

# Entwicklung einer 4-Kanal Straßenleuchte zur wissenschaftlichen Untersuchung einer nutzflächenbezogenen Beleuchtung

Samuel Fiedelak, Prof. Dr. Stephan Völker

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, Einsteinufer 19, 10587 Berlin

## Zusammenfassung

Klimaschutz oder Sicherheit? Geht beides? Um Flora und Fauna bestmöglich zu schützen müssten wir die öffentliche Beleuchtung nachts ganz ausschalten. Dies entspräche allerdings nicht unserem Bedürfnis nach Sicherheit. Mit der Entwicklung einer 4-Kanal-LED-Straßenleuchte soll zusätzlich zum zeitlich dynamischen Licht auch örtlich adaptiv beleuchtet werden. Dieses Paper stellt ein Versuchsdesign vor, mit welchem die Dimmlevel der Straßennutzflächen optimiert werden sollen und das Randbeleuchtungsstärkeverhältnis neu untersucht werden soll. Dabei werden sowohl quantitative, als auch qualitative Empfehlungen für die Straßenbeleuchtung aufgenommen, mit Virtual Reality untersucht und in einer realen Feldstudie validiert.

**Schlagwörter:** Straßenbeleuchtung, Adaptive Beleuchtung, Randbeleuchtungsstärkeverhältnis, Optisches Design, 3D-Modell, virtual reality

## 1 Motivation

Mit Einführung der öffentlichen Beleuchtung war es das Ziel „Licht ins Dunkel“ zu bringen und die Straßen sicherer zu machen. Sukzessive wurde die Beleuchtung verbessert und an der Effizienz gearbeitet. Dabei gab es noch nie ein Leuchtmittel, welches so großes Potential bietet wie die LED. Mit konventionellen Leuchten galt es



so viel wie möglich Licht auf die Straßen zu lenken. Die Umgebung war meist sowieso mit beleuchtet. Mit der Einführung der LED ist eine deutlich präzisere Lichtlenkung möglich und nun kommen Stimmen auf, dass doch die Beleuchtung auch zum Stadtbild gehöre und nicht nur die Straße beleuchtet werden soll.

Wie sollte demnach eine moderne Straßenbeleuchtung aussehen, die zum einen das Sicherheitsempfinden der Bevölkerung, die Ästhetik des Raumes, zum anderen der Energieeffizienz, dem Insekten- und Naturschutz entspricht?

Im Projekt SteFFi [1] wurden die nach Stand 2020 normativen Anforderungen an unterschiedliche Nutzflächen gesammelt (siehe Figure 1).

	Wege- und Fahrbahnoberflächen												Knotenpunkte		
	Leuchtdichte <sup>1</sup>						Horizontale Beleuchtungsstärke <sup>2</sup>				Halbsphärische Beleuchtungsstärke <sup>2</sup>		Horizontale Beleuchtungsstärke <sup>3</sup>		
	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$U_0$	$U_1$	$U_{0w}$	$f_{T1}$ [%]	$R_{E1}$	$E_{h,m}$ [lx]	$E_{h,min}$	$B_s$	$f_{T1}$ [%]	$E_{h,m}$ [lx]	$U_0$	$E_{h,m}$ [lx]	$U_0$	$f_{T1}$ [%]
	max	min	min	min	max	min	min	min	min	max	min	min	min	min	max
Autobahnen													50.0	0.4	15
	2.00	0.4	0.7	0.15	10	0.35							30.0	0.4	15
Landstraßen	1.50	0.4	0.7	0.15	10	0.35							20.0	0.4	15
Hauptverkehrsstraßen	1.00	0.4	0.6	0.15	15	0.30	15.0	3.0	0.7	20			15.0	0.4	20
Erschließungsstraßen	0.75	0.4	0.6	0.15	15	0.30	10.0	2.0	0.7	25			10.0	0.4	20
Gehwege	0.50	0.35	0.4	0.15	15	0.30	7.5	1.5	0.7	25	5.0	0.15	7.5	0.4	20
Radwege	0.30	0.35	0.4	0.15	20	0.30	5.0	1.0	0.7	30	2.5	0.15			
Plätze							3.0	0.6	0.7	30	1.0	0.15			
							2.0	0.4	0.7	35					

Figure 1: Minimale normative Anforderungen an unterschiedliche Nutzflächen [1]

Aufgrund der geforderten Randbeleuchtungsstärken können die Nutzflächen gemäß Norm nicht separat betrachtet werden. Die Richtlinie zum Immissionsschutz [2] und die aus dem Gesetz zum Insektenschutz [3] resultierenden Beleuchtungsvorschriften sind einzuhalten.

Kretzer [4] fordert ebenfalls eine ganzheitliche Planungsempfehlung und führt qualitative Empfehlungen auf, wie die *Prospect*, *Refuge* und *Escape* Theorie von Fisher und Nasar zu beachten. Er zieht das Fazit: *Die Lichtplanung sollte dem Sicherheitsbedürfnis der Nutzer gerecht werden und dieses mit weiteren Bedürfnissen wie Hinderniserkennung (Fotios & Uttley, 2018), Verkehrssicherheit, Umweltschutz und Ästhetik verbinden.* [4]

Um den aktuellen Forschungsstand aufzugreifen und weiter untersuchen zu können, soll eine intelligente 4-kanalige Straßenleuchte entwickelt werden, welche eine nutzflächenbezogene Beleuchtung mit einzeln dimmbaren Bereichen ermöglicht, um einerseits hohe Sicherheit, Effizienz und Komfort für die Straßenteilnehmer zu erreichen und dem Naturschutz, sowie der Lebensqualität der Bürger gerecht zu werden.

## 2 Entwicklungsaufgaben und Forschungsfragen

Im ersten Teil der Arbeit steht die Leuchtenentwicklung im Vordergrund. Die vier Kanäle sollen später die Fahrbahn, Radweg, Fußweg und die Fassaden beleuchten. Aufgrund des technischen Aufwands und des Untersuchungsumfangs ist geplant vorerst nur drei Bereiche zu untersuchen und die Beleuchtung für den Radweg lediglich zu simulieren.

Technisch müssen folgende Fragen bearbeitet werden:

- Gibt es ein am Markt erhältliches Licht Management System, mit dem vier Dali Kanäle an einer Leuchte separat gesteuert werden können?  
(Mit dem derzeitigen Wissensstand können von wenigen Herstellern maximal zwei verschiedene Module gesteuert werden.)
- Gibt es elektronische Vorschaltgeräte (EVGs), welche für den Außenbereich zugelassen sind, mit vier Ausgängen?  
(Für den Prototyp kann ein RGBW-EVG der Firma eldoLED verwendet werden, welches für den Innenraum gedacht ist.)
- Sind die nach aktuellem Forschungsstand notwendigen Beleuchtungskriterien für unterschiedliche Nutzflächen mit einer Leuchte umsetzbar?

Folgende Forschungsfragen sollen anschließend untersucht werden:

- Entspricht das nach DIN 13201 geforderte Randbeleuchtungsstärkeverhältnis dem Sicherheitsempfinden der Nutzer oder können die Randbereiche der Nutzflächen effizienter ausgeleuchtet werden?
- Können die Straßennutzflächen differenziert beleuchtet werden oder müssen diese zusammenhängend betrachtet werden? Wo liegen die Schwellenwerte hinsichtlich der Nutzerakzeptanz und dem Sicherheitsempfinden?

## 3 Technische Umsetzung

Als „Trägergehäuse“ wird das Modell *Italo3* von der Firma AEC genutzt. Dieses Modell hat die nötige Baugröße um mehrere EVGs zu verbauen und den wesentlichen Vorteil, dass sich sechs LED-Module parallel zur Straße montieren lassen.

Um die nach Norm [5] geforderten Beleuchtungswerte zu erzielen und die daraus benötigten Lichtverteilungskurven zu generieren wird das Programm LightTools zur Simulation und Berechnung der Linsen verwendet. Für die Entwicklung wird eine einseitige Beleuchtung angenommen für eine motorisierte Straße mit zwei 3 m breiten Fahrspuren, ohne Trennung der Richtungen, mit beidseitigem Fußweg und angrenzender Fassade. Es werden verschiedene Masthöhen-Abstands-Verhältnisse simuliert. Zur Umsetzung kommt ein Mastabstand von 20m und eine Höhe von 6m.

Für die einzelnen, horizontalen Teilflächen soll mindestens eine mittlere Leuchtdichte von  $L_m=1\text{cd/m}^2$  erreicht werden. Optimiert wird die Leuchte nach Gleichmäßigkeit und Utilanz.

Die berechneten Linsen werden mit einem FDM 3D-Drucker gedruckt und getestet ob die Druck-Qualität den Anforderungen genügt. Falls dies nicht der Fall sein sollte werden handelsübliche Linsen verwendet, welche den Zielvorgaben bestmöglich entsprechen.

## 4 Wissenschaftliche Untersuchung

### 4.1 Lichttechnische Vermessung der Leuchte

Für die wissenschaftliche Untersuchung wird die Leuchte im Drehspiegel Goniophotometer vermessen um die realen Lichtstärkeverteilungskurven der verschiedenen LED-Module zu erhalten. Des Weiteren werden der absolute Lichtstrom, die Dimmkurve und das Spektrum aufgenommen.

### 4.2 Probandenversuche im 3D-Modell

Im zweiten Schritt wird ein 3D-Modell mit dem Programm Unity erstellt. Die Kalibrierung von VR-Brillen für Straßenbeleuchtungsszenen wird derzeit in anderen Projekten umgesetzt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Gleichmäßigkeit einen hohen Einfluss auf die Sichtbarkeit eines Hindernisses hat. Daher wird für die Untersuchung eine feste Gleichmäßigkeit gewählt und die Beleuchtungsstärke variiert um so das Randbeleuchtungsstärkeverhältnis für statische und dynamische Beleuchtung zu untersuchen. Dabei wird auf die Forschungsergebnisse von Haans und de Kort [6] zurück gegriffen und die Untersuchungen von Moskvina [7].

Folgende Untersuchungsszenarien sind geplant:

Beobachterttyp	Lichtart	Szene	Straße	Fußweg	Fassade/Rand
			$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$E_{m,h}$ [lux]	$E_{m,v}$ [lux]
Fußgänger, Autofahrer	statisch, dynamisch	Gerade Straße mit naher Fassade	0,1...1	1...10	0,2...10
		Gerade Straße mit Vorgärten			
		Gerade Straße mit anliegendem Park			

Figure 2: Untersuchungsdesign im 3D-Modell, dynamisch steht in diesem Fall für Mitlaufendes Licht

### 4.3 Probandenversuch auf realer Straße

Im dritten Schritt sollen die durch das 3D-Modell ermittelten Daten evaluiert werden, indem eine Probandenumfrage auf einer realen, geraden Straße mit naher Fassade durchgeführt wird. Dafür soll eine Projektstraße genutzt werden, welche mit den 4-Kanal-Leuchten ausgestattet wird. Die Umfrage wird einerseits als klassische Befragung an einem Abend durchgeführt und andererseits als Langzeitstudie über mehrere Tage. Die Validierung während der Langzeitstudie wird via BürgerApp durchgeführt.

Beobachterttyp	Lichtart	Szene	Straße	Fußweg	Fassade/Rand
			$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	$E_{m,h}$ [lux]	$E_{m,v}$ [lux]
Fußgänger, Autofahrer	statisch, dynamisch	Gerade Straße mit naher Fassade	0,1...1	1...10	0,2...10

Figure 3: Untersuchungsdesign realer Probandenversuch

Die Umfrage wird messtechnisch begleitet, sodass für die einzelnen Dimmstufen der Fahrbahn das Visibility Level berechnet wird.

## 5 Fazit

Ziel der Untersuchungen ist es Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten bei hohem Komfort und unter Einhaltung des Naturschutzes. Dazu wird mit intelligenter Steuerung eine nutzflächenbezogene Beleuchtung realisiert. Ergebnis der Arbeit wird einerseits eine technische Lösung zur gezielten und bedarfsgerechten Beleuchtung für Fußweg und Fahrbahn. Andererseits wird das Sicherheitsempfinden der Nutzer berücksichtigt und das Randbeleuchtungsstärkeverhältnis wissenschaftlich neu untersucht. Damit wird ein Beitrag geleistet dem Wunsch nach einer ganzheitlichen Planungsempfehlung für den öffentlichen Raum nachzukommen.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] S. BUSCHMANN, H. Schumacher: *Schlussbericht : StEffi*. Berlin, TU Berlin, FG Lichttechnik. Projektbericht. 2020-02-29
- [2] BUND/LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ: *Hinweise zur Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmission*. 13.09.2012
- [3] BMU: *Referentenentwurf des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit : Entwurf eines Gesetzes zum Schutz der Insektenvielfalt in Deutschland*. PDF. – Berlin. 2020-07-21
- [4] KRETZER, David Michael: *Beleuchtung und Kriminalität*
- [5] DIN EN 13201-2. Juni 2016. *DIN EN 13201-2*
- [6] HAANS, Antal ; KORT, Yvonne A.W. de: *Light distribution in dynamic street lighting: Two experimental studies on its effects on perceived safety, prospect, concealment, and escape*. In: *Journal of Environmental Psychology* 32 (2012), Nr. 4, S. 342–352
- [7] LIUBOV MOSKVINA: *Optimierung des Fassadenlichts in der Straßenbeleuchtung*. Hildesheim, HAWK Hildesheim, Fakultät Gestaltung MA Gestaltung. Master Thesis. 2016-07-22