

Wolfgang Bergter

Kyffhäuserstraße 29
D-85579 Neubiberg

1. Leuchtdichte L

Die Leuchtdichte L (Maßeinheit: cd/m^2) ist die Lichtstärke eines Sehobjektes im Verhältnis zur Größe der gesehenen Fläche. Sie ist für den Helligkeitsdruck einer selbstleuchtenden oder beleuchteten Fläche maßgebend. Dies gilt im sog. Nahbereich, in welchem die Fläche noch als Fläche und nicht nur als leuchtender Punkt vom Auge wahrgenommen wird. In großem Abstand ist die Lichtstärke maßgeblich. Nach Untersuchungen an Kraftfahrzeugen gilt für eine leuchtende Fläche von $10 \times 10 \text{ cm}$ eine Entfernung bis 63 m als Nahbereich (Joachim Ripperger. Luminance: the Future Photometric for Rear- and Brake-lights. Herbert Utz Verlag, 2001, ISBN 3-89675-971-X.).

Die Leuchtdichte L kann aus dem Lichtstrom Φ und dem Öffnungswinkel Ω oder der Lichtstärke I berechnet werden.

$$\text{Lichtstärke } I = \frac{\text{Lichtstrom im Raumwinkel}}{\text{Raumwinkel}} \qquad I [\text{cd}] = \frac{\Phi [\text{lm}]}{\Omega [\text{sr}]}$$

$$\text{Leuchtdichte } L = \frac{\text{Lichtstärke}}{\text{leucht. Fläche}} \qquad L [\text{cd/m}^2] = \frac{\Phi [\text{lm}]}{A [\text{m}^2] * \Omega [\text{sr}]} = \frac{I [\text{cd}]}{A [\text{m}^2]}$$

2. Lichtstärke I bei Fahrrad-Standardrücklicht

Das verwendete Birnchen hat $0,6 \text{ W}$ mit einem Wirkungsgrad von ca. $3,3 \text{ lm/W}$. Das ergibt einen Lichtstrom von $2,0 \text{ lm}$. Bei 20% Transmission durch die rote Plexiglasscheibe verbleiben $0,4 \text{ lm}$. 10% des Lichtstromes werden durch den Reflektor gebündelt (der Reflektor enthält Löcher, damit das Rücklicht auch von der Seite gesehen werden kann) und in einen Raumwinkel von $0,0015 \text{ sr}$ ($= 2,5 \text{ Grd}$) abgestrahlt. Das ergibt eine Lichtstärke I von **$5,3 \text{ cd}$** .

Die leuchtende Fläche beträgt $30 \times 40 \text{ mm}^2 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Das ergibt eine Leuchtdichte von **4.400 cd/m^2** .

3. Lichtstärke I bei Fahrrad-LED-Rücklicht

Rechnung 1 über den Lichtstrom F:

Eine LED bei $30 \text{ mA} / 2,2 \text{ V}$ betrieben hat eine Leistung von $0,066 \text{ W}$. Bei einem Wirkungsgrad von 40 lm/W (lt. Datenblatt) erhält man $2,64 \text{ lm}$. Mit 4 LEDs werden also $10,6 \text{ lm}$ erzielt. Die Transmission durch klares Plexiglas beträgt 85% (lt. Hamburger Licht-Gebetsmühle). So verbleiben **$9,0 \text{ lm}$** . 20% dieses Lichtstromes werden durch die in die LED integrierte Linse in einen Raumwinkel von $0,015$ ($= 8 \text{ Grd}$) gebündelt. So erhält man 120 cd . Kleine eingebaute Reflektoren sammeln noch einmal 10% des Streulichtes. So ergeben sich in Summe ca. **130 cd** .

Rechnung 2 über die Lichtstärke I:

Eine LED ist mit 20 cd bei 20 mA angegeben. Da die Lichtstärke bis ca. 40 mA linear ansteigt, ergeben sich bei 30 mA also 30 cd . Mit 4 LEDs werden demnach 120 cd erzielt. Dieser Werte gilt bei 8 Grd Öffnungswinkel ohne Abdeckung. Das Plexiglas (Abdeckung) hat eine Transmission von 85% . Damit ergibt sich eine

Lichtstärke von ca. 100 cd. Kleine eingebaute Reflektoren sammeln noch einmal 10% des Streulichtes. So ergeben sich im Summe ca. **110 cd**.

Die leuchtende Fläche des Rücklichtes beträgt $30 \times 40 \text{ mm}^2 = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Das ergibt bei 110 cd eine Leuchtdichte von **92.000 cd/m²**.

4. Lichtstärke beim Auto (laut ECE-Richtlinie)

Für die Leuchtenfunktionen am Auto gelten folgende ECE-Vorgaben

	I_{\min} [cd]	I_{\max} [cd]
je Schlussleuchte	4	17
je Bremsleuchte	60	260
Fahrtrichtungsanzeiger hinten	50	350
Nebelschlussleuchte	150	300

Aus diesen Werten läßt sich der maximal erreichbare Öffnungswinkel berechnen. Eine Bremsleuchte hat 21 W mit einem Wirkungsgrad von 5 lm/W --> 105 lm. Bei 20% Transmission durch das rote Plexiglas ergibt das einen Lichtstrom von 20 lm. 260 cd (I_{\max} -Wert für eine Bremsleuchte) bei 20 lm ergeben 0,076 sr (= 18 Grd Öffnungswinkel). Die Norm verlangt ca. 20 Grd Öffnungswinkel, was demnach knapp erreicht wird. Eine Festlegung für die Leuchtdichte oder die erforderliche Größe gibt es bisher nicht. Damit gibt es auch keine Festöegung für die minimale Größe eine Leuchte.

Bei 71 neu in den Verkehr gekommenen KFZ ergaben sich ohne Verschmutzung folgende Meßwerte (Joachim Ripperger. Lichttechnische Anforderungen an Schluß- und Bremsleuchten für Kraftfahrzeuge. Herbert Utz Verlag, 2001, ISBN 3-89675-818-7. Dissertation.):

	I [cd]	A [mm ²]	I [cd/m ²]
je Schlussleuchte	8	7.000	1.100
je Bremsleuchte	80	5.000	16.000
Fahrtrichtungsanzeiger hinten	150	5.000	30.000

Für Ampeln ist folgender Wert vorgeschrieben:

	I [cd]	A [mm ²]	I [cd/m ²]
Grüne Ampel			7.000

5. Leuchtdichteverhältnis

Wenn ein neu hinzukommendes Objekt fünfmal heller ist, als die weiteren Lampen in der Umgebung, wird es sicher erkannt. Die Reaktionszeit beträgt ca. 250 ms (TH Karlsruhe, Lichttechnisches Institut. Untersuchung der Abhängigkeit der Reaktionszeit vom Überlappungsgrad der Flächenanteile zweier Lichtsignale unterschiedlicher Farbe, Diplomarbeit von Karsten Klinger). Wenn das Objekt gleichhell ist wie die weiteren Lampen in der Umgebung, steigt die Reaktionszeit auf ca. 400 ms. Wenn es fünfmal dunkler ist, steigt die Reaktionszeit auf über 1 s oder wird übersehen.

Die Helligkeit des gleichmäßig bedeckten Himmels beträgt etwa 5.000 cd/m². Die Straßenhelligkeit, vor der die Leuchten gesehen werden müssen, wird mit 200, ..., 1.000 cd/m² angesetzt.

6. Schlußbemerkung

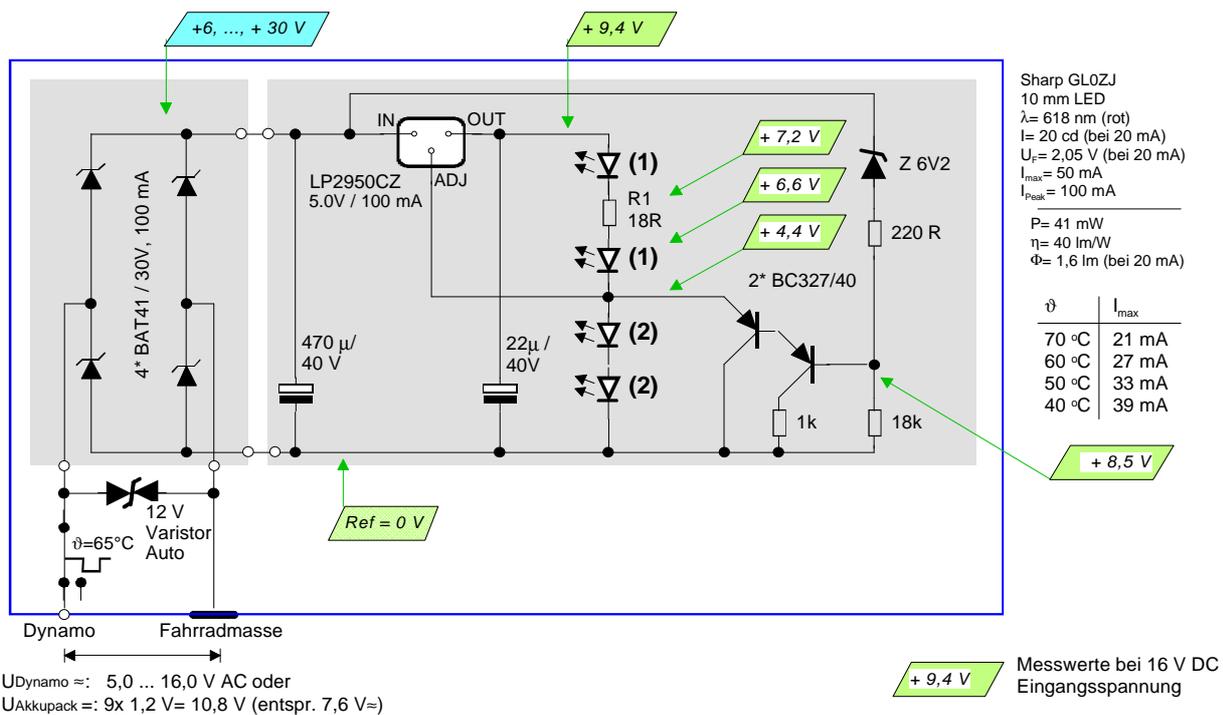
Nahbereich

Wenn für eine leuchtende Fläche von 10 x 10 cm eine Entfernung bis 63 m als Nahbereich gilt, ergeben sich bei 3 x 4 cm als Entfernung für den Nahbereich 22 m. Hier ist die Leuchtdichte relevant. Die 92.000 cd/m² sind um den Faktor 5,7 höher als eine Bremsleuchte und um den Faktor 3 höher als eine Blinkleuchte. Hier liegt immer eine sichere Erkennung vor.

Fernbereich:

Hier ist allein die Lichtstärke relevant. 100 cd beim Fahrrad-LED-Rücklicht liegen auf dem Niveau heutiger Bremsleuchten (80 cd bei einem Querschnitt über alle gemessenen KFZ). Das Fahrrad wird also erkannt, wenngleich nicht schnell. Gegenüber dem Auto-Schlußlicht ist ein schnelles und sicheres Erkennen auf jeden Fall gewährleistet (Faktor 12,5).

7. Schaltplan



Das Rücklicht ist für 6 V- und 12 V-Anlagen gleichermassen gut geeignet. Bei 6 V-Anlagen werden nur 2 LEDs betrieben, bei höheren Spannungen sperren die beiden Transistoren und schalten so 2 zusätzliche LEDs zu. Übrigends bei gleichem Stromverbrauch von 30 mA. Der konstante Strom wird durch einen Low Drop Spannungsregler erzeugt, der hier als Konstantstromquelle arbeitet.

Der linke Teil des Bauplans ist notwendig, wenn man da Rücklicht an Wechselstrom betreiben möchte.

8. Abbildungen



Rücklicht Gesamtansicht.

Einbau in einen Standard-Gepäckträger-Reflektor ergibt gute Sichtbarkeit, da hoch am Fahrrad angebracht.



Rücklicht Nahansicht.

Deutlich sichtbar die 4 LEDs mit den Reflektoren.



Rücklicht bei Tag (25 m Abstand).

Die Leuchtdichte ist so hoch, dass die Kamera nur noch „weiß“ = „übersteuert“ anzeigt.

Nachtaufnahmen machen keinen Sinn, da die Kamera das Leuchtdichtenverhältnis noch weniger darstellen kann.



Rücklicht bei Tag (50 m Abstand).

Der Lichtpunkt ist klein, aber noch deutlich zu erkennen.