

Dipl.-Ing.(FH) Bernd Kettlein

Reflektordesign mit LUCIDSHAPE

Lichts simulationssoftware und deren unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten sind bei der Entwicklung von Scheinwerfern und Heckleuchten für die Automobilindustrie kaum noch weg zu denken. In Konzeptphasen können hier sehr schnell lichttechnische Machbarkeit und Bauraumdaten analysiert werden. In anschließenden Baustufen können entsprechende Konzepte ausgearbeitet und optimiert werden. Die Software LUCIDSHAPE verfügt hier über verschiedene Algorithmen die bei gängigen Beleuchtungssystemen zum Einsatz kommen.

Anhand des Beispiels eines Fahrtrichtungsanzeigers (FA) für Frontscheinwerfer mit einer Anbauhöhe <750mm soll das Vorgehen bei der Entwicklung im Folgenden veranschaulicht werden.

Konzeptphase

Die Konzeptphase beschreibt den Abschnitt eines Projekts vor der Erstellung eines ersten Werkzeuges für die Fertigung. Alle Normen und Vorschriften bezüglich der Lichtfunktion müssen hier bereits erfüllt werden. Anhand eines vorliegenden Bauraumes in Form eines CAD – Modells soll ein geeignetes Beleuchtungskonzept erarbeitet werden. Für die Funktion des Fahrtrichtungsanzeigers werden üblicherweise Linsenmodule, Reflektorsysteme sowie Lichtleiterlösungen eingesetzt. Die verschiedenen Systeme können noch in ihrer Leuchtmittelverwendung unterteilt werden. Generell können hier Halogenlampen, Glühlampen oder Leuchtdioden zum Einsatz kommen.

Vorgabe

Im folgenden Beispiel soll ein Fahrtrichtungsanzeiger mittels Reflektorsystem und Glühlampe für eine Zulassung in Europa (ECE - economic commission for europe) und USA (SAE - Society of Automotive Engineers) beispielhaft entwickelt werden. Der folgende Bauraum soll für die Blinkerstudie zur Verfügung stehen.

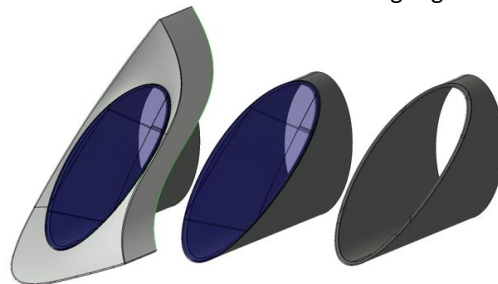


Abbildung 1 Bauraum mit Blendenausschnitt und Zwischenlichtscheibe

Aufgrund der vorliegenden Bauraumdaten und der auszulegenden Lichtfunktion kann ein entsprechender Berechnungsalgorithmus für den Reflektor in LUCIDSHAPE ausgewählt werden. Die Entscheidung fällt hier auf den MF - Reflektoralgorithmus für Automotive Signalleuchten. Der facettenreiche Reflektor ist für Signalfunktionen wie Fahrtrichtungsanzeiger gut geeignet. Die einzelnen Facetten können hier optimal auf die komplexe Verteilung des Blinkers ausgerichtet werden.

Die von der Norm geforderten Minimal- und Maximallichtwerte des Fahrtrichtungsanzeigers sind abhängig vom geometrischen Abstand zur Abblendlichtfunktion. Bei einem Abstand >40mm zum Abblendlicht liegen diese bei der ECE zwischen 175 und 700cd, wobei die SAE ein Minimum von 500cd vorschreibt. Um die Sichtbarkeit des Blinkers bei Abblendlichtbetrieb zu gewährleisten steigt die geforderte minimale Lichtstärke bei kleiner werdendem Abstand zwischen den beiden

Lichtfunktionen. Für eine Zulassung in beiden Regularien muss daher die auszulegende Lichtverteilung in ihrem Zentrum zwischen 500cd und 700cd liegen. Prüfprotokolle der einzelnen Regularien zeigen dabei jeweils den Min- und Maximalwert der vorgeschriebenen Lichtfunktion. Dazwischen wird der IST-Wert der aktuellen Verteilung angezeigt.

[deg]	I	-80	I	-30	I	-20	I	-10	I	-5.0	I	0.00
	I	400	I	400	I	400	I	400	I	400	I	400
15	I	1.1	I	17	I	19	I	24	I	16	I	37
	I	0.30	I	0.30	I	0.30	I	0.30	I	0.30	I	0.30
	I	400	I		I		I	700	I	700	I	
10	I	1.3	I		I		I	128	I	146	I	
	I	0.30	I		I		I	35	I	35	I	
	I	400	I		I	400	I	700	I		I	700
5	I	0.62	I		I	67	I	250	I		I	486
	I	0.30	I		I	18	I	35	I		I	123
	I	400	I		I		I	700	I	700	I	700
0	I	1.0	I		I		I	368	I	659	I	654
	I	0.30	I		I		I	61	I	158	I	175
	I	400	I	400	I	400	I	700	I		I	700
-5	I	0.72	I	17	I	58	I	226	I		I	430
	I	0.30	I	0.53	I	18	I	35	I		I	123

Abbildung 2 Ausschnitt Prüfprotokoll (FA) nach ECE R6 Cat. 1

Die horizontale Sollverteilung des Blinkers erstreckt sich von +45° bis -80°. Der geforderte Winkelbereich kann aufgrund eingrenzender Bauraumgeometrie oft nicht erfüllt werden. Hier können verschiedene Strukturen auf der Außenlichtscheibe oder der Zwischenlichtscheibe eingesetzt werden, um die großen Winkel bis 80° zu erreichen. Verschiedenste Strukturformen von dreieckig bis parabelförmig sind hier denkbar.

Einstellen der Reflektorparameter

Die Lichtverteilung die mittels Reflektor (Geometrie zur Lichtlenkung) erzielt wird, kann über verschiedene Hauptmenüs eingestellt und gesteuert werden.

- *Initial Set (Grundeinstellungen)*
- *Set Grid (Reflektorgeometrie)*
- *Set Source (Lichtquelleneinstellung)*
- *Set Gaps (Facettenverbindung)*
- *Set Facets (Facetteneinstellung)*
- *Set Sensor (Detektordefinition)*

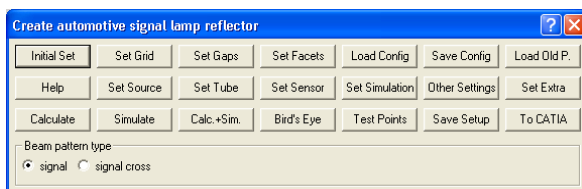


Abbildung 3 Hauptmenüträgerleiste

Zusätzlich zu den einzelnen Konfigurationsmenüs lässt die Grundeinstellung des Reflektors eine Auswahl zwischen „signal“ und „signal cross“ zu. Über die Auswahl „signal cross“ wird die entstehende Lichtverteilung zusätzlich längs der

horizontalen und vertikalen Achse gebündelt, z.B. für Tagfahrlichtverteilungen.

Einstellen der Grundform und Außenmaße

Die Außenmaße und Grundeinstellungen eines Reflektors lassen sich über die Funktion „Set Grid“ konfigurieren. Die Einstellung der Außenmaße des Reflektors erfolgt über die Anzahl der Facetten und deren Größe. Z.B.

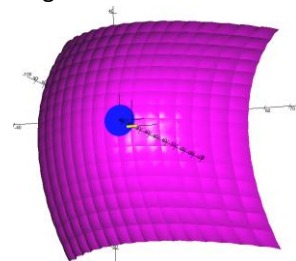


Abbildung 4 Ausgangsbasis für MF - Reflektor

5 Facetten nebeneinander á 7mm Breite ergibt eine Gesamtbreite von 35mm. Analog hierzu erfolgt die vertikale Einstellung.

Für symmetrische Reflektormaße kann die Funktion „mirror left block(s)“ und „mirror upper block(s)“ verwendet werden, um die einzelnen Quadranten zu spiegeln.

Der Reflektorauslauf an den Ecken kann über die Funktion „grid edge“ (z.B. rund, rechteckig oder auch elliptisch) definiert werden.

Im aktuellen Bauraum wird eine unverschnittene, rechteckige Reflektorfläche von 96x55mm benötigt. Da die Form des vorgegebenen Bauraumes sehr unsymmetrisch ist, wird hier auf eine Spiegelung der Reflektorquadranten verzichtet. Quadrant L(links oben) und R (rechts oben) werden auf je 16 Facetten eingestellt. Quadrant LD (links unten) wird 32 und Quadrant RD (rechts unten) mit 56 Facetten ausgestattet.

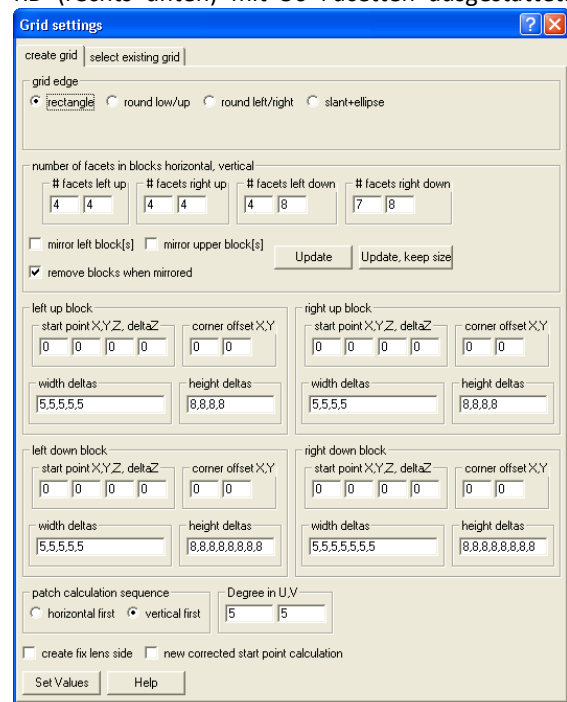


Abbildung 5 Menü für Reflektorgeometrie

Bei der Einstellung der Facettenzahl gilt es folgende Punkte aufeinander abzustimmen: viele Facetten für mehr Flexibilität bei der Einstellung der Lichtverteilung, wenige Facetten für einfachere Herstellbarkeit und geringeren Entwicklungsaufwand. Der FA-Reflektor besitzt somit 120 einzelne Facetten, deren Abstrahlwinkel jeweils unterschiedlich eingestellt werden können. Zusätzlich zu den Abmaßen können hier die Quadrantenstartpunkte einzeln definiert werden.

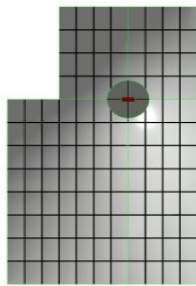


Abbildung 6
asymmetrischer
Reflektoraufbau

Auswahl der Lichtquelle

Über die Auswahl und Positionierung (Abstand: Reflektor – Wendelage) der Lichtquelle kann die Krümmung des Reflektors beeinflusst werden, um dessen Form an komplexe Umgebungsgeometrie anzupassen. Je weiter die Lichtquelle vom Reflektor entfernt platziert wird, desto weiter öffnet sich der Reflektor. Ebenso abhängig von der Lichtquelle ist der Durchmesser des Lampendurchbruchs im Zentrum des Reflektors. Für das aktuelle Beispiel des Fahrtrichtungsanzeigers soll eine HY21W als Lichtquelle eingesetzt werden.

Daten der Lichtquelle: Spannung 12V
Leistung 21W
Lichtstrom 300lm ±17%
Farbe gelb

Aufgrund der geringen Baugröße der Halogenlampe, kann auch der Durchmesser des Lampendurchbruchs (ca. 15mm) sehr klein gewählt werden, wodurch mehr nutzbare Reflektorfläche zur Verfügung bleibt.

Für erste Simulationen können auch vereinfachte Lichtquellen verwendet werden. Das heißt, Flächenmodelle der Lampenwendel mit lambert'scher Abstrahlcharakteristik führen hier in erster Näherung schnell zu einem guten Ergebnis.

Einstellung der Facetten

Um die Lichtverteilung entsprechend der ECE-Vorgaben erzeugen zu können werden die Facetten auf einen bestimmten Winkelbereich ausgerichtet. Hier ist neben einer globalen

Einstellmöglichkeit für alle Facetten auch eine Einzeleinstellung der Facetten möglich.

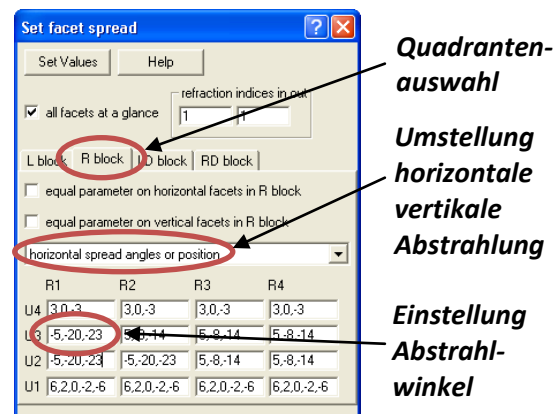
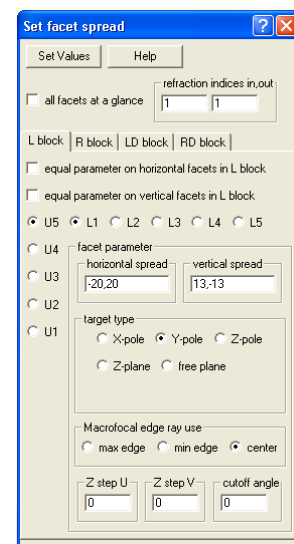


Abbildung 7 Menü für Facetteneinstellung (tabellarisch)

Eine Möglichkeit die Lichtverteilungen zu definieren besteht darin, Tabellen (Vertikale und Horizontale Abstrahlwinkel) zu definieren. Die Zahlen in den jeweiligen Zellen der vier Quadranten geben den auszuleuchtenden Winkelbereich für die entsprechende Facette (z.B. -3° bis +3°) an. Die Winkelbereiche können natürlich in allen Zellen unterschiedlich variiert werden. Die Tabellenbeschriftung R1-R4 gibt die Facettenzahl in horizontaler Richtung nach rechts an. Die Tabellenbeschriftung U1-U4 gibt die Facettenzahl in vertikaler Richtung nach oben an.

Bei asymmetrischen Reflektorgeometrien kann die Einstellung jeder einzelnen Facette auch direkt erfolgen. Hier kann jede Facette einzeln, wie in einem Koordinatensystem ausgewählt und horizontal und vertikal konfiguriert werden. Es können zusätzlich zum Abstrahlwinkel auch „cutoff angle“ oder die Schritte zwischen den einzelnen



Facetten eingestellt werden. Bei Reflektoren mit sehr vielen Facetten wird diese Art der Einstellung jedoch sehr schnell sehr unübersichtlich.

Abbildung 8 Menü für Facetteneinstellung (direkt)

Zuordnung der Facetten

Bei der Ausrichtung der Facetten sollte darauf geachtet werden, dass die geometrische Sichtbarkeit für den auszuleuchtenden Bereich gegeben ist. Die von den Facetten emittierten Strahlen dürfen nicht von anderer Geometrie abgeschattet werden. Weiterhin ist es vorteilhaft die geometrische Krümmung des Reflektors um die Lichtquelle zu nutzen. Das bedeutet, Facetten der linken Seite für Ausleuchtung der rechten Seite und die unteren Facetten für die Ausleuchtung der oberen Seite und umgekehrt zu verwenden.

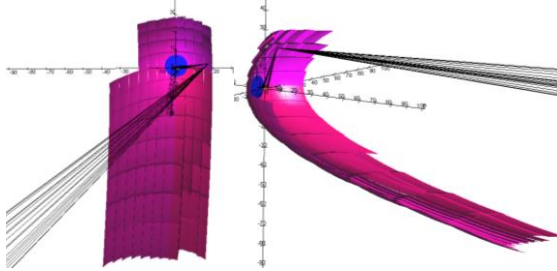


Abbildung 9 Interaktives Raytracing (Strahlverfolgung)

Über das interaktive Raytracing (Strahlverfolgung) kann sehr schnell die Einstellung der Facetten überprüft werden. (Lichtstrahlen hier schwarz eingezeichnet). Die Prüfstrahlen berücksichtigen hierbei jede Geometrie und deren Einfluss auf die Strahlen.

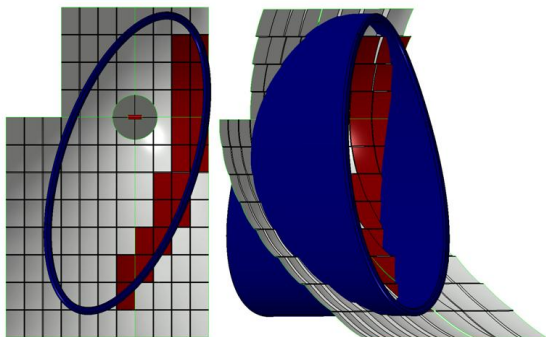


Abbildung 10 Facettenzuordnung mittels Drehung des gesamten Bauraumes und anschließender Sichtprüfung

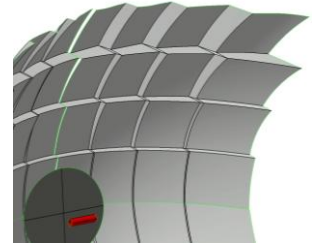
Im vorhandenen Beispiel könnten somit die dunkelrot eingefärbten Facetten für die Winkelbereiche bis $+45^\circ$ eingesetzt werden, da nur diese eine Abstrahlung in den positiven Winkelbereich ermöglichen. Die übrigen Facetten werden für eine Abstrahlung in diesen Winkelbereich durch den hier blau gekennzeichneten Bauraum abgeschattet.

Einstellung der Facettenverbindung

Über die Einstellung „Set gaps“ kann die Verbindung zwischen den einzelnen Facetten definiert werden. Hier sind unterschiedliche Arten

der Verbindung möglich. Für eine Vorabauslegung des Reflektors kann auf Facettenübergänge oft gänzlich verzichtet werden, um Streulicht oder Verfälschungen der Verteilung zu vermeiden.

Idealerweise kann der Sprung von Facette zu Facette mit einer Fläche verbunden werden. Für Spritzgussteile kann über den Abstand der einzelnen Facetten voneinander in der „gaps“-Einstellung die Ausformschräge gesteuert werden. Durch den Abstand und den Sprung zwischen



den Facetten ergibt sich die Ausformschräge der Verbindungsfläche. Für Frästeile bei Prototypen ist dies jedoch fertigungstechnisch oft sehr problematisch, da hier herkömmlichen Fräsverfahren max. eine Eckengenauigkeit von 0,3mm erlauben. Dies ist besonders für kleine Reflektoren sehr kritisch, da der Nutzanteil der einzelnen Facettenfläche prozentual klein wird. Weniger kritisch ist dies für sehr große Reflektoren mit wenigen Facetten, da hier die Facettennutzfläche prozentual groß bleibt.

Für Reflektoren mit sehr kleinen Sprüngen zwischen den einzelnen Facetten können diese mit einem Durchschnittswert ausgeglichen werden. Das bedeutet, dass ein Durchschnittswert aus den



Facettenrandsteigungen gebildet wird. Die Facettenbegrenzungen gehen direkt ineinander über. Reflektoren dieser Art sind wesentlich einfacher zu fertigen. Nachteilig ist diese Art der Verbindung jedoch für sehr kleine Facetten, da der Ausgleichsbereich im Verhältnis zur Facettengröße sehr groß wird. Die eingestellten Abstrahlwinkel werden nicht mehr eingehalten.

Bei der Bildung des Durchschnittswertes kann auch eine Gewichtung eingestellt werden. Das heißt: Der Facettenübergang von Facette 1 auf Facette 2 kann sich an der Randsteigung von Facette 1 oder an der Randsteigung von Facette 2 orientieren. Hierbei wird größtenteils nur die angepasste Facette verändert.

Simulation

Mit den entsprechenden Einstellungen bezüglich Lichtquelle, Abmaße und Facettenausrichtung können erste Simulationen durchgeführt werden. Für erste Vorabsimulationen wird nur der Reflektor ohne Zuschnitt und Begrenzungsgeometrie getestet.

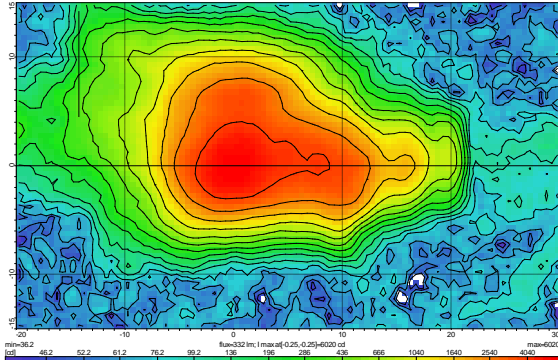


Abbildung 13 Simulationsergebnis – Reflektor ohne Umgebungsgeometrie

Der zentrale Bereich kann mit dem vorhandenen Reflektor komfortabel ausgeleuchtet werden. Um die Anforderungen (Minimal- und Maximalwerte) in den großen Winkelbereichen zu erfüllen muss jedoch eine zusätzliche Streuoptik in die Außenscheibe oder die Zwischenlichtscheibe eingebracht werden. Mittels schmäler sehr steil abfallender Strukturen können hier Strahlableitungen mit sehr großen Winkeln erzielt werden.

Weiterhin müssen bei vereinfachten Simulationen Skalierungsfaktoren mit einkalkuliert werden um entsprechende Materialeigenschaften wie z.B. Reflektionsgrad, Brechungsindex, sowie Fresnelverluste zu berücksichtigen.

Einpassen und Prüfen des Reflektors

Nach einigen Optimierungsschleifen hinsichtlich Facettenausrichtung und Strukturoptimierung auf der Scheibe muss das Gesamtsystem angepasst werden. Die einzelnen Komponenten müssen hier in den Bauraum eingepasst und aufeinander

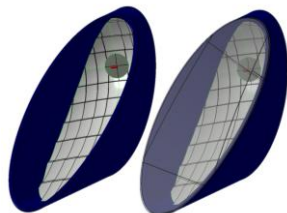


Abbildung 14 zugeschnittener Reflektor für FA

eingestellt werden. Abschließend wird eine Kontrollsimulation inkl. aller Bauteile und Scheiben mit entsprechenden Materialzuweisungen durchgeführt, um sicherzustellen dass alle geforderten Lichtwerte erfüllt werden.

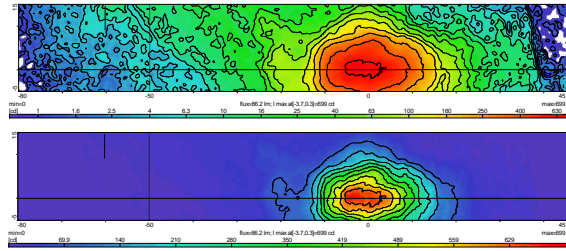


Abbildung 15 Simulationsergebnis – Kompletter Aufbau (logarithmisch und linear)

Das Simulationsergebnis kann abschließend mit einem softwareinternen Prüfprotokoll auf Einhaltung der ECE oder SAE - Regularien kontrolliert werden.

```

Date      : Fri Mar 06 12:56:55 2009
Scale     : 1.00
LID name  : lid luminous intensity [cd]
Regulation:
front turn signal: ECE R6 Cat 1; left; <=750nm; yellow
=====
(deg) I -80 I -30 I -20 I -10 I -5 0 I 0 00 I 5 0 I 10 I 20 I 30 I 45 I
-----
15 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I 400 I
I 1.1 I 17 I 19 I 24 I 16 I 37 I 16 I 10 I 6.8 I 3.7 I 0.65 I
I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I 0.30 I
-----
I 400 I I I I 700 I 700 I 700 I I I I 400 I
10 I 1.3 I I I I 128 I 146 I 88 I I I I 0.69 I
I 0.30 I I I I 35 I 35 I 35 I I I I 0.30 I
-----
I 400 I I 400 I 700 I I 700 I I 700 I 400 I I 400 I
5 I 0.62 I I 67 I 250 I I 486 I I 234 I 39 I I 0.63 I
I 0.30 I I 18 I 35 I I 123 I I 35 I 18 I I 0.30 I
-----
I 400 I I I 700 I 700 I 700 I 700 I I I 400 I
0 I 1.0 I I I 368 I 659 I 654 I 581 I 372 I I I 0.86 I
I 0.30 I I I 61 I 158 I 175 I 158 I 61 I I I 0.30 I
-----
-5 I 400 I 400 I 400 I 700 I I 700 I I 700 I 400 I 400 I 400 I
I 0.72 I 17 I 58 I 226 I I 430 I I 214 I 59 I 6.8 I 3.0 I
I 0.30 I 0.53 I 18 I 35 I I 123 I I 35 I 18 I 0.53 I 0.30 I
-----
name      value OK   min   max   test pos./area H,H',V,V   found pos.
          [lx]      [lx] [lx] [deg]
I max     699.1 OK   --   700.0
I o-border 160.0 OK   0.30 400.0
          -3.7,0.3
          -2.3,10.1
The light intensity distribution is OK
    
```

Abbildung 16 gesamtes Prüfprotokoll - Fahrtrichtungsanzeiger

Das Prüfprotokoll zeigt für jeden von der ECE geforderten Wert neben den Minimal- und Maximalwert den Istwert der Lichtstärke auf der detektierten Verteilung. Befinden sich alle Messwerte in den vorgegebenen Bereichen, somit ist die Lichtverteilung in Ordnung und der Reflektor für eine Prototypenfertigung verwendbar.

Fazit

Je komplexer (kleiner und unförmiger) der zur Verfügung gestellte Bauraum, desto höher der Entwicklungs- und Optimierungsaufwand. Reflektoren mit wenig optisch funktionaler Fläche verringern die Effizienz des optischen Systems. Zusätzliche Scheiben (ggf. mit Strukturen) und starke Feilungen führen zu zusätzlichen Verlusten. Trotzdem kann durch geschickten Umgang mit dem Lichtsimulationstool das verbleibende Licht zielgenau in die entsprechenden Nutzbereiche gebracht werden.