'000h$$

Nach 50'000 Betriebsstunden beträgt der Lichtstrom der Leuchte 90% des Neuwertes ( $x=90$ )  
50% der eingesetzten LEDs sind unter dem 90%-Wert, 50% überschreiten ihn ( $y=50$ )

# Qualitätskriterien

## Lebensdauer von LED-Leuchten

### Mittlere Bemessungslebensdauer $L_x$

Bei flächigen Beleuchtungslösungen mit mehreren Leuchten und/oder Leuchten mit jeweils einer größeren Menge LED pro Leuchte ist die Berücksichtigung der Bemessungslebensdauer  $B_{50}$  heranzuziehen.

**Für die mittlere Bemessungslebensdauer  $L_x$  (ohne Zusatz) gilt:  $B_y = B_{50}$**

**$L_{90} = 50'000h$**

Nach 50'000 Betriebsstunden beträgt der Lichtstrom der Leuchte 90% des Neuwertes ( $x=90$ )  
50% der eingesetzten LEDs sind unter dem 80%-Wert, 50% überschreiten ihn ( $y=50$ )



# Qualitätskriterien

## Lebensdauer von LED-Leuchten

### Mittlere Bemessungslebensdauer $L_x$

Bei den Angaben der Bemessungslebensdauer  $L_x$  handelt es sich um Planungsangaben.

**Die Werte von  $L_x$  auf Produktdatenblättern sind keine Garantieverprechen der Hersteller!!**

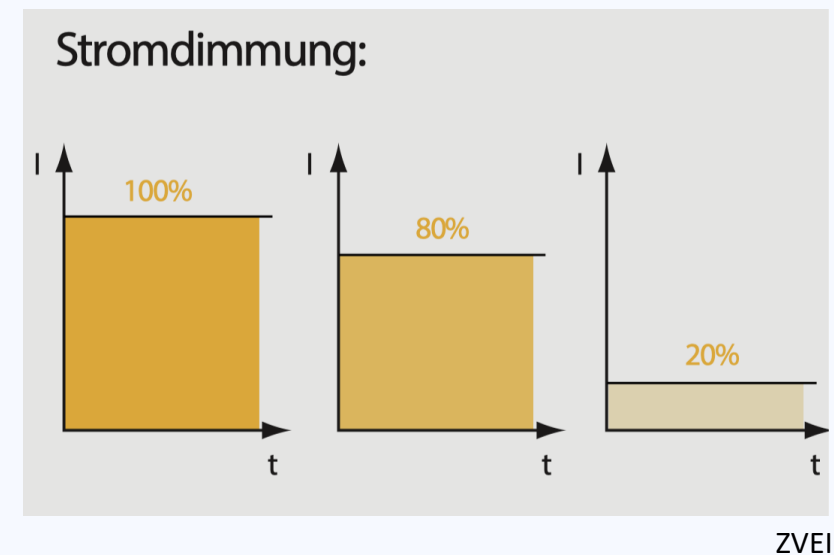
Die Garantiebedingungen finden sich in den AGB der Hersteller

# Qualitätskriterien

## Dimmen

### Amplitudendimmung

- + Beste Effizienz
- + Bessere Lichtausbeute bei reduziertem Strom
- + Voll kameratauglich, kein Flicker
- Kleinste Dimmlevel < 1% schwierig
- Farbortverschiebungen möglich

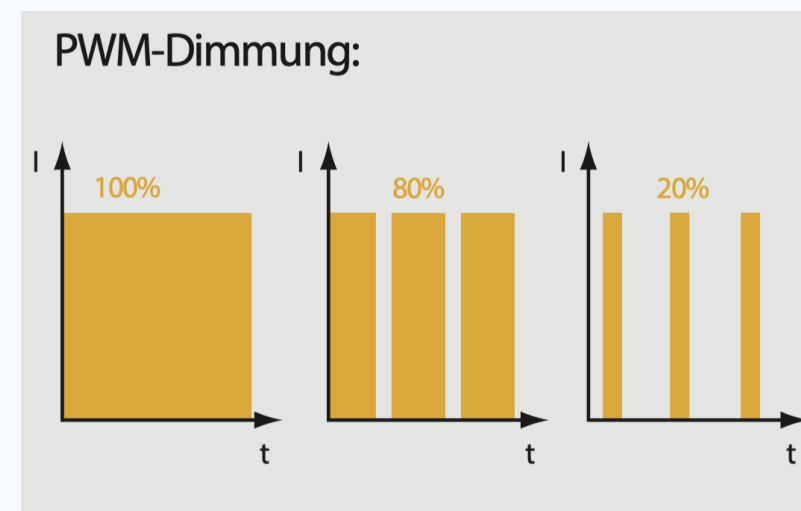


# Qualitätskriterien

## Dimmen

### PWM-Dimmung

- + Konstante Lichtfarbe
- + Kleinste Dimmlevel möglich
- Flicker- und Stroboskopeffekte
- Nicht kameratauglich



ZVEI

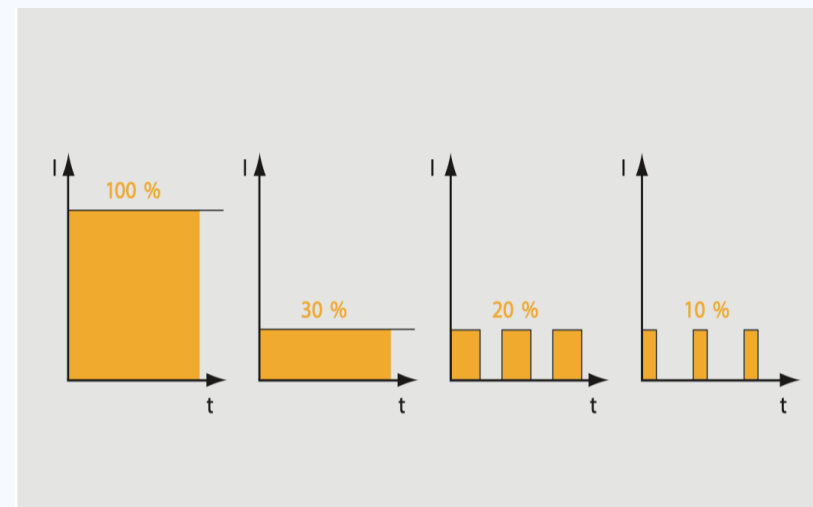
# Qualitätskriterien

## Dimmen

### Kombination von Amplituden und PWM- Dimmung

+ / -

Kombination aller Vor- und Nachteile



ZVEI

# Qualitätskriterien

## Thermomanagement

LEDs lieben die Kälte!

Mit steigender Temperatur sinken Lichtstrom, Effizienz und Lebensdauer

Auch bei LED-Treibern ist die Temperatur bezüglich Lebensdauer matchentscheidend!

| Temperature / Lifetime Conditions         |                         |              |
|---|-------------------------|--------------|
| Ambient Temperature Range                 |                         | -25...+50 °C |
| Max. allowed T <sub>c</sub> - Temperature |                         | +75 °C       |
| Ballast Lifetime                          | Advanced Lifetime       | Failure Rate |
| 50.000                                    | 100.000                 | <10 %        |
| T <sub>c</sub> = +75 °C                   | T <sub>c</sub> = +65 °C |              |

# Qualitätskriterien

## Thermomanagement

Die Qualität des Thermomanagements einer LED-Leuchte lässt sich nur sehr schwer Beurteilen. Professionelles Engineering und konsequente Qualitätssicherungsprozesse beim Hersteller sind unabdingbare Voraussetzungen, damit die Leuchten thermisch optimal ausgelegt sind.

**Das Qualitätslabel des FVB ist ein Gütezeichen für Professionalität und Qualität!**



# Wirtschaftlichkeit

Neben der hohen Lichtausbeute ermöglichen zwei weitere Eigenschaften von LEDs die Planung und Realisierung von LED-Beleuchtungsanlagen mit grösster Wirtschaftlichkeit:

- **Das Dimmverhalten mit einem praktisch linearen Verlauf von el. Leistung und Lichtstrom**
- **Die hohe Schaltfestigkeit von LEDs**

# Wirtschaftlichkeit

Diese zwei Eigenschaften ermöglichen, mit dem Einsatz von modernen Sensoren, LED-Anlagen von höchster Wirtschaftlichkeit.

Energieeinsparungen von bis zu 70 % sind alleine durch die Planung einer angepassten Beleuchtungssteuerung sowie dem Einsatz von intelligenten Sensoren problemlos möglich.

**Eine grosse Chance, schon in der Planung die Weichen richtig zu stellen!**



**Ich bedanke mich ganz herzlich  
für Ihre Aufmerksamkeit**

Markus Binda / Fachdelegierter fvb