

# **Oldenburger Tunneltage 2007**

Fachtagung zur überarbeiteten Tunnel-Norm DIN 67524-1

## **Sicherheit durch Technik im Tunnel**

5. Tunnelsymposium der SIGRIST-PHOTOMETER GmbH

Norbert Kaboth

Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG

[www.stredich.de](http://www.stredich.de)

## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

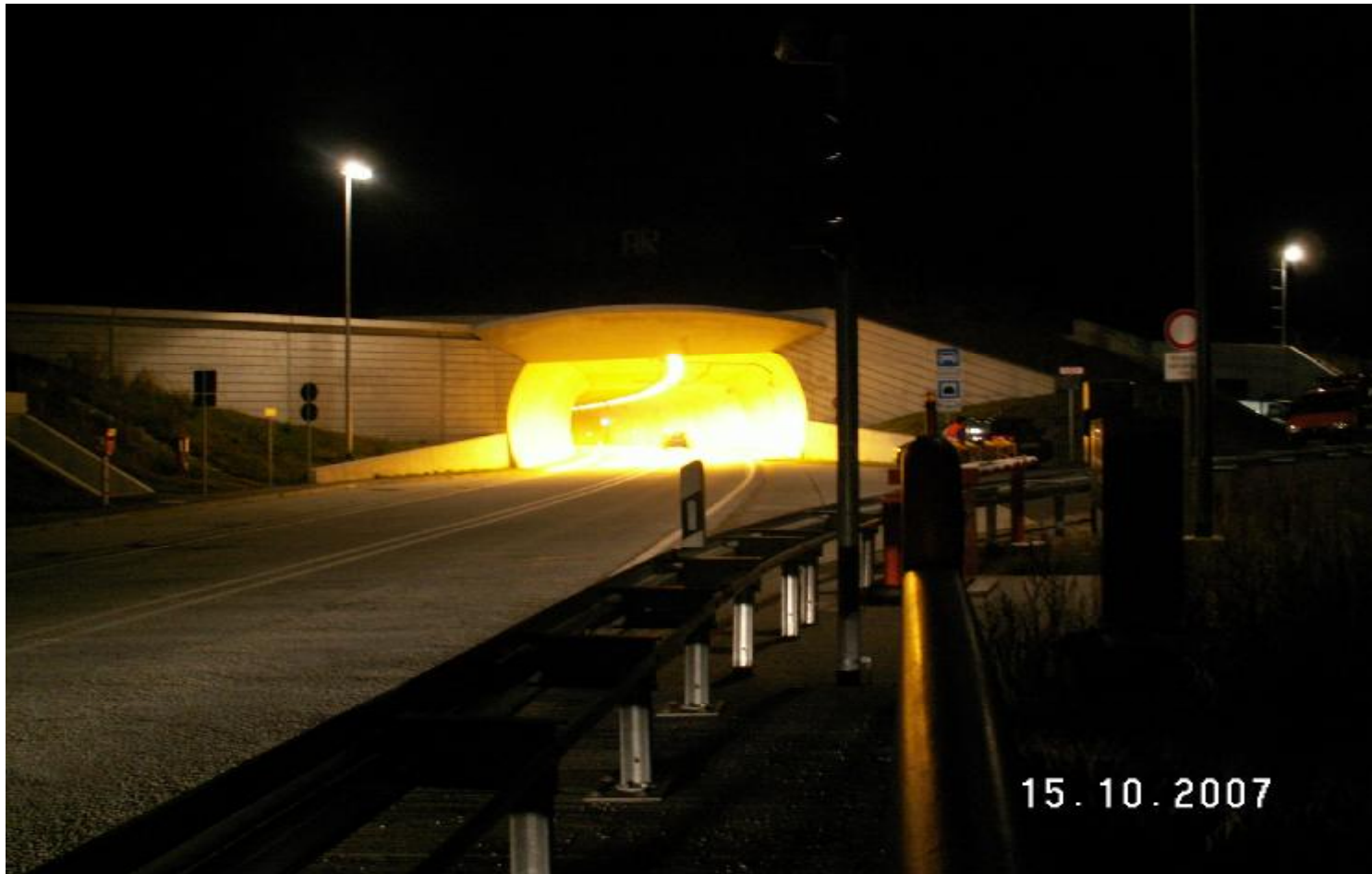
- Beleuchtungsanlagen in der Praxis



## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

- Beleuchtungsanlagen in der Praxis



## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

- Beleuchtungsanlagen in der Praxis



## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

- Beleuchtungsanlagen in der Praxis



## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

- Beleuchtungsanlagen in der Praxis



# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

## Begriffe

- Lichtsteuerung
  - Lichtregelung
  - stetig
  - unstetig
  - Anpassungsfaktoren
- } • Lichtregler
- „Dimmung“
- „Stufenschaltung“

### Anpassungsfaktoren

Sie dienen der Festlegung des Beleuchtungsniveaus in der Einsicht- und Übergangsstrecke des Tunnels nach folgender Gleichung

$$L_{th} = L_{20} \times K_L \times K_V$$

- $L_{th}$  = Leuchtdichte in der Einsichtsstrecke
- $L_{20}$  = Umfeldleuchtdichte / Außenleuchtdichte
- $K_L$  = lichttechnischer Anpassungsfaktor
- $K_V$  = verkehrlicher Anpassungsfaktor

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## $K_L$ = lichttechnischer Anpassungsfaktor

Tabelle A.1  $K_L = L_{th} / L_{20}$  in Abhängigkeit von Fahrtrichtung, Verbauungshöhenwinkel, Umgebungsszenarien und Haltesichtweite

Portalumgebung vorwiegend:			Vegetation			dunkle Bebauung			helle Bebauung		
Fahrtrichtung:			Süden	O / W	Norden	Süden	O / W	Norden	Süden	O / W	Norden
Verbauungs-Höhenwinkel	20°-Himmels-anteil	Haltesicht-weite	$K_L = L_{th} / L_{20}$								
2,4°	35%	100 m	0,0317	0,0306	0,0309	0,0323	0,0310	0,0311	0,0320	0,0305	0,0307
		120 m	0,0310	0,0298	0,0301	0,0313	0,0301	0,0301	0,0312	0,0296	0,0301
4,0°	25%	60 m	0,0374	0,0367	0,0370	0,0382	0,0377	0,0379	0,0375	0,0366	0,0363
		80 m	0,0337	0,0329	0,0328	0,0348	0,0336	0,0334	0,0343	0,0328	0,0323
		100 m	0,0328	0,0312	0,0310	0,0332	0,0315	0,0314	0,0326	0,0310	0,0307
		120 m	0,0319	0,0303	0,0301	0,0322	0,0303	0,0303	0,0309	0,0300	0,0299
6,9°	10%	60 m	0,0442	0,0415	0,0362	0,0455	0,0423	0,0383	0,0434	0,0407	0,0345
		80 m	0,0400	0,0373	0,0317	0,0408	0,0370	0,0332	0,0392	0,0358	0,0303
		100 m	0,0380	0,0353	0,0296	0,0385	0,0344	0,0308	0,0370	0,0336	0,0286
		120 m	0,0368	0,0342	0,0285	0,0370	0,0328	0,0294	0,0358	0,0324	0,0276
10°	0%	60 m	0,0466	0,0401	0,0346	0,0514	0,0444	0,0373	0,0455	0,0376	0,0321
		80 m	0,0409	0,0348	0,0299	0,0451	0,0382	0,0317	0,0399	0,0329	0,0281
		100 m	0,0384	0,0326	0,0277	0,0419	0,0353	0,0292	0,0377	0,0306	0,0264
		120 m	0,0369	0,0309	0,0266	0,0401	0,0334	0,0277	0,0362	0,0297	0,0254
15°	0%	60 m	0,0397	0,0359	0,0338	0,0428	0,0387	0,0359	0,0389	0,0348	0,0320
		80 m	0,0337	0,0305	0,0290	0,0360	0,0325	0,0302	0,0332	0,0300	0,0278
		100 m	0,0309	0,0280	0,0268	0,0326	0,0295	0,0276	0,0305	0,0277	0,0260
		120 m	0,0292	0,0266	0,0256	0,0308	0,0278	0,0262	0,0291	0,0264	0,0250
20°	0%	60 m	0,0358	0,0339	0,0329	0,0380	0,0360	0,0346	0,0353	0,0332	0,0314
		80 m	0,0298	0,0286	0,0280	0,0312	0,0298	0,0289	0,0295	0,0284	0,0270
		100 m	0,0270	0,0261	0,0257	0,0277	0,0269	0,0263	0,0269	0,0262	0,0252
		120 m	0,0253	0,0247	0,0246	0,0257	0,0252	0,0248	0,0253	0,0249	0,0242

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Verkehrlicher Anpassungsfaktor $K_V$

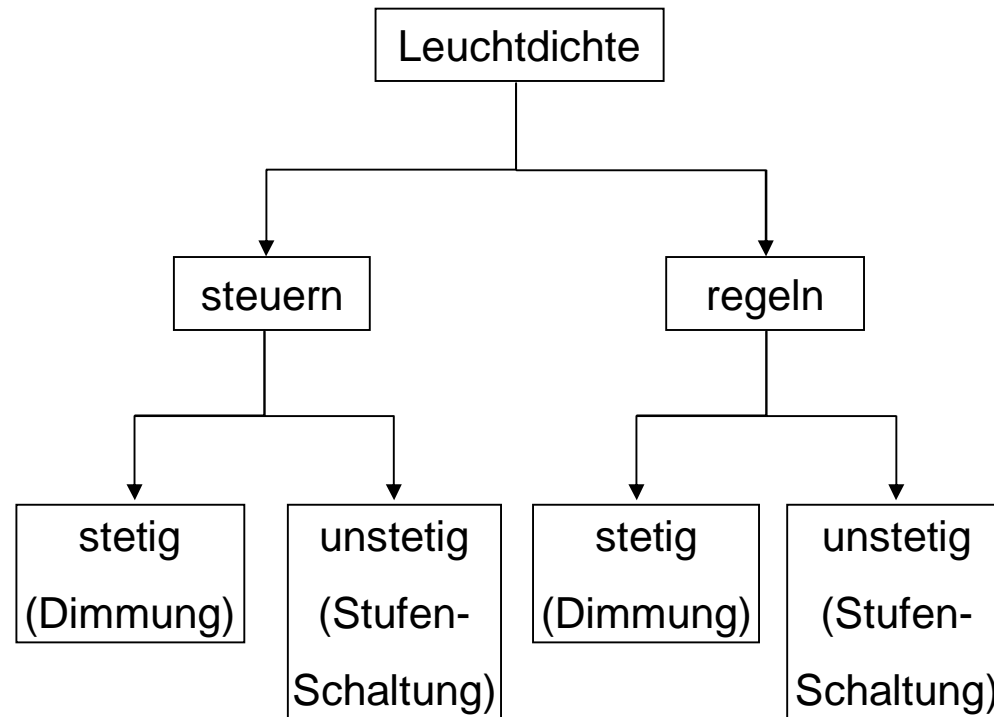
Tabelle 1 – Anpassungs-Faktoren  $K_{v,i}$  zur Klassifizierung von Tunneln

Parameter		Kriterium	Wert des Anpassungs-Faktors $K_{v,i}$	
			Einsichts- und Übergangsstrecke	Tunnelinnenstrecke
$K_{v,b}$	Betriebsart	Richtungsverkehr	1	1
		Gegenverkehr	1,25	1,25
$K_{v,DTV}$	Verkehrsstärke	$N \geq 650$	1,25	1,25
		$350 < N < 650$	1	1
		$N \geq 350$	0,8	0,8
$K_{v,Lkw}$	Lkw-Anteil	> 15 %	1,25	1,25
		bis 15 %	1	1
$K_{v,V}$	Verkehrsart	Gemischt	1,25	3
		reiner Kfz-Verkehr	1	1
$K_{v,k}$	im Bereich von seitlichen Ein- / Ausfahrten oder Pannenbuchten	vorhanden	1,25	3
		nicht vorhanden	1	1
$K_{v,W}$	Leuchtdichteverhältnis Wand / Fahrbahn	< 40 %	1,25	1,25
		40 % bis 80 %	1	1
		Wandhöhe $\geq 2,0$ m	> 80 %	0,8

$$K_V = K_{v,b} \times K_{v,DTV} \times K_{v,Lkw} \times K_{v,V} \times K_{v,k} \times K_{v,W}$$

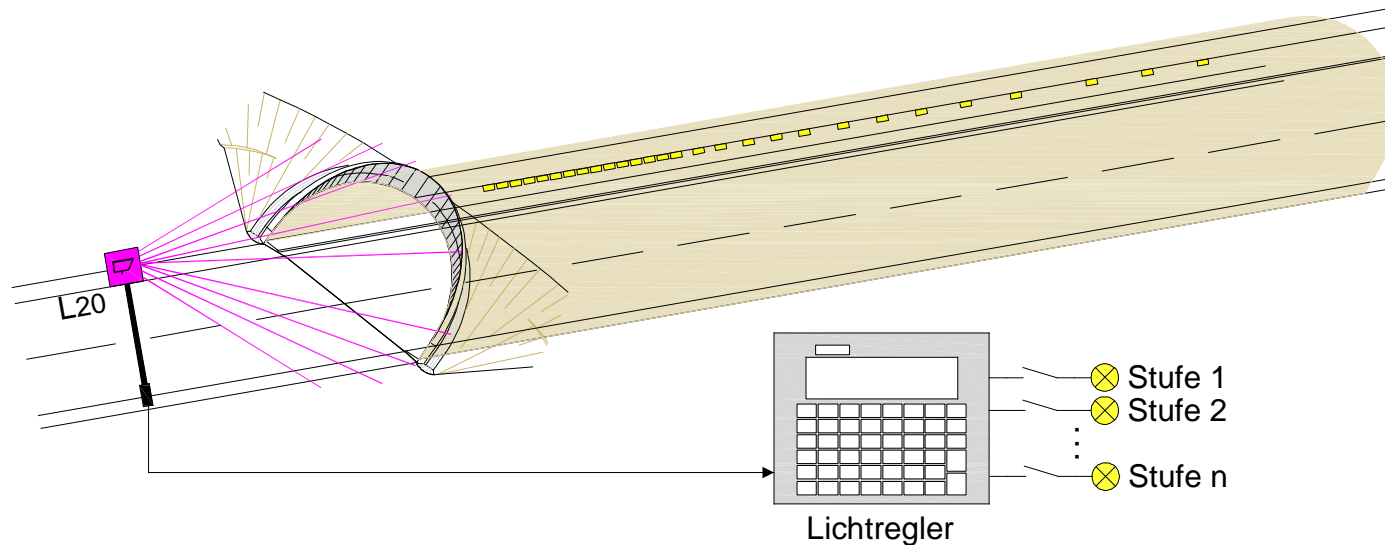
## Projektspezifische Auslegung eines Lichtreglers

- Führungsgröße „Leuchtdichte“
- steuern / regeln
- stetig / unstetig  
„Schalten“ / „Dimmen“



# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Steuerung der Adaptationsbeleuchtung



Stufe	Fahrtrichtung A $L_{th\ max} = 150\ cd/m^2$	Fahrtrichtung B $L_{th\ max} = 200\ cd/m^2$
1	4,5	4,5
2	25	30
3	40	50
4	60	80
5	75	100
6	100	130
7	115	150
8	135	180

$$K = K_L \times K_V = 0,0348 \times 1,25 = 0,0435$$

Stufe	Fahrtrichtung A $L_{20}\ (cd/m^2)$	Fahrtrichtung B $L_{20}\ (cd/m^2)$
1	103	103
2	575	1.030
3	920	1.150
4	1.380	1.840
5	1.725	2.300
6	2.300	2.990
7	2.645	3.450
8	3.103	4.140

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

## Steuerung

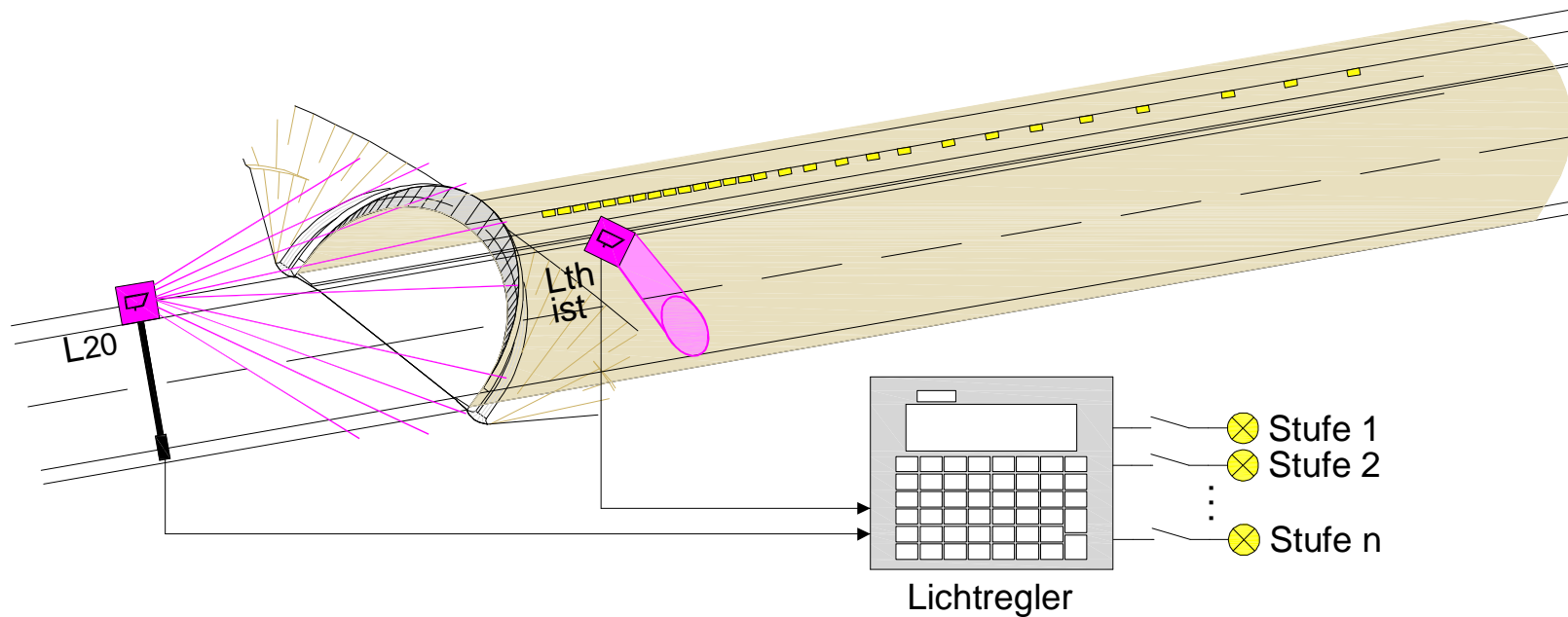
### Vorteile

- geringer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand
- einfacher Steueralgorithmus
- keine Störgrößen durch stehende Fahrzeuge bei Stau

### Nachteile

- keine Information über den realen Zustand der Einsichtstreckenleuchtdichte
- Reaktion auf Störgrößen nicht möglich
- keine Plausibilitätsprüfung möglich
- ausschließlich Kompensation von tageszeit- und witterungsabhängigen Schwankungen

## Regelung der Adaptationsbeleuchtung



$$L_{th\ soll} = L_{20} \times K_L \times K_V$$

Regelung nach Leuchtdichtedifferenzverfahren

$L_{th\ ist} > L_{th\ soll}$	1 Stufe abschalten
$L_{th\ ist} < L_{th\ soll}$	1 Stufe zuschalten
$L_{th\ ist} = L_{th\ soll}$	Keine Aktion

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

## Regelung

### Vorteile

- Kompensation von Störgrößen im Erfassungsbereich von  $L_{th}$
- Kompensation von Verschmutzungen der
  - Leuchten
  - Tunnelwände
  - Fahrbahn
- Kompensation der Lampenalterung
- Plausibilitätsprüfung der Funktion der Leuchten
- Plausibilitätsprüfung der absoluten Leuchtdichten
- Nutzung des Tageslichtanteils im Adaptationsbereich

### Nachteile

- Höhere Investitionskosten im Vergleich zur Steuerung durch den Einsatz eines zusätzlichen Sensors und Regelmoduls.

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

## Steuerung (Auszug aus der DIN 67524-1:2008)

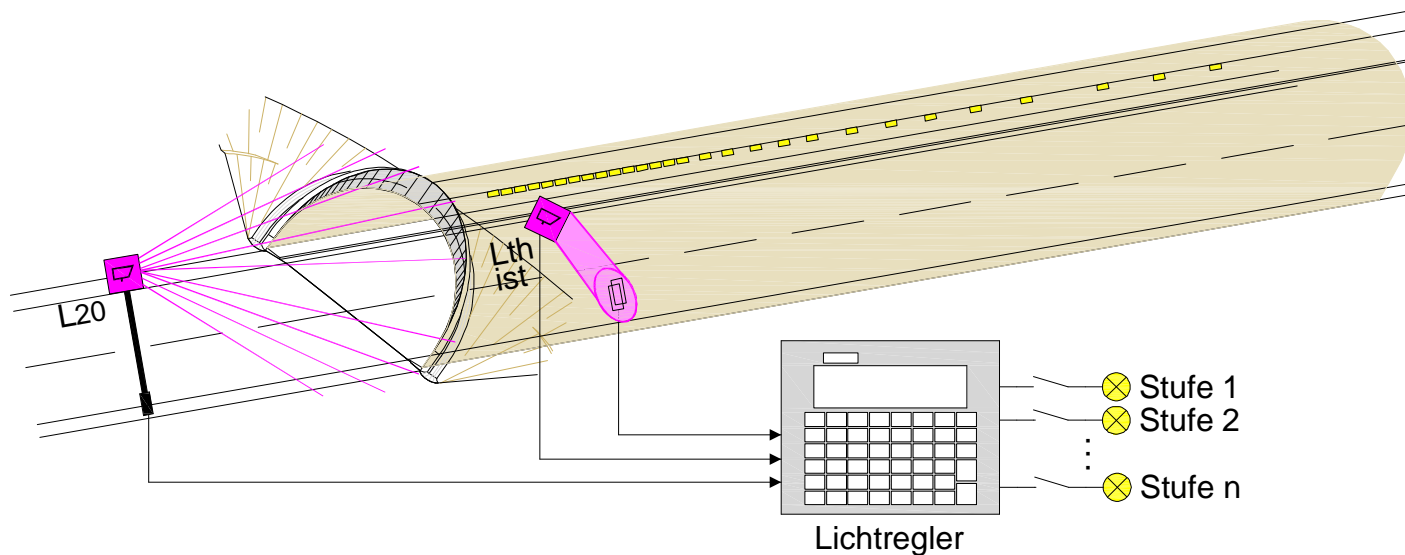
Bei bestimmten verkehrlichen Bedingungen können die Messwerte der Fahrbahnleuchtdichten bei einer Beleuchtungsregelung, z. B. durch stehende Fahrzeuge im Messfeld, verfälscht werden und somit die Regelqualität negativ beeinflussen.

Diese Störgrößen sind bei Einsatz einer komplexen Tunnelleittechnik mit integrierter Stauererkennung zu eliminieren indem bei diesen Verkehrszuständen vorübergehend die Beleuchtungsregelung in eine Beleuchtungssteuerung umgewandelt wird.

Sind diese Störungen mess- bzw. regelungstechnisch nachweislich nicht zu eliminieren, muss eine Beleuchtungssteuerung eingesetzt werden.

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Regelung der Adaptationsbeleuchtung inklusive Stauererkennung



Regelung nach Leuchtdichtedifferenzverfahren

$L_{th\ ist} > L_{th\ soll}$	1 Stufe abschalten
$L_{th\ ist} < L_{th\ soll}$	1 Stufe zuschalten
$L_{th\ ist} = L_{th\ soll}$	Keine Aktion

$$L_{th\ soll} = L_{20} \times K_L \times K_V$$

## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

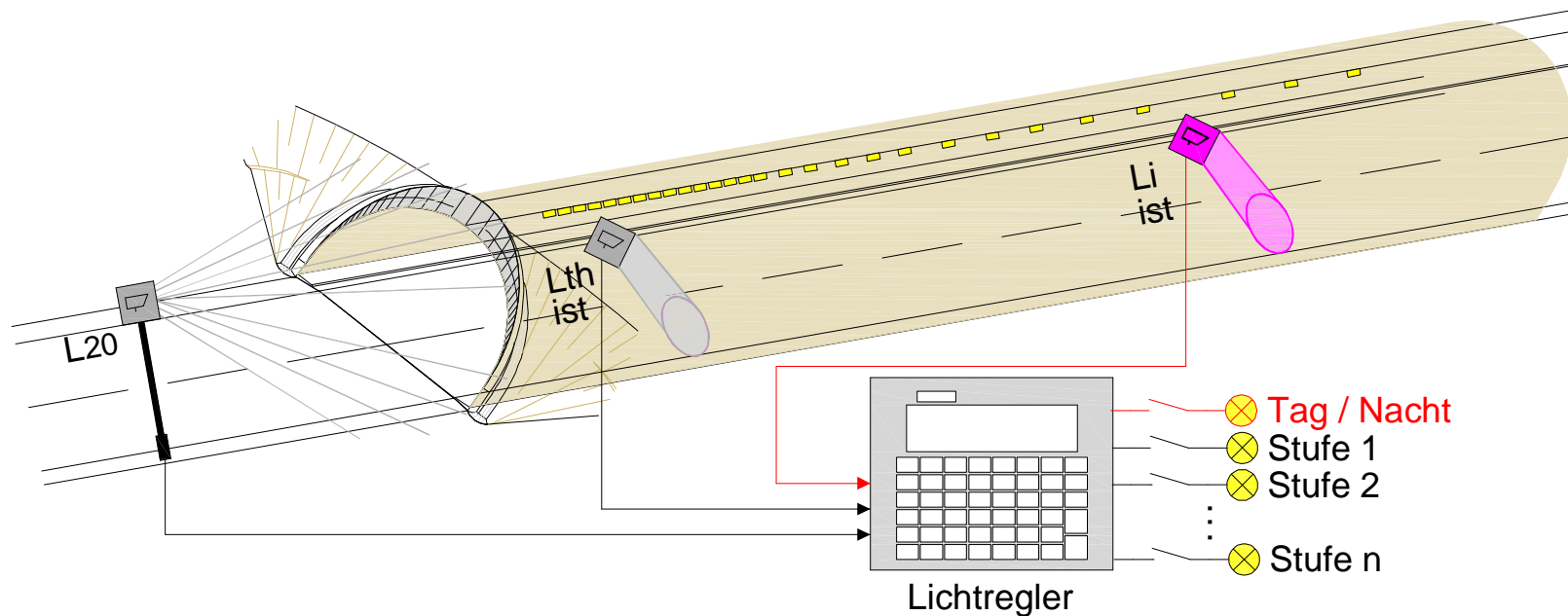
- Lichttechnische Verhältnisse im Laufe des Tunnelbetriebs

In beiden Fällen ist die Adaptationsbeleuchtung zu 100% eingeschaltet!



# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Steuerung / Regelung der Durchfahrtsbeleuchtung



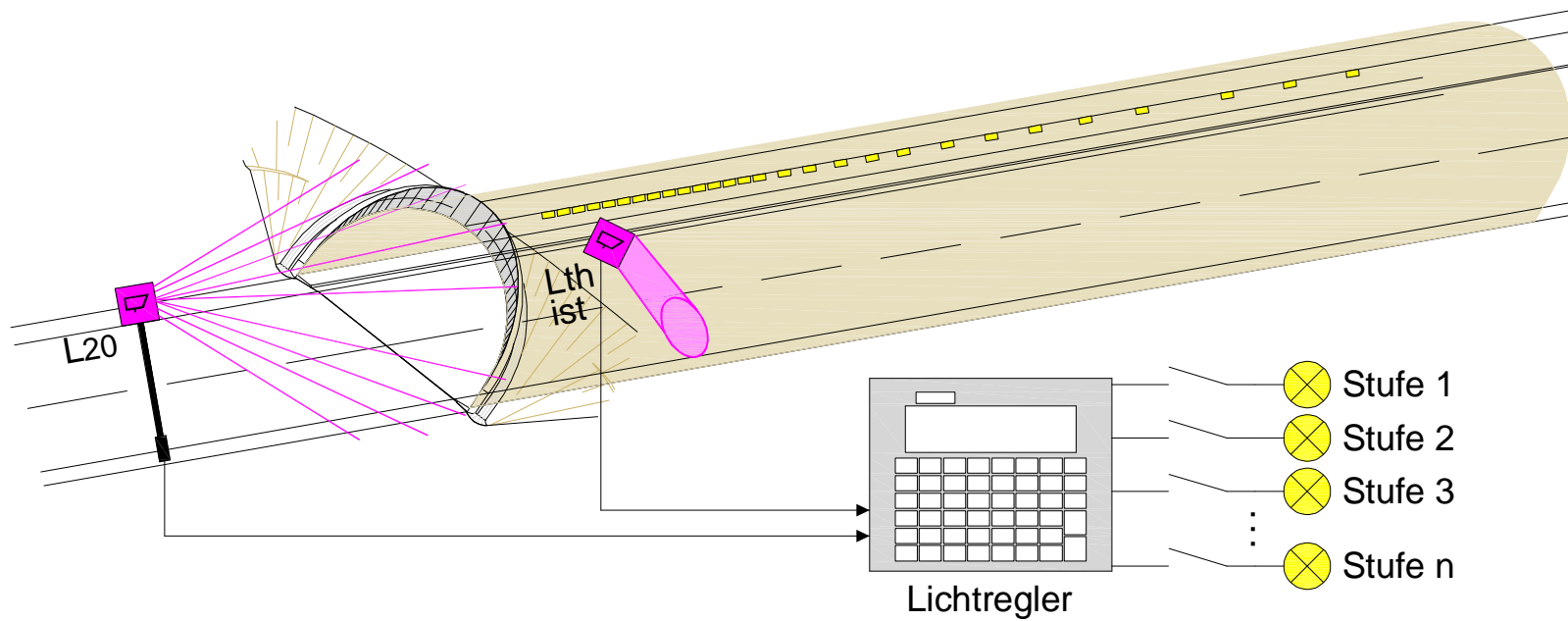
Unterscheidung bzw. Anpassung des Tag- / Nachtniveaus der Durchfahrtsbeleuchtung  
bzw. Kompensation von Störgrößen

### unstetige / stetige Steuer- / Regelung

- unstetig = Schaltung der Beleuchtung in Stufen  
(i.d.R. 6 – 8 Stufen)
- stetig = Schaltung der Beleuchtung in Stufen und  
Dimmung innerhalb der einzelnen Stufen  
(i.d.R. 2-3 Stufen)

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## unstetiger Lichtregler (Stufenschaltung)



# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Auswertung unstetiger Lichtregler (Stufenschaltung)

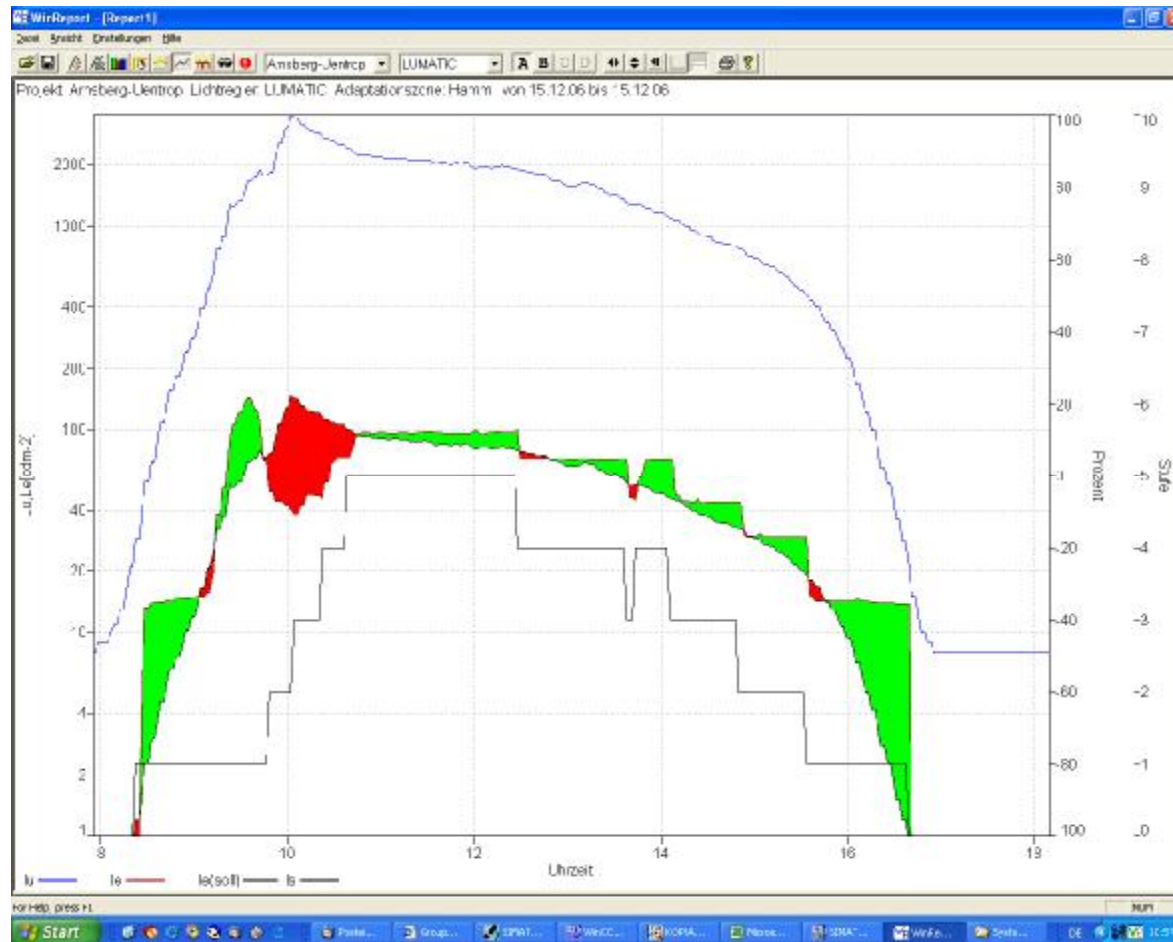


Quelle: Electric-Special, Oldenburg

Copyright © Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Alle Rechte bleiben vorbehalten

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Auswertung unstetiger Lichtregler (Stufenschaltung)

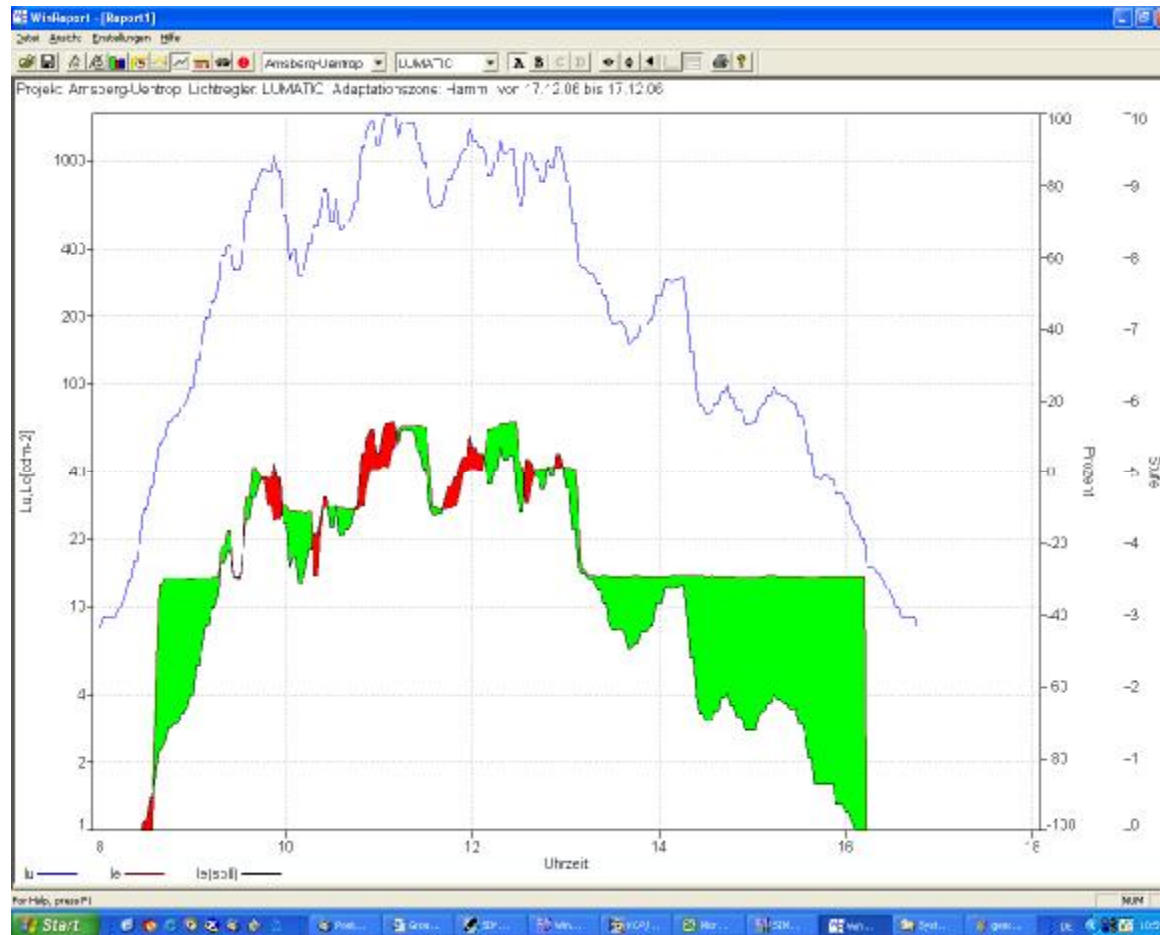


Quelle: Electric-Special, Oldenburg

Copyright © Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Alle Rechte bleiben vorbehalten

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Auswertung unstetiger Lichtregler (Stufenschaltung)



Quelle: Electric-Special, Oldenburg

Copyright © Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Alle Rechte bleiben vorbehalten

# unstetiger Lichtregler (Stufenschaltung)

### Vorteile

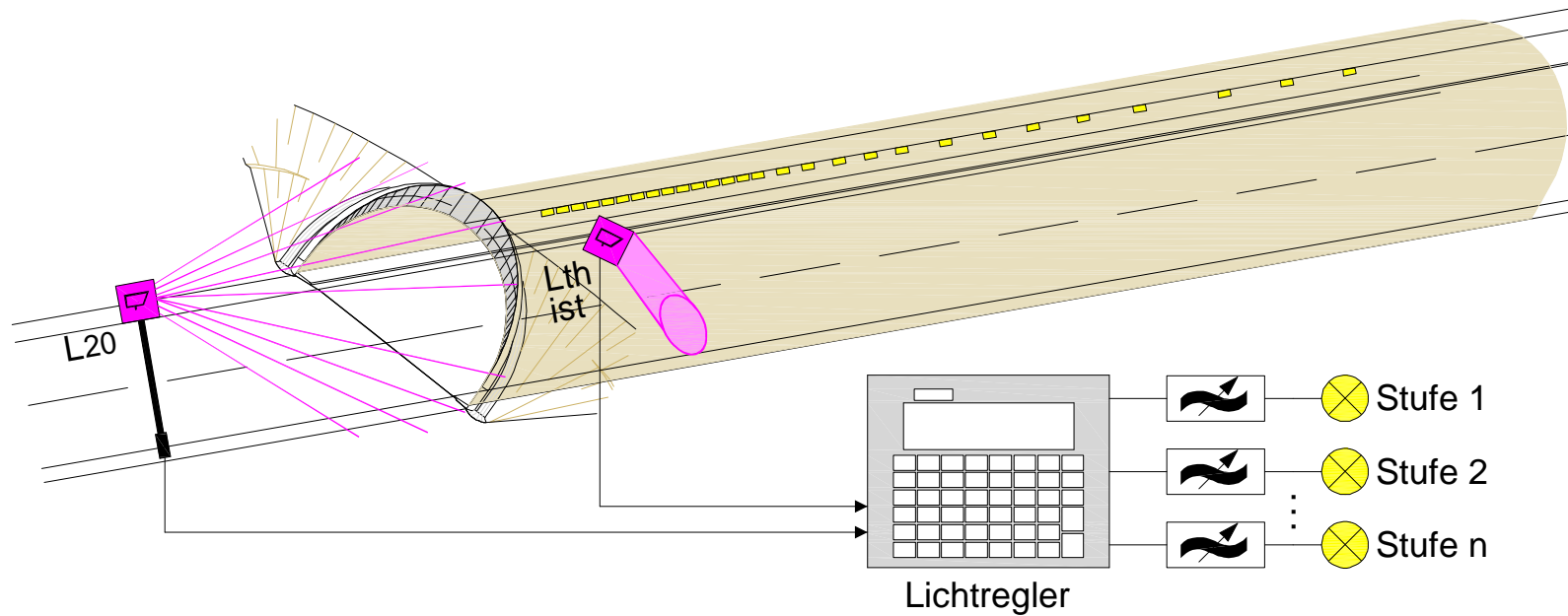
- geringer investiver Aufwand
- einfache Struktur
- unabhängiger Einsatz des Lichtreglers für sämtliche Leucht- und Betriebsmittel

### Nachteile

- höherer Energieaufwand gegenüber einem stetigen Regler
- erhöhte Alterung der Leuchtmittel durch ein erhöhtes Schaltspiel gegenüber einem stetigen Regler

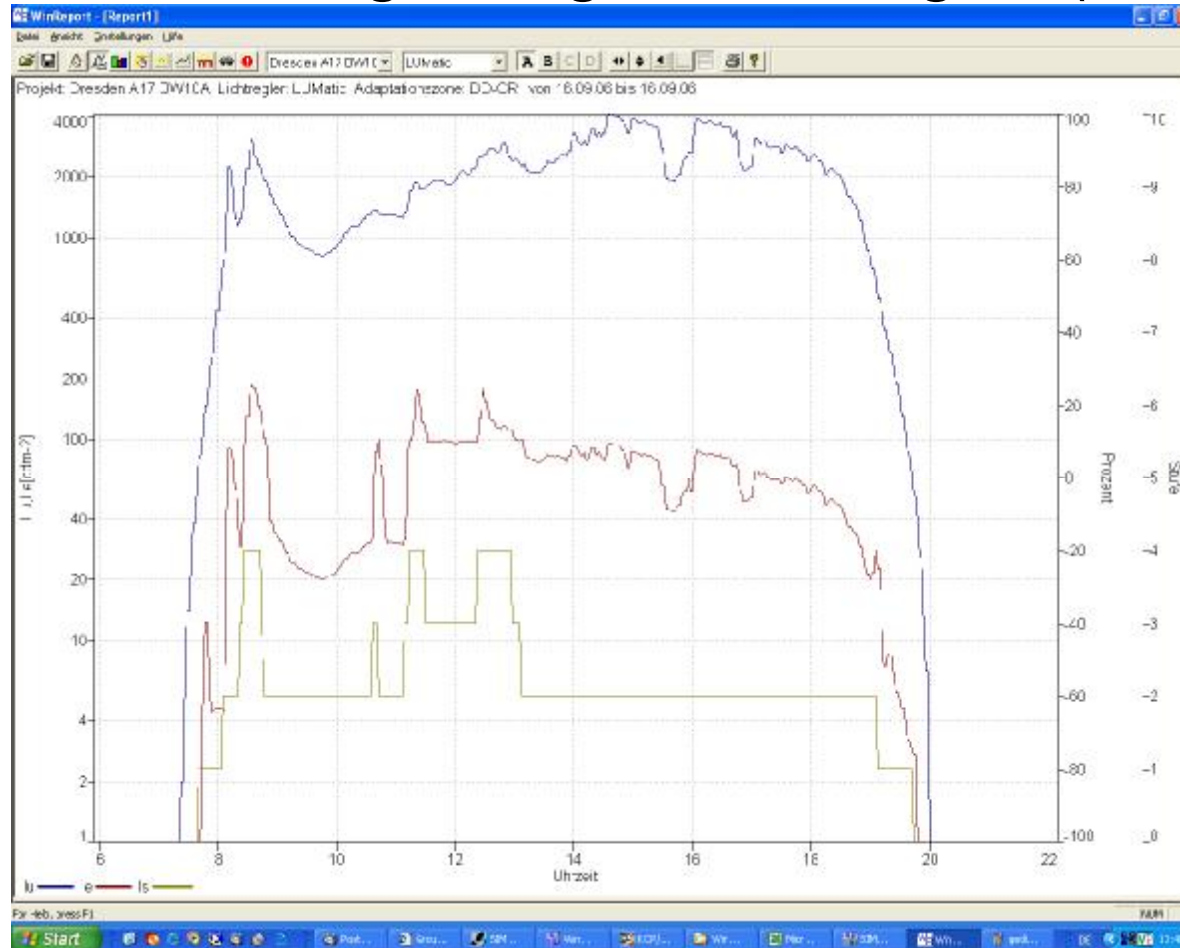
# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## stetiger Lichtregler (Dimmung)



# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Auswertung stetiger Lichtregler (Dimmung)



Quelle: Electric-Special, Oldenburg

Copyright © Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Alle Rechte bleiben vorbehalten

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Auswertung stetiger Lichtregler (Dimmung)



Quelle: Electric-Special, Oldenburg

Copyright © Stredich Beratende Ingenieure GmbH & Co. KG. Alle Rechte bleiben vorbehalten

## stetiger Lichtregler (Dimmung)

### Vorteile

- Energieeinsparung, wirtschaftlicher Betrieb
- gesicherte Längsgleichmäßigkeit auch bei geringem Leuchtdichteniveau, z.B. Durchfahrtsbeleuchtung
- höhere Lampenlebensdauer durch geringe Schaltspiele

### Nachteile

- Höhere Investitionskosten
  - ggf. größere Kabelquerschnitte
  - Einsatz weiterer Systemkomponenten

### Störgrößen und deren Auswirkungen

- Verschmutzung der Wände und Fahrbahnen
- Verschmutzung der Leuchten
- Alterung der Leuchtmittel
- Fahrzeugdächer im Erfassungsbereich der Sensoren
- Fehler bei der Inbetriebnahme

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

## unstetiger Lichtregler (Auszug aus der DIN 67524-1:2008)

Tunnelbeleuchtungsanlagen können sowohl mit Steuerungs- als auch mit Regelungseinrichtungen in unstetiger oder stetiger Form, d. h. in Stufen oder kontinuierlich gedimmt ausgeführt werden.

Diese Einrichtungen haben die Aufgabe, die automatische Ansteuerung der Grund- und Zusatzbeleuchtungsstufen, bezogen auf die Einsichts-, Übergangs- und Innenstrecken zu realisieren. **Es ist hierbei darauf zu achten, dass zu keinem Zeitpunkt die geforderten Leuchtdichten, errechnet über den Anpassungs-Faktor K und der Umfeldleuchtdichte  $L_{20}$ , unterschritten werden dürfen.**

ANMERKUNG Systembedingte Totzeiten der Regelstrecke, die sich z. B. durch Verzögerungszeiten der verwendeten Leuchtmittel ergeben können, sowie schnelle Änderungen des Istwertes, z. B. durch schlagartige Veränderung der Außenleuchtdichte bei Wolkenzug können u. U. zu Pendelreaktionen führen. Hierzu sind geeignete Hysteresen, Zykluszeiten, Zeitkonstanten und Ein- und Ausschaltfaktoren, sowie ggf. Dimmfaktoren zu berücksichtigen.

Beim Herunterschalten der Stufen ist eine Mindestverweildauer in den einzelnen Stufen  $t = 2 \cdot HSW / V_{max}$  sicherzustellen. Das Überspringen von einzelnen Stufen ist unzulässig.

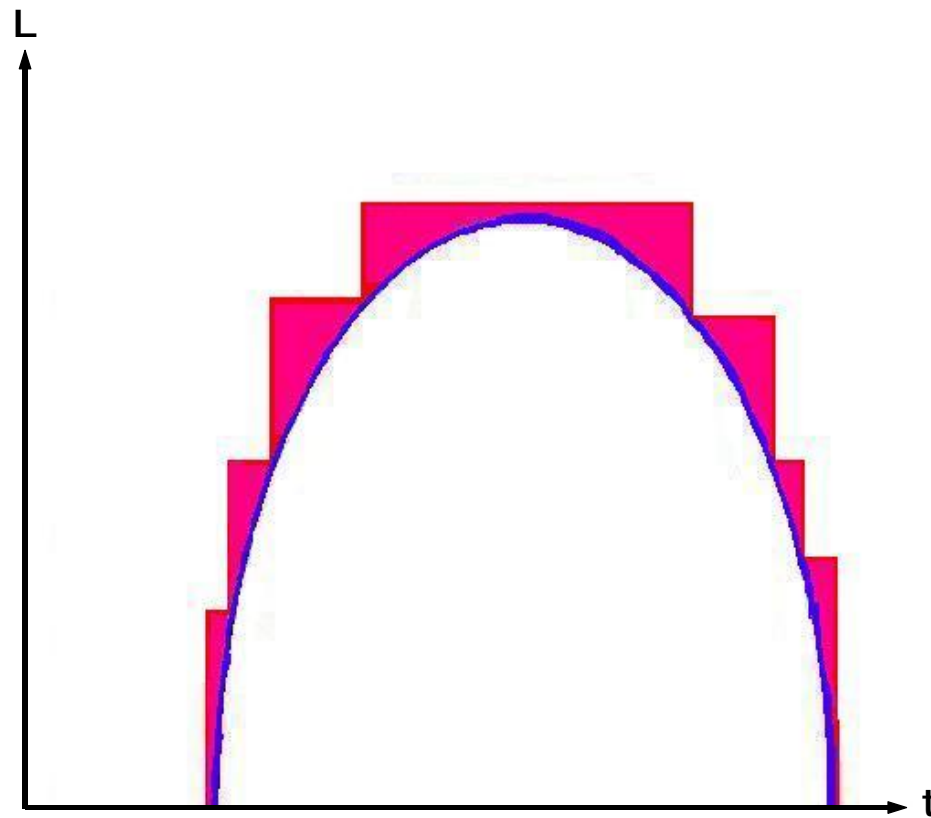
Unstetige Beleuchtungssteuerung bzw. -regelungen werden diskontinuierlich durch Verwendung mehrerer Beleuchtungsstufen realisiert. Die Anzahl der erforderlichen Beleuchtungsstufen ist objektspezifisch festzulegen.

ANMERKUNG Bei stetigen Beleuchtungssteuer bzw. -regeleinrichtungen wird der Lichtstrom durch geeignete Stellglieder, die die physikalischen und elektrischen Eigenschaften der verwendeten Leuchten und Leuchtmittel berücksichtigen müssen, kontinuierlich gesteuert bzw. geregelt.

## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

---

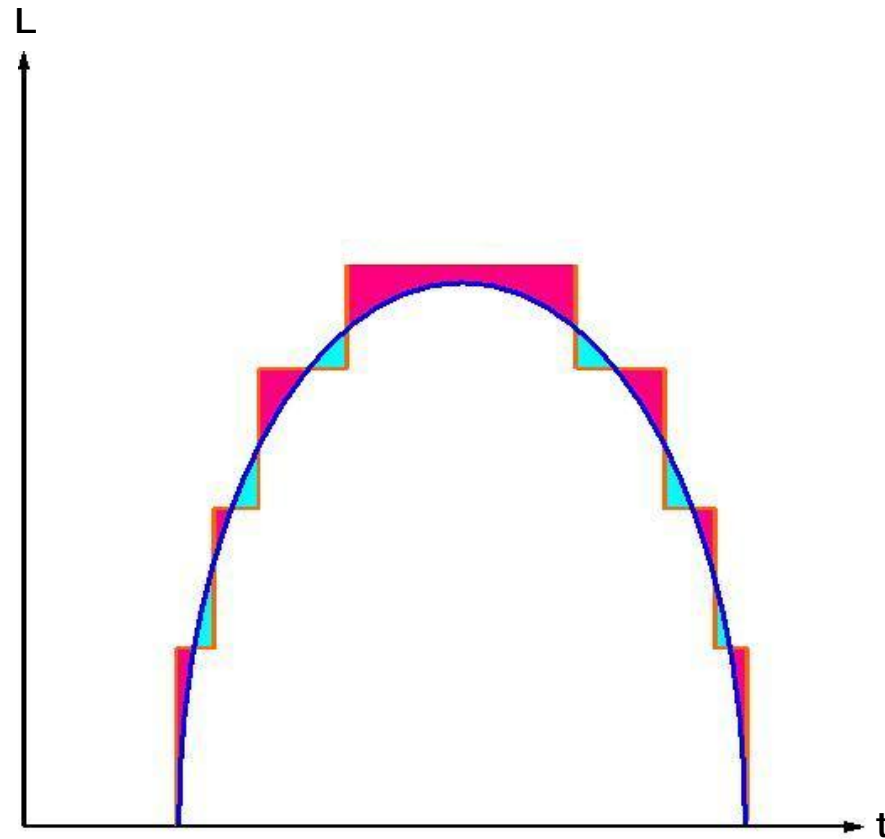
$L_{th}$  DIN -konform und zugeordnete Schaltstufen  
(geforderte Leuchtdichteüberdeckung)



## Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

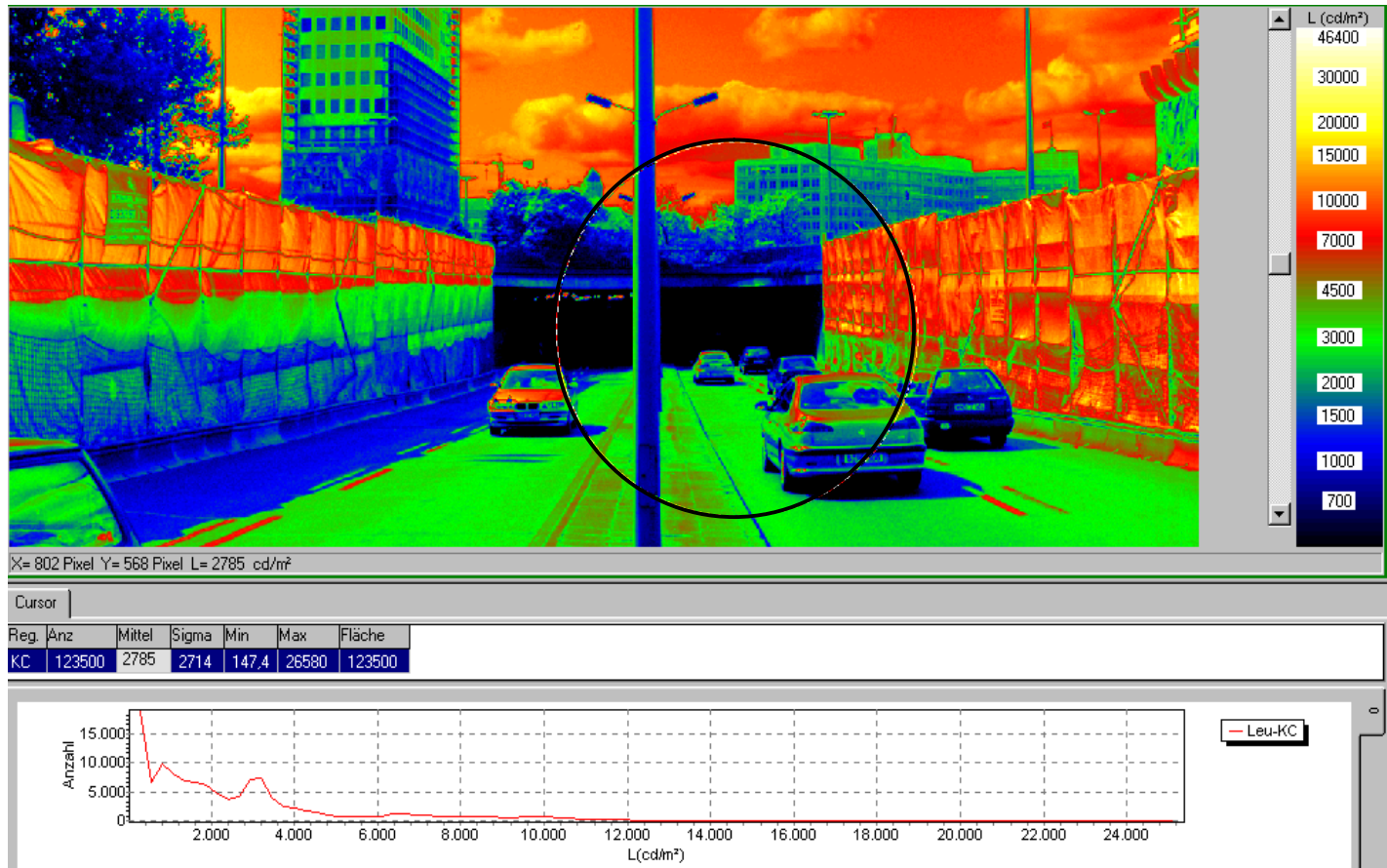
---

$L_{th}$  nicht DIN -konform und zugeordnete Schaltstufen (Leuchtdichteunterdeckung)



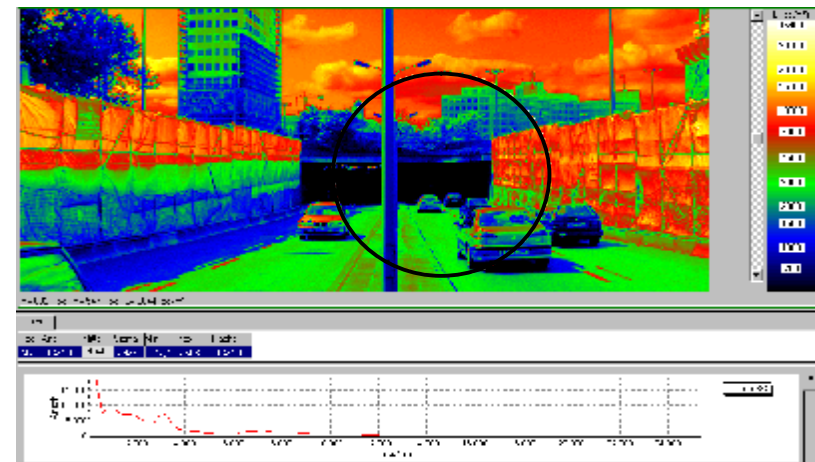
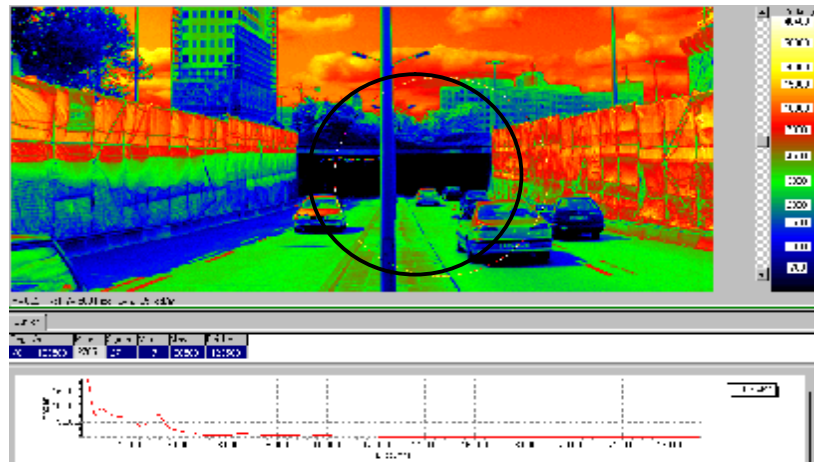
# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Fehlerquelle Inbetriebnahme



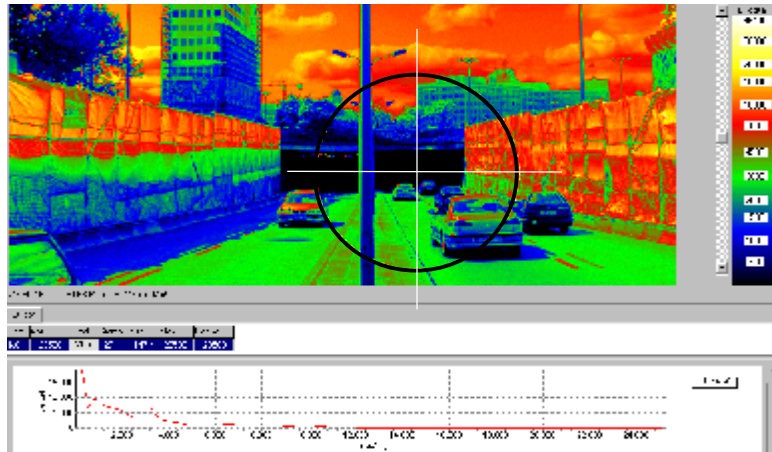
# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Ausrichtung des Außenleuchtdichtesensors $L_{20}$



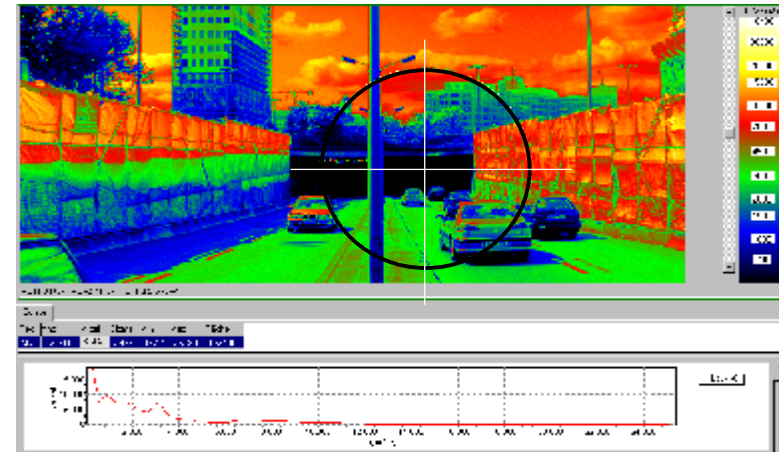
# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Ausrichtung des Außenleuchtdichtesensors $L_{20}$



$L_{20}$  auf Tunnelportal  
zentriert

$$L_{20} = 2785 \text{ cd/m}^2$$



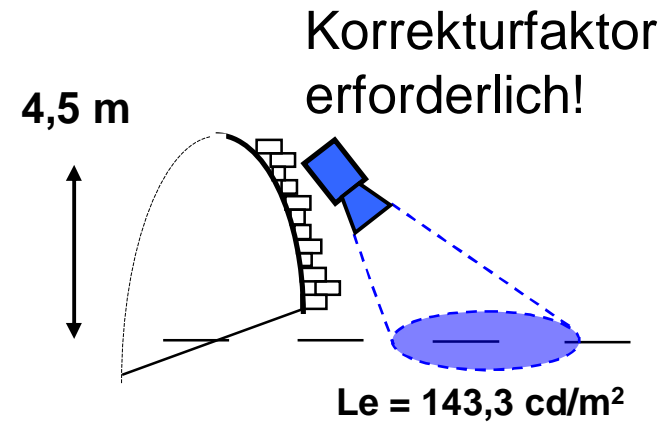
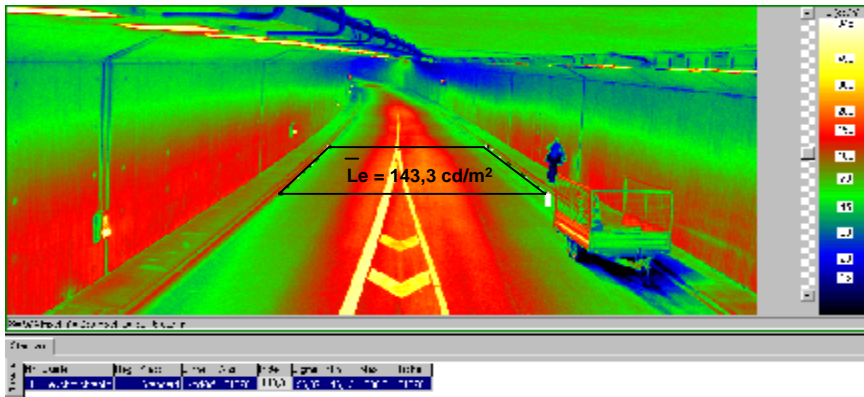
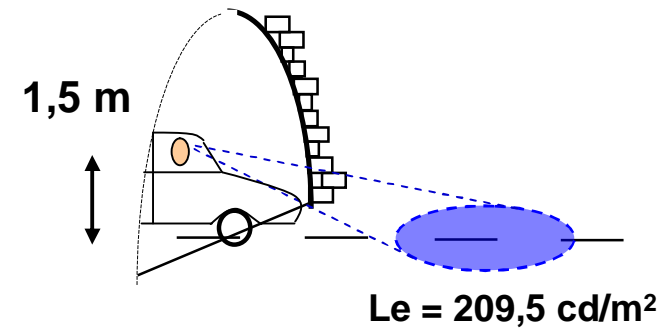
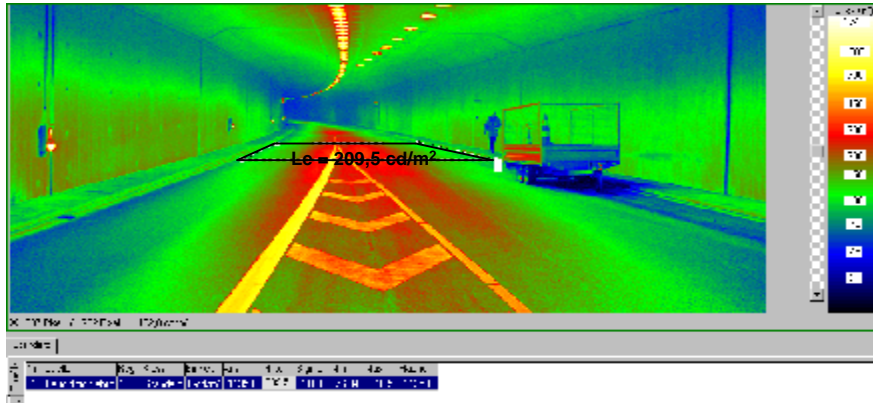
$L_{20}$  leicht nach oben  
verschoben

$$L_{20} = 3044 \text{ cd/m}^2$$

Diff: 259 cd/m<sup>2</sup>

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Ausrichtung des Einsichtstreckensensors $L_{th}$



### Ein- / Ausschaltfaktoren

- Zykluszeit / Verweildauer
- Mindest-Brenndauer
- Einbrenndauer
- Zündzeit
- Stellzeit

### Notlaufeigenschaften

- Die DIN schreibt die projektspezifische Festlegung der Notlaufeigenschaften vor
- Hier sind nachfolgende Parameter zu berücksichtigen
  - Längenausdehnung des Tunnels
  - Verkehrsdichte
  - Sicherheitskonzept

# Möglichkeiten der Lichtsteuerung / -regelung nach DIN 67524-1

## Datenaufzeichnung (Mindestanforderungen)

Tabelle C.1 – Messgrößen und Parameter für die Steuerung und Regelung

Steuerung	Regelung
$L_{20A}$ bzw. $L_{Säq}$	$L_{20A}$ bzw. $L_{Säq}$
Anfassungsfaktor k	Anpassungsfaktor k
Verkehrliche Führungsgrößen nach Tabelle 1	Verkehrliche Führungsgrößen nach Tabelle 1
Schaltstufe	Schaltstufe
	$L_{th}$
	$L_{in}$

Die Größe des Speichermediums und die Art der Datensicherung sind objektspezifisch festzulegen.

In Abhängigkeit der Nutzungsdauer, Nutzungsfrequenz und Verkehrsdichte können Parameter-Korrekturen auf Grundlage dieser Datenaufzeichnungen vorgenommen werden. Abweichungen sind zu protokollieren.

Darüber hinaus ist die Aufzeichnung von

- Betriebsstunden je Stufe
- Einschalthäufigkeit
- Energieverbrauch
  - nach Stufen
  - nach Lichtarbeit

zu empfehlen.

### Fazit

- Die DIN liefert das lichttechnische Rüstzeug, stellt aber keine Gebrauchsanweisung dar
- Die erforderliche Fachkompetenz der Projektbeteiligten muss in allen Projektphasen gewährleistet werden
- Die Ausführung / Inbetriebnahme des Lichtreglers sollte in der RABT behandelt werden