
PALESTRA

BMBF Bundeswettbewerb
“Kommunen in neuem Licht”



Eine LED Lösung als Ersatz für Leuchtstofflampen in der Straßenbeleuchtung

LED Projekt Norden-Norddeich | 21. März 2014 Paderborn

Dr. Andreas Bielawny, Brandenburg GmbH | Synopsys GmbH

SYNOPSYS[®]
Accelerating Innovation

Palestra – Paderborner LED Straßenbeleuchtung, Verbundprojekt

Stadt Paderborn

- E.On Westfalen Weser / Westfalen Weser Energie

BöSha GmbH & Co KG, Rüthen

Brandenburg GmbH, Paderborn

2009 / 2011 - 2013



Inhaltsübersicht



- Stadt Paderborn – Strassenlicht vor der LED
- Ziele setzen
- Grundgedanken zur Geometrie
- Lösungen finden
 - Lichtquelle: Multi-Chip LED
 - Optik: Reflektoren
- Das Ergebnis
- Bürgermeinung



Stadt Paderborn - Bundesrepublik

(Stand 2007)

Statistische
Gegenüberstellung der
Lichtpunktkennzahlen

Stand 01.01.2007	PB	DE
mittlere Leistung je LP (W)	117	119
LP je Einwohner	0,11	0,11
Stromverbrauch je Einwohner (kWh)	45,16	55,00
Anschlussleistung je EW (W)	12,85	13,00
Mittlerer Verbrauch je Leuchte (kWh)	411	503

Vergleich der
Lampentypenverteilung

Leuchtmitteltyp	PB	BRD
Natriumdampfhochdruck	70%	34 %
Leuchtstoff	18%	15 %
Kompaktleuchtstoff	8 %	3 %
Quecksilberdampf	3 %	45 %
Sonstige*	1 %	3 %

Paderborn ist ein hochgradig repräsentativer Standort in Sachen Straßenbeleuchtung

Straßenbeleuchtung auf aktuellem Stand der Technik, aber Verbrauch 18% unter Bundesdurchschnitt.

Zielsetzung

**LED Straßenbeleuchtung in Paderborn
kann als Ersatz für Leuchtstofflampen eingesetzt werden
mit diesen Rahmenbedingungen:**

- Ersatz für bestehende Installationen bei gleichen Mastpunkten
- Einsatz am Peitschenmast
- Bedienen der Anwohnerstraßen und gleichartiger Verkehrsstraßen
- Für Wohnviertel taugliche Umgebungshelligkeit
- Möglichkeit zum energiesparenden Absenkbetrieb
oder zur intelligenten Dimmung z.B. mit integrierter Sensorik
- Langlebige Technik
- Vermeidung der LED-typischen psychologischen Blendeffekte

Übersetzung: Deutsch - Lichttechnisch

Mastpunkte erhalten ➤ Mastabstand bis zu 42 m
➤ weitstrahlende LVK nötig
➤ Masthöhe $h=7,5\text{m}$

Peitschenmast ➤ Überhang, Winkel in Anbaulage?

Anwohnerstraßen ➤ Typische Klassen: S4, ME5

Umgebungshelligkeit ➤ Querverteilung, SR?

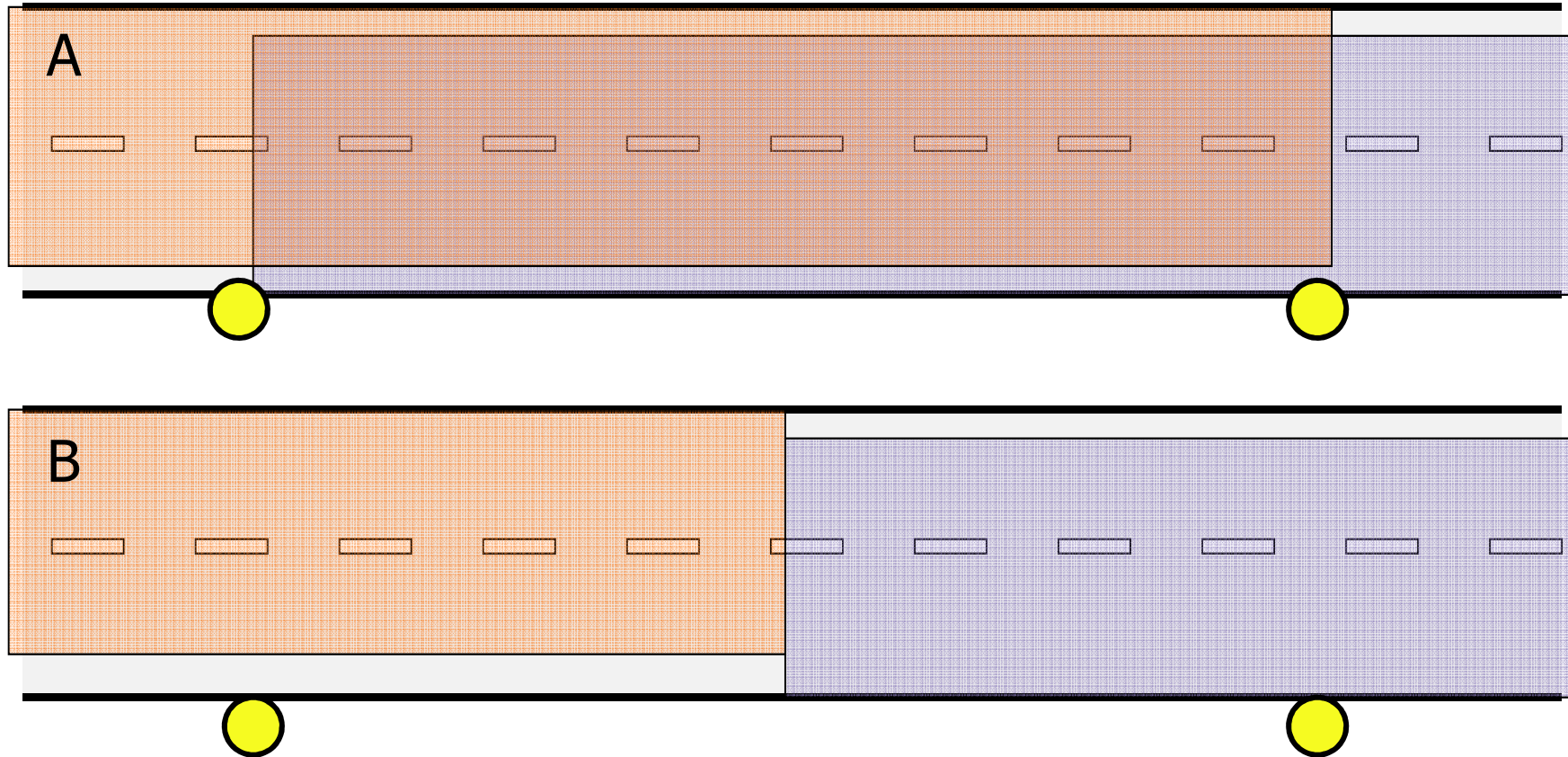
Blendungsempfinden minimieren ➤ Leuchtdichte der Leuchte
minimieren

Umsetzung dieser Ziele

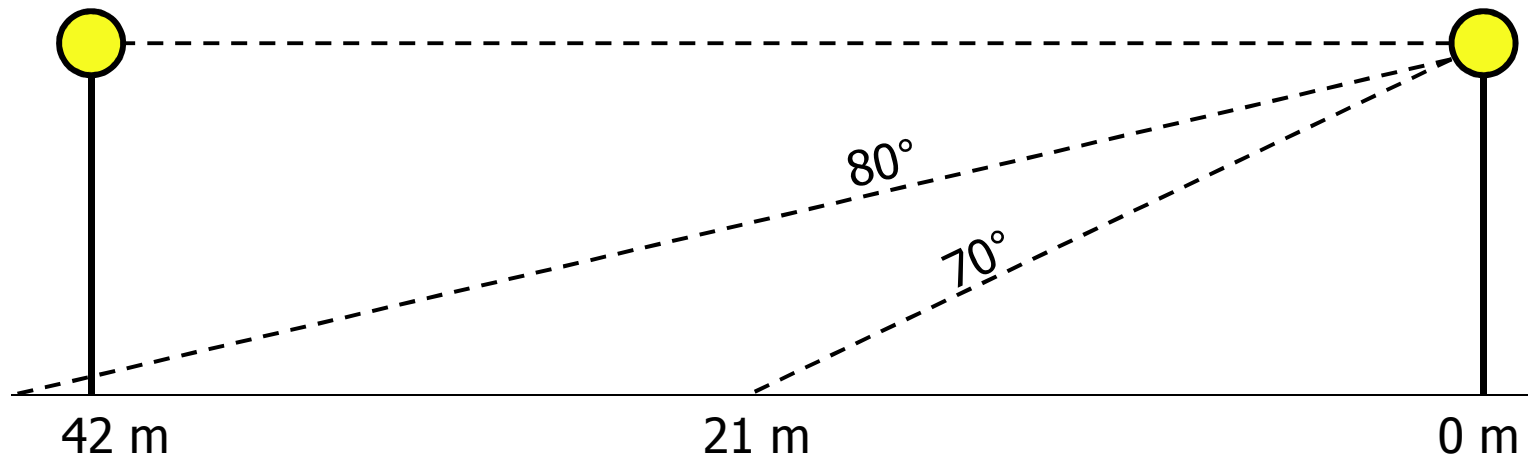
- Computer Assisted Lighting (CAL)
 - Gestalten der Lichtverteilung und aller optischen Komponenten: LVK
 - Blendung gegen Längsreichweite abwägen
 - Vorausbewertung schon im Computer
- LED Auswahl: Multichip on board LED
 - Vergrößerung der Leuchtfäche: Reduzieren der Blendungsempfindung
 - Bessere Wärmeableitung - längere Lebensdauer
- Optikauswahl: Reflektoren
 - Vergrößerung der Leuchtfäche und vielfältige Lichtkontrollmöglichkeiten
- Elektronische Vorschaltgeräte: LED Treiber
 - Hoher Wirkungsgrad, extrem langlebige Technik
- Optionale Kontrollsysteme, Funknetz und Sensorik
 - Kommunikation zwischen den Leuchten
 - Steuerung, Halbnachtschaltung



Segmentierung: keine Nahtstellen!

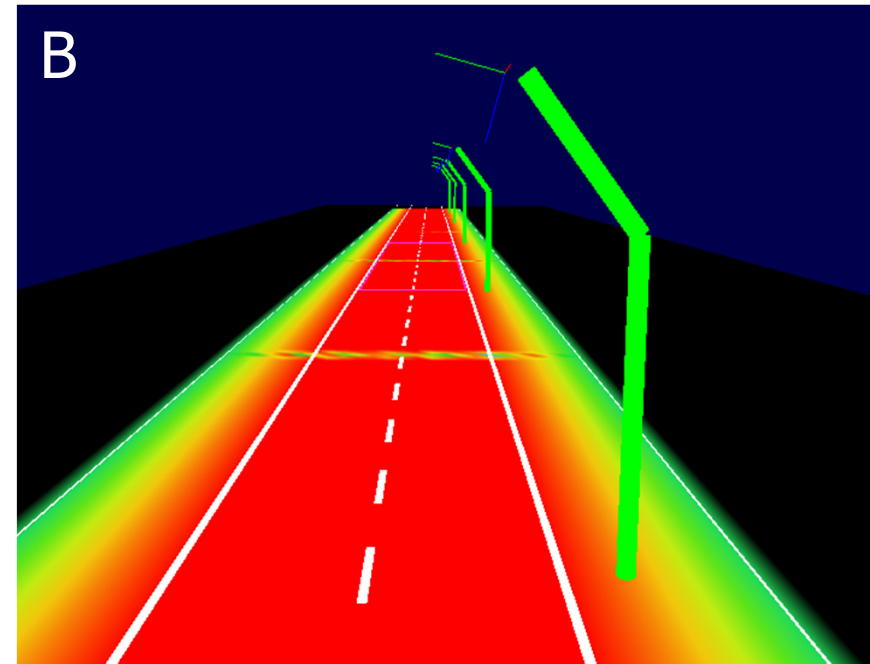
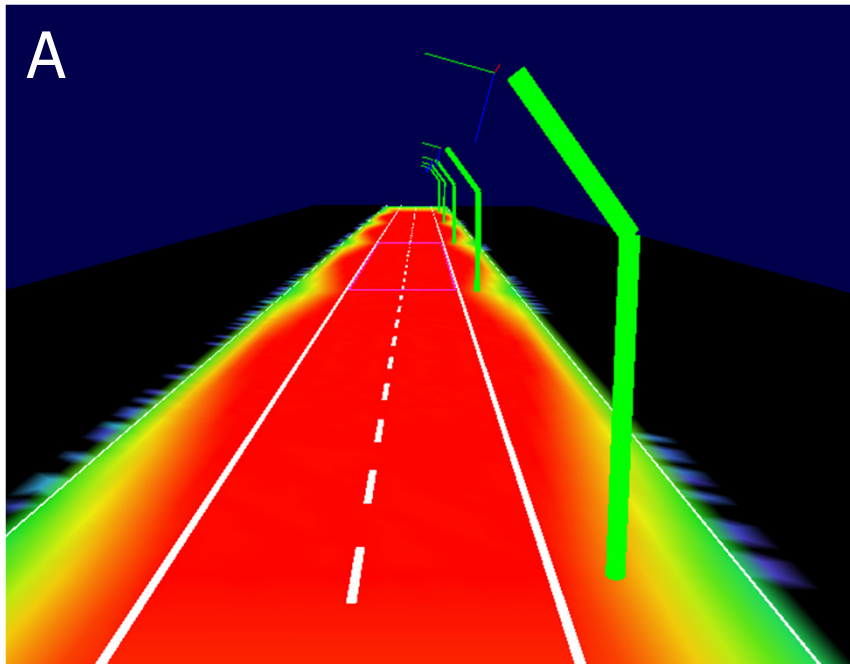


Mastgeometrie & Lichtfeldgeometrie



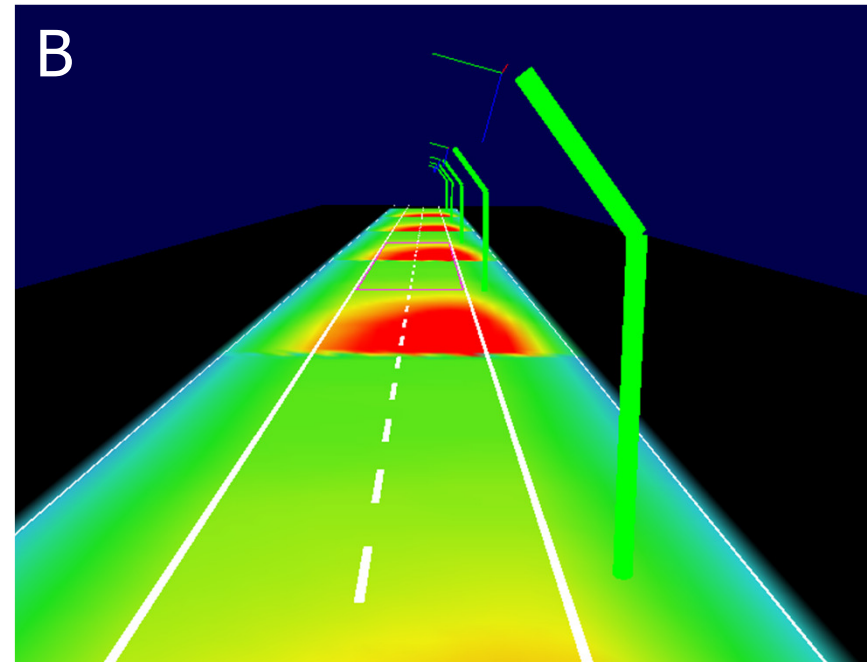
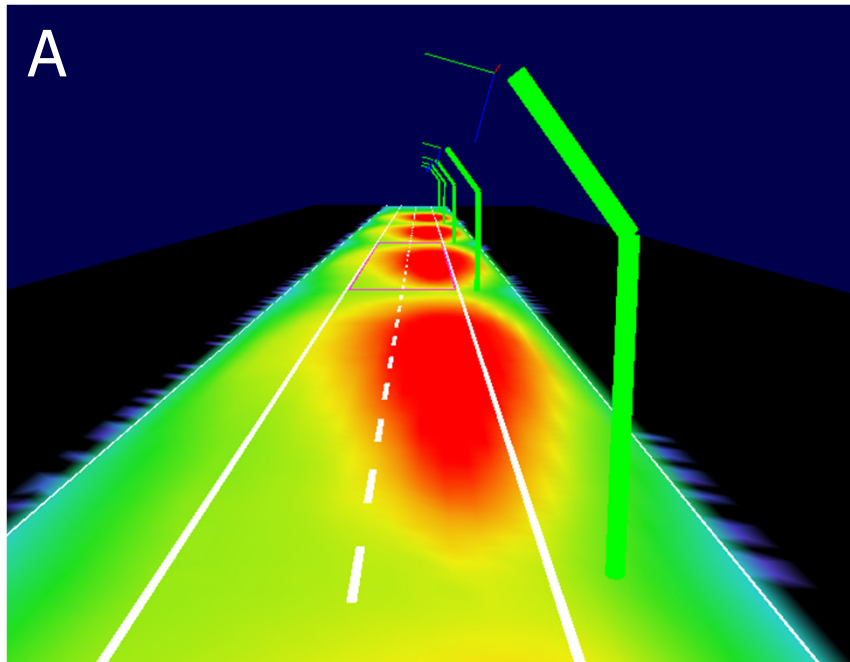
- Masthöhe 7.5m
- Bei 70° Abstrahlwinkel sind wir etwa 22 m von der Leuchte entfernt,
- bei 80° schon um die 42 m
- Die blendgefährlichen Winkelsegmente der LVK zwischen 70° und 90° sind für die halbe Fahrbahnlänge verantwortlich

Lichtverteilung (E_h)



- Beispielszene mit $E_h = 5$ lux konstant, „perfekt gleichmäßig“
- (horizontale Beleuchtungsstärke)

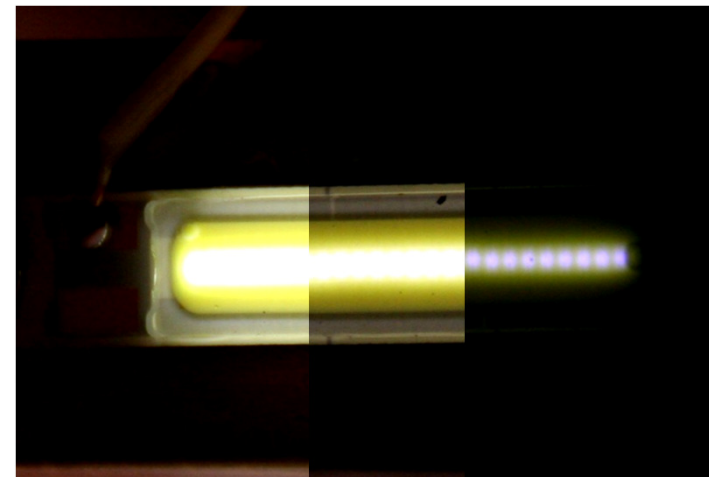
Lichtverteilung (L)



- Beispielszene mit $E_h = 5$ lux konstant
- (Leuchtdichte, R3)

Multi-Chip-on-Board LED

- Der gemeinsame Phosphor der dicht nebeneinander liegenden Chips wirkt bei ausreichend hohem Strom als eine einzige Lichtquelle
- Die leuchtende Gesamtfläche ist sehr groß
- Bei sehr geringem Strom zeichnen sich MCOB-typisch die einzelnen Chips unter der Phosphorschicht ab
(Siehe Fotoreihe rechts unten)



Multi-Chip-on-Board LED

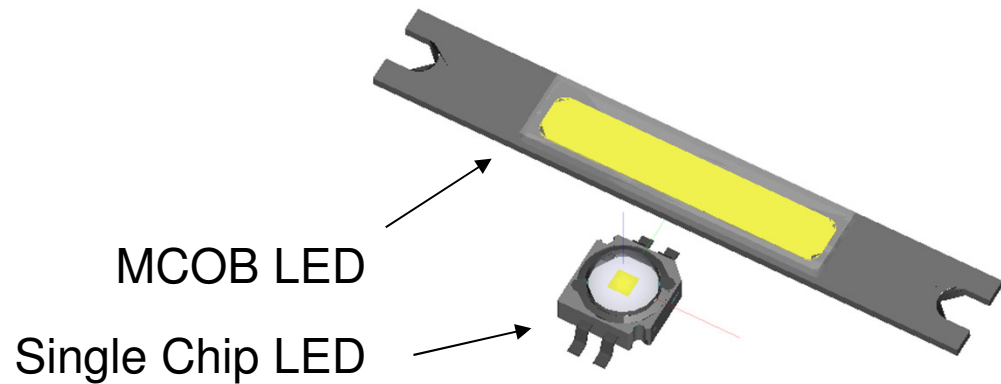
■ 1 mm²

■ 2 mm²

■ 4 mm²



100 mm²



(Mittlere) Spezifische Lichtausstrahlung: $[M_V] = \text{lm} / \text{m}^2$

Die mittlere spezifische Lichtausstrahlung (lum. emittance) ist bei MCOB LED ($< 8 \text{ lm/mm}^2$)* um einen **Faktor 12 – 40** geringer als bei single-chip LED ($100\text{-}300 \text{ lm/mm}^2$)*. Bei entsprechendem Strom ist dieses Verhältnis noch verschiebbar.

* Verhältnis bei Maximalbestromung gem. Herstellerangabe bei kalt-weißen Emittern, Stand 2010

Leuchtstofflampe vs. MCOB LED

Im Vergleich der spezifischen Lichtausstrahlung ist klar, dass die Leuchtstofflampe die geringsten (angenehmsten) Werte liefern wird. Aber wie schlimm ist die MCOB LED denn noch?

36W Leuchtstoff, 6500K: 120 cm lang, 2,6 cm Durchmesser

Fläche: $\sim 0,1\text{m}^2$

Spezifische Lichtausstrahlung $M_v = 2500\text{ lm} / 0,1\text{ m}^2 = 2,5 \times 10^4\text{ lm/m}^2$

3W MCOB LED CL-L103, 5000K, Emitterzone ca. 25 mm x 4 mm

Fläche: $\sim 0,0001\text{m}^2$

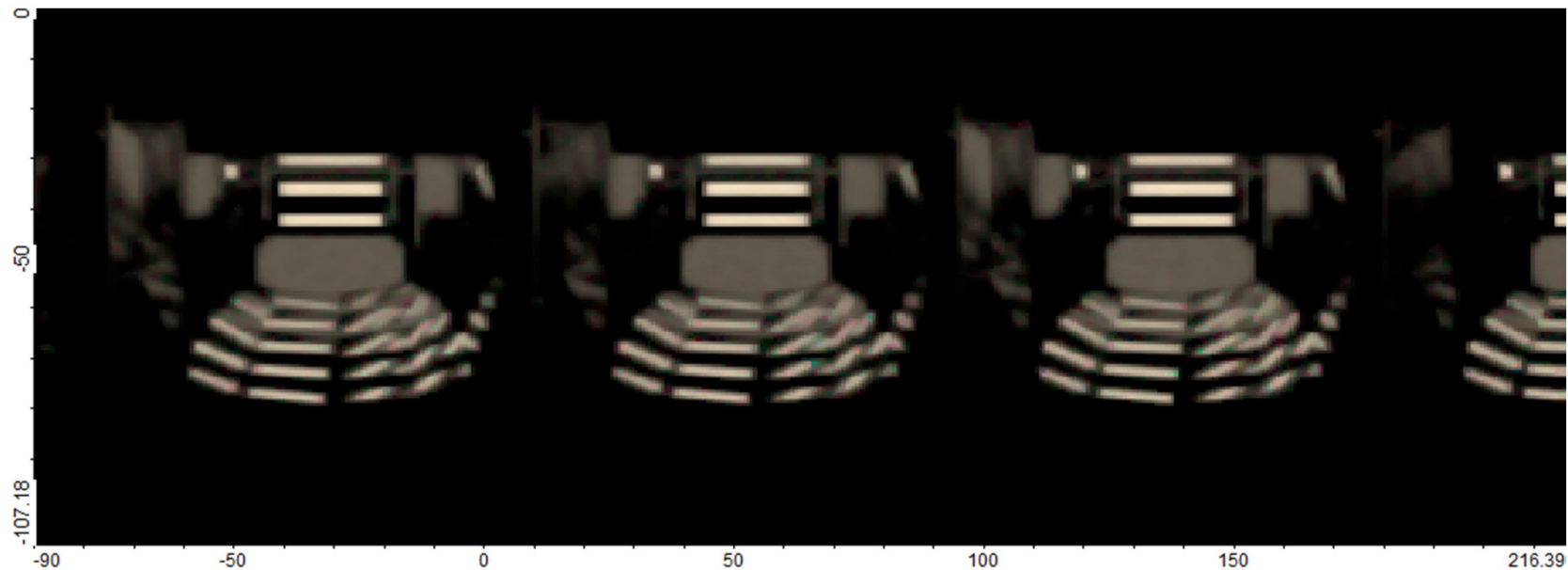
Spezifische Lichtausstrahlung $M_v = 250\text{ lm} / 0,0001\text{ m}^2 = 2,5 \times 10^6\text{ lm/m}^2$



Die MCOB LED ist immer noch um den Faktor hundert „bissiger“

Reflektoren: Vorteile

- **Massive Vergrößerung der leuchtenden Fläche**
- Große Teile sind oft kostengünstiger zu fertigen als bei Linsen.
- Formschluss in der Lit Appearance
- Freiheiten in der Formgebung
- Ideale Kombination mit großen Lichtquellen (MCOB)



Das Ergebnis: Ziel erreicht!

Steckbrief: Straßenleuchte Palestra

Leuchtmittel: Multichip-on-Board LED

Farbtemperatur: Tageslichtweiß-Äquivalent (5000K)

Lichtlenkung: Reflektoreinheit mit klarer Haube

Nachtabsenkung möglich: Ja (50% via 2. Phase)

Telemangement möglich: Ja

Typische Systemleistungen: 30 W / 60 W / 90 W

Lichtstrom (effektiv): 3060 lm / 6120 lm / 9180 lm

Lichtausbeute: 102 lm / W

Gehäuse: Aluminiumguss

Gewicht: ca. 7,8 kg

Windlast: 0,09 m²



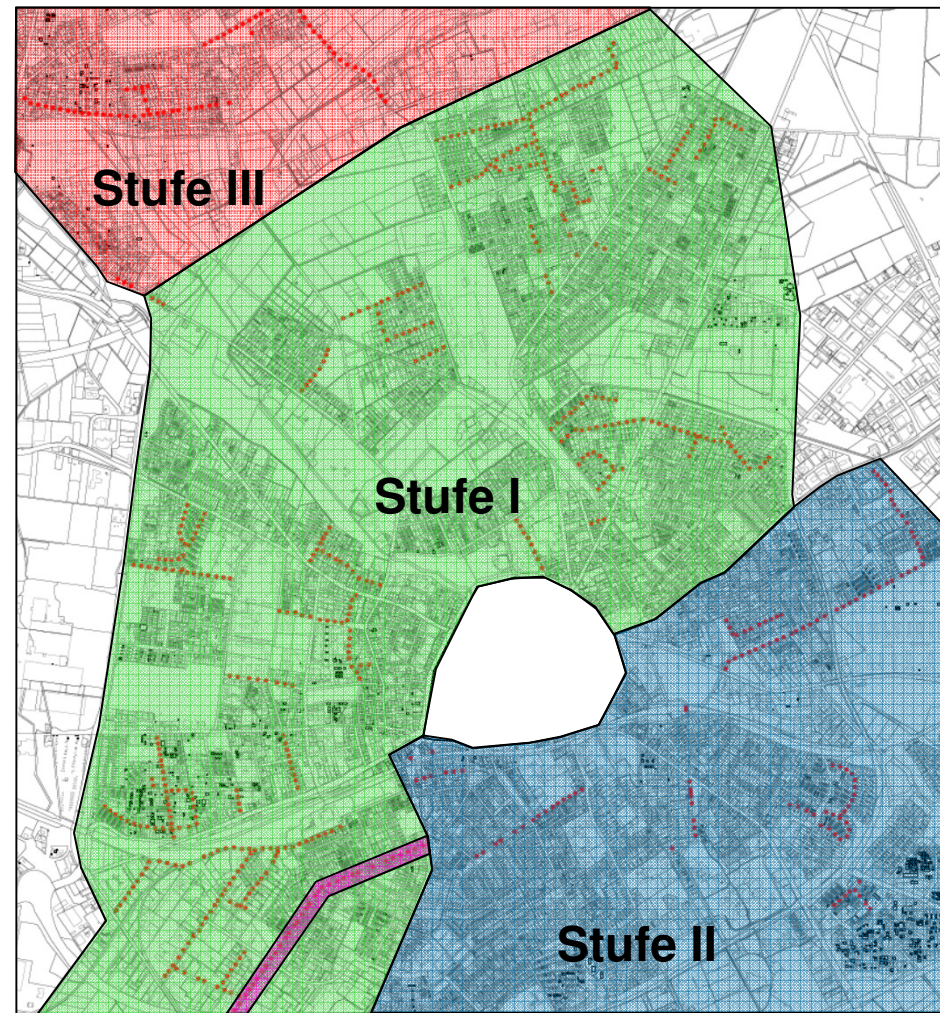
	E_m	E_{min}	E_{max}	g_1	P
Leuchtstoff	4,4 lx	0,9 lx	15,8 lx	0,2	94 W
PaLeStra	8,9 lx	2,7 lx	24,6 lx	0,3	50 W

Installationsplan

Die Umsetzung erfolgte in drei Ausbaustufen:

- **Stufe I** :
nördliches Stadtgebiet
(~ 478 Lichtpunkte)
- **Stufe II** :
süd-östliches Stadtgebiet
(~ 140 Lichtpunkte)
- **Stufe III** : Vororte im Norden
(~ 251 Lichtpunkte +)

Teststraße „Abtsbrede“



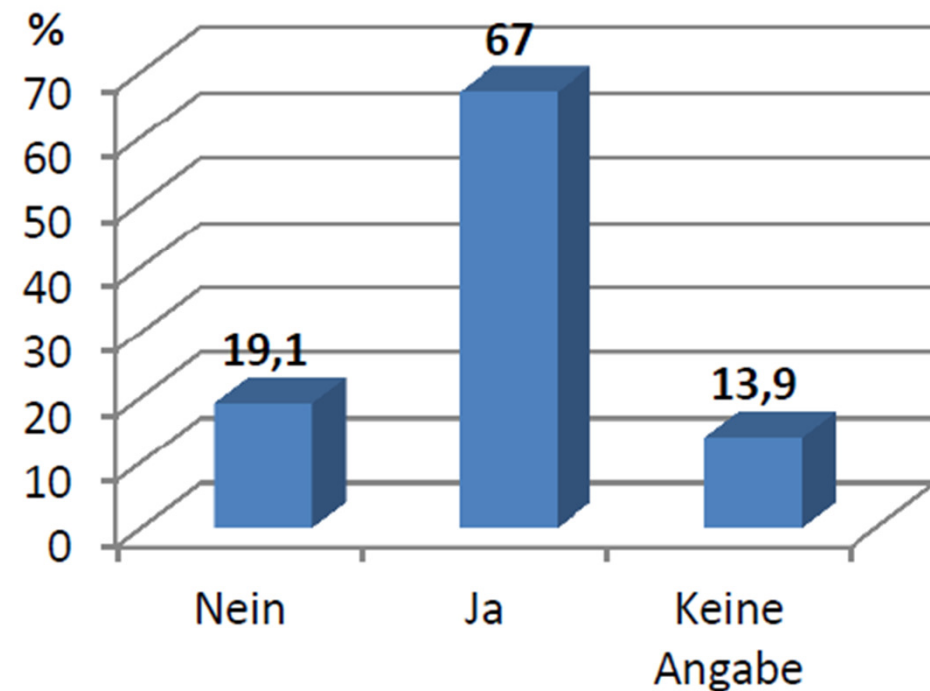
Experimentum crucis

Untersuchung der Bürgermeinung

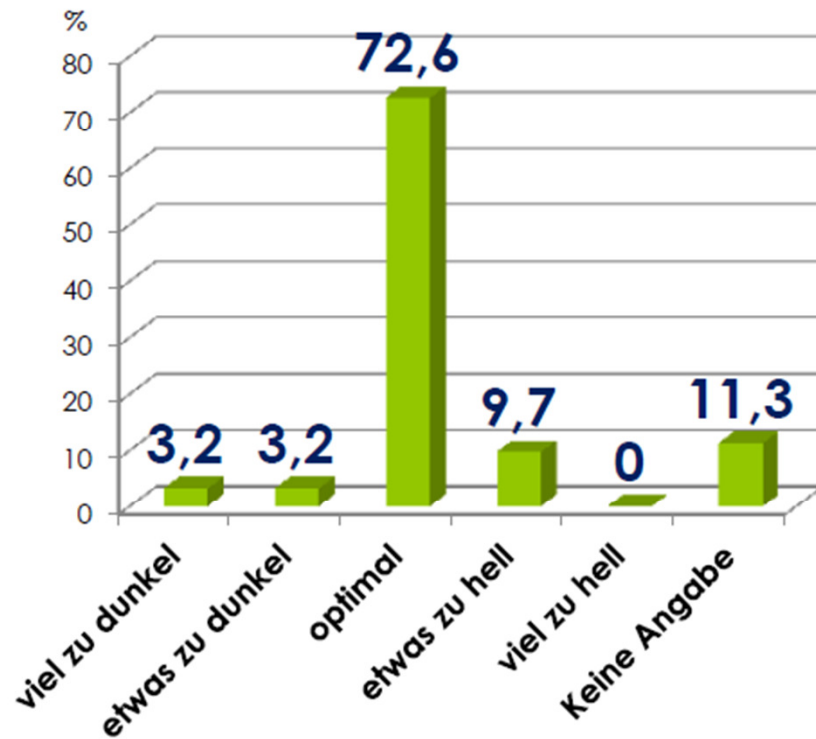
L. Zingraff,
A. Völker,
Prof. Dr. N. Schaper

Lehrstuhl für Arbeits- und
Organisationspsychologie
Universität Paderborn
(2013)

Frage 18: Gefällt Ihnen die neue
LED-Beleuchtung besser als die Alte?

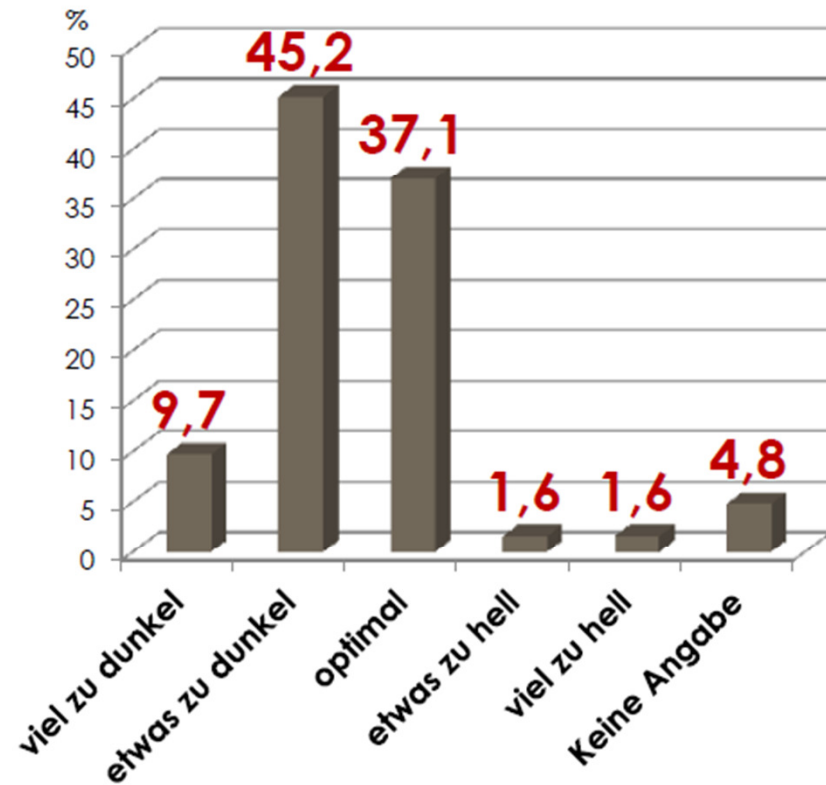


Frage 10: Wie beurteilen Sie die Helligkeit auf der Straße und Umgebung der neuen LED Beleuchtung?



$\bar{x} = 3$ $s = 0,544$

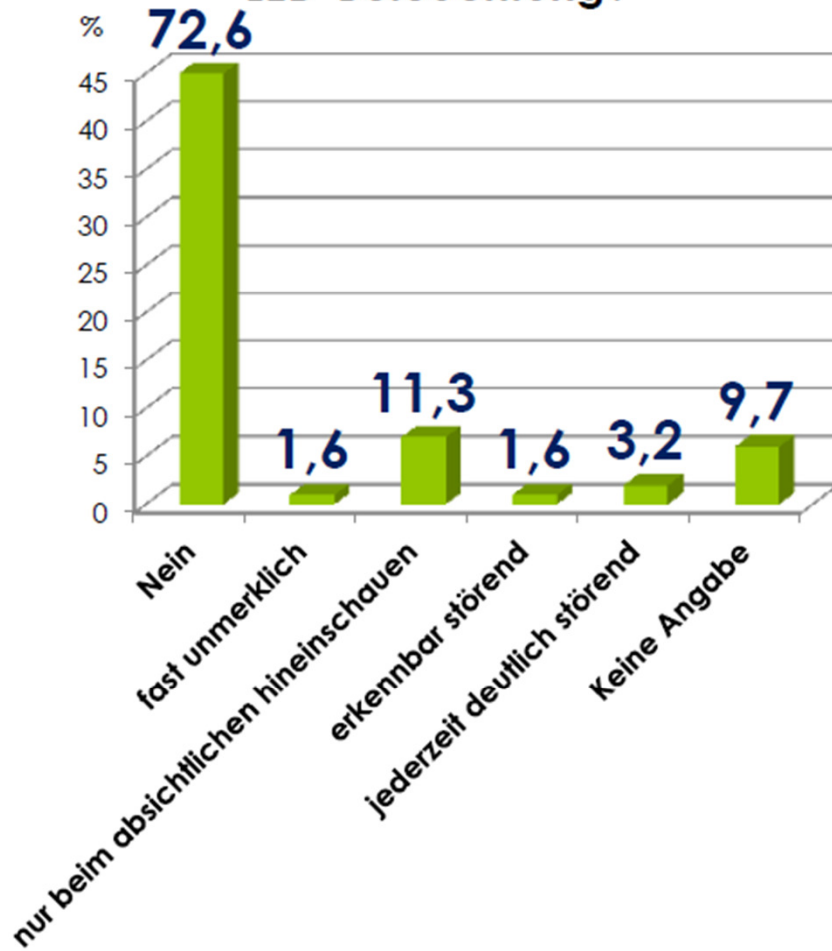
Frage 21: Wie beurteilen Sie die Helligkeit der alten Beleuchtung?



$P = 0,000$

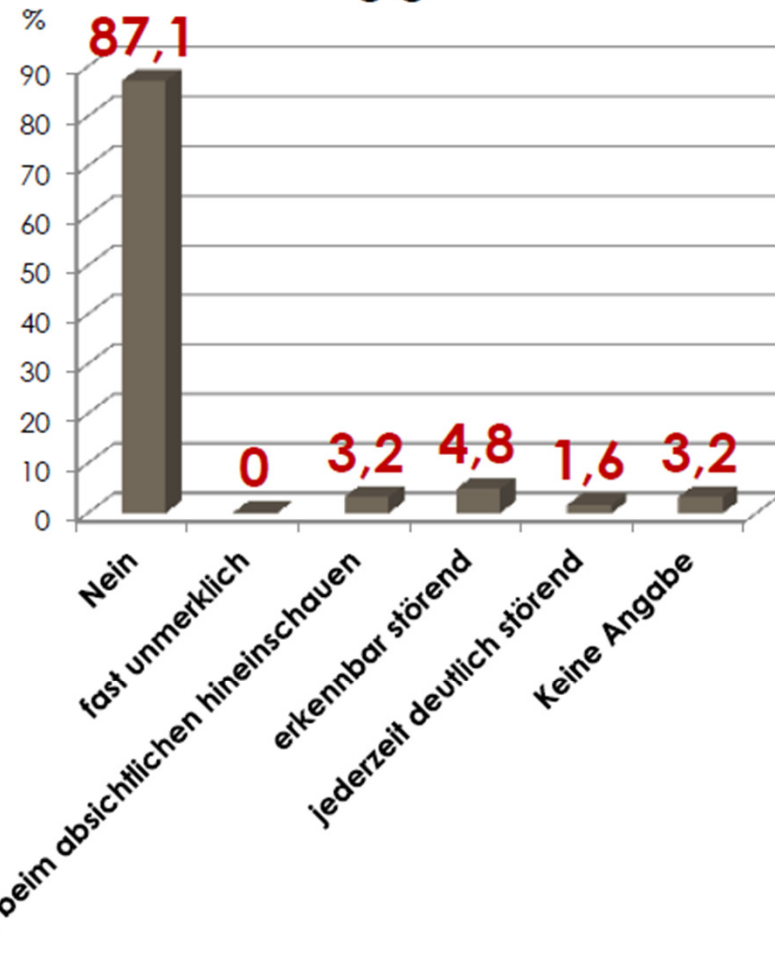
$\bar{x} = 2,37$ $s = 0,736$

Frage 11: Blendet Sie die neue LED-Beleuchtung?



$\bar{x} = 0,46$ $s = 1,026$

Frage 22: Hat Sie die alte Beleuchtung geblendet?



$\bar{x} = 0,28$ $s = 0,885$

$P = 0,418$ n.s.

Zusammenfassung

- Fundament: Kommunale Zielsetzungen aus der Praxis
- Lichttechnische Definitionen herausarbeiten und damit auch technische Ziele setzen: z.B. Blendfreiheit
- Konsequente Umsetzung in allen Bereichen: Entwicklung einer komplett neuen Leuchte
- Erfolgreiche Installation von 970 Leuchten
- Bürgermeinung spiegelt Zufriedenheit wieder

Quellen

Externes Bildmaterial

- F. 3; Pressematerial BMBF Internetportal, Optische Technologien, Wettbewerb Kommunen in neuem Licht

Quellen

- Bielawny; ETP Konferenz Straßenbeleuchtung 2012
- Bielawny; Darmstädter Fachtage für Beleuchtung 2010
- Ruprecht; Statistische Untersuchung der Straßenbeleuchtung Paderborn 2007
- Zingraff; Befragung zu Akzeptanzaspekten beim Einsatz innovativer LED-Lichttechnik bei der Straßenbeleuchtung in Paderborn 2013