

Matthias Groß, Andreas Bielawny | Alexander von Hoffmann (Hrsg.)

CAx Schriftenreihe – Band 3

Optische Auslegung einer LED-Straßenleuchte mit LucidShape

Matthias Groß, Andreas Bielawny | Alexander von Hoffmann (Hrsg.)

CAX Schriftenreihe – Band 3

Optische Auslegung einer LED-Straßenleuchte mit LucidShape

Impressum

© 2010 Steinbeis-Edition

Alle Rechte der Verbreitung, auch durch Film, Funk und Fernsehen, fotomechanische Wiedergabe, Tonträger jeder Art, auszugsweisen Nachdruck oder Einspeicherung und Rückgewinnung in Datenverarbeitungsanlagen aller Art, sind vorbehalten.

Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Groß, Dr. Andreas Bielawny

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. Alexander von Hoffmann, Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Lichttechnik

CAX Schriftenreihe – Band 3

Optische Auslegung einer LED-Straßenleuchte mit LucidShape

1. Auflage 2010 / Steinbeis-Edition, Stuttgart

ISBN 978-3-938062-30-2

Umschlaggestaltung: Steinbeis-Edition

Titelbild: Matthias Groß, Diplomarbeit „Entwicklung einer LED-Straßenleuchte, 2009

Druck: e. kurz + co druck und medientechnik gmbh, Stuttgart

Steinbeis ist weltweit im Wissens- und Technologietransfer aktiv. Zum Steinbeis-Verbund gehören derzeit rund 800 Steinbeis-Unternehmen sowie Kooperations- und Projektpartner in 50 Ländern. Das Dienstleistungsportfolio der fachlich spezialisierten Steinbeis-Unternehmen im Verbund umfasst Beratung, Forschung & Entwicklung, Aus- und Weiterbildung sowie Analysen & Expertisen für alle Management- und Technologiefelder. Ihren Sitz haben sie überwiegend an Forschungseinrichtungen, Universitäten und Hochschulen.

Dach des Steinbeis-Verbundes ist die 1971 ins Leben gerufene Steinbeis-Stiftung, die ihren Sitz in Stuttgart hat. Die Steinbeis-Edition verlegt ausgewählte Themen aus dem Steinbeis-Verbund.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	x
Vorwort	xi
1 Motivation	1
2 Leuchtmittel	3
3 DIN EN 13201 – Straßenbeleuchtung	6
3.1 Bestimmung der Gütemerkmale	6
3.2 Beispiel zur Bestimmung der Gütemerkmale	8
3.3 Gütemerkmale	12
3.3.1 Leuchtdichte	12
3.3.2 Beleuchtungsstärke	15
3.3.3 Gleichmäßigkeit	17
3.3.4 Blendungsbegrenzung	18
3.3.5 Umgebungs-Beleuchtungsstärkeverhältnis	19
3.3.6 Farbwiedergabe	19
4 Marktanalyse	20
5 Lastenheft	22
6 Design-Klassifizierung von LED-Straßenleuchten	26
6.1 Die „ideale“ normgerechte Straßenleuchte	26
6.2 Lichtquellen in der Straßenbeleuchtung	27
6.3 Klassifizierung von LED-Straßenleuchten	29
6.3.1 Lichtverteilung: gemeinsam oder segmentiert	30
6.3.2 Optik: individuell oder gemeinsam	31
6.3.3 Geometrie: direkt oder indirekt	31
6.3.4 Modularität: Single-Type oder Multi-Panel	32
6.3.5 Klassifizierungstafel	33
6.4 LED-Straßenleuchten – Beispielklassifizierung	34
6.4.1 Beispiel 1	34
6.4.2 Beispiel 2	34
6.4.3 Beispiel 3	36
6.5 Klassifizierung: Zusammenfassung und Schlussfolgerung	36

7	Optische Auslegung	38
7.1	Grundlagen <i>LucidShape</i>	38
7.2	Straßensimulation („Street Simulation“)	40
7.3	Wartungsfaktor („Maintenance Factor“)	42
7.4	Verluste des Reflektors und der Lichtscheibe	44
7.5	Skalierung der Lichtstärkeverteilung („Scale Dataset“)	45
7.6	Erstellen einer Freiformfläche („Create Optical FF Surface“)	46
7.6.1	Reflektorgeometrie („Set Grid“/„Grid Settings“)	47
7.6.2	Verbindung der Facetten („Set Gaps“)	50
7.6.3	Definition der Winkelbereiche („Set Spread“)	53
7.6.4	Festlegung der Berechnungsreferenzen der Segmente („Set F. Start“)	54
7.6.5	Erstellen der Lichtquelle („Set Source“)	55
7.6.6	Konfiguration des Sensors („Set Sensor“)	57
7.6.7	Simulationseinstellungen („Set Simulation“)	57
7.6.8	Weitere Einstellungen („Other Settings“)	58
7.6.9	Zusätzliche Geometriedateien („Set Extra“)	58
7.6.10	Abbildungen der Dialogboxen zu allen Einstellungen	59
7.7	Ergebnis	65
8	Konstruktion des Gehäuses	68
9	Simulation mit Gehäuse	71
9.1	Import der Leuchte von Rhinoceros nach <i>LucidShape</i>	71
9.2	Erstellen der Lichtquelle („Ray File Light Source“)	72
9.3	Konfiguration des Sensors („Candela Sensor“)	73
9.4	Materialzuweisung („Assign Material“)	73
9.5	Simulationseinstellungen („Simulate By Ray Trace“)	76
9.6	Abbildungen der Dialogboxen zu allen Einstellungen	78
9.7	Ergebnis	81
10	Überprüfung der Ergebnisse mit dem Programm <i>DIALux</i>	86
10.1	Vorbereitung	86
10.2	Straßenbeleuchtung in <i>DIALux</i>	90
10.3	Auswertung	98
10.4	Optimierte Leuchtenanordnung	100
10.5	Beispiel: mit <i>DIALux</i> gerenderte Straße	102
11	Zusammenfassung und Aussicht	103
	Literaturverzeichnis	106
	Abkürzungsverzeichnis	108
	Symbolverzeichnis	110

Abbildungsverzeichnis

1.1	Technologieverteilung Stand 2006 (Quelle: Statistisches Bundesamt).	1
1.2	Vorgehensweise.	2
2.1	Effizienz verschiedener Lichtquellen	4
2.2	Vergleich zweier Spektren	5
3.1	Vorgehensweise zur Bestimmung der Güteermkmale.	9
3.2	Beispiel zur Bestimmung der Beleuchtungsklasse.	11
3.3	Erforderliche Größen für die Berechnung von L bzw. E	12
3.4	Bewertungsfeld.	13
3.5	Lage der C-Ebenen auf einer Straße.	14
3.6	Lichtverteilungskurve (LVK).	14
3.7	Umgebungs-Beleuchtungsstärkeverhältnis.	19
4.1	Städte mit Straßen, die LED-Technik verwenden	21
5.1	Bestimmung der Masthöhe für das Lastenheft.	24
5.2	Bestimmung des Mastabstandes für das Lastenheft.	25
5.3	Bestimmung des Energieverbrauches für das Lastenheft.	25
6.1	Beispiel für eine idealisierte Beleuchtungslösung	27
7.1	Komponenten einer Simulation.	38
7.2	Testschirm (links) und Baumdiagramm (rechts).	39
7.3	„Street Simulation“-Dialogbox – „Rückwärts Berechnen“.	40
7.4	Lichtstärkeverteilung und Verteilung der Beleuchtungsstärke	41
7.5	Überlagerung der Beleuchtungsstärke	41
7.6	Rückgang des Lichtstroms mit der Zeit	42
7.7	Zusammenhang zwischen Beleuchtungsstärke und Leuchtenreinigung.	44
7.8	Skalierung der Lichtstärkeverteilung.	45
7.9	„Create Optical FF Surface“-Dialogbox.	46
7.10	Lage und Größe des Reflektors in der Rückansicht.	48
7.11	Prinzip zur Definition der Winkelabschnitte.	53
7.12	Normierung der Abmessungen einer Facette.	54
7.13	Abstrahlcharakteristik Osram Ostar ® LE UW E3B	56
7.14	Abstand zwischen LED und Reflektor.	57
7.15	„Grid Settings“-Dialogbox.	59
7.16	„Gap Settings“-Dialogbox.	59
7.17	„Set Facet Spread“-Dialogbox – horizontale Abstrahlwinkel.	60

7.18	„Set Facet Spread“-Dialogbox – vertikale Abstrahlwinkel.	60
7.19	„Set Facet Spread“-Dialogbox – Ebenensystem der Zielfläche.	60
7.20	„Set Facet Spread“-Dialogbox – „Macrofocal Edge Ray Use“.	61
7.21	„Set Facet Z Steps, Reference, Start Point“-Dialogbox 01	61
7.22	„Set Facet Z Steps, Reference, Start Point“-Dialogbox 01	62
7.23	„Set Facet Z Steps, Reference, Start Point“-Dialogbox 02	62
7.24	„Light Source Settings“-Dialogbox.	63
7.25	„Set Sensor“-Dialogbox.	63
7.26	„Copy Ray File“-Dialogbox.	64
7.27	„Set Simulation“-Dialogbox.	64
7.28	„Other Settings“-Dialogbox.	65
7.29	Filter-Funktion.	66
7.30	Lichtstärkeverteilung des Reflektors	66
7.31	„UV Data Properties“-Dialogbox.	67
8.1	Arbeitsfenster Rhinoceros.	68
8.2	Gerenderte 3D-Ansicht der Leuchte.	69
8.3	Außenmaße des Gehäuses in Millimetern.	70
9.1	Ausrichtung der Leuchte.	71
9.2	<i>LucidShape</i> Grundeinstellungen.	72
9.3	Position des „Ray-Files“ [OSRA08].	74
9.4	Vorgehensweise bei der Zuweisung von Materialeigenschaften.	75
9.5	Brechung der Lichtstrahlen beim Übergang in ein anderes Medium.	76
9.6	Baumdiagramm und Editierfenster.	77
9.7	„Rhino ↔ LucidShape Transfer Utility“-Dialogbox.	78
9.8	„Ray File Light Source“-Dialogbox.	78
9.9	„Candela Sensor“-Dialogbox.	79
9.10	„Assign Material“-Dialogbox.	79
9.11	„Assign Material“-Dialogbox – Materialbibliothek.	80
9.12	„Simulate By Ray Trace“-Dialogbox.	80
9.13	Lichtstärkeverteilung des Leuchte	81
9.14	LID Measure Point Or Zone	81
9.15	Deaktivieren der Flächen der LED und des Stegs.	83
9.16	„Street Simulation“-Dialogbox – Straßensimulation.	84
9.17	3D-Darstellung der Straße.	85
9.18	Beleuchtungsstärke auf der Straße.	85
9.19	Auswertung der Leuchte über „Classify“-Funktion.	85
10.1	Darstellung der Lichtstärkeverteilung in „X-Pole“ und „Z-Pole“.	86
10.2	Einstellung zur Konvertierung nach „Z-Pole“.	87
10.3	<i>DIALux</i> Standardfenster.	90
10.4	<i>DIALux</i> Assistent – „Straßen Schnellplanung“.	90
10.5	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 01	91
10.6	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 02	91
10.7	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 03	92

10.8	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 04	92
10.9	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 05	93
10.10	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 06	93
10.11	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 07	94
10.12	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 08	94
10.13	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 09	95
10.14	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 10	95
10.15	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 11	96
10.16	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 12	96
10.17	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 14	97
10.18	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 15	97
10.19	<i>DIALux</i> – Straße – 3D Ansicht – Falschfarben	98
10.20	<i>DIALux</i> – Straße – Auswertung – Graustufen (E)/Falschfarben	99
10.21	Optischer Vergleich der Auswertung zwischen <i>LucidShape</i> und <i>DIALux</i>	100
10.22	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 16	101
10.23	„ <i>DIALux</i> Street Light Assistent“ – 17	102
10.24	Mit <i>DIALux</i> gerenderte Straße	102

Tabellenverzeichnis

3.1	Tabelle zur Bestimmung der Beleuchtungssituation	7
3.2	Beispiele für die verschiedenen Beleuchtungssituationen	7
3.3	Zuordnung der Beleuchtungsklassen	8
3.4	Beispiel zur Auswahl der Beleuchtungssituation – Schritt 1.	9
3.5	Beispiel zur Bestimmung der Beleuchtungsklasse – Schritt 2-1.	10
3.6	Beispiel zur Bestimmung der Beleuchtungsklasse – Schritt 2-2.	10
3.7	Gütemerkmale der Beleuchtungsklasse ME2 – Schritt 3.	10
3.8	Arten der Beleuchtungsstärke.	16
4.1	Auszug aus der Marktanalyse	20
5.1	Lastenheft.	24
6.1	Übersicht von herkömmlichen und neuen Leuchtmittel	28
6.2	Klassifizierungstafel.	33
6.3	Beispiele und ihre Designklassifizierungen.	35
7.1	Leuchtenwartungsfaktoren für staubgeschützte Gehäuse	43
7.2	Übersicht der Einstellmöglichkeiten	46
7.3	Beispiele zu der äußeren Form des Reflektors	47
7.4	Berechnungsfunktion und Anzahl der Elemente pro Facette	49
7.5	Vergleich der Berechnungsmethoden des Reflektors	51
7.6	Vergleich verschiedener Füllmethoden	52
7.7	Beispiele für Ausformschrägen bei der Füllmethode „Surface“.	52
7.8	Beispiele für die Berührungspunkte zweier Facetten.	55
10.1	Eulumdat-Datensatz	87
10.2	Bearbeitung der Eulumdat-Daten	89
10.3	Falschfarben-Werte.	98
10.4	Vergleich der Auswertung zwischen <i>LucidShape</i> und <i>DIALux</i>	100

Vorwort

Die vorliegende Publikation soll untersuchen, inwieweit es möglich ist, Beleuchtungstechniken aus der Kraftfahrzeugbeleuchtung, das heißt, das Licht über einen Reflektor auf die Straße zu bringen, auch auf Straßenleuchten anzuwenden sind. Um eine stromsparende Leuchte zu entwerfen, soll nur eine einzige Leuchtdiode verwendet werden. Im Vordergrund steht dabei die optische Auslegung mit dem Licht-Simulationsprogramm *LucidShape*. Das Gehäuse wird konstruiert, um ein Gesamtbild der Leuchte zu erhalten. Darüber hinaus wird erklärt, welche Forderungen die *DIN EN 13201* zur Straßenbeleuchtung an die Beleuchtung stellt. Eine Marktanalyse und die Festlegung eines Lastenhefts runden die theoretischen Grundlagen ab.

Auf Details, wie die Steuerung der LED und die Möglichkeiten der Befestigung verschiedener Bauteile, wird nicht weiter eingegangen. Eine thermische Simulation, um zu untersuchen, ob das Gehäuse genügend Wärme an die Umgebung abführt, ist ebenfalls kein Bestandteil der Arbeit.

Für die Unterstützung dieser Arbeit möchte ich mich herzlichst bei Prof. Dr.-Ing. Alexander von Hoffmann (*Georg-Simon-Ohm Hochschule Nürnberg*) und Dr. Andreas Bielawny (*Brandenburg GmbH*) bedanken.

Matthias Groß, Oktober 2010

1 Motivation

Mehr als 40 % der Straßenbeleuchtung verwendet zur Lichterzeugung Lampen, die Quecksilber enthalten (Abbildung 1.1). In naher Zukunft beabsichtigt die EU-Kommission der Quecksilberdampf-Lampe die CE-Kennzeichnung zu entziehen [TUDA08]. Dies bedeutet, dass dieser Lampentyp in Europa nicht weiter verkauft werden darf und durch einen anderen ersetzt werden muss.

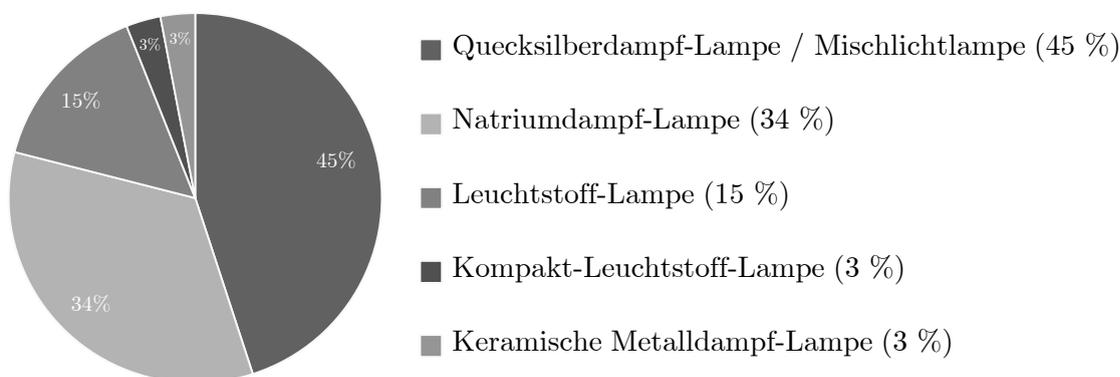


Abbildung 1.1: Technologieverteilung Stand 2006 (Quelle: Statistisches Bundesamt).

Dazu kommt, dass über ein Drittel der Straßenbeleuchtung älter als 20 Jahre ist. Diese Leuchten besitzen veraltete und verschmutzte Reflektoren und haben einen schlechten Wirkungsgrad [EUPR08]. Leuchtdioden werden immer leistungsfähiger und es liegt nahe, diese auch in der Straßenbeleuchtung einzusetzen. Gegenüber alternativen Leuchtmitteln, wie z. B. der Natriumdampf-Hochdruck-Lampe, bieten LED viele Vorteile:

- **Energieeinsparung und Klimaschutz** [TUDA08]

Ca. vier Millionen Kilowattstunden Strom werden in Deutschland alleine für die Straßenbeleuchtung verbraucht. Die Energieeffizienz bei Leuchtdioden ist im Vergleich zu vielen anderen Lampentypen generell besser (vergleiche Abbildung 2.1 auf Seite 4). Daher könnte der CO₂-Ausstoß um ca. 1,6 Millionen Tonnen gesenkt und Stromkosten in Höhe von ca. 400 Millionen Euro eingespart werden.

- **Wartungskosten**

Aufgrund der hohen Lebensdauer von über 50.000 Stunden (dies entspricht bei einem Betrieb von 4.000 Stunden pro Jahr einer Lebensdauer von über zwölf Jahren) fallen nur sehr