



Ingenieurbüro Dr. Petry  
für Licht- und Elektrotechnik

*RADWEGE ZUKUNFTSFÄHIG BELEUCHTEN MIT MODERNER TECHNIK AM  
BEISPIEL DER RADSCHNELLVERBINDUNG FRANKFURT-DARMSTADT*

von M.Sc. Daniel Petry

# Gliederung

Über uns

3

Radschnellverbindungen Region Frankfurt Rhein Main

4

Lichttechnische Grundlagen

15

Lichtfarbe: Empfinden für Mensch und Insekt

18

Lichttechnische Planung

26

1. Bauabschnitt: Radschnellverbindung Frankfurt - Darmstadt

35

Aktuelle Studien an der Radschnellverbindung Frankfurt - Darmstadt

39

1.11.1993 Gründung des Ingenieurbüros Dr. Petry  
(Ingenieurbüro für Licht- und Elektrotechnik)

seit 2018: Umgründung in Ingenieurbüro Dr. Petry & Partner mbB

Tätigkeitsfelder:

Lichtmessung

Lichtplanung

Lichtimmissionen

Straßen-  
beleuchtung

Gerichts- und  
Privatgutachten



## RADSCHNELLVERBINDUNGEN REGION FRANKFURT RHEIN MAIN

# Region Frankfurt Rhein Main - geplante Radschnellverbindungen



Stand: 12. Mai 2021

Quelle: <https://www.region-frankfurt.de/Radschnellwege>

# Radschnellverbindung Frankfurt - Darmstadt



**Gesamtlänge: 30,66 km**

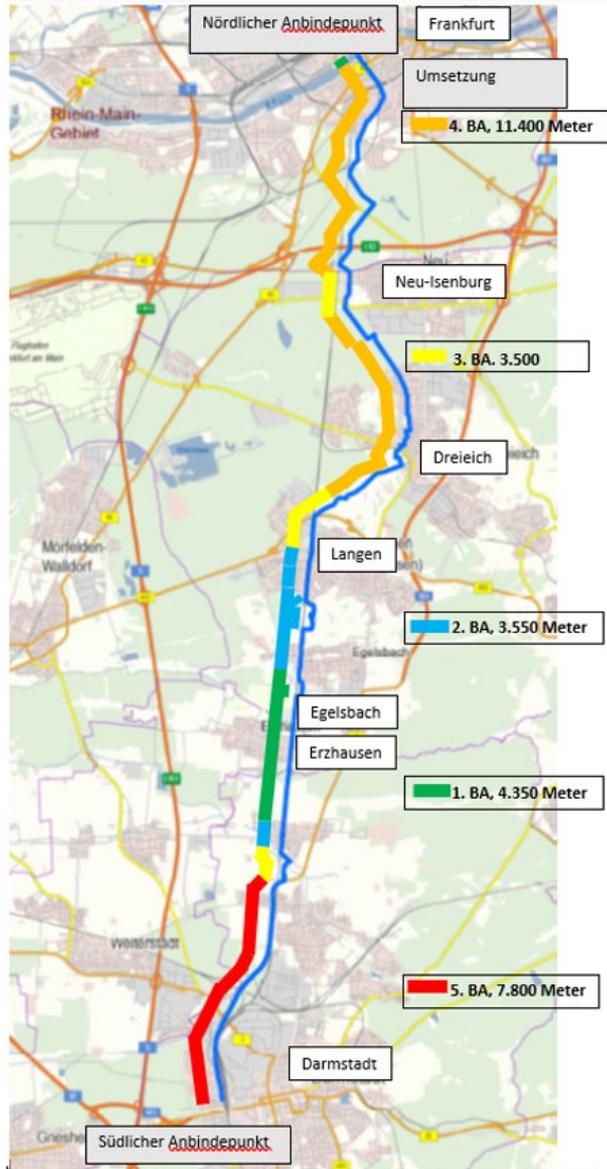
Innerorts: 16,12 km  
Ausserorts: 14,54 km

Ausserorts Wald: 6,53 km  
Ausserorts Feld: 8,01 km

## Beteiligte Kommunen:

- Frankfurt
- Neu-Isenburg
- Dreieich
- Langen
- Egelsbach
- Erzhausen
- Darmstadt

# Radschnellverbindung Frankfurt - Darmstadt



- Grün: fertiggestellt
- Blau: im Bau. Bauende 4. Quartal 2021
- Gelb: Entwurfsplanung. Baubeginn 3. Quartal 2022
- Orange: Vorplanung Dreieich. Ausführung 2022/23
- Orange: Vorplanung Frankfurt. Ausführung 2022/23

Qualitätsstandards:

Fahrbahnbreite: 4 m

Führungsformen: außerorts: getrennt vom KFZ  
innerorts: vorwiegend getrennt vom Fußgänger

Knotenpunkte: Planfreie Lösung evtl. durch Sonderbauwerke i.d.R.  
Vorfahrt Keine ungesicherte Querung

Oberfläche: Witterungsunabhängig, hohe Qualität (Beton, Asphalt)

Direktheit: Umwegfaktor max. 1,3  
Reisegeschwindigkeit 20 km/h

# Radschnellverbindung Frankfurt - Darmstadt





Auszug aus den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 2010):

*„Regelmäßig im Alltagsradverkehr (insbesondere von Schülern) auch bei Dunkelheit genutzte Wege können eine ausreichende ortsfeste Beleuchtung erforderlich machen.“*

*„Auf selbständig geführten Radwegen stellt sich die Anforderung nach sozialer Sicherheit in besonderem Maße. So finden z. B. der Berufsverkehr und der morgendliche Schulweg im Winterhalbjahr oft noch bei Dunkelheit statt. Dann ist zu prüfen, ob eine ortsfeste Beleuchtung der Wege erforderlich ist.“*

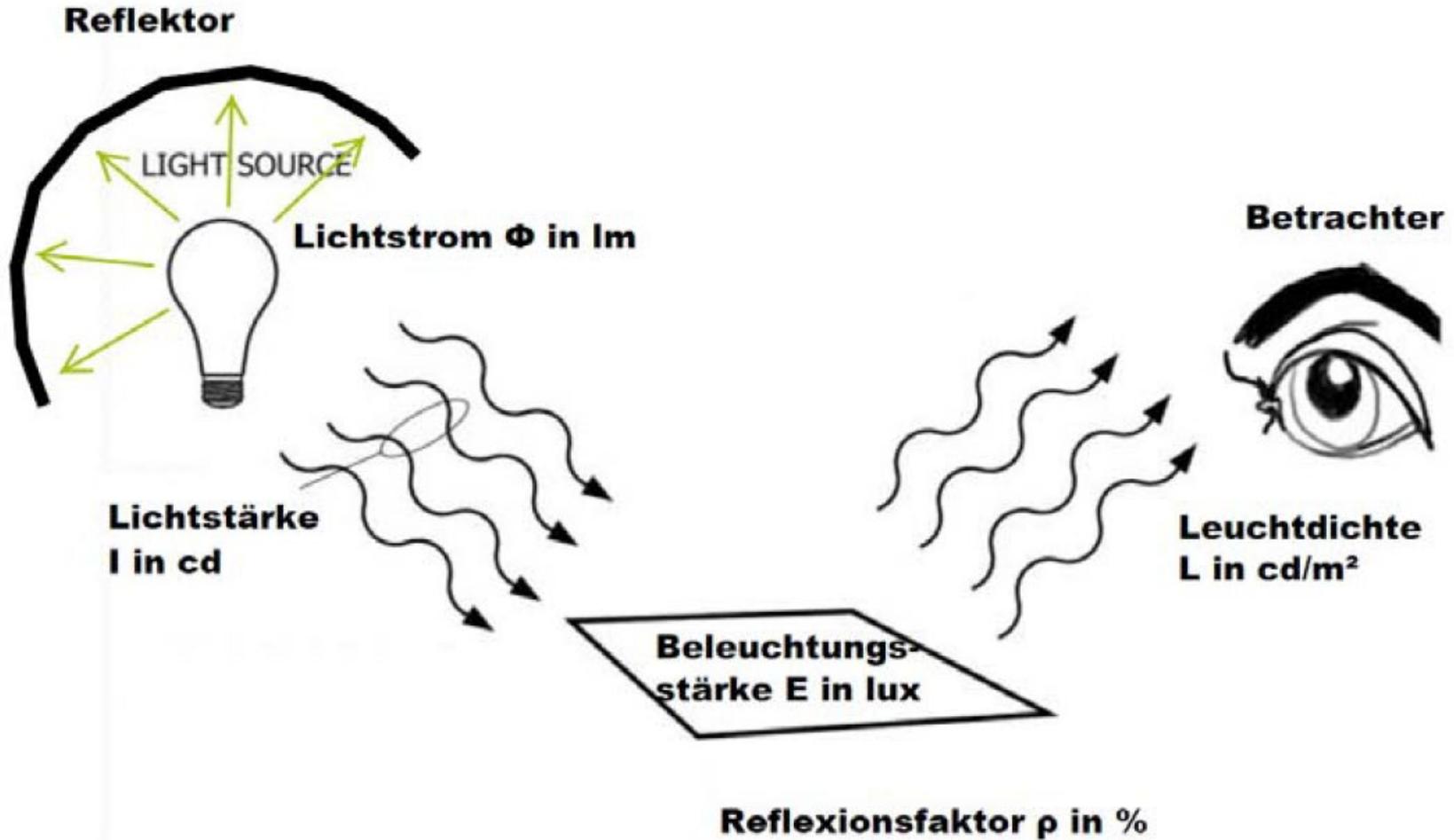
Die Aufgabenstellung für die Lichtplanung des Radschnellweges:

- Umweltfreundliches Licht  
→ tierfreundlich und niedrige Lichtimmissionen
  
- Ökonomisch effizientes Licht  
→ niedrige Installations- & Energiekosten

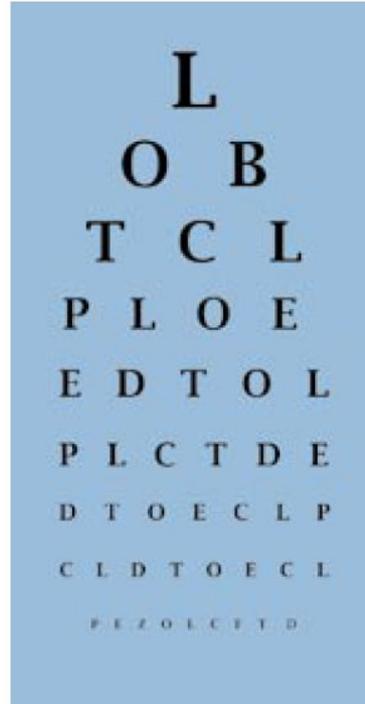




## LICHTTECHNISCHE GRUNDLAGEN



# Voraussetzungen zum Erkennen



Mindestleuchtdichte

Mindestkontrast

Mindestgröße

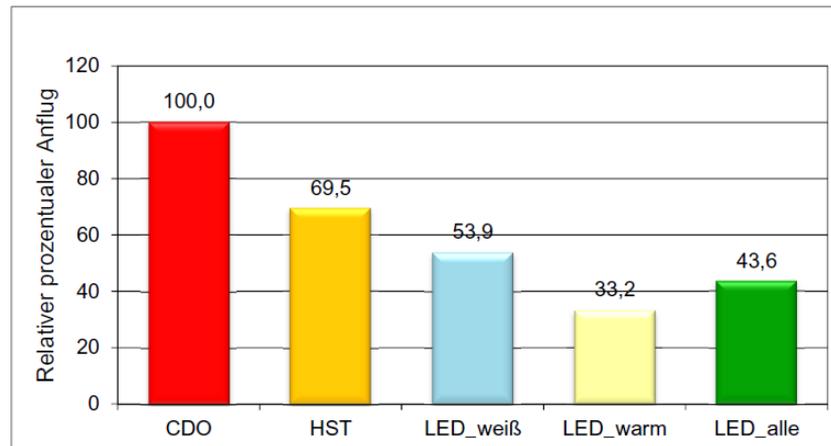
Mindestzeit



© ohsuriya / Fotolia

## LICHTFARBE: EMPFINDEN FÜR MENSCH UND INSEKT

Wie anhand mehrerer Studien zu erkennen ist, sind warmweiße Leuchte insektenfreundlicher als kaltweiße Leuchten.



*Relative prozentuale Anflüge aller Insektenordnungen an die Lampenarten*

Zum Zeitpunkt der Studien waren noch keine Amber-LED-Produkte auf dem Markt erhältlich. Es ist jedoch anhand der Studien stark anzunehmen, dass die Amber-Lichtfarbe noch insektenfreundlicher ist als warmweißes Licht.

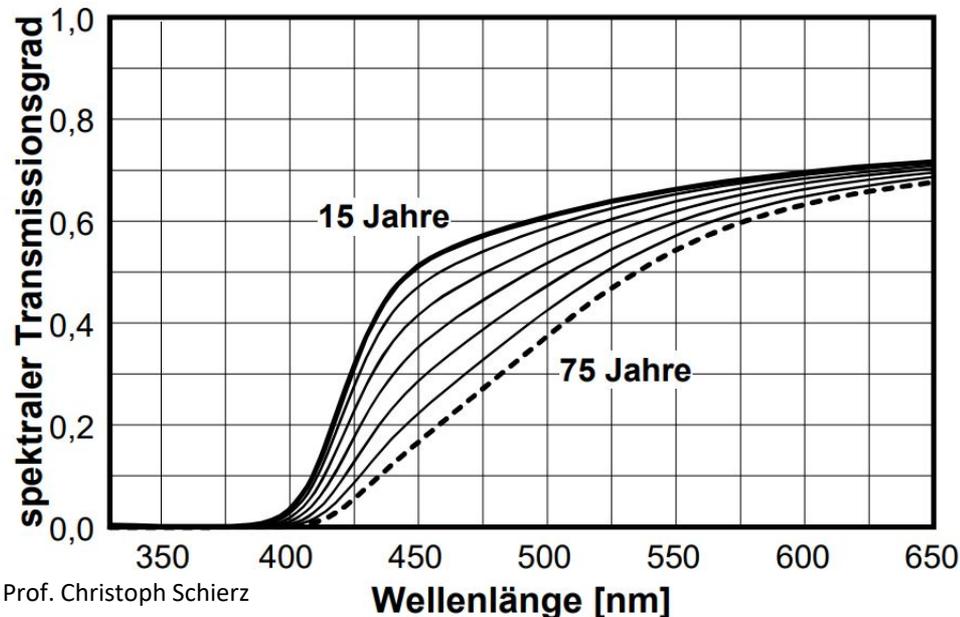
Amber-LEDs sind allerdings auch ineffizienter als warm-weiße LEDs.

Es ist bekannt, dass die Lichtfarbe den Melatoninspiegel im Körper beeinflusst. Daraus ergeben sich zwei Fragen, welche diskutiert werden müssen:

*Welche Lichtfarbe ist für die Verkehrssicherheit am besten?*

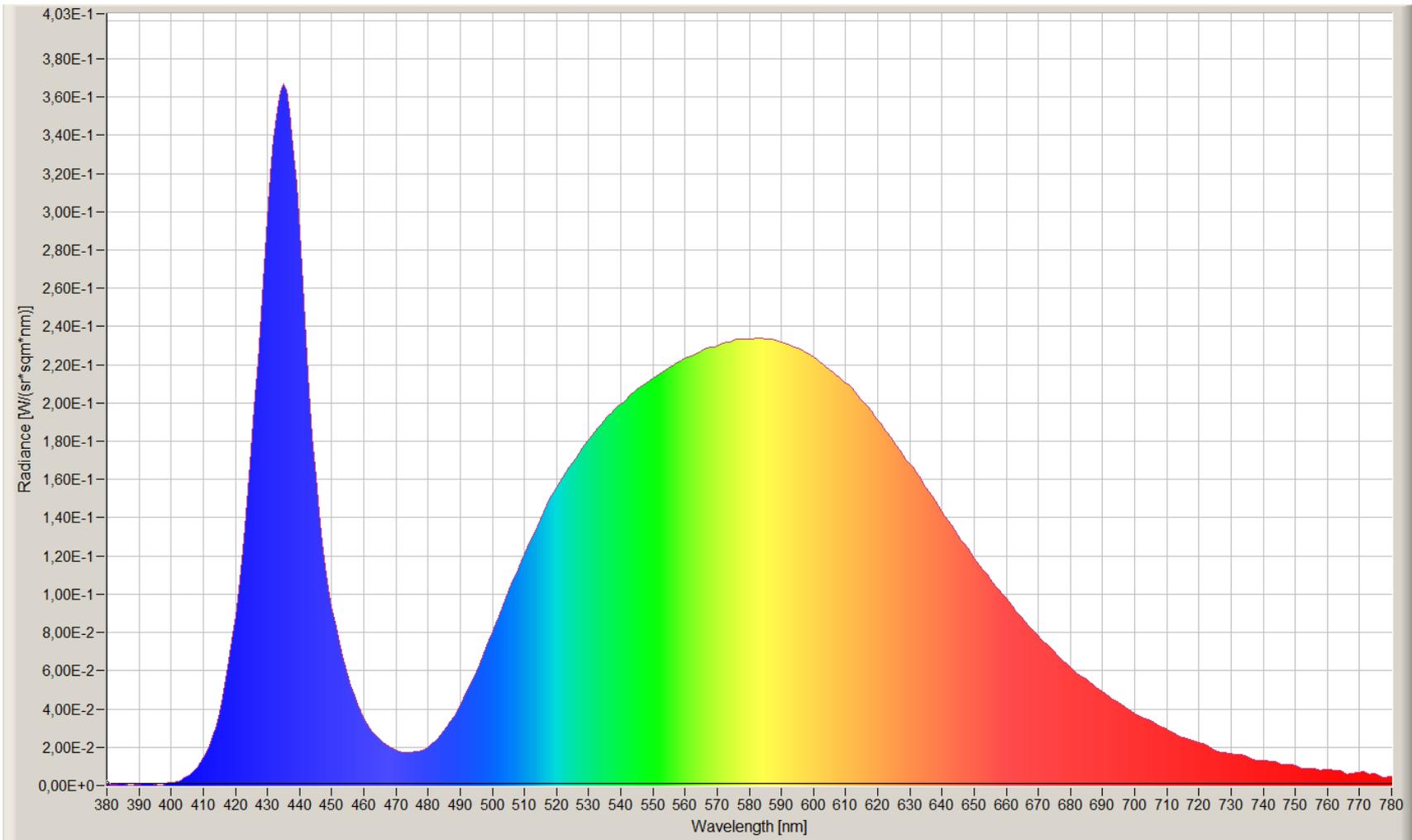
*Welche Lichtfarbe ist für Randgebiete am besten?*

Das menschliche Auge verhärtet sich gegen unterschiedliche Wellenlängen unterschiedlich stark (Linsentrübung). *Ist im Alter eine Amber-LED einer 4000K-LED vorzuziehen?*

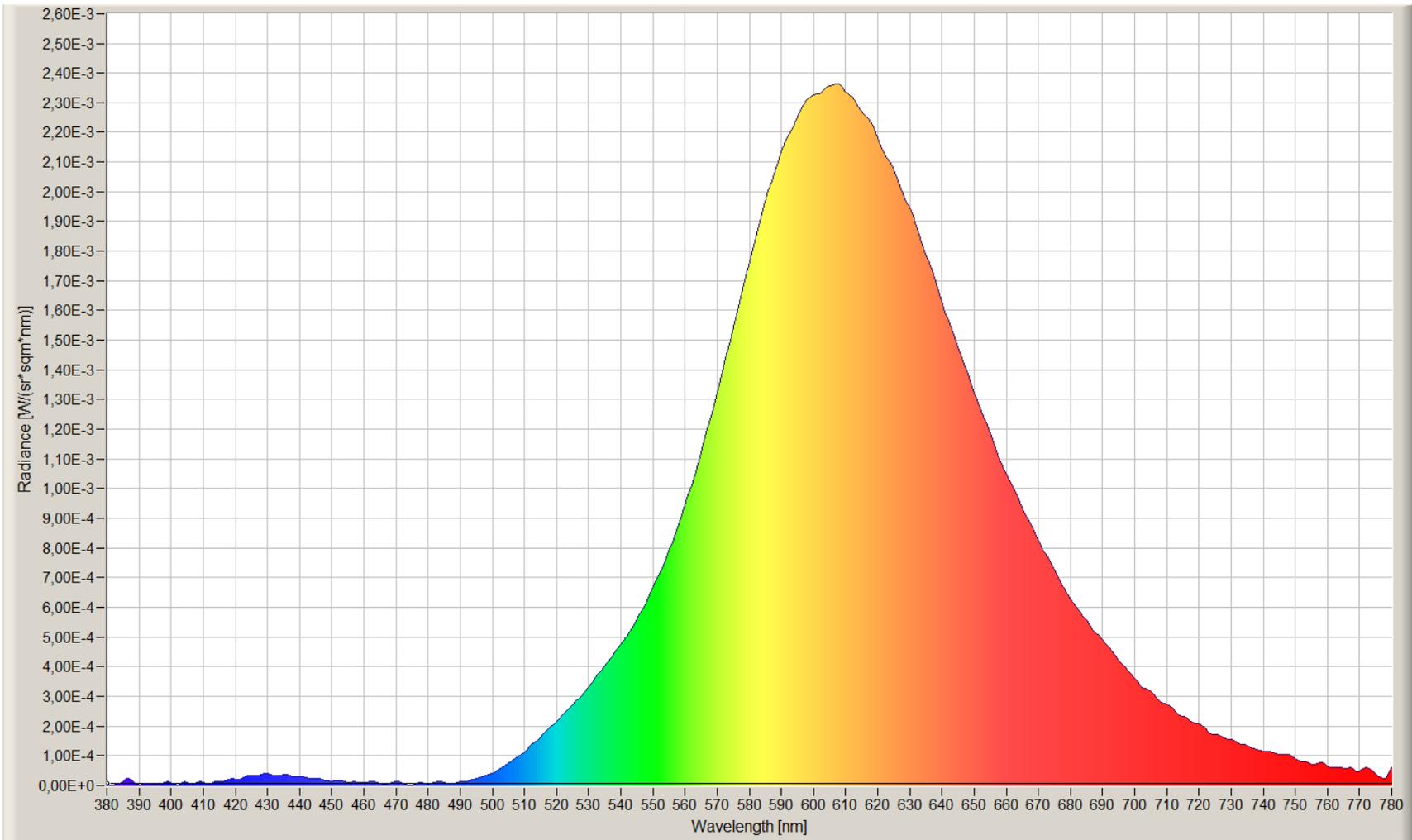


Quelle: TU Ilmenau, Prof. Christoph Schierz

# Spektrum einer 4000K-LED-Leuchte

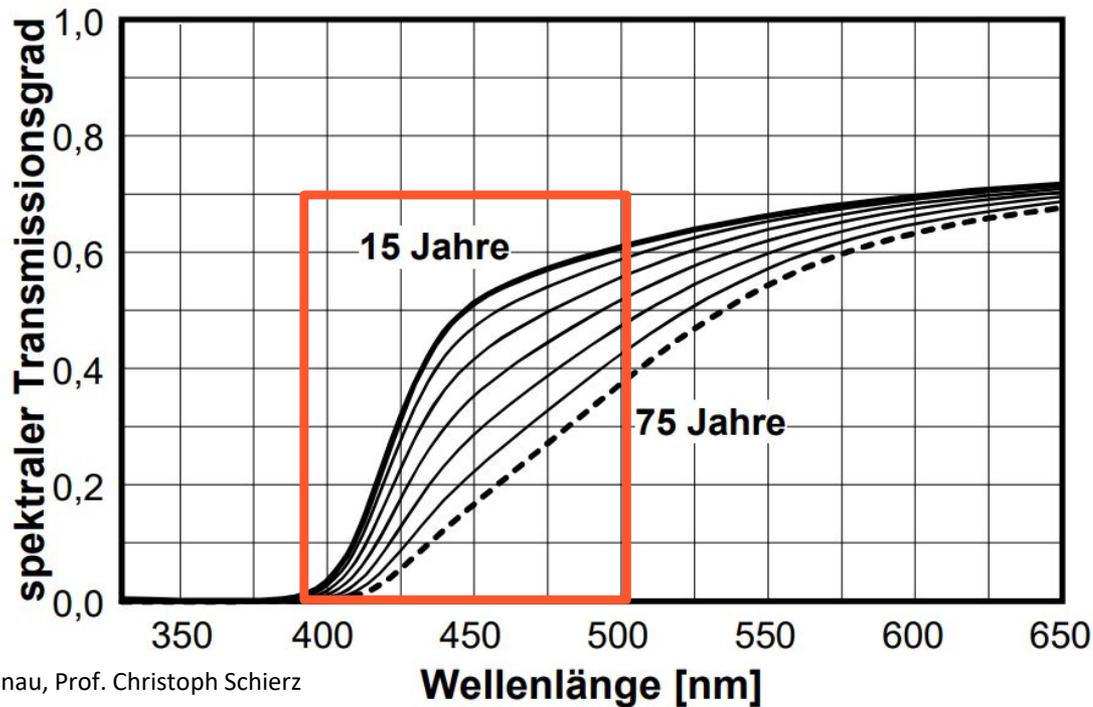
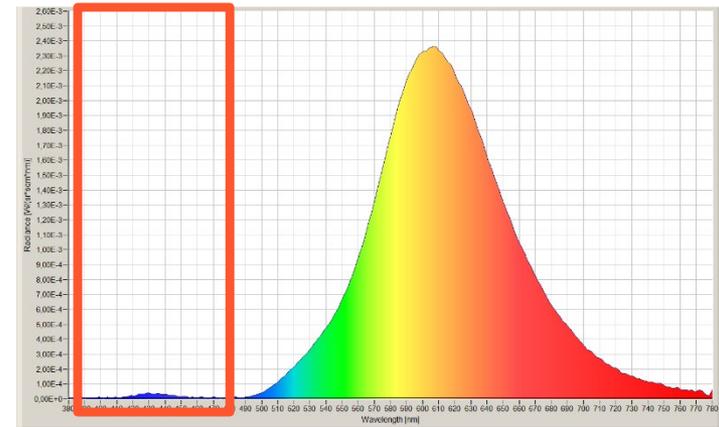
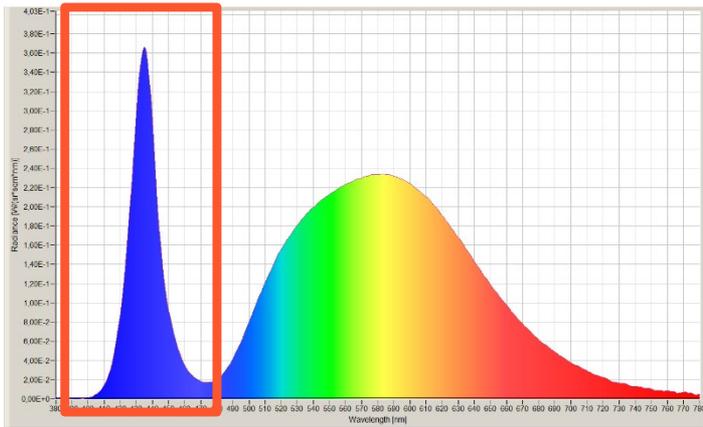


# Spektrum einer Amber-LED-Leuchte



LICHTFARBE: EMPFINDEN FÜR MENSCH UND INSEKT

# Spektren im Vergleich



Quelle: TU Ilmenau, Prof. Christoph Schierz

Als Beispiel wird eine nach Norm geplante Straße mit 5lx genommen. Wie viel lx sieht ein 75 jähriger Mensch?

Amber-LED-Leuchte:	4,3lx
4000K-LED-Leuchte:	3,9lx

Eine Straße mit Amber-Beleuchtung erscheint einem 75 jährigen Menschen ungefähr 10% heller als eine Straße mit 4000K-Beleuchtung.

Unter der Annahme, dass in ein Großteil der Unfälle entweder „junge Rowdys“ oder ältere Menschen verwickelt sind, hat das Spektrum der Straßenbeleuchtung ebenso einen Einfluss auf die Verkehrssicherheit.

Amber-Beleuchtung hat ihre Vorteile, jedoch ebenso ihre Nachteile, gerade in Bezug auf Effizienz.

Ursprünglich konnten effiziente LEDs, früher auch Leuchtdioden genannt, nur bläuliches Licht aussenden. Durch geschickte Umwandlungsmethoden wurde aus dem bläulichen Licht blau-weißes Licht und heutzutage auch warm-weißes Licht.

Diese Umwandlung von blau-weißem Licht zu warm-weißem Licht kostet jedoch Energie. Somit werden LEDs ineffizienter umso warmweißer das Licht wird, welches sie aussenden.

Das Thema der Lichtfarbe bei LEDs ist also immer ein Kompromiss zwischen den folgenden beiden Punkten:

- Ökonomisch effizientes Licht  
→ niedrige Energiekosten
- Umweltfreundliches Licht  
→ tierfreundlich/insektenfreundlich



## LICHTTECHNISCHE PLANUNG

Vorgaben:

- Es sollten Solarleuchten verwendet werden
- Fahrwege sind in der Regel 4 m breit
- Mastabstand, Lichtpunkthöhe und LED-Optik waren frei wählbar
  - *Ökonomisch effizientes Licht VS. Umweltfreundliches Licht*

Hauptmerkmale für die Bestimmung der Lichtumgebung sind:

- Beleuchtungsstärke & Gleichmäßigkeit
- Leuchtdichteverteilung
- Blendung
- Farbwiedergabe und Lichtfarbe
- Flimmern

## Wichtige Kenngrößen & Normen

Auszug aus der DIN EN 13201:

Kenngröße	Vorgaben P4	Vorgaben P5	Vorgaben P6
Mittlere Beleuchtungsstärke	$\geq 5 \text{ lx}$	$\geq 3 \text{ lx}$	$\geq 2 \text{ lx}$
Mindestbeleuchtungsstärke	$\geq 1,0 \text{ lx}$	$\geq 0,6 \text{ lx}$	$\geq 0,4 \text{ lx}$
Gleichmäßigkeit	$\sim 0,2$	$\sim 0,2$	$\sim 0,2$
Schwellenwerterhöhung $T_i$	$< 30\%$	$< 30\%$	$< 30\%$

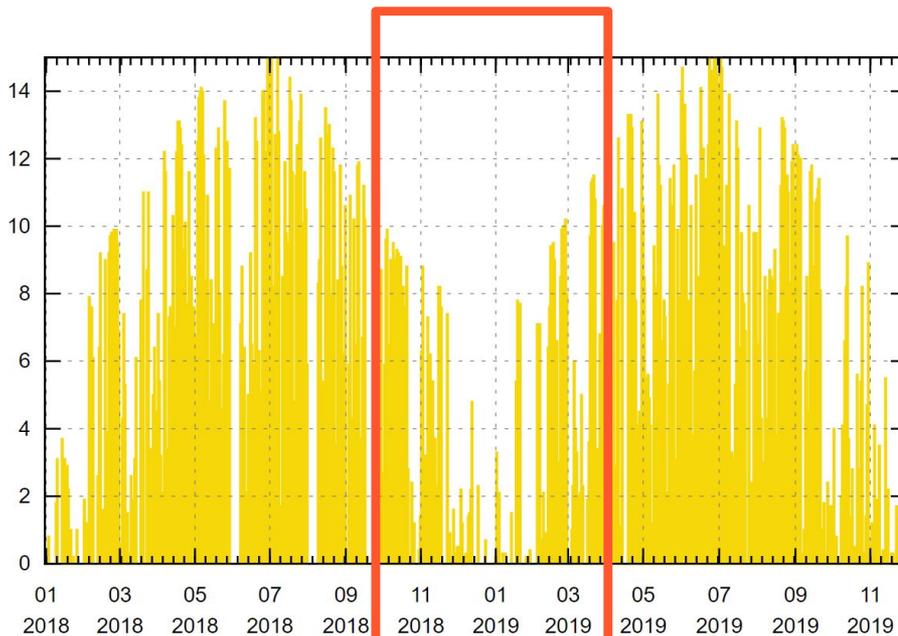
Um diese Werte besser in Relation zum Alltag setzen zu können: Bei Bürotätigkeiten wird eine mittlere Beleuchtungsstärke von  $> 500 \text{ lx}$  bei einer Gleichmäßigkeit von  $> 0,6$  gefordert.

## Ziel-Beleuchtungsstärke?

Bei Solarleuchten ist die einzige Energiequelle die Sonne.

***Je länger und heller eine Solarleuchte scheinen soll  
desto mehr Sonnenstunden sind notwendig.***

Nehmen wir als Beispiel Offenbach im Januar 2019 mit insgesamt 38 Sonnenstunden.

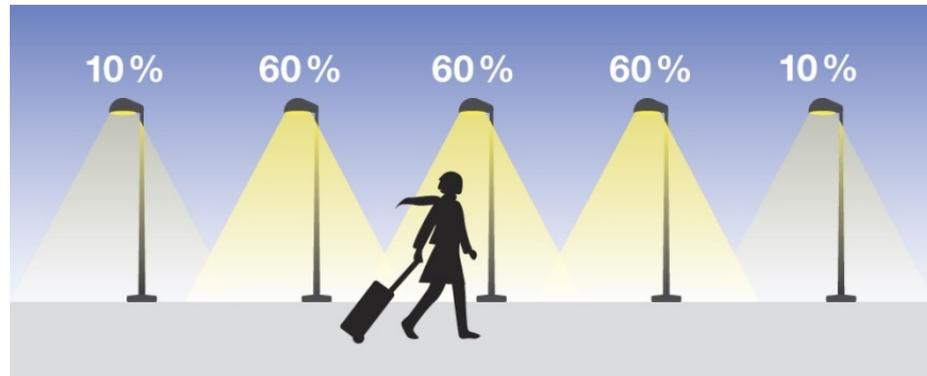


Sonnenstunden in Offenbach in den Jahren 18/19

*Eine Erhöhung der Ziel-  
Beleuchtungsstärke von 3 lx auf 5 lx  
ist gleichverbunden mit einem 66%ig  
höheren Strombedarf.*

## Ziel-Beleuchtungsstärke? -> Adaptive Beleuchtung!

Für die Führung der Verkehrsteilnehmer bei einer adaptiven Beleuchtung werden Leuchtengruppen gebildet, welche das Areal für den Verkehrsteilnehmer Stück für Stück beleuchten.



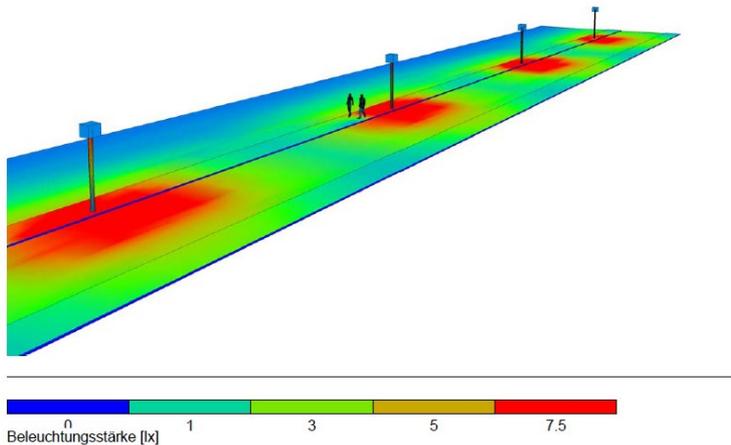
*Um den Strombedarf zu reduzieren und gleichzeitig eine ausreichend hohe Ziel-Beleuchtungsstärke zu ermöglichen -> können adaptive Beleuchtungsanlagen einen großen Mehrwert erzeugen.*

*Gleichfalls reduzieren adaptive Beleuchtungsanlagen die auftretenden Lichtimmissionen.*

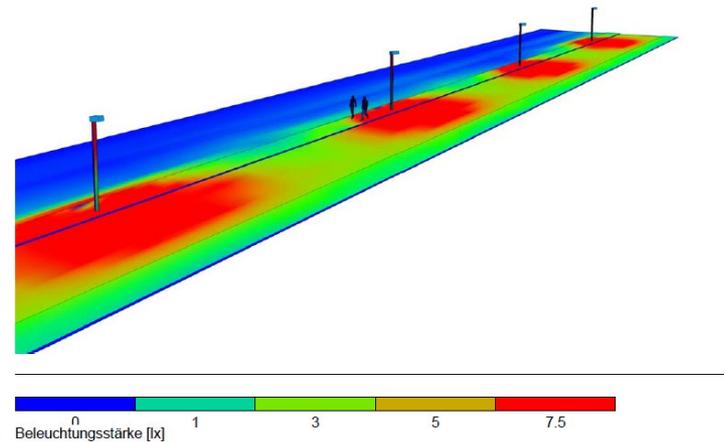
## Mindestgleichmäßigkeit? -> Auswahl der richtigen LED-Optik

Um eine gute Gleichmäßigkeit bei gleichzeitig niedriger Lichtimmission zu erreichen, ist die Auswahl der richtigen LED-Optik elementar wichtig.

Je nach Situation sind unterschiedliche LED-Optiken notwendig um ein optimales Ergebnis zu erzielen.



LED-Leuchten mit standardisierter Optik

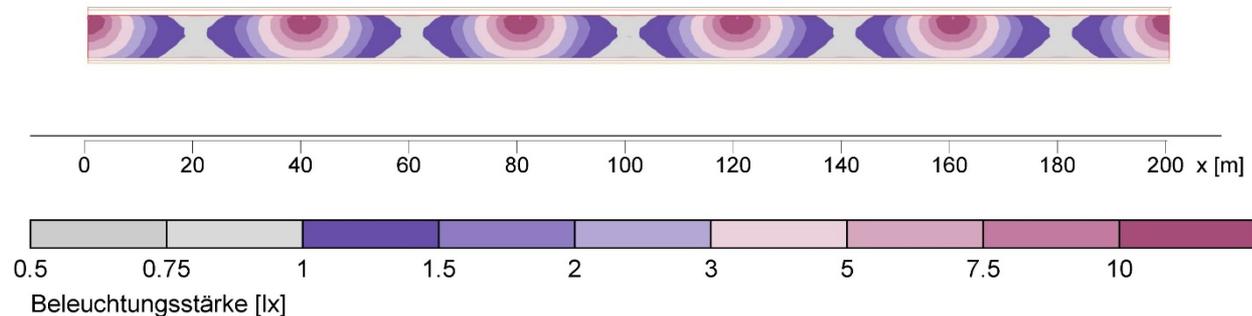


LED-Leuchten mit optimierter Optik

## Mindestgleichmäßigkeit? -> Auswahl der richtigen Lichtpunkthöhe

Um eine gute gleichmäßige Beleuchtung zu realisieren ist neben der Wahl der richtigen LED-Optik die zu wählende Lichtpunkthöhe essentiell.

Beispiel: Bei einer Radschnellverbindung über 200m werden bei einer Lichtpunkthöhe von 6m insgesamt 6 Solarleuchten benötigt.



### Allgemein

Verwendeter Rechenalgorithmus	Direktanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.05 m
Höhe (phot. Zentrum) [m]:	5.95 m
Wartungsfaktor	1.00

### Beleuchtungsstärke

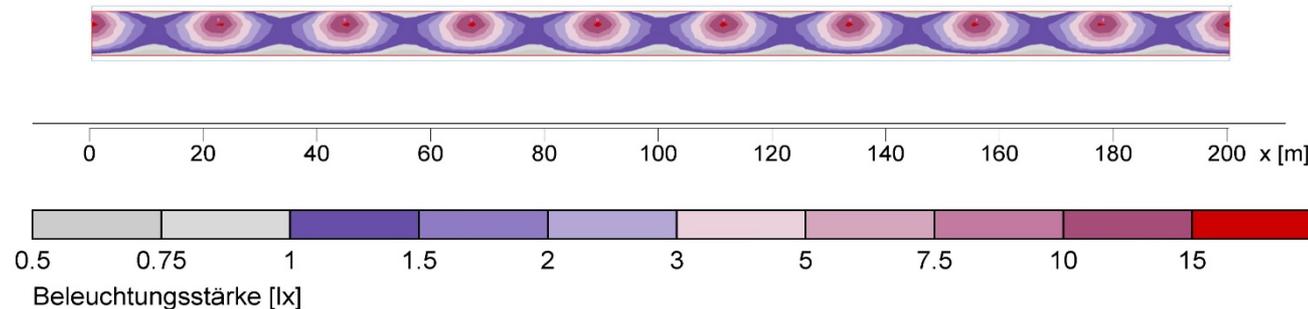
Mittlere Beleuchtungsstärke	Em	3.2 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin	0.7 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax	12.7 lx
Gleichmäßigkeit U <sub>o</sub>	Emin/Em	1:4.24 (0.24)
Ungleichmäßigkeit U <sub>d</sub>	Emin/Emax	1:17 (0.06)

## Mindestgleichmäßigkeit? -> Auswahl der richtigen Lichtpunkthöhe

Beispiel: Bei einer Radschnellverbindung über 200m werden bei einer Lichtpunkthöhe von 3,5m insgesamt 10 Solarleuchten benötigt.

*66% höhere Kosten bei Solarleuchten*

*66% höhere Kosten bei Erdarbeiten*

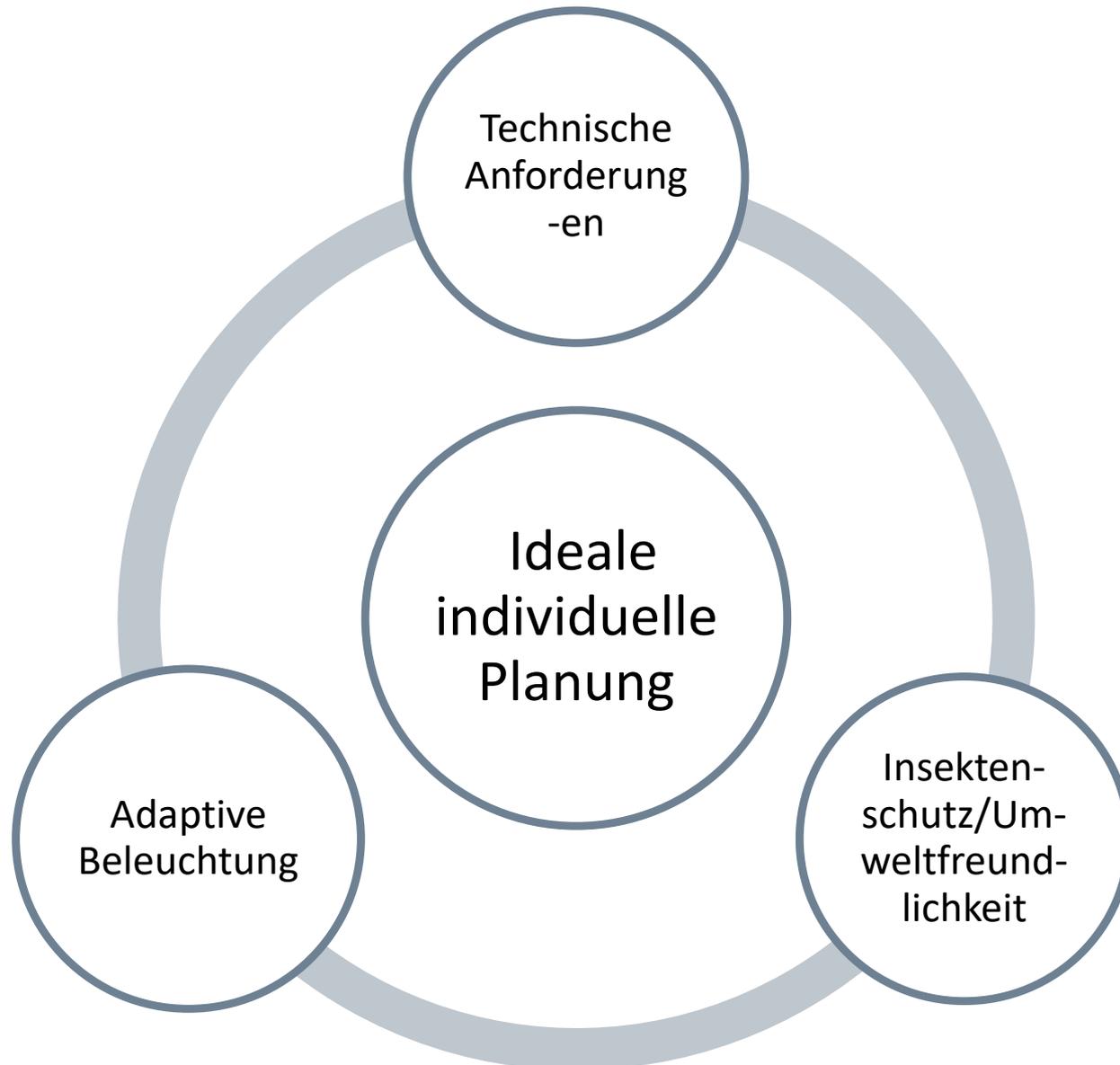


### Allgemein

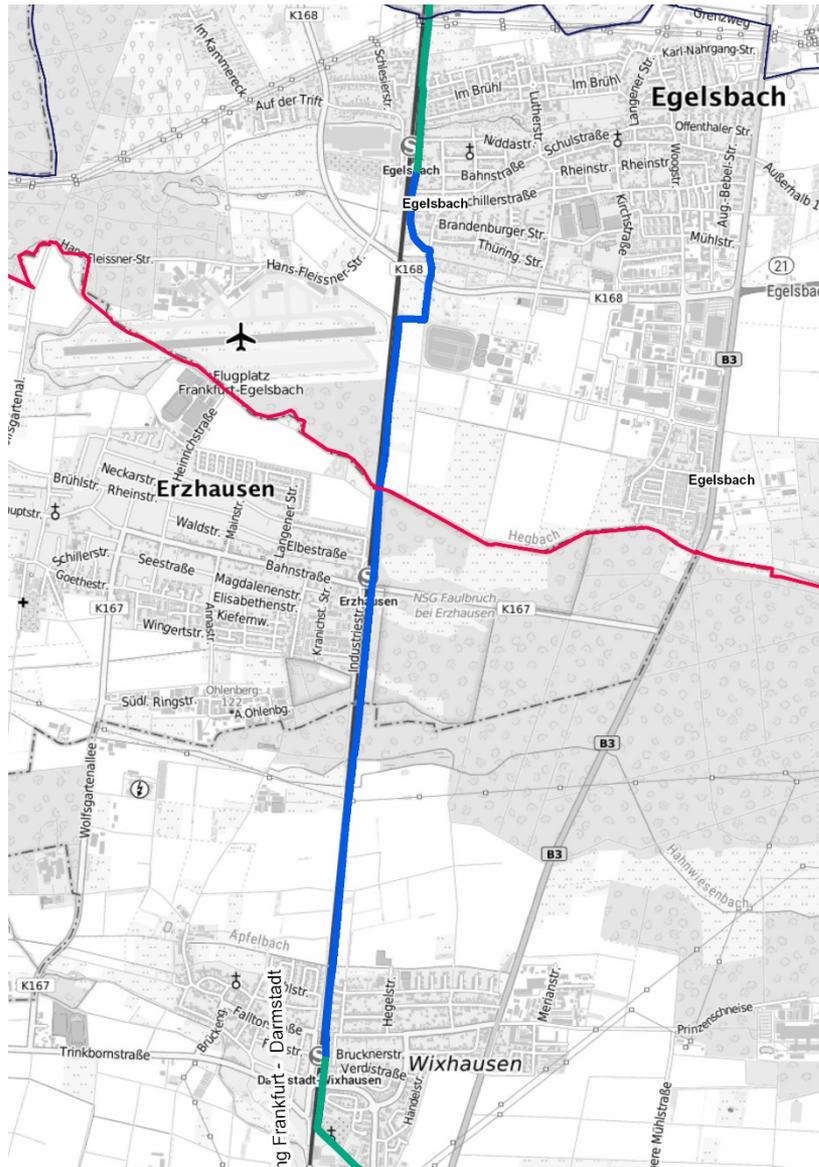
Verwendeter Rechenalgorithmus	Direktanteil
Höhe der Bewertungsfläche	0.05 m
Höhe (phot. Zentrum) [m]:	3.45 m
Wartungsfaktor	1.00

### Beleuchtungsstärke

Mittlere Beleuchtungsstärke	Em	3.3 lx
Minimale Beleuchtungsstärke	Emin	0.6 lx
Maximale Beleuchtungsstärke	Emax	15.9 lx
Gleichmäßigkeit Uo	Emin/Em	1:5.07 (0.2)
Ungleichmäßigkeit Ud	Emin/Emax	1:24.7 (0.04)



# Ausschnitt 1. Bauabschnitt



## Lichttechnische Eckdaten: 1. Bauabschnitt

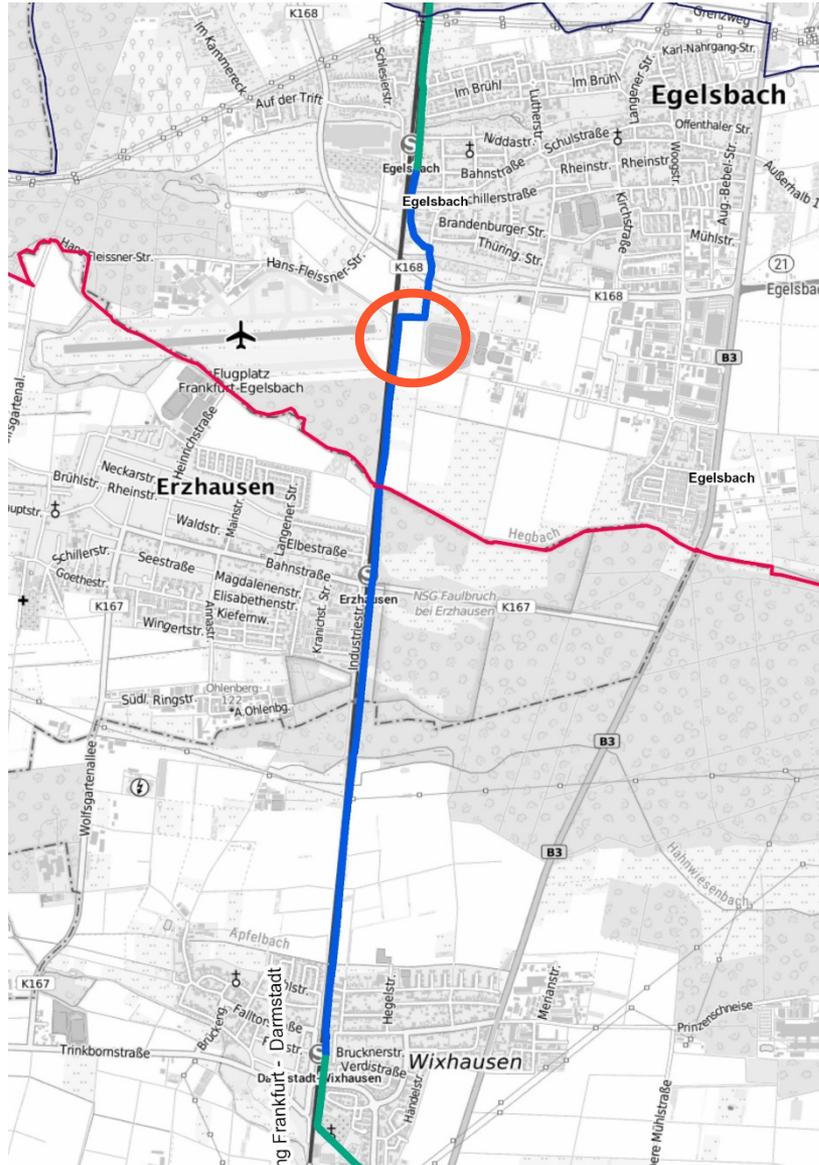
### Eckdaten 1. Bauabschnitt

Fabrikat:	Photinus Merkur SCL
Leuchten-/Mastabstand:	40 m
Breite:	4 m (max. 5,5 m)
Lichtpunkthöhe:	6 m
Farbtemperatur:	3000 K
Detektion:	PIR-Sensor
Leuchtengruppen:	Leuchten werden einzeln geschaltet

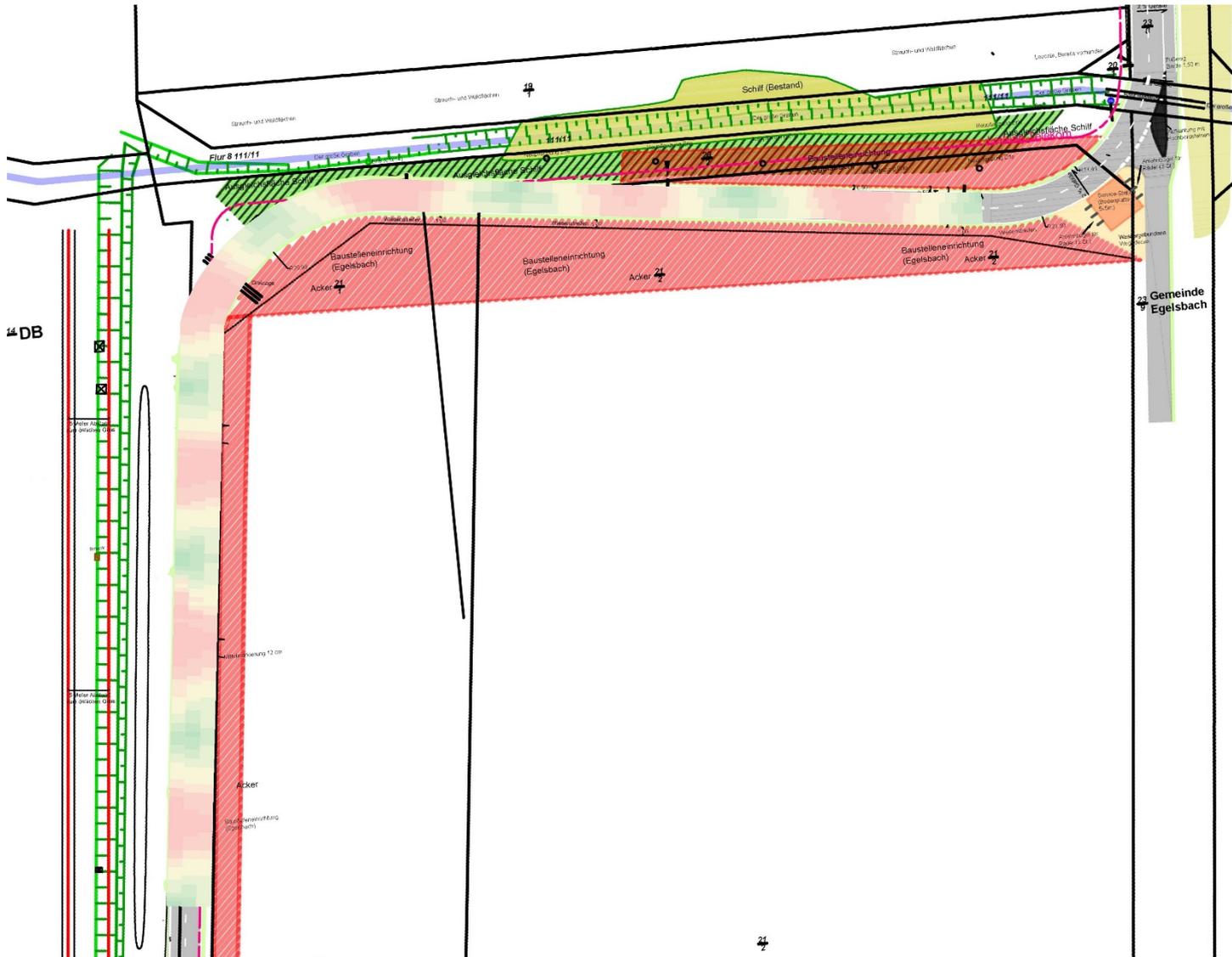
### Lichttechnische Ergebnisse:

KenngroÙe	Grenzwert P5	Simulation	Messung Bereich 1	Messung Bereich 2
Mittlere Beleuchtungsstärke	$\geq 3 \text{ lx}$	3 lx	4 lx	3,5 lx
Mindestbeleuchtungsstärke	$\geq 0,6 \text{ lx}$	0,96 lx	1,12 lx	0,88 lx
Gleichmäßigkeit	$\sim 0,2$	0,31	0,28	0,25
Schwellenwert-erhöhung Ti	$< 30\%$	27,4%	-	-

# Ausschnitt 1. Bauabschnitt



# Ausschnitt 1. Bauabschnitt - Falschfarbendarstellung



## Aktuelle Studien:

*Können Solarleuchten auch an Waldwegen eingesetzt werden?*

*Begleitet durch unser Büro*

*Welchen Einfluss nimmt die Solarbeleuchtung auf lichtscheue Fledermäuse?*

*Begleitet durch: Dr. Markus Dietz & Elena Krannich*



Zu diesem Zweck existiert zur Zeit eine Teststrecke am Radschnellweg.



## Radschnellverbindung Teststrecke am Stadtwaldhaus



## Radschnellverbindung Teststrecke am Stadtwaldhaus



### Fragestellung:

*Können Solarleuchten an Waldwegen eingesetzt werden?*

### Bisherige Erkenntnisse:

Bei durchgehender Beleuchtung:

- In den Sommermonaten konnten die Solarleuchten einen durchgehenden Beleuchtungsbetrieb nicht gewährleisten. Die Stromerzeugung war zu gering im Vergleich zum Bedarf.

Mit adaptiver Beleuchtung:

- In den Sommermonaten konnten die Solarleuchten einen adaptiven Beleuchtungsbetrieb gewährleisten.

### Fragestellung:

*Gibt es einen signifikanten Einfluss des Lichts der Leuchten auf die Fledermausaktivität?*

### Bisherige Erkenntnisse:

Bei durchgehender Beleuchtung:

- Vermutlich ja

Mit adaptiver Beleuchtung:

- Vermutlich nein



*Ich freue mich auf Ihre Fragen !*