



Energieeffiziente Straßenbeleuchtung

Empfehlung Energiekennwerte:

Grenz- und Zielwerte für Anschlussleistung und Energieverbrauch



Vorwort.

Die Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH setzt sich für energetisch optimierte öffentliche Beleuchtung ein.

Zu diesem Zweck wurden Energiekennwerte für die Straßenbeleuchtung entwickelt, die entsprechend dem aktuellen Stand der Technik fortgeschrieben werden. Wesentlicher Bestandteil ist die Festlegung von Grenz- und Zielwerten für die streckenspezifische Anschlussleistung und den streckenspezifischen Verbrauch pro Jahr.

Die Grenzwerte stellen dabei Werte dar, die in der Regel mindestens erreicht werden sollten. Die Zielwerte sind demgegenüber als Hinweis zu verstehen, welche Werte durch eine optimale Planung und den Einsatz besonders energieeffizienter Technik in Verbindung mit einer bedarfsgerechten Beleuchtungssteuerung erreicht werden können.

Die Energiekennwerte sind unabhängig von empfohlenen Beleuchtungsniveaus nach DIN EN 13201. Die Festlegung der erforderlichen Gütekriterien (Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte etc.) fällt somit ausdrücklich in den Bereich der für die Beleuchtung Verantwortlichen.

Diese Empfehlung spiegelt den derzeitigen Stand der Technik wider. Grundlage waren empirische Daten, Veröffentlichungen und Berechnungen. Sie richtet sich an die Entscheidungsträger in Städten und Gemeinden sowie an Betreiber und Planer von öffentlichen Beleuchtungsanlagen.

Inhalt.

1. **Vorbemerkung**
2. **Geltungsbereich**
3. **Erläuterung zu den Energiekennwerten**
 - 3.1 Umrechnung von Leuchtdichten in Beleuchtungsstärken
 - 3.2 Geradengleichungen Grenz- und Zielwerte für die Anschlussleistung
 - 3.3 Abschlagsregel: Gleichmäßigkeit
 - 3.4 Ermittlung der Grenz- und Zielwerte für den Energieverbrauch
4. **Einflussfaktoren auf die Energiekennwerte**
5. **Beispiele**
 - 5.1 Beispiel einer Anliegerstraße
 - 5.2 Beispiel einer Sammelstraße
6. **Leistungsbezogene Grenz- und Zielwertkennlinien ohne Abschläge**

1. Vorbemerkung.

Viele Veröffentlichungen und vorhandene Daten zu Energiekennwerten beziehen sich auf die Beleuchtungsklassen der DIN EN 13201. Dies hat zur Folge, dass diese Kennwerte bei nicht nach DIN ausgelegten Vorhaben nur unzureichend anwendbar sind.

Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, Energiekennwerte nicht an den Beleuchtungsklassen zu orientieren, sondern direkt an den Gütemerkmalen wie Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte und Gleichmäßigkeit. Somit können unmittelbar Aussagen zum Energiekennwert über die gesamte Bandbreite der mittleren Beleuchtungsstärke \bar{E}_m im Bereich von 2 bis 15 lx und der mittleren Leuchtdichte \bar{L}_m von 0,3 bis 2 cd/m² getroffen werden.

Diese Energiekennwerte sollen ausdrücklich nicht dazu führen, dass oberhalb der nach DIN EN 13201 empfohlenen Gütekriterien (Beleuchtungsstärke, Leuchtdichte) beleuchtet wird.

2. Geltungsbereich.

Die vorliegenden Energiekennwerte sind unabhängig von den empfohlenen Beleuchtungsniveaus der nach DIN EN 13201 definierten Beleuchtungsklassen für Straßenbreiten (Breite der beleuchteten Verkehrsfläche) bis 10 m anwendbar. Es ist dabei unerheblich, ob eine Auslegung nach Beleuchtungsstärke oder Leuchtdichte erfolgt.

3. Erläuterung zu den Energiekennwerten.

Als Energiekennwerte wurden Grenz- und Zielwerte für die strecken-spezifische Anschlussleistung [W/m] und den streckenspezifischen Energieverbrauch eines Lichtsystems pro Jahr [kWh/(m·a)] entwickelt. Die Angaben gelten in Längsrichtung und beziehen sich auf den „laufenden Meter“.

Die Grenz- und Zielwerte sind in Abhängigkeit der lt. lichttechnischer Berechnung erreichten mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke \bar{E}_m [lx] für Straßenbreiten bis 10 m definiert.

Für die Bestimmung der Energiekennwerte ist die Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche maßgeblich. Am Beispiel einer Straße mit kombiniertem Rad-/Gehweg bedeutet dies: Zur Bestimmung der Grenz- und Zielwerte gilt die Breite der beleuchteten Fahrbahnfläche. Der Rad-/Gehweg wird – sofern notwendig – mit separaten Grenz- und Zielwerten definiert.

3.1 Umrechnung von Leuchtdichten in Beleuchtungsstärken.

Straßen werden je nach Anforderungen und Verkehrsbelastung nach Leuchtdichte oder horizontaler Beleuchtungsstärke ausgelegt. Für beide Größen wären dementsprechende Energiekennwerte vorzusehen. Gleichzeitig besteht zwischen diesen beiden Größen ein proportionaler Zusammenhang¹. Dieser erlaubt eine Umrechnung von Leuchtdichten in eine Referenz-Beleuchtungsstärke.

Als Bemessungsgrundlage zur Ermittlung der Energiegrenz- und Zielwerte wird für Maßnahmen, die nach der Leuchtdichte geplant werden, der Wert der mittleren Leuchtdichte \bar{L}_m [cd/m²] mit dem Umrechnungsfaktor 1:14 in eine mittlere horizontale Referenz-Beleuchtungsstärke \bar{E}_m [lx] umgerechnet.

¹ Vgl. Baer, Roland:
Beleuchtungstechnik: Grundlagen, 3. Auflage, Berlin: Huss-Medien, 2006

3.2 Geradengleichungen Grenz- und Zielwerte für die Anschlussleistung.

Der Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Energiekennwert lässt sich mittels Geradengleichungen veranschaulichen. Für beleuchtete Verkehrsflächen bis 10 m Breite werden zur Ermittlung der leistungsbezogenen Grenz- und Zielwerte nebenstehende Geradengleichungen definiert. Grundlage für die Ermittlung der Gleichungen waren empirische Daten, Veröffentlichungen und Berechnungen. Die entsprechenden grafischen Darstellungen befinden sich im Anhang (Kapitel 6).

Tabelle 1:
Geradengleichungen für leistungsbezogene Grenz- und Zielwerte ohne Abschlagsregel Gleichmäßigkeit

Breite der beleuchteten Verkehrsfläche b [m]	Leistungs-Grenzwert [W/m]	Leistungs-Zielwert [W/m]
$b \leq 2$	$f(x) = 0,284 x + 0,287$	$f(x) = 0,230 x - 0,005$
$2 < b \leq 3$	$f(x) = 0,289 x + 0,347$	$f(x) = 0,235 x + 0,061$
$3 < b \leq 4$	$f(x) = 0,295 x + 0,408$	$f(x) = 0,241 x + 0,126$
$4 < b \leq 5$	$f(x) = 0,302 x + 0,468$	$f(x) = 0,247 x + 0,192$
$5 < b \leq 6$	$f(x) = 0,309 x + 0,529$	$f(x) = 0,254 x + 0,257$
$6 < b \leq 7$	$f(x) = 0,315 x + 0,590$	$f(x) = 0,262 x + 0,323$
$7 < b \leq 8$	$f(x) = 0,323 x + 0,651$	$f(x) = 0,270 x + 0,388$
$8 < b \leq 9$	$f(x) = 0,331 x + 0,711$	$f(x) = 0,279 x + 0,453$
$9 < b \leq 10$	$f(x) = 0,339 x + 0,772$	$f(x) = 0,288 x + 0,519$

3.3 Abschlagsregel: Gleichmäßigkeit.

Eine ausreichende Gleichmäßigkeit ist eine Grundvoraussetzung für die Wahrnehmung von Fahrzeugen, Personen oder Gegenständen auf der Fahrbahn und besitzt somit Sicherheitsrelevanz.

Die Gleichmäßigkeit stellt ein maßgebliches Gütekriterium für die Straßenbeleuchtung dar. Die DIN EN 13201 legt im Teil 2 „Gütekriterien“ entsprechende Mindestanforderungen fest.

Hohe Gleichmäßigkeiten haben einen höheren Energiebedarf als geringe. Die Verteilung des Lichts in Bereichen der Bewertungsfläche, die von den Leuchten weiter entfernt sind, führen immer zu einem höheren Energiebedarf. Um Lichtsysteme, die unterschiedliche Gleichmäßigkeiten auf der Nutzfläche

erzeugen, vergleichbar zu machen, muss dies grundlegend bei der Ermittlung der Energiekennwerte berücksichtigt werden.

Daher kommt bei der Ermittlung der leistungsbezogenen Grenzwerte nachfolgende Abschlagsregel zum Ansatz:

$$\text{Leistungs-Grenzwert} = \text{Bemessungs-Leistungs-Grenzwert} \cdot A$$

Leistungs-Grenzwert leistungsbezogener Energiegrenzwert einschließlich evtl. Abschläge [W/m]

Bemessungs-Leistungs-Grenzwert nach Tabelle 1 ermittelter leistungsbezogener Energiegrenzwert [W/m]

A nach Tabelle 2 ermittelter Korrekturfaktor mit $0 \leq A \leq 1$

Analog ist mit dem Leistungs-Zielwert zu verfahren.

Der Korrekturfaktor A wird als Quotient des Planungswertes für die Gleichmäßigkeit und eines entsprechenden Sollwertes wie folgt ermittelt:

Beleuchtungsstärke \bar{E}_m	Leuchtdichten $\bar{L}_m \leq 0,5 \text{ cd/m}^2$	Leuchtdichten $\bar{L}_m > 0,5 \text{ cd/m}^2$
$A = \frac{\text{Planungswert (g1)}}{0,18}$ mit $0 \leq A \leq 1$	$A = \frac{\text{Planungswert (U}_0\text{)}}{0,35}$ mit $0 \leq A \leq 1$	$A = \frac{\text{Planungswert (U}_0\text{)}}{0,4}$ mit $0 \leq A \leq 1$
Wenn Planungswert $\geq 0,18$ dann $g1 = 0,18$	Wenn Planungswert $\geq 0,35$ dann $U_0 = 0,35$	Wenn Planungswert $\geq 0,4$ dann $U_0 = 0,4$

Hinweis: Falls nicht in der lichttechnischen Berechnung angegeben, ergibt sich die Gleichmäßigkeit g1 für Planungen nach der Beleuchtungsstärke aus dem Quotienten von minimaler Beleuchtungsstärke E_{\min} und mittlerer Beleuchtungsstärke \bar{E}_m :

$$g1 = \frac{E_{\min}}{\bar{E}_m}$$

Tabelle 2:
Ermittlung des Korrekturfaktors A im Rahmen der Abschlagsregel Gleichmäßigkeit

3.4 Ermittlung der Grenz- und Zielwerte für den Energieverbrauch.

Die Energiekennwerte für den Energieverbrauch ergeben sich unmittelbar aus dem ermittelten Leistungs-Grenz- bzw. -Zielwert durch Multiplikation mit den Brennstunden der Anlage pro Jahr. Als typische Annahme wird von 4.200 Brennstunden pro Jahr ausgegangen.

Des Weiteren sind der Grenz- und Zielwert für den Energieverbrauch davon abhängig, zu welchem Anteil der Gesamtbrennstunden die Anlage in Volllast betrieben wird, zu welchen Anteilen in Teillast und in welcher Höhe in Relation zur Volllast.

Als typische Annahme wird von einer Absenkung des Volllastniveaus in der Zeit von 22:00 bis 5:00 Uhr auf 70 % der Leistung ausgegangen. Somit ergeben sich 2.555 Stunden

Teillastbetrieb pro Jahr. Bezogen auf die Gesamtbrennstunden kann dieser Zusammenhang durch einen Teillastfaktor B_{TL} von 0,8175 ausgedrückt werden.

$$\text{Verbrauchs-Grenzwert} = \frac{1}{1000} \cdot \text{Leistungs-Grenzwert} \cdot t_{\text{brenn}} \cdot B_{TL}$$

Verbrauchs-Grenzwert	verbrauchsbezogener Grenzwert pro Laufmeter und Jahr [kWh/(m · a)]
Leistungs-Grenzwert	leistungsbezogener Grenzwert einschließlich evtl. Abschläge entsprechend der Abschlagsregel Gleichmäßigkeit [W/m]
t_{brenn}	Brennstunden pro Jahr [h/a] = 4.200 h/a
B_{TL}	Faktor zur Berücksichtigung des Teillastbetriebs = 0,8175

Der Verbrauchs-Grenzwert kann als Produkt aus Leistungs-Grenzwert, Gesamtbrennstunden und dem Teillastfaktor B_{TL} angegeben werden. Analog ist mit dem Zielwert zu verfahren.

4. Einflussfaktoren auf die individuellen Energiekennwerte.

Der jeweilige individuelle Energiekennwert (Leistung bzw. Verbrauch) der geplanten Maßnahme kann im Vergleich zu den ermittelten Grenz- und Zielwerten durch folgende Faktoren maßgeblich beeinflusst werden:

- Anzahl und Art der Leuchten und Leuchtmittel pro „Laufkilometer“ Straße
- Optimierungsgrad der Lichtverteilung
- Wirkungsgrad der Vorschalt- und Betriebsgeräte
- Systemleistung des Lichtsystems
- Höhe der Einsparung durch eine Beleuchtungssteuerung

5. Beispiele.

5.1 Beispiel einer Anliegerstraße.

→ Anliegerstraße

(Breite 4 m Fahrbahn / 2 Fahrstreifen, 1 m Gehweg)

- Beleuchtungsklasse: S4 / P4
- Gewählte Anordnung: Gehwegseite, LPH = 5 m, Aufsatzleuchte mit asymmetrisch-bandförmiger Lichtstärkeverteilung

→ Bestückung LED 29 W

(Konstantlichtstromregelung, dimmbar)

- Lichtpunktabstand: 31 m
- Systemleistung (mit Betriebsgeräten) für Nutzfläche: 33 W bei 100 % Lichtstrom

→ 4.200 Stunden Betriebsdauer pro Jahr, davon 2.555 Stunden 50 % Leistung (Reduktion 22:00 - 05:00 Uhr)

→ Ergebnisse der lichttechnischen Berechnung:

- Mittlere Beleuchtungsstärke $\bar{E}_m = 3,9 \text{ lx}$
- Minimale Beleuchtungsstärke $E_{\min} = 1,0 \text{ lx}$
- Gleichmäßigkeit $g_1 = 0,256$

→ Ergebnis²:

- Zu beurteilende Breite der Verkehrsfläche: 4 m
- Kein Abschlag (da Mindest-Gleichmäßigkeit erfüllt mit $g_1 > 0,18$)
- Installierte Leistung: 1,1 W/m (Grenzwert: 1,6 W/m, Zielwert: 1,1 W/m)
- Energieverbrauch: 3,3 kWh/(m · a) (Grenzwert: 5,4 kWh/(m · a), Zielwert: 3,7 kWh/(m · a))

² Gerundete Werte

5.2 Beispiel einer Sammelstraße.

→ Sammelstraße

(Breite 7,10 m Fahrbahn / 2 Fahrstreifen)

- Beleuchtungsklasse: ME5 / M5
- Gewählte Anordnung: einseitig, LPH = 8 m, technische Leuchte

→ Bestückung HST 70 W

(6.600 lm, Leistungsreduzierung 50/70)

- Lichtpunktabstand: 36 m
- Systemleistung (mit VVG) für Nutzfläche: 82 W bei 100 % Lichtstrom

→ 4.200 Stunden Betriebsdauer pro Jahr, davon 2.555 Stunden 70 % Leistung (Reduktion 22:00 - 05:00 Uhr)

→ Ergebnisse der lichttechnischen Berechnung:

- Mittlere Leuchtdichte $\bar{L}_m = 0,56 \text{ cd/m}^2$
- Gesamtgleichmäßigkeit $U_0 = 0,38$

→ Ergebnis²:

- Zu beurteilende Breite der Verkehrsfläche: 7,1 m (Relevante Straßenbreite für Kennlinie: 8 m)
- Korrekturfaktor $A = 0,95$ (da Mindest-Gleichmäßigkeit mit $U_0 < 0,4$ nicht erfüllt)
- Installierte Leistung: 2,3 W/m (Grenzwert: 3,2 W/m, Zielwert: 2,5 W/m)
- Energieverbrauch: 7,8 kWh/(m · a) (Grenzwert: 10,9 kWh/(m · a), Zielwert: 8,6 kWh/(m · a))

² Gerundete Werte

6. Leistungsbezogene Grenz- und Zielwertkennlinien ohne Abschläge.

— Grenzwert
— Zielwert
Wertebereich b = Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche

Abbildung 1:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich bis 2 m



— Grenzwert
— Zielwert
Wertebereich b = Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche

Abbildung 2:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $2 < b \leq 3$ m

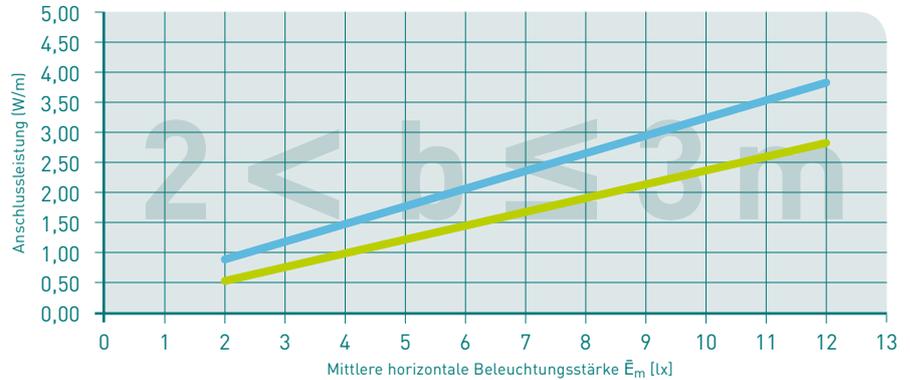


Abbildung 3:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $3 < b \leq 4$ m



— Grenzwert
— Zielwert
Wertebereich b = Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche

Abbildung 4:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $4 < b \leq 5$ m



Abbildung 5:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $5 < b \leq 6$ m

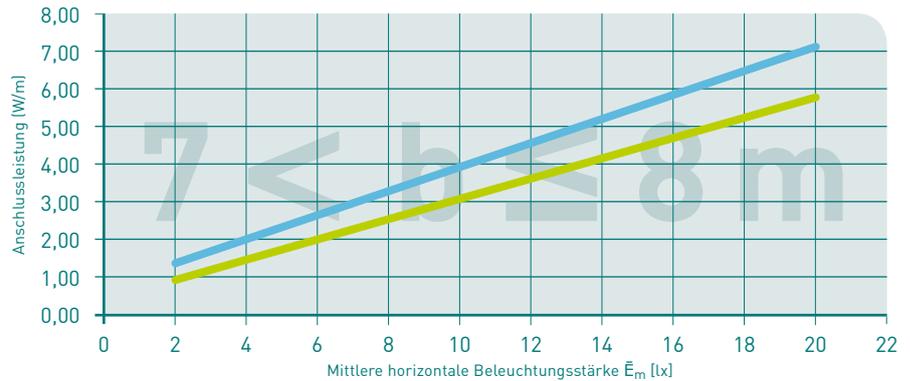


— Grenzwert
— Zielwert
Wertebereich b = Breite der zu beurteilenden Verkehrsfläche

Abbildung 6:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $6 < b \leq 7$ m



Abbildung 7:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $7 < b \leq 8$ m



— Grenzwert

— Zielwert

Wertebereich b = Breite der zu beurteilenden
Verkehrsfläche

Abbildung 8:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $8 < b \leq 9 \text{ m}$



Abbildung 9:
Grenz- und Zielwertkennlinie
im Wertebereich $9 < b \leq 10 \text{ m}$



Impressum

Stand: Dezember 2016

Herausgeber und Redaktion:

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH

Pirnaische Straße 9

01069 Dresden

Telefon: +49 (0)351 4910 3152

Telefax: +49 (0)351 4910 3155

E-Mail: info@saena.de

www.saena.de

Geschäftsführer: Christian Micksch und Gudrun Wojahn

Fachliche Mitwirkung:

Dipl.-Ing. Holger Kschischenk

Freiberuflicher Lichtingenieur

Satz und Layout:

Michael Buddrus

grafik + illustration

Weitere Informationen:

www.planungsleitfaden-strassenbeleuchtung.de

www.saena.de