

# Night Distance Light



**LuxJunior 2011**  
**Dipl.-Ing. (FH) René Übler**

## Inhaltsverzeichnis

Motivation .....	2
Geometrische und optische Rahmenbedingungen .....	3
Konzepte .....	6
Konzept 1: LED + Kollimator .....	6
Konzept 2: LED Kollimator mit Linse .....	8
Konzept 3: Direkte Abbildung der Lichtquelle auf die Straße .....	10
Unerwünschte Nebeneffekte .....	17
Zulassungsprobleme .....	17

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prinzipskizze Night Distance Light.....	2
Abbildung 2: Geometrische Rahmenbedingungen .....	3
Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel und Abstand zum PKW bei fester Strichlänge.....	4
Abbildung 4: Abmessung Bauraum einer Heckleuchte .....	5
Abbildung 5: LED Kollimator .....	6
Abbildung 6: Setup LucidShape, LED Kollimator.....	7
Abbildung 7: Intensitäts-Lichtverteilung Konzept 1 .....	7
Abbildung 8: Formelle Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Brennweite und Linsenradius.....	8
Abbildung 9: Dimensionierung der Linse (Skizze).....	9
Abbildung 10: Konzeptvarianten LED-Kollimator und Linse.....	9
Abbildung 11: Simulationsergebnisse der Konzeptvarianten; links ohne Luftspalt, rechts mit Luftspalt.....	10
Abbildung 12: Herleitung projizierte Fläche .....	11
Abbildung 13: Screenshot der Konfiguration im Tool LINOS PreDesigner.....	11
Abbildung 14: Auszug aus dem Excel-Sheet zur Parametrisierung von Konzept 3 .....	12
Abbildung 15: Mögliches Setup mit Primäroptik, Blende und Sammellinse .....	12
Abbildung 16: Details zum Nachbau des Konzepts 3 in LucidShape .....	13
Abbildung 17: Beleuchtungsstärkesensor des beleuchteten Fahrbahnabschnittes .....	13
Abbildung 18: Simulationsergebnis projizierte Fläche für Rotational Lens .....	14
Abbildung 19: Potato Lens und Parameterdialog in LucidShape .....	14
Abbildung 20: Aufbau Konzept 3 mit Potato Lens in LucidShape .....	15
Abbildung 21: Beleuchtungsstärkesensor auf der projizierten Fläche .....	15
Abbildung 22: Beleuchtungsstärkesensor auf dem beleuchteten Fahrbahnabschnitt .....	15
Abbildung 23: Auszug aus ECE R38, Nebelschlusslicht .....	18

## Motivation

In der heutigen Zeit steigt die Anzahl der Verkehrsteilnehmer stetig an. Dies hat eine immer größer werdende Verkehrsdichte zur Folge, die sich vor allem auf den Autobahnen und Schnellstraßen widerspiegelt.

Durch die zunehmende Dichte des Verkehrs kommt es häufiger zu Auffahrunfällen, die auf zu dichtes Auffahren zurückzuführen sind.

Das Night Distance Light (NDL) erzeugt eine visuelle Grenzlinie hinter dem vorausfahrendem PKW, die den Verkehrsteilnehmer daran erinnert einen gewissen Abstand zum Vordermann einzuhalten.

Diese Grenzlinie ist ein Lichtband, dass im Abstand von 10-15 Meter hinter dem Fahrzeug projiziert wird und den Fahrstreifen rot ausleuchtet.

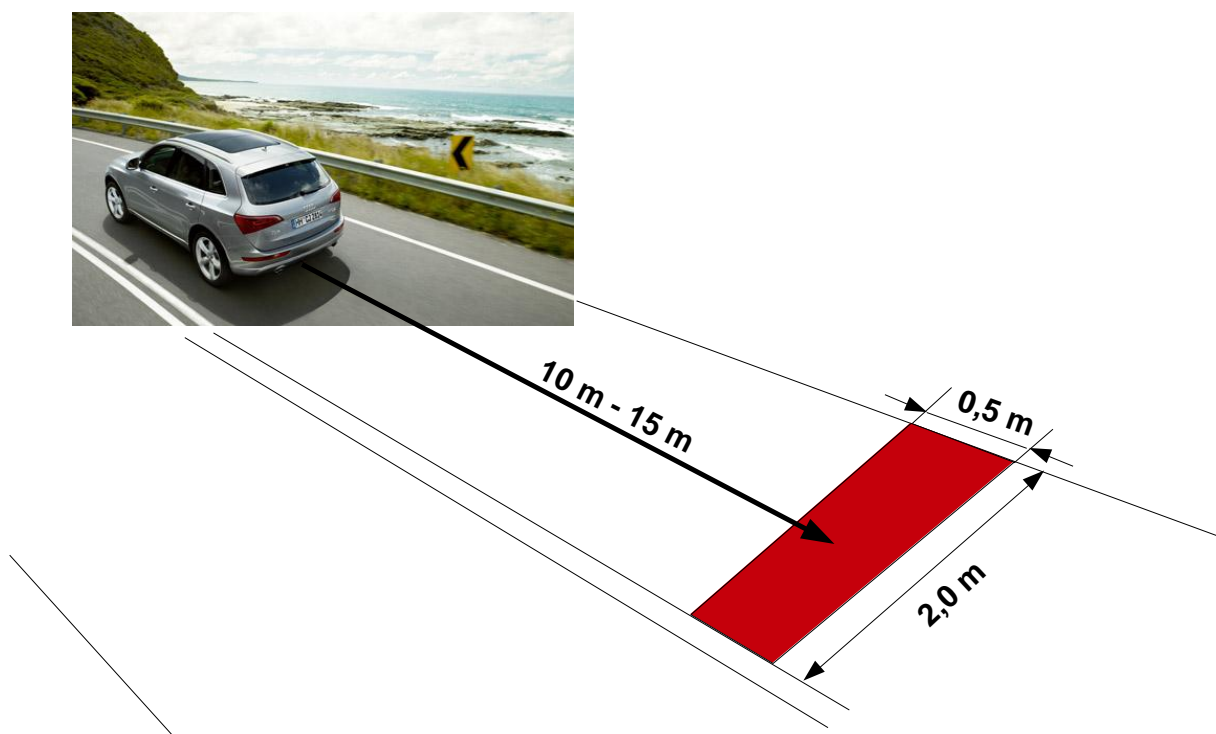


Abbildung 1: Prinzipskizze Night Distance Light

Bisherige Konzepte sahen für dieses Lichtband einen Laser als Lichtquelle vor.

Die Nachteile dieses Ansatzes sind die vergleichsmäßig hohen Kosten für einen leistungsstarken Laser, der benötigte und zugleich knapp bemessene Bauraum sowie eine mögliche Gefährdung für das menschliche Augenlicht.

Tatsächlich würden Laser, die für das menschliche Auge schädlich wären, nicht zum Einsatz kommen.

Der Ansatz des Night Distance Lights ist es, das Konzept mit LED-Technik und Zusatzoptiken zu realisieren.

## Geometrische und optische Rahmenbedingungen

Das NDL System soll in der Heckleuchte eines Kraftfahrzeugs verbaut werden. Durch die geometrischen Randbedingungen wie Abstand zum Fahrzeug, Anbauhöhe und Größe des zu realisierenden Lichtbandes, ergeben sich die in Abbildung 2 dargestellten Verhältnisse, die bei der Systemauslegung zu beachten sind.

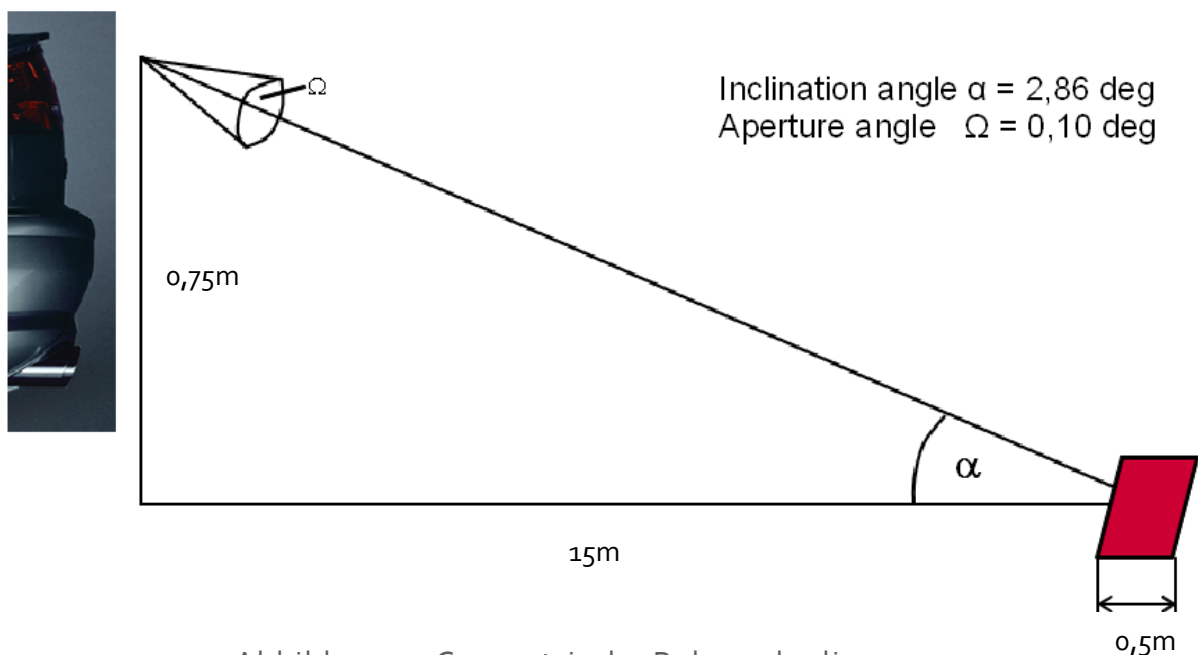


Abbildung 2: Geometrische Rahmenbedingungen

In Abbildung 2 sind die Anbauhöhe (0,75m), der Abstand zum Auto (15m) und die Strichlänge (0,5m) dargestellt.

Dabei stellen die Anbauhöhe sowie die Abmessungen des Lichtbandes feste Größen dar, während die Distanz zwischen PKW und dem Markierungslicht noch variieren kann.

Bei einem Abstand von 15 Metern ergibt sich ein Neigungswinkel von 2,86 Grad und ein Öffnungswinkel von 0,1 Grad, um 0,5m x 2m zu erreichen.

Das von der LED emittierte Licht muss demnach sehr gut, d.h.  $\pm 0,05$  Grad, kollimiert werden, um die Strichlänge von 0,5 Metern zu erzeugen.

Eingabeparameter		Gesucht	
Höhe h	750 [mm]	Abstand zum Fahrzeug a	6266,958171 [mm]
Bel. Fahrbahnstreifen b	500 [mm]	Neigungswinkel $\alpha$	83,17556803 [deg]
Öffnungswinkel der Optik $\Omega$	0,5 [deg]		

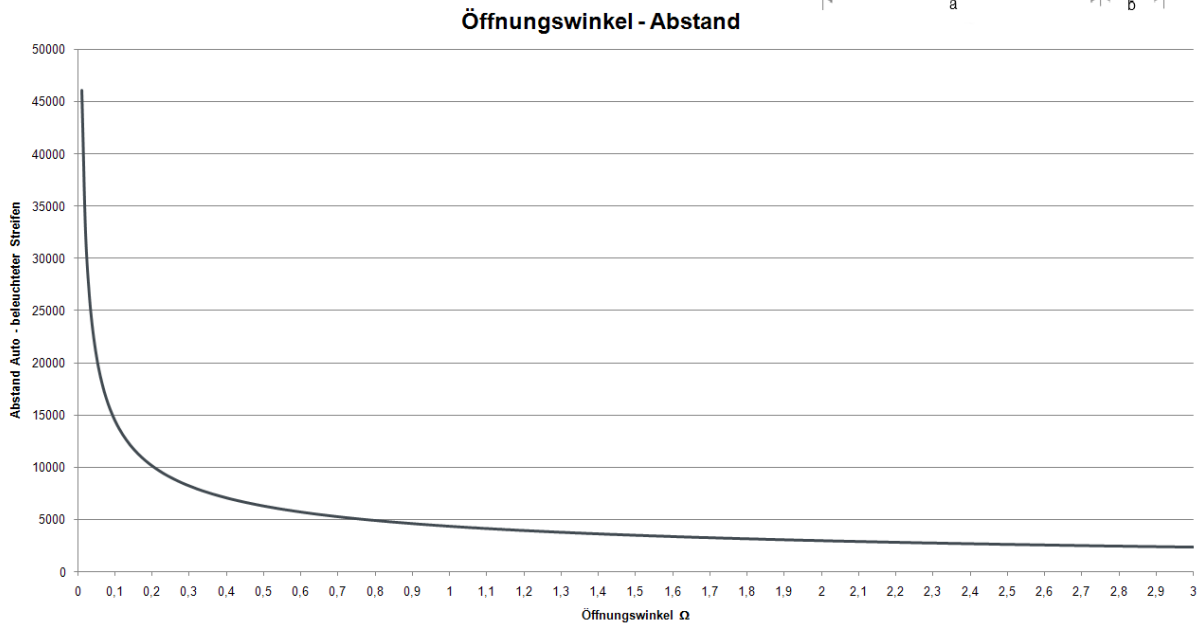
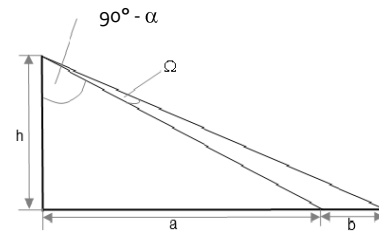


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel und Abstand zum PKW bei fester Strichlänge

Der Öffnungswinkel der Optik ist der Parameter, der am sensibelsten auf Schwankungen reagiert und hat dadurch die größten Auswirkungen auf das Resultat.

In Abbildung 3 ist der Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel  $\Omega$  und dem Abstand zwischen PKW und Lichtband zu erkennen. Hierbei werden die Parameter aus Abbildung 2 für die Anbauhöhe h (0,75m) und des beleuchteten Streifens b (0,5m) in das Excel-Sheet übernommen und der Neigungswinkel ( $90^\circ - \alpha$ ) sowie die Distanz a ausgegeben.

Es ist zu erkennen, dass eine Aufweitung des Öffnungswinkels auf 0,7 Grad den Abstand zwischen PKW und Lichtband auf nur noch fünf Meter reduziert, so dass die Streifenlänge von 0,5m erzielt wird.

Um die Forderung von 10 – 15 Metern Distanz erfüllen zu können, muss der Öffnungswinkel der entstehenden Komponente unter 0,2 Grad liegen.

Zum Vergleich: Eine Leuchtdiode ohne Primäroptik strahlt in einem Öffnungswinkel von ca. 180 Grad.

Wie bereits erwähnt, soll das Night Distance Light in eine Heckleuchte integriert werden. Aktuelle Bauteile dieser Art haben eine Bautiefe von ca. 100 mm.

Diese Begrenzung hat zur Folge, dass das komplette optische System nach Möglichkeit nicht über 100 mm lang sein sollte.

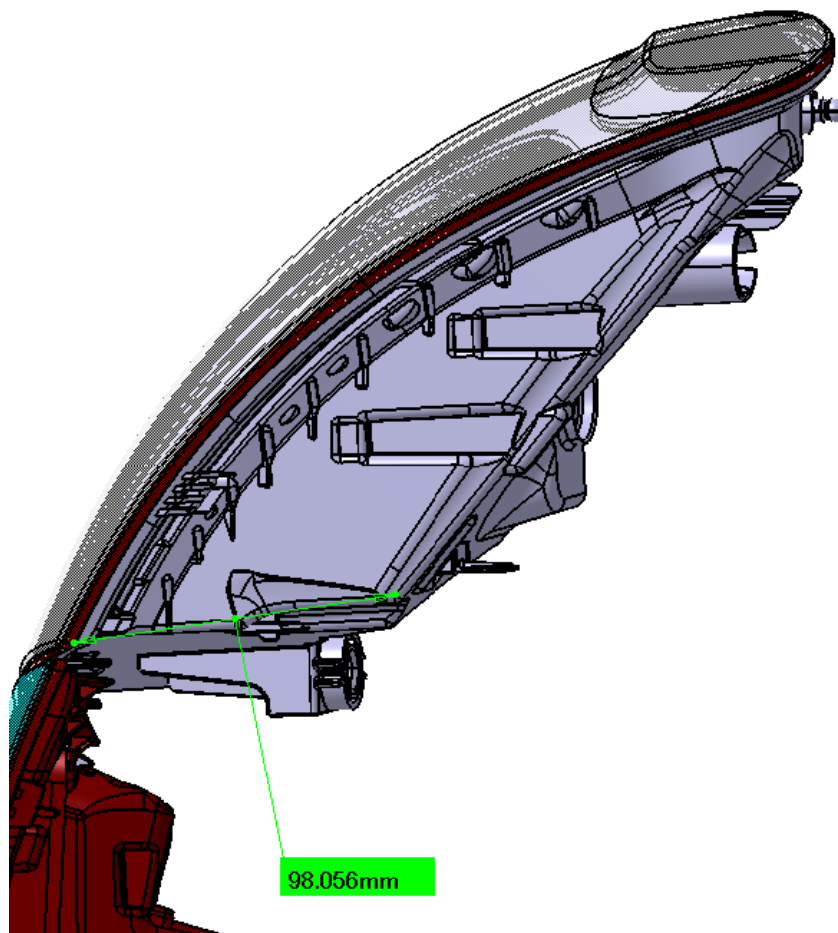


Abbildung 4: Abmessung Bauraum einer Heckleuchte

## Konzepte

Um ein effizientes und angepasstes System zu entwickeln, ist die Untersuchung mehrerer Konzepte notwendig. Im Folgenden wird die Entstehung des NDL anhand von drei Konzeptideen näher erläutert und der Weg zum fertig geplanten und ausgelegten Produkt dargestellt.

### Konzept 1: LED + Kollimator

Damit das abgestrahlte Licht der LED kollimiert werden kann, bedarf es einer lichtsammelnden oder konvexen Optik.

Ein Ansatz ist der LED Kollimator. Der Kollimator besteht aus verschiedenen Teilgeometrien, so dass Refraktion und Totalreflexion (TIR) zur optischen Funktion genutzt werden.

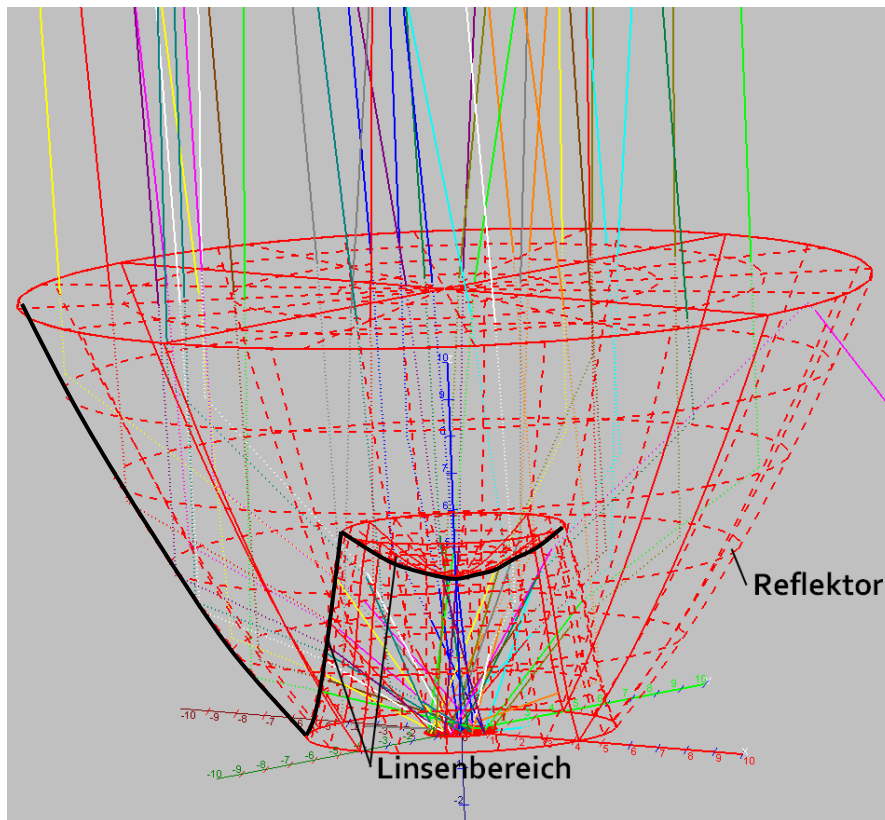


Abbildung 5: LED Kollimator

Durch eine gezielte Abstimmung der unterschiedlichen optisch wirksamen Flächen kann das Licht mittels eines Kollimators dieser Art sehr gut, d.h. auf unter 1 Grad, kollimiert werden.

In dem hier behandeltem Projekt spielt das Design ebenfalls eine Rolle.

Bei der Auslegung der Optiken ist darauf zu achten, dass die Lichtaustrittsflächen, die in der Heckleuchte zu sehen sind, nicht größer sind als ca. 50 mm.

Diese designgetriebenen Randbedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf die Parameter des LED Kollimators, da das Licht umso besser gebündelt werden kann, je länger und damit auch breiter der Kollimator dimensioniert werden kann.

### LED + Collimator



Abbildung 6: Setup LucidShape, LED Kollimator

In dem Simulationssetup, welches in Abbildung 6 zu sehen ist, wird ein LED-Chip der Größe 0,5 x 0,5 mm mit lambertscher Abstrahlcharakteristik verwendet. Der Kollimator sitzt bei einer Anbauhöhe von 750 mm und ist um 2,86 Grad nach unten geneigt. Das Setup beschreibt die geometrischen Anforderungen aus Abbildung 2.

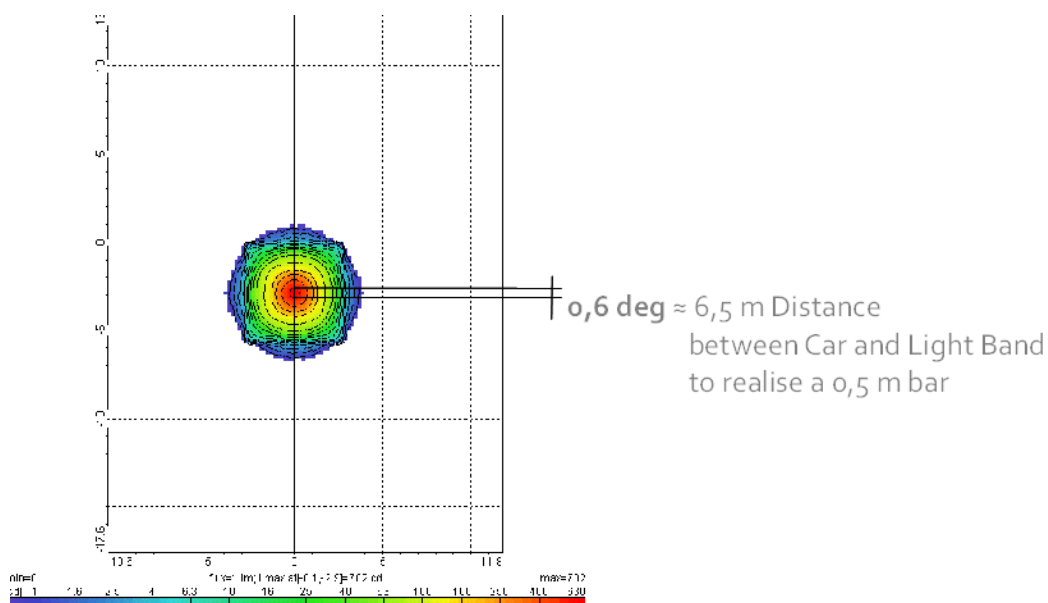


Abbildung 7: Intensitäts-Lichtverteilung Konzept 1



In Abbildung 7 ist das Simulationsergebnis des Kollimator-Konzepts anhand einer Intensitätsverteilung zu sehen.

Der Kollimator bündelt das Licht der LED auf 0,6 Grad im Hotspot und strahlt in die gewünschte Richtung (-2,86 Grad).

Dieser Öffnungswinkel würde einen 0,5 Meter langen Strich in einer Distanz von 6,5 Metern hinter dem Fahrzeug erzeugen, was die Voraussetzung von mindestens 10 Metern nicht erfüllt.

Hinzu kommt, dass das Streulicht nur sehr schwer abgeschattet werden kann, da die gesamte Austrittsfläche des Kollimators Licht in die verschiedenen Winkelbereiche abstrahlt. Somit kommt eine Loch- oder Schlitzblende nicht in Betracht.

Um das Licht noch enger zu bündeln, wird in Konzept 2 eine zusätzliche Linse untersucht.

## Konzept 2: LED Kollimator mit Linse

Das Konzept 2 kann auf zwei Arten realisiert werden. Die zusätzliche Sammellinse kann entweder auf der Austrittsfläche des Kollimators angebracht werden, um Bauraum zu sparen und keine weiteren Teile zu erzeugen oder als separates Bauelement nach dem Kollimator zum Einsatz kommen. Es werden beide Ansätze untersucht.

Bevor beide Varianten untersucht werden können, muss zunächst die Linse dimensioniert werden. Die Sammellinse soll das nahezu parallele Licht des LED-Kollimators auf eine Entfernung von 15 Metern fokussieren.

Der Radius der konvexen Linse ergibt sich aus folgender Formel:

$$\frac{1}{f} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

Abbildung 8: Formelle Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Brennweite und Linsenradius

Da keine bikonvexe Linse zum Einsatz kommen soll, entfällt Radius  $R_2$ . Der Brechungsindex der Linse  $n_2$  wird mit 1,5 angenommen.

Daraus ergibt sich ein Linsenradius von 7500 mm, bei einer Brennweite von 15000 mm.

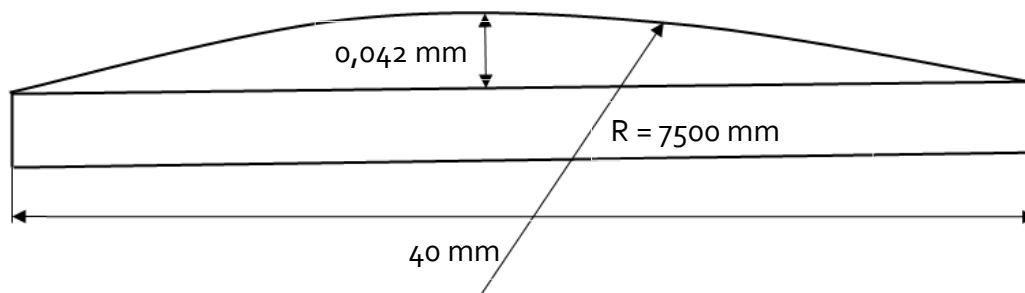


Abbildung 9: Dimensionierung der Linse (Skizze)

Der extrem große Radius der Linsenkrümmung erfordert eine ausreichende Materialdicke, da sonst die Linse an den Rändern zu dünn wird und nicht herstellbar ist.

Setup 1: Aspherical Lens on the Collimator

Setup 2: Distance between lens and Collimator

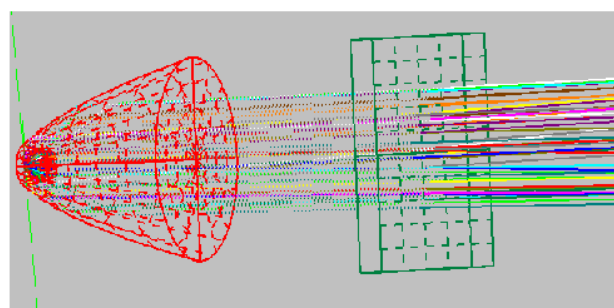
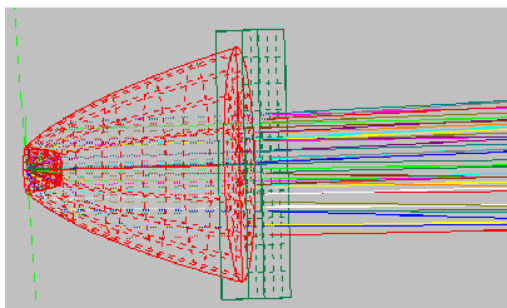


Abbildung 10: Konzeptvarianten LED-Kollimator und Linse

In den folgenden Abbildungen werden die Simulationsergebnisse dargestellt.

Setup 1: Aspherical Lens on the Collimator

Setup 2: Distance between lens and Collimator

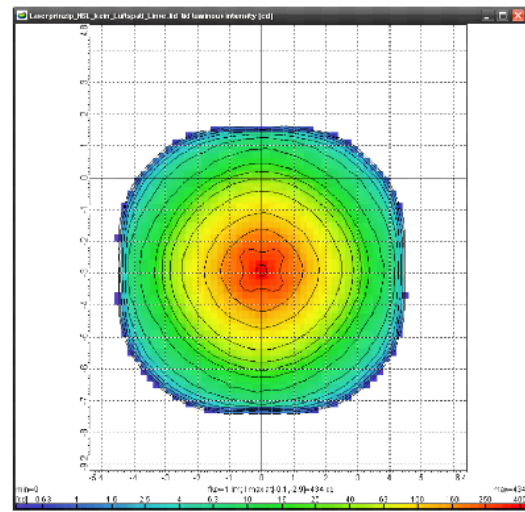
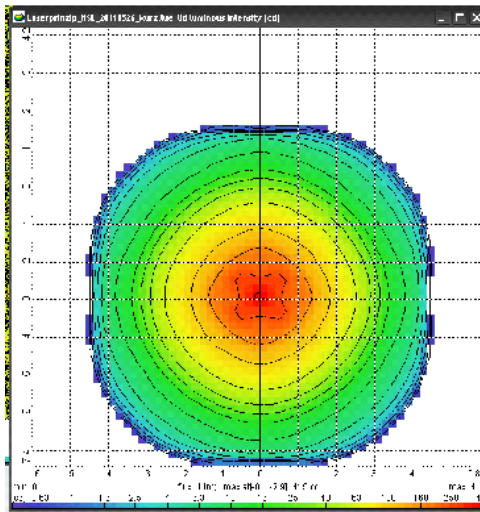


Abbildung 11: Simulationsergebnisse der Konzeptvarianten; links ohne Luftspalt, rechts mit Luftspalt

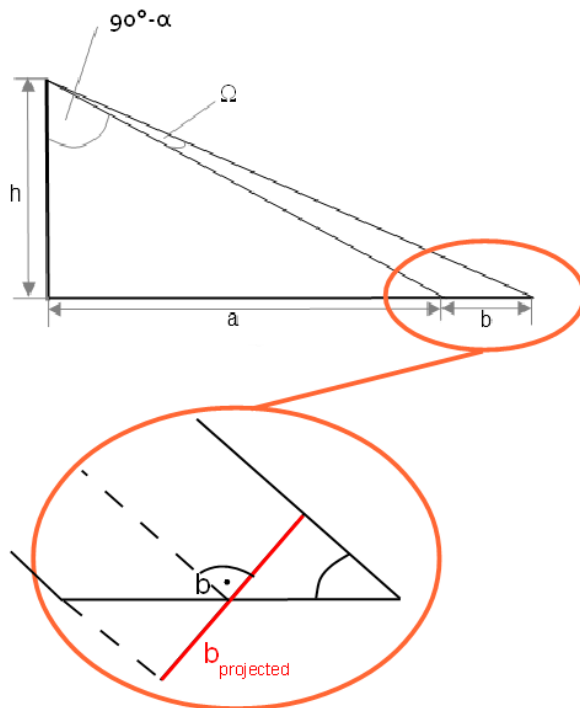
Die simulierten Lichtverteilungen zeigen, dass das Problem des Streulichts auch mit einer zusätzlichen Linse nicht verbessert werden kann. Zudem ist mit den Konzepten 1 und 2 keine ausreichende Bündelung des Lichts möglich.

### Konzept 3: Direkte Abbildung der Lichtquelle auf die Straße

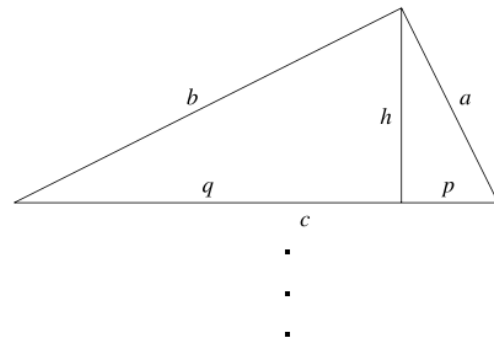
Nachdem die ersten Konzepte nicht für die herausfordernden Randbedingungen geeignet sind, wird ein LED-Array direkt auf die Straße abgebildet. Dabei bleibt zunächst offen, ob eine Primäroptik, die das Licht sammelt und eine Miniatur des Lichtbandes an der Lichtaustrittsfläche erzeugt, zum Einsatz kommt oder ob das LED-Array direkt abgebildet wird.

Hierbei muss beachtet werden, dass die Ebene auf der Straße, auf die das Licht trifft, nicht senkrecht zur Lichteinfallrichtung steht. Diese Tatsache musste bei den vorhergehenden Konzepten nicht betrachtet werden, da hier der Öffnungswinkel steuernder Parameter war.

Das LED-Array wird auf eine Fläche abgebildet, die im Mittelpunkt der Strecke  $b$  (siehe Abbildung 12) um  $90^\circ$ -Neigungswinkel gedreht ist und dementsprechend eine wesentlich geringere Abmessung aufweist, da die Ränder durch den Öffnungswinkel begrenzt werden. Mittels des Höhenthorems von Euklid können die Abmessungen der projizierten Fläche abgeleitet und berechnet werden.



Euclid's altitude theorem



$$b_{\text{projected}} = b \cdot \cos(\alpha)$$

Abbildung 12: Herleitung projizierte Fläche

Um nun einen Eindruck über die Größenverhältnisse zu erlangen, wurde mit dem Tool LINOS „PreDesigner“ unterschiedliche Konfigurationsmöglichkeiten dargestellt. Hierbei lag das Augenmerk hauptsächlich auf die Objektgröße, die angibt, wie hoch das abzubildende Objekt ist, welches den 0,5 Meter langen Lichtstreifen auf der Fahrbahn erzeugen soll. Es gilt eine Konfiguration mit realistischer Objektgröße und annehmbarer Bildweite, sprich Distanz zwischen PKW und Lichtband, zu erreichen.

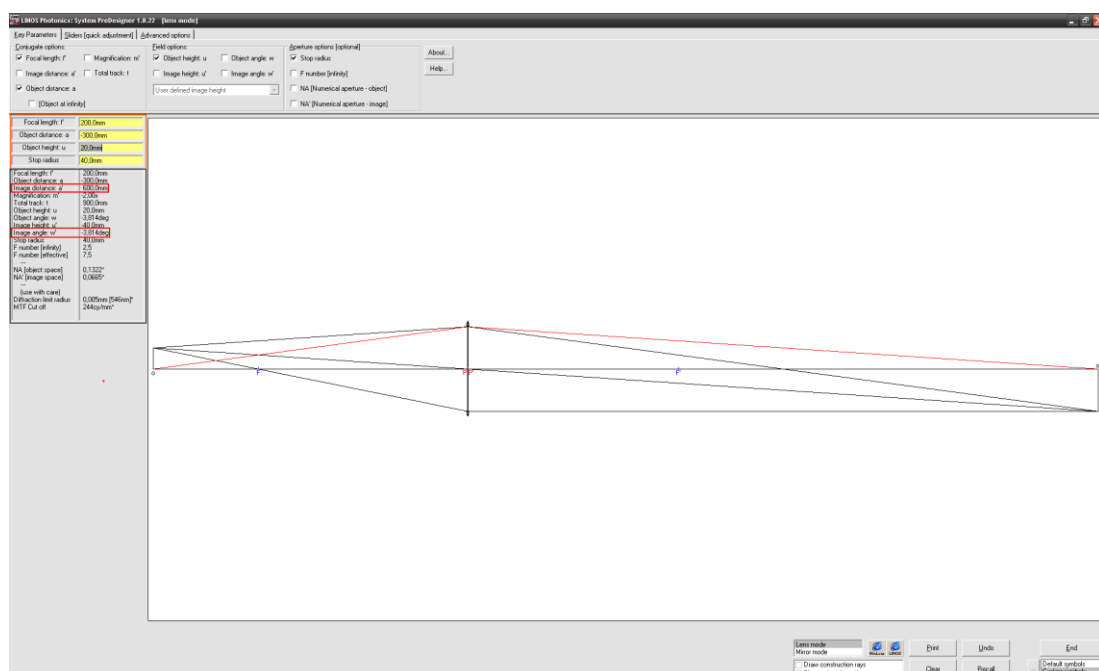


Abbildung 13: Screenshot der Konfiguration im Tool LINOS PreDesigner

Mit Hilfe des LINOS „PreDesigners“ stellte sich heraus, dass der maximal verfügbare Bauraum ausgenutzt werden musste, um eine entsprechende Bildweite und Bildgröße zu erreichen.

So wurde die Objektweite auf 101 mm und die Brennweite auf 100 mm festgelegt. Diese Abmessungen erlauben es, ein sehr kleines Objekt auf große Distanz (im Vergleich zur Objektweite) scharf zu stellen.

Die Parameter des Konzepts wurden in ein Excel-Sheet übertragen und iterativ verändert, um die Anforderungen zu erfüllen.

Objekt- und Linsenparameter		Bildparameter		Abstände und Größen	
Brennweite	100 [mm]			Abstand	10072.11497 [mm]
Objektweite	101 [mm]	Bildweite	10100 [mm]	Einfallswinkel	4.258556956 [deg]
Objekthöhe	0.5 [mm]	Bildhöhe	50 [mm]	Strichbreite	673.3333333 [mm]
Anbauhöhe	750 [mm]				

Abbildung 14: Auszug aus dem Excel-Sheet zur Parametrisierung von Konzept 3

In Abbildung 14 sind die Variablen des Konzepts 3 mit realisierbaren Werten dargestellt. Aufgrund der Größenverhältnisse (Objekthöhe, Objektweite) ist eine Primäroptik nicht mehr zu realisieren.

Deshalb wird ein LED-Array aus vier  $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$  Chips mittels einer Sammellinse ( $f=100$ ) auf einen Abstand von 10.072 mm abgebildet. Das projizierte Bild  $b_{\text{projected}}$  hat dabei eine Größe von 50 mm und ist um einen Winkel von 4,3 Grad zur beleuchteten Fläche gedreht. Dadurch entsteht ein Lichtband mit der Streifenlänge von 673 mm in einem Abstand von rund 10 Metern zum Fahrzeug.

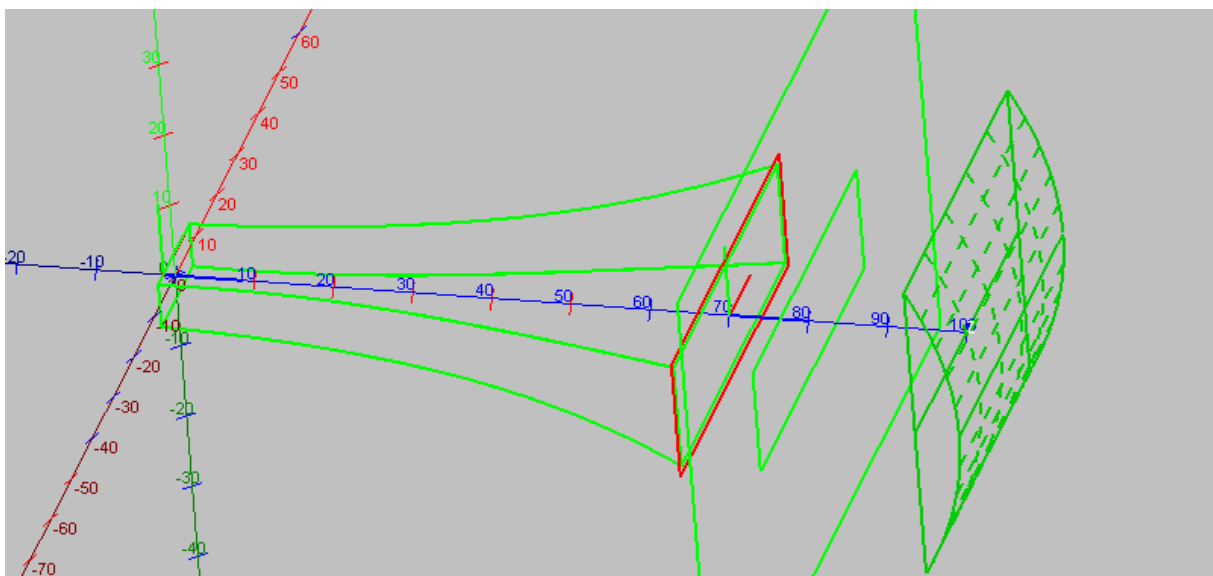


Abbildung 15: Mögliches Setup mit Primäroptik, Blende und Sammellinse

Das optische System wurde anschließend im Lichtsimulations-Tool LucidShape nachgebildet und Parametrisiert. Details zum Aufbau sind aus Abbildung 16 zu entnehmen.

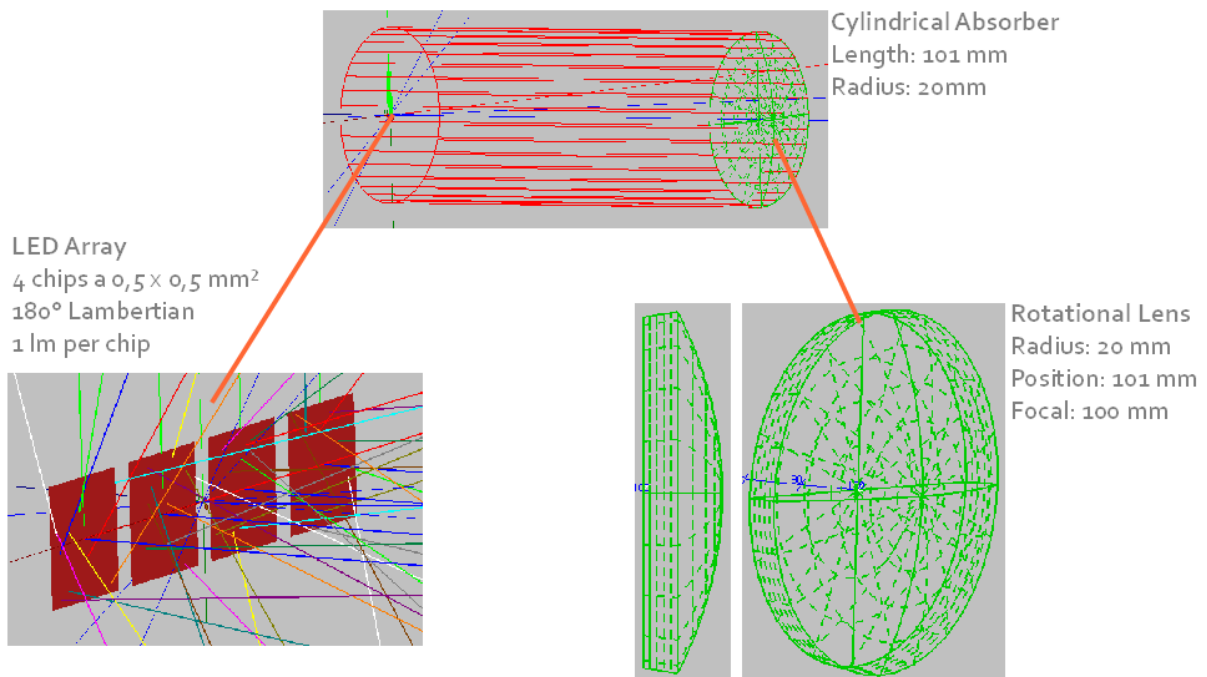


Abbildung 16: Details zum Nachbau des Konzepts 3 in LucidShape

Um die Lichtstrahlen des Systems erfassen und bewerten zu können, wurden zwei Beleuchtungsstärkesensoren im Setup platziert. Der erste Detektor stellt die projizierte Fläche mit den entsprechenden Maßen dar, der zweite Sensor entspricht dem beleuchteten Fahrbahnabschnitt.

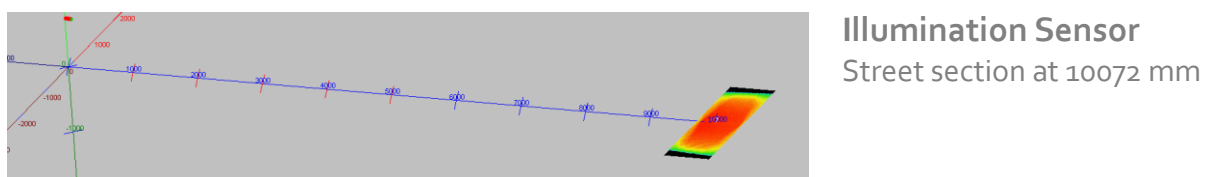


Abbildung 17: Beleuchtungsstärkesensor des beleuchteten Fahrbahnabschnittes

In den Abbildungen 17 und 18 werden die Positionen der Sensoren deutlich. Der Detektor auf der projizierten Fläche ist entsprechend dem Neigungswinkel gekippt. Nachstehend sind die Simulationsergebnisse dargestellt.

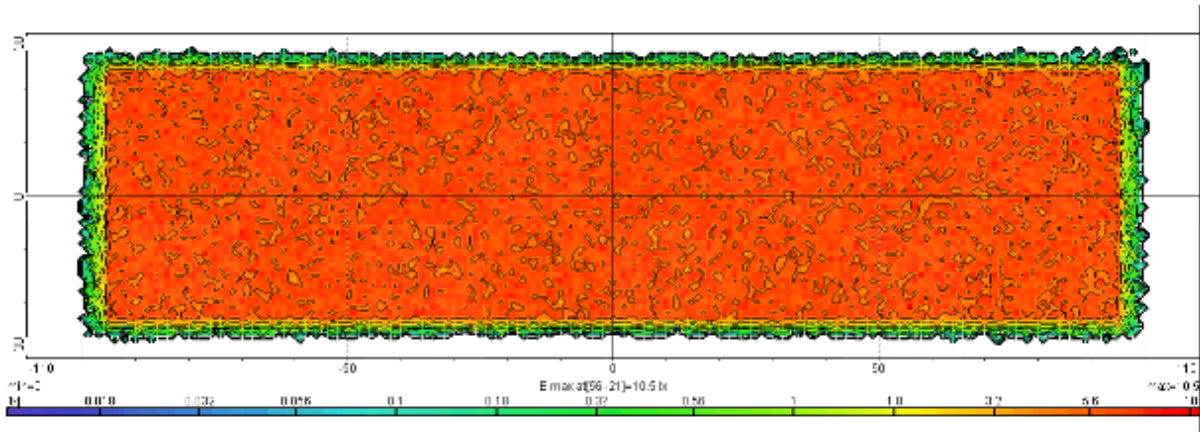


Abbildung 18: Simulationsergebnis projizierte Fläche für Rotational Lens

Das Simulationsergebnis aus Abbildung 19 zeigt, dass die Projektion der Strichlänge und die Kontur des Lichtbandes optisch mit diesem Konzept realisierbar ist.

Allerdings ist das Abbildungsverhältnis für die Strichbreite nicht identisch mit dem der Strichlänge. Der beleuchtete Fahrbahnabschnitt wäre im bestehenden Setup nur 200 mm breit; Faktor 10 unter den Anforderungen.

Um dies zu kompensieren, wird eine Linse benötigt, die in horizontaler Richtung den Streifen auf 2m aufweitet und damit eine andere Brennweite aufweist als in vertikaler Richtung.

In LucidShape ist eine solche Linse unter dem Begriff „Potato Lens“ zu finden.

Die Potato Lens verfügt über Parameter, die es ermöglicht, die Lichtaustrittsfläche durch vier Nurbs-Kurven individuell zu gestalten und somit mehr Einfluss auf die Lichtverteilung zu nehmen.

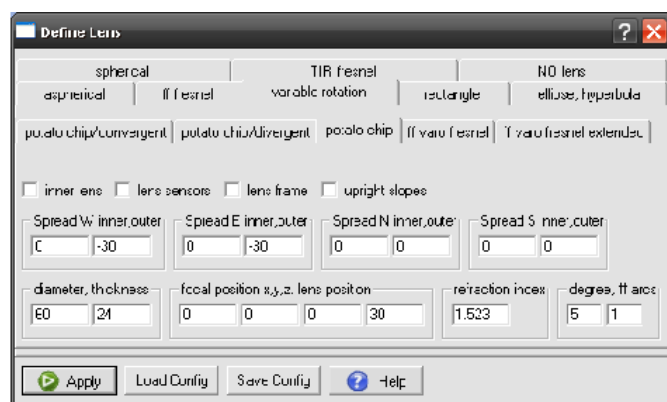
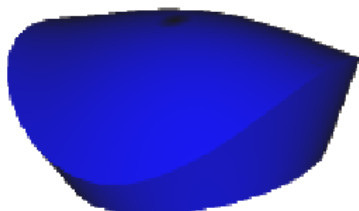


Abbildung 19: Potato Lens und Parameterdialog in LucidShape



Die Konfiguration aus Abbildung 16 wird nun mit der Potato Lens ergänzt. Die Abmessungen der alten Linse wurden beibehalten.

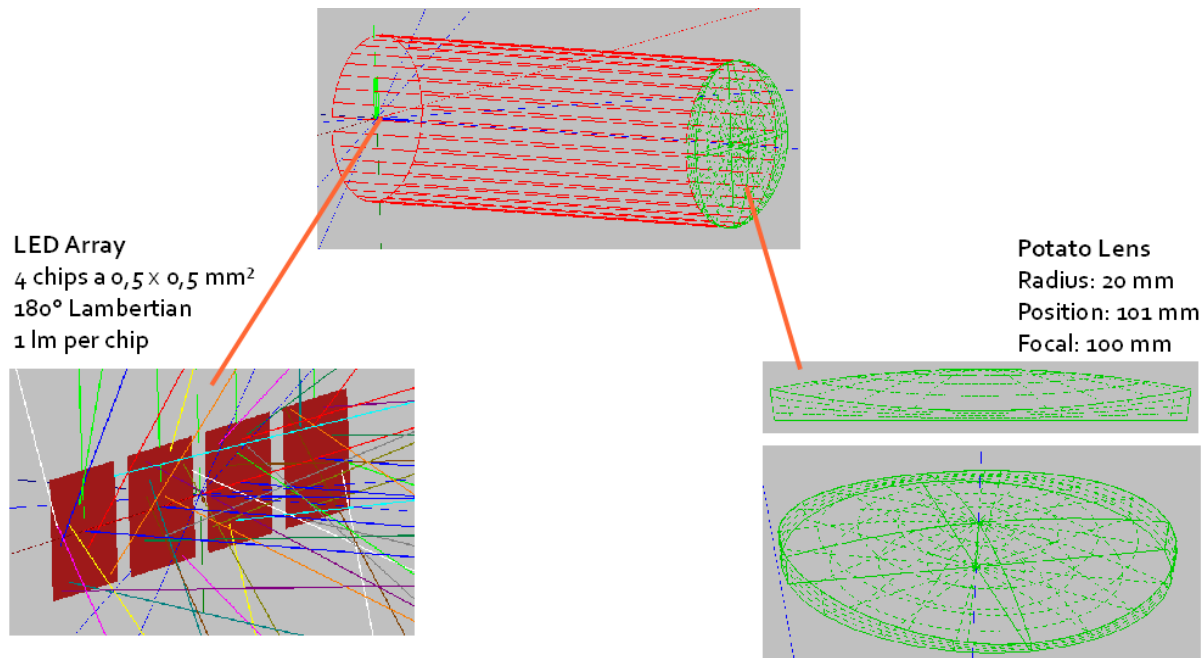


Abbildung 20: Aufbau Konzept 3 mit Potato Lens in LucidShape

Das Setup mit Potato Lens wurde im Anschluss simuliert und die Ergebnisse festgehalten.

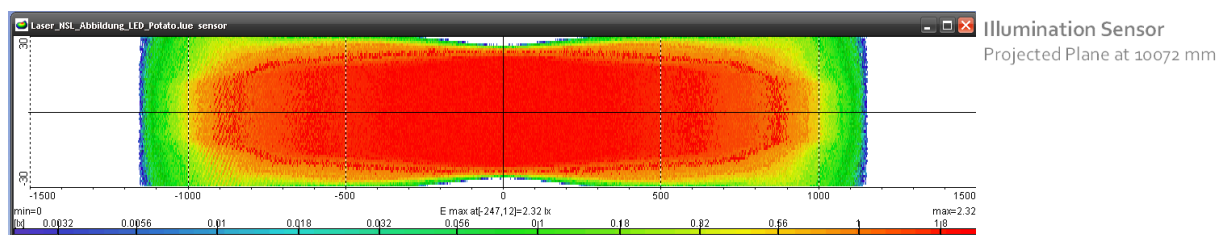


Abbildung 21: Beleuchtungsstärkesensor auf der projizierten Fläche

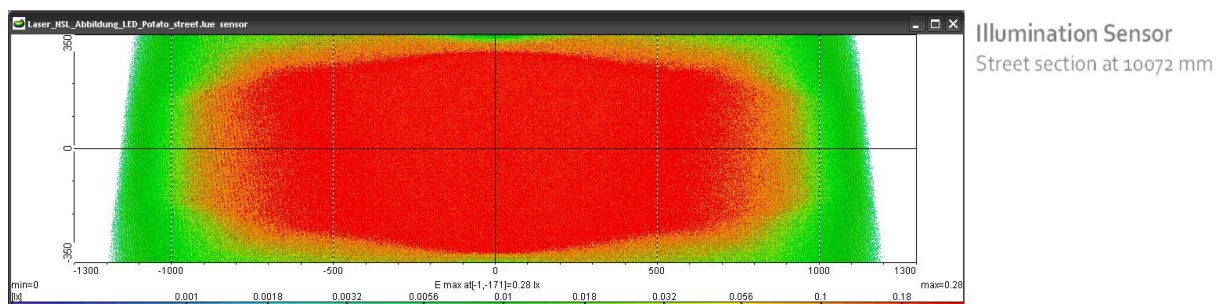


Abbildung 22: Beleuchtungsstärkesensor auf dem beleuchteten  
Fahrbahnabschnitt



Wie in den Abbildungen 22 und 23 zu erkennen ist, wird der Fahrbahnabschnitt sehr gut und homogen ausgeleuchtet. Das Konzept der direkten Projektion des LED-Arrays auf die Straße ist umsetzbar und liefert das geforderte Ergebnis.

## Unerwünschte Nebeneffekte

Das Night Distance Light ist eine direkte Abbildung einer Lichtquelle auf die Straße, die in einem definierten Winkel gerichtet ist, um den Abstand zwischen PKW und Markierungslinie herzustellen.

Aufgrund dieser Randbedingungen kann es zu unerwünschten Nebeneffekten kommen, die den nachfolgenden Verkehr behindern können.

Da das Licht in eine bestimmte Richtung gelenkt wird, kann es bei Bergabfahrten oder in Parkhäusern zu Blendungen kommen.

Dabei ändert sich die Neigung des Fahrzeugs und der Lichtstrahl trifft nicht mehr im gewünschten Abstand auf die Straße; die Distanz zwischen Lichtband und Auto vergrößert sich, allerdings nur wenn das NSL (Nebelschlusslicht) eingeschaltet ist.

Im „Worst Case“ trifft der Lichtstrahl das Auge des Fahrers im darauffolgenden PKW.

In diesem Fall muss sichergestellt sein, dass die geblendete Person keine Schäden erleidet, oder idealerweise das System im Falle einer Neigung des Fahrzeugs deaktiviert wird.

Generell besteht die Möglichkeit, dass das „mitfahrende“ Lichtband zur Verwirrung einzelner Verkehrsteilnehmer führen kann und diese verunsichert.

Entsprechende Marketingmaßnahmen müssten ergriffen werden um das System bekannt zu machen.

## Zulassungsprobleme

Das Prinzip eines Night Distance Lights ist noch in keiner ECE-Regulierung festgehalten worden, da eine Art Abstands-Markierungslicht noch nicht in Serie übernommen wurde, beziehungsweise in der Entwicklung wieder verworfen wurde.

Bestrebungen das NDL als dauerhafte Nebelschlussleuchte zu definieren waren nicht durchsetzbar, weil diese Funktion eine Lichtintensität von mehr als 300 Candela im Messbereich nicht zulässt.

In Abbildung 23 ist zu erkennen, dass die Lichtwirkrichtung des NDL genau in diesen Messbereich fällt, aber deutlich über dem Maximalwert liegt.

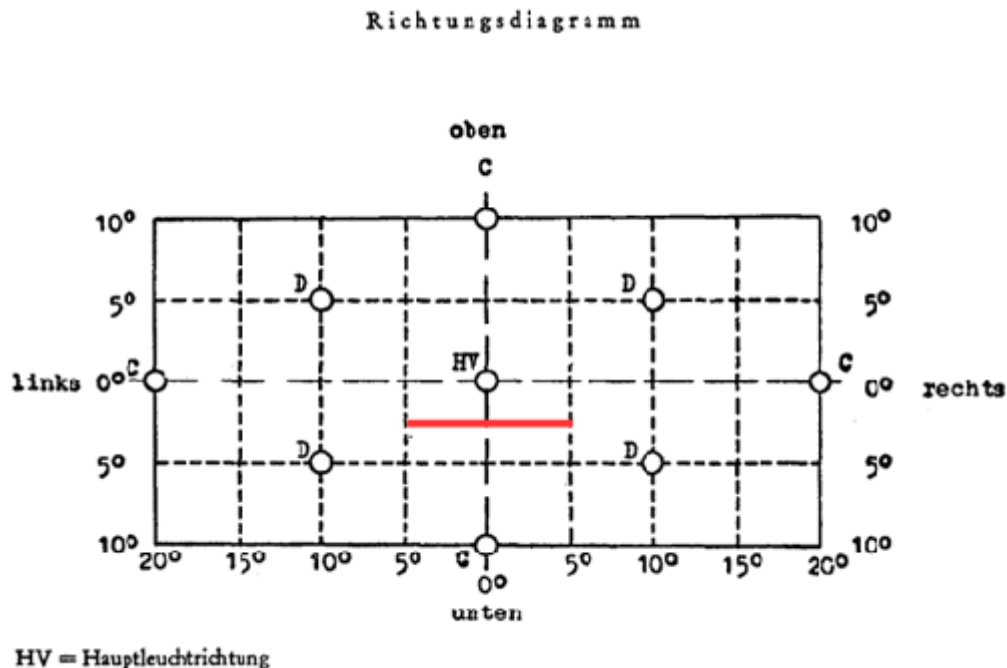


Abbildung 23: Auszug aus ECE R38, Nebelschlusslicht

Aufgrund der aufgezählten Lücken in den Zulassungsbestimmungen, lässt sich eine Lichtfunktion ähnlich dem Night Distance Light im Moment nicht genehmigen und entfällt daher für die Serienentwicklung.