



# Projekt „Stirnleuchten im Oberleitungsbau“ Teil II

Bearbeiter:

Technische Universität Ilmenau  
Fakultät Maschinenbau  
Fachgebiet Lichttechnik

Dr.-Ing. Karin Bieske  
Dr.-Ing. Cornelia Vandahl  
Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz

Auftraggeber:

Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM)

Ilmenau, August 2019



## Zusammenfassung

Beim Oberleitungsbau im Bahnnetz müssen dringende Montagetätigkeiten auch bei Nacht durchgeführt werden. Aufgrund der elektrischen Gefährdung und der entlegenen Einsatzorte bleibt zur Ausleuchtung der Sehaufgaben oftmals als Lösung nur die Verwendung von Helmleuchten. Für gute Sehbedingungen und zur Vermeidung von Unfällen müssen deren lichttechnischen Anforderungen optimal ausgelegt sein. Bei den derzeit üblichen Modellen wurde aus lichttechnischer Sicht deutlicher Optimierungsbedarf gesehen.

Im Rahmen des Projektes wurden in der ersten Projektphase die lichttechnischen Anforderungen an Helmleuchten für den Einsatz im Oberleitungsbau bei der Bahn untersucht. Auf Basis einer Analyse von Einsatzfeldern, Tätigkeiten und Sehbedingungen sowie der Ergebnisse einer Laborstudie mit 22 Testpersonen zu unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus, Lichtverteilungen und Blendwirkungen für typische Tätigkeiten wurden Mindestanforderungen abgeleitet. Helmleuchten für den Oberleitungsbau sollten über drei Lichtmodi verfügen und so die Anpassung von Lichtleistung und Lichtverteilung an die unterschiedlichen Einsatzzwecke ermöglichen. Bei hoher Lichtleistung der Leuchte verbessert sich einerseits das Sehen im ausgeleuchteten Bereich, jedoch nimmt auch die Blendungsgefährdung zu. Gleichzeitig reduziert sich das Sehvermögen in der dunklen Umgebung und nimmt die Leuchtdauer ab. Daher gibt es nicht die optimale Leuchte, sondern es ist ein Kompromiss aus Anforderungen an Lichtstrom, Lichtverteilung, Leuchtdauer und Handhabung bei Vermeidung von Blendung und Störungen der Dunkeladaptation zu finden.

Die Ergebnisse wurden im Bericht zur ersten Projektphase zusammengefasst und vor dem Sachgebiet Fahrleitungsbau und zwei interessierten Herstellern präsentiert. Eine Marktanalyse sowie die Vermessung und Bewertung der lichttechnischen Eigenschaften ausgewählter Stirnleuchten zeigten, dass eine Leuchte, die genau die erforderlichen Eigenschaften besitzt, derzeit auf dem Markt so nicht verfügbar ist.

Für die zweite Projektphase konnten zwei Firmen gewonnen werden, die bereit waren, Musterleuchten zu fertigen, deren lichttechnische Eigenschaften sich an den Empfehlungen der ersten Projektphase orientieren. Diese wurden lichttechnisch vermessen und optimiert. Der Praxistest erfolgte mit Leuchten des Typs KS-6001-Duo-GB, der den Vorgaben am ehesten entsprach. 19 Probanden in drei Mitgliedsfirmen der BG ETEM testeten die Leuchte im Ar-

beitskontext während der Nachtschicht. Die Ergebnisse sind im vorliegenden Bericht zusammengefasst. Die Testleuchten wurden im Wesentlichen in der Praxis akzeptiert. Optimierungsbedarf besteht jedoch bei der Auslegung des Boost-Modus.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Entwicklung der Testleuchten .....	3
3	Evaluation .....	7
3.1	Fragebogen .....	7
3.2	Probanden .....	9
3.3	Ergebnisse.....	9
3.3.1	Eignung – Gehen im Gleisbett (Mode 1) .....	11
3.3.2	Eignung – Arbeiten im Greifraum (Mode 2) .....	12
3.3.3	Eignung – Boost-Mode (Mode 3).....	14
3.3.4	Kommentare.....	17
3.3.5	Diskussion .....	18
4	Zusammenfassung.....	21
	Literaturverzeichnis.....	23
	Anhang A: Fragebogen zur Evaluation der Testleuchte .....	24
	Anhang B: Anleitung zu Handhabung von Testleuchte und Fragebogen .....	25
	Anhang C: Statistische Kennwerte der Probandenurteile .....	26



# 1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes wurden in der ersten Projektphase die lichttechnischen Anforderungen an Helmleuchten für den Einsatz im Oberleitungsbau bei der Bahn untersucht. Auf Basis einer Analyse von Einsatzfeldern, Tätigkeiten und Sehbedingungen sowie der Ergebnisse einer Laborstudie mit 22 Testpersonen zu unterschiedlichen Beleuchtungsniveaus, Lichtverteilungen und Blendwirkungen für typische Tätigkeiten wurden Mindestanforderungen abgeleitet. Helmleuchten für den Oberleitungsbau sollten über drei Lichtmodi verfügen und so die Anpassung von Lichtleistung und Lichtverteilung an die unterschiedlichen Einsatzzwecke ermöglichen. Bei hoher Lichtleistung der Leuchte verbessert sich einerseits das Sehen im ausgeleuchteten Bereich, jedoch nimmt auch die Blendungsgefährdung zu. Gleichzeitig reduziert sich das Sehvermögen in der dunklen Umgebung und nimmt die Leuchtdauer ab. Daher ist die optimale Leuchte ein Kompromiss aus Anforderungen an Lichtstrom, Lichtverteilung, Leuchtdauer und Handhabung bei Vermeidung von Blendung und Störungen der Dunkeladaptation. Die lichttechnischen Anforderungen für Helmleuchten im Ergebnis der Laborstudie sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Lichttechnische Anforderungen aus dem Laborversuch für unterschiedliche Einsatzzwecke

<b>Einsatzzweck</b>	<b>Typische Sehdistanz</b>	<b>Lichtkegel Öffnungswinkel <math>\alpha^+</math></b>	<b>Beleuchtungsstärke <math>E_0</math> *)</b>	<b>Lichtstärke <math>I_0</math></b>
<b>Greifraum</b>	0,5 m	70° ( $E_0/3$ ); 75° bis 100° ( $E_0/10$ )	25 lx	6,5 cd
<b>Gehen</b>	1 m bis 2 m	70° bis 100° ( $E_0/10$ )	50 lx**)	13 cd
<b>Orientierung</b>	bis 10 m	$\approx 15^\circ$ ( $E_0/10$ )	800 lx	200 cd

+ ) die Winkelangaben beziehen sich auf den Winkel, bei dem die Beleuchtungsstärke in der Messebene einem Drittel bzw. einem Zehntel des Wertes in Normalenrichtung  $E_0$  beträgt

\*) in 0,5 m Entfernung

\*\*) auch mit Spot im oberen Drittel kombinierbar, hier  $E_{\text{Spot}} \approx 150$  lx

In den Versuchen wurde die Blendung bei Leuchtdichten bis 100 000 cd/m<sup>2</sup> als *etwas störend* bis *störend* bewertet. Die Lichtaustrittsfläche der Helmleuchte sollte diesen Wert nicht wesentlich übersteigen.

Die Ergebnisse wurden in einem Bericht zur ersten Projektphase zusammengefasst und vor dem Sachgebiet Fahrleitungsbau und interessierten Herstellern präsentiert [1]. Eine Marktanalyse sowie die Vermessung und Bewertung der lichttechnischen Eigenschaften ausge-

wählter Stirnleuchten zeigten, dass eine Leuchte, die genau die erforderlichen Eigenschaften besitzt, derzeit auf dem Markt so nicht verfügbar ist. Zu verschieden sind die Beleuchtungsziele und damit die lichttechnischen Auslegungen.

Im Rahmen der zweiten Projektphase wurde nach Herstellern gesucht, die eine Helm- bzw. Stirnleuchte entsprechend den Empfehlungen der ersten Projektphase fertigen. Dafür konnten zwei Unternehmen gewonnen werden. Die messtechnischen Untersuchungen der gefertigten Musterleuchten erfolgten an der TU Ilmenau im Fachgebiet Lichttechnik. Dafür wurde die Lichtstärkeverteilung der Leuchte, die Leuchtdichteverteilung des Leuchtenkopfes bei senkrechter Beobachtung sowie die Beleuchtungsstärke in einer Referenzebene in einem Abstand von 0,5 m gemessen. Zusätzlich wurde die Lichtstromabnahme betrachtet, die es erlaubt, die Leuchtdauer zu bestimmen. Abschließend wurde ein Leuchtentyp ausgewählt, der den Anforderungen am ehesten entsprach. Die Leuchte KS-6001-Duo-GB in den Ausführungen V03 und V04 wurden mit 19 Probanden im Praxiseinsatz bei drei Mitgliedsunternehmen der BG ETEM getestet, um ihre Eignung nachzuweisen.



## 2 Entwicklung der Testleuchten

Die Entwicklung der Testleuchte KS-6001-Duo-GB erfolgte in zwei Phasen. In der ersten Entwurfsphase wurden zwei Versionen der Testleuchte mit unterschiedlichen Optiken gefertigt. Während die Testleuchten V01 aus zwei LEDs jeweils mit glänzendem Reflektor und leicht streuender Optik besteht, kombiniert die andere Testleuchte (V02) eine LED mit glänzendem Reflektor und leicht streuender Linse mit einer zweiten LED in einem weißen Reflektor zur Ausleuchtung des Nahfeldes (Abbildung 1).



Abbildung 1: Testleuchte V01 mit zwei LEDs jeweils kombiniert mit glänzendem Reflektor und leicht streuender Linse (links), Testleuchte V02 mit zwei LEDs, wobei eine mit glänzendem Reflektor und leicht streuender Linse und die andere mit weißem Reflektor ausgelegt ist (rechts)

Beide Testleuchtentypen besitzen drei Lichtmodi, deren lichttechnische Parameter in Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst sind. Der Boost-Modus (Mode 3) verfügt über eine Abschaltautomatik, die nach 15 s automatisch in Mode 2 umschaltet.

Tabelle 2: Messwerte der Testleuchte V01 (KS-6001-Duo-GB V01) für unterschiedliche Lichtmodi

Einsatzzweck	Lichtkegel Öffnungswinkel $\alpha$	Beleuchtungsstärke $E_0$ (bei 0,5 m)	Lichtstärke $I_0$	Lichtstrom $\Phi$	max. Leuchtdichte (Mittelwert)*
<b>Greifraum (Mode 2)</b>	64° ( $E_0/3$ ) 82° ( $E_0/10$ )	65 lx	19,1 cd	16,9 lm	641 700 cd/m <sup>2</sup> (40 200 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Gehen (Mode 1)</b>	42° ( $E_0/3$ ) 56° ( $E_0/10$ )	165 lx	41,4 cd	17,6 lm	1 190 000 cd/m <sup>2</sup> (107 200 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Boost (Mode 3)</b>		788 lx	≈ 180 cd		3 366 000 cd/m <sup>2</sup> (432 600 cd/m <sup>2</sup> )

\*) Die Messungen erfolgten im Goniophotometer RIGO801 in senkrechter Draufsicht mit einem 25 mm-Objektiv in einer Messentfernung von 0,5 m. Die Auswertung der Leuchtdichte bezieht sich auf die jeweils leuchtende Fläche, die durch den Reflektor bzw. die Optik gebildet wird. Der Durchmesser der Teilflächen beträgt etwa 12 mm und umfasst etwa 11 500 Messpixel.

Tabelle 3: Messwerte der Testleuchte V02 (KS-6001-Duo-GB V02) für unterschiedliche Lichtmodi

Einsatz-zweck	Lichtkegel Öffnungswinkel $\alpha$	Beleuchtungsstärke $E_0$ (bei 0,5 m)	Lichtstärke $I_0$	Lichtstrom $\Phi$	max. Leuchtdichte (Mittelwert)*
<b>Greifraum (Mode 2)</b>	62° ( $E_0/3$ ) 82° ( $E_0/10$ )	55 lx	14,7 cd	18,7 lm	1 920 000 cd/m <sup>2</sup> (33 500 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Gehen (Mode 1)</b>	42° ( $E_0/3$ ) 58° ( $E_0/10$ )	147 lx	35,5 cd	17,6 lm	1 200 000 cd/m <sup>2</sup> (122 800 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Boost (Mode 3)</b>		680 lx	≈ 155 cd		5 540 000 cd/m <sup>2</sup> (361 800 cd/m <sup>2</sup> )

\*) Die Messungen erfolgten im Goniophotometer RIGO801 in senkrechter Draufsicht mit einem 25 mm-Objektiv in einer Messentfernung von 0,5 m. Die Auswertung der Leuchtdichte bezieht sich auf die jeweils leuchtende Fläche, die durch den Reflektor bzw. die Optik gebildet wird. Der Durchmesser der Teilflächen beträgt etwa 12 mm und umfasst etwa 11 500 Messpixel.

Das Leuchtenmodul mit dem weißen Reflektor (V02) realisiert im Nahfeld eine vergleichbar breite Ausleuchtung wie das Leuchtenmodul mit leicht streuender Linse (V01), jedoch bei deutlich höheren maximalen Leuchtdichten. Wegen der damit erhöhten Blendungsgefährdung wurde daher dem Leuchtentyp V01 für weitere Betrachtungen der Vorzug gegeben.

Erste Tests unter Einsatzbedingungen zeigten, dass bei schnellen Bewegungen im Sichtfeld – wie sie z. B. bei Montagearbeiten auftreten oder bei Niederschlägen vorkommen können – Stroboskopeffekte beobachtet wurden. Deshalb wurde für die Testleuchten die Stromdimmung gegenüber der Pulsweitenmodulation zur Anpassung des Beleuchtungsniveaus empfohlen. Entsprechend erfolgte eine Weiterentwicklung der Testleuchte V01 seitens des Herstellers. Zusätzlich wurde nach Möglichkeiten gesucht, um die maximale Leuchtdichte und damit die Blendungsgefährdung zu reduzieren. Dafür wurden mikro- und nanostrukturierte Folien der Firma temicon getestet. Ausgewählt wurde ein Zirkulardiffusor mit definiertem Streuwinkel bei gleichzeitiger hoher Transmission (C40). Der Einsatz der Streufolien hat Einfluss auf die Lichtverteilung und das Beleuchtungsniveau und beeinflusst die Leuchtweite. Eine entsprechende Anpassung der LED-Ansteuerung war damit erforderlich.

Abbildung 2 zeigt die weiterentwickelte Leuchte KS-6001-Duo-GB in zwei Ausführungen, links mit (V03) und rechts ohne zusätzliche Streufolie (V04). Von zehn Testleuchten verfügen acht Leuchten über eine Streufolie (V03), zwei Leuchten waren ohne diese ausgeführt (V04). Die lichttechnischen Eigenschaften beider Leuchtentypen sind in Tabelle 4 und Tabelle 5 zusammengefasst. Diese wurden durch Messungen der Leuchten im Goniophotometer ermittelt.

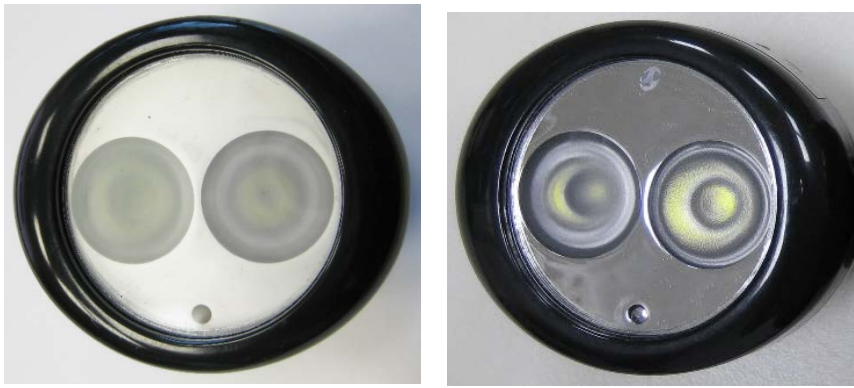


Abbildung 2: Testleuchte V03 mit zusätzlicher Streufolie (links) und Testleuchte V04 ohne zusätzliche Streufolie (rechts) als Weiterentwicklung der Leuchte V01

Tabelle 4: Messwerte der Testleuchte V03 mit Streufolie (KS-6001-Duo-GB 05) für unterschiedliche Lichtmodi

Einsatzzweck	Lichtkegel Öffnungswinkel $\alpha$	Beleuchtungsstärke $E_0$ (bei 0,5 m)	Lichtstärke $I_0$	Lichtstrom $\Phi$	max. Leuchtdichte (Mittelwert)*)
<b>Greifraum (Mode 2)</b>	52° ( $E_0/3$ ) 78° ( $E_0/10$ )	56 lx	14,0 cd	16,9 lm	284 000 cd/m <sup>2</sup> (38 300 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Gehen (Mode 1)</b>	47° ( $E_0/3$ ) 73° ( $E_0/10$ )	82 lx	20,4 cd	19,4 lm	202 900 cd/m <sup>2</sup> (60 570 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Boost (Mode 3)</b>	52° ( $E_0/3$ ) 76° ( $E_0/10$ )	325 lx	81,2 cd	83,4 lm	674 000 cd/m <sup>2</sup> (142 600 cd/m <sup>2</sup> )

\*) Die Messungen erfolgten im Goniophotometer RIGO801 in senkrechter Draufsicht mit einem 25 mm-Objektiv in einer Messentfernung von 0,5 m. Die Auswertung der Leuchtdichte bezieht sich auf die jeweils leuchtende Fläche, die durch den Reflektor bzw. die Optik gebildet wird. Der Durchmesser der Teilflächen beträgt etwa 12 mm und umfasst etwa 11 500 Messpixel.

Tabelle 5: Messwerte der Testleuchte V04 ohne Streufolie (KS-6001-Duo-GB 03) für unterschiedliche Lichtmodi

Einsatzzweck	Lichtkegel Öffnungswinkel $\alpha$	Beleuchtungsstärke $E_0$ (bei 0,5 m)	Lichtstärke $I_0$	Lichtstrom $\Phi$	max. Leuchtdichte (Mittelwert)*)
<b>Greifraum (Mode 2)</b>	70° ( $E_0/3$ ) 83° ( $E_0/10$ )	52 lx	14,1 cd	21,5 lm	1 110 000 cd/m <sup>2</sup> (37 210 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Gehen (Mode 1)</b>	40° ( $E_0/3$ ) 56° ( $E_0/10$ )	211 lx**)	54,0 cd	25,2 lm	1 400 000 cd/m <sup>2</sup> (168 400 cd/m <sup>2</sup> )
<b>Boost (Mode 3)</b>	50° ( $E_0/3$ ) 68° ( $E_0/10$ )	628 lx	162 cd	111 lm	3 400 000 cd/m <sup>2</sup> (409 700 cd/m <sup>2</sup> )

\*) Die Messungen erfolgten im Goniophotometer RIGO801 in senkrechter Draufsicht mit einem 25 mm-Objektiv in einer Messentfernung von 0,5 m. Die Auswertung der Leuchtdichte bezieht sich auf die jeweils leuchtende Fläche, die durch den Reflektor bzw. die Optik gebildet wird. Der Durchmesser der Teilflächen beträgt etwa 12 mm und umfasst etwa 11 500 Messpixel.

Im Vergleich zu den Vorgabewerten nach Tabelle 1 traten auch bei dem weiterentwickelten Leuchtentypen technologisch bedingt Abweichungen im Beleuchtungsniveau auf. Für die Lichtmodi 1 und 2 sind die Werte höher, im Boost-Mode deutlich niedriger. Anhand der Messergebnisse wird deutlich, dass die Streufolie zur Reduzierung der Leuchtdichte beiträgt und damit die Blendungsgefährdung verringert.

Die Leuchte KS-6001-Duo-GB wurde in den Ausführungen V03 und V04 in der Praxis getestet. Abweichungen in lichttechnischen Parametern wurden dabei in Kauf genommen.

### **3 Evaluation**

Die Evaluation der Testleuchten erfolgte mit 19 Beschäftigten in drei Unternehmen. Die Auswahl der Praxispartner, die Festlegung von Versuchsdesign und Methodik erfolgte in Abstimmung und mit Unterstützung der BG ETEM. Die Evaluation wurde während der Nachtschicht an unterschiedlichen Standorten und bei verschiedenen Tätigkeiten, örtlichen Gegebenheiten und Witterungsverhältnissen durchgeführt. In der Versuchsroutine war es nicht möglich, alle Testpersonen zu begleiten und die Urteile einzeln zu erfassen. Daher gaben die Probanden ihre Urteile in einem Fragebogen ab. Dies erfolgte nach Tests während der Nachtschicht an einem bis fünf Tagen.

In allen teilnehmenden Unternehmen erfolgte eine Einweisung von Schichtleitern, Sicherheitsfachkräften, Fachgebietsleiter und, so möglich, der Beschäftigten vor Ort. Die Unterweisung weiterer Probanden wurde durch die verantwortlichen Vorarbeiter und Fachgebietsleiter übernommen, da die Beschäftigten in unterschiedlichen Schichten und an verschiedenen Einsatzorten tätig waren. Im Rahmen der Einweisung erfolgte eine Einführung in die Thematik der Beleuchtung im Fahrleitungsbau und die Vorstellung bisheriger Ergebnisse bezüglich der lichttechnischen Parameter der Helmleuchten. Erläutert wurden die Handhabung der Leuchte und die Beantwortung des Fragebogens. Fragebogen und Anleitung sind im Anhang A und B zu finden.

#### **3.1 Fragebogen**

Im Fragebogen wurden neben allgemeinen Angaben zum Probanden Informationen zu den Testbedingungen erfasst. Jede Testleuchte wurde von den Probanden hinsichtlich der grundsätzlichen Eignung, der Eignung der einzelnen Leuchtmodi und deren lichttechnischen Parametern für die Tätigkeiten im Fahrleitungsbau bewertet. Die inhaltlichen Schwerpunkte des Fragebogens sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Für die Fragen wurden 21-stufige bipolare Bewertungsskalen verwendet, die eine Einschätzung zwischen gegensätzlichen Aspekten (z. B. sehr gut geeignet bis völlig ungeeignet) erlaubt. Die Bewertungsskalen wurden für die Auswertung in gleich große Abschnitte unterteilt, die mit sieben Zahlenwerten codiert wurden. Beispiele sind in Abbildung 3 gezeigt.

Zusätzlich wurden die Probanden zur Rückschaltautomatik aus dem Boost-Mode befragt. Da nur die lichttechnischen Aspekte der Leuchte im Fokus der Fragen standen, ergänzte ein freies Antwortfeld den Fragebogen. Hier war es den Testpersonen möglich, aufgetretene Probleme zu beschreiben und auf andere Aspekte, wie z. B. die Handhabung, einzugehen oder Anmerkungen zu machen (Fragebogen siehe Anhang A).

Tabelle 6: Inhaltliche Schwerpunkte des zur Evaluierung verwendeten Fragebogens (Anhang A)

Angaben zur Person

- Alter
- Sehhilfe (Brille/ Gleitsichtbrille)
- Unternehmen

Testbedingungen

- Datum
- Zeitraum
- Einsatzort
- Witterung
- Typische Tätigkeiten
- Zusatzbeleuchtung am Einsatzort
- Einsatzdauer der Helmluchte

Gesamturteil zur Eignung der Testleuchte und je Lichtmode

Bewertung Mode 1 (Gehen)

- Beleuchtungsniveau
- Lichtkegelgröße
- Erkennung Hindernisse/ Gefahrensituationen/ Sicherheitsgefühl

Bewertung Mode 2 (Nahfeld)

- Beleuchtungsniveau
- Lichtkegelgröße
- Blendung/ Reflexblendung

Bewertung Mode 3 (Boost)

- Beleuchtungsniveau
- Lichtkegelgröße
- Blendung
- Rückschaltautomatik

Probleme/ Anmerkungen/ Sonstiges

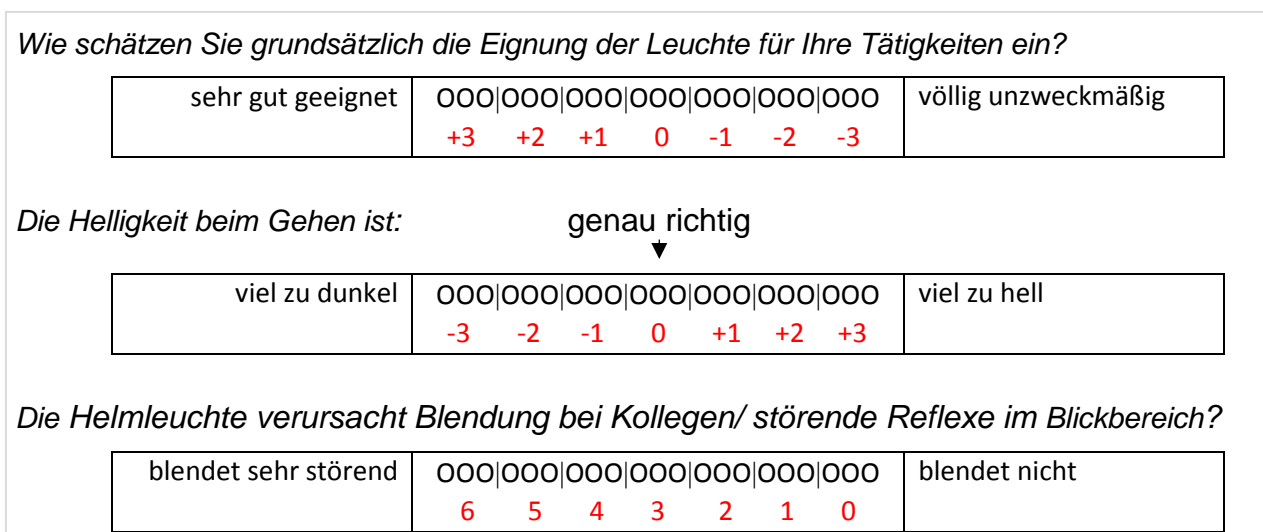


Abbildung 3: Beispiele für 21-stufige bipolare Bewertungsskalen und deren zahlenmäßige Codierung für die Auswertung

### 3.2 Probanden

An der Evaluation der Testleuchten nahmen 19 Beschäftigte im Alter zwischen 27 und 61 Jahren teil, die in drei Unternehmen im Fahrleitungsbau tätig sind. Das Durchschnittsalter der Männer beträgt  $42 \pm 11$  Jahre und die Hälfte der Probanden ist älter als 40 Jahre. Tabelle 7 fasst die Verteilung der Nutzerurteile nach Unternehmen und Testleuchtentyp zusammen.

Tabelle 7: Verteilung der Nutzerurteile nach Unternehmen und Testleuchtentyp

Unternehmen	Leuchtentyp V03 mit Streufolie	Leuchtentyp V04 ohne Streufolie
<b>Fa 1</b>	4	2
<b>Fa 2</b>	6	1
<b>Fa 3</b>	5	1
<b>gesamt</b>	<b>15</b>	<b>4</b>

Die Evaluierung der Testleuchten erfolgten mehrheitlich bei trockenem Wetter (2/3 der Bewertungen) und zur Hälfte bei Arbeiten in beleuchteten Bereichen als auch in Bereichen ohne Zusatzbeleuchtung in der Umgebung (50%). Die Testung der Helmleuchte erfolgte für folgende Tätigkeiten: Montage (46%), Gleisbau/ Bahnerdung (15%), Arbeiten an Steuer-schränken (15%), Inspektion (12%), Sicherung und Bedienung des Turmwagens (12%).

### 3.3 Ergebnisse

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Befragung bezüglich des Gesamturteils der Eignung der Leuchte gezeigt. Die Testleuchte V03 (mit Streufolie) wurde von den Probanden mit einem Wert von 0,5 für den Mittelwert und einem Median von 1 etwas positiv bewertet. Die Spanne der Whisker (Minimal- bis Maximalwert) zeigt, dass die Urteile im Bereich von sehr gut geeignet bis völlig ungeeignet streuen. Die Grafik verdeutlicht auch die Unterschiede in den Bewertungen zwischen den einzelnen Unternehmen. Als gut geeignet bewerteten die Beschäftigten der Firma Fa 1 die Testleuchte. Eher ungeeignet schätzen die Beschäftigten der Firma Fa 2 die Leuchte ein. Bei dem Unternehmen Fa 3 streuen die Urteile zwischen sehr gut geeignet bis ungeeignet. Das mittlere Urteil ist jedoch positiv. Das Diagramm in Abbildung 5 zeigt die Gesamtbewertung zur Eignung der Leuchte und die Bewertungen der einzelnen Lichtmodi.

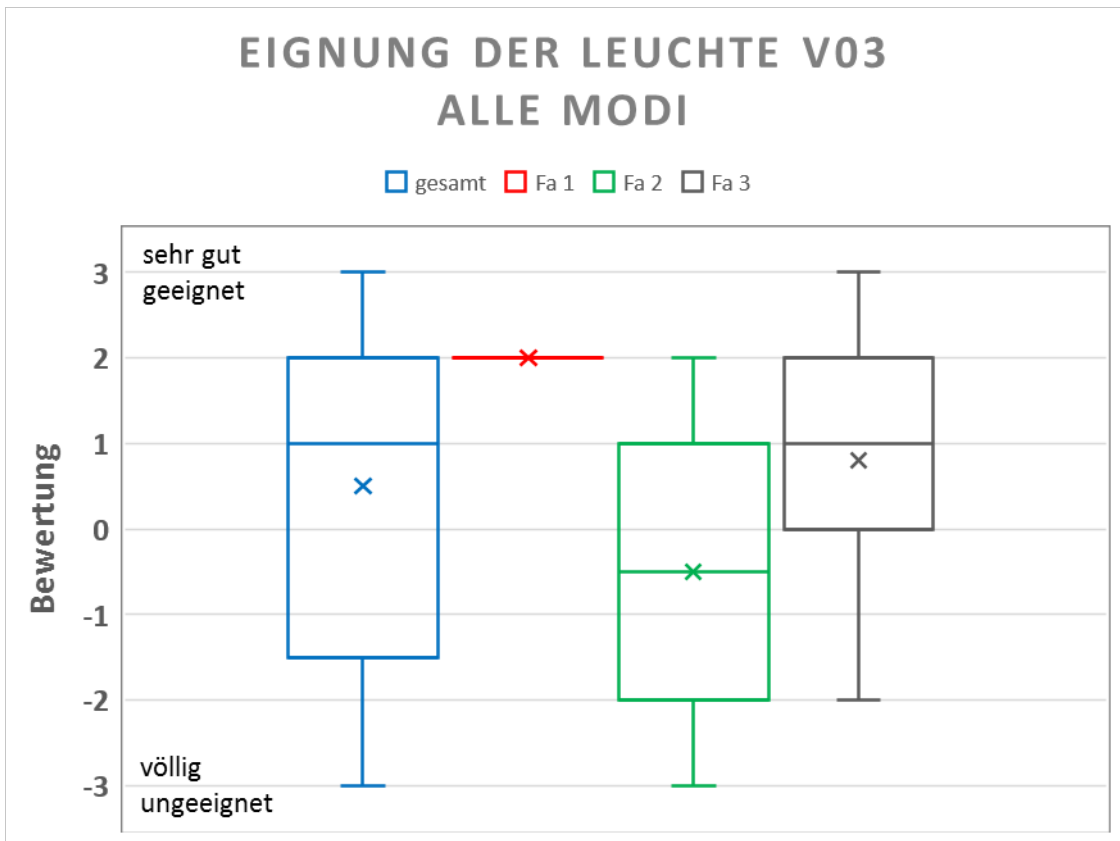


Abbildung 4: Gesamtbewertung der Eignung der Testleuchte V03 mit Streufolien zusammengefasst und nach Unternehmen, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

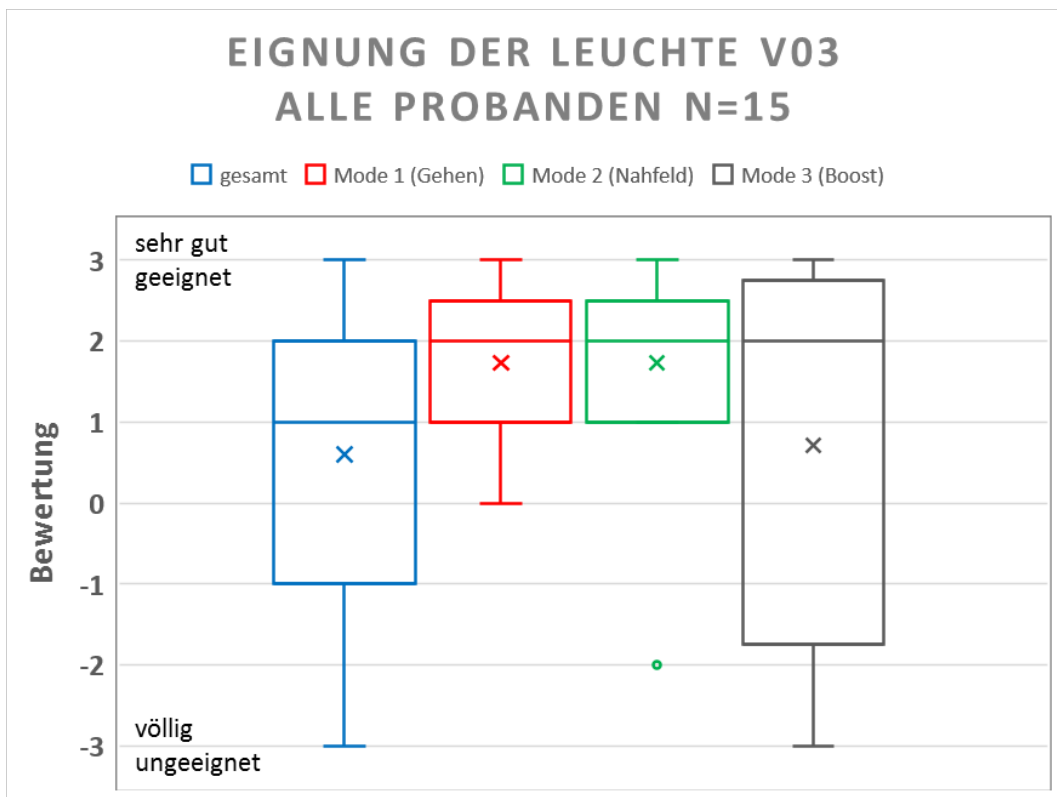


Abbildung 5: Bewertung der Eignung der Testleuchte V03 gesamt und nach Lichtmode, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)



Ersichtlich ist, dass die Lichtmodi Mode 1 und Mode 2 für Gehen und Nahfeld gut bewertet wurden, während Mode 3 (Boost) zur Ausleuchtung in größerer Entfernung zum Teil negativ beurteilt wird. Der deutliche Unterschied zwischen Mittelwert (Kreuz im Diagramm) und dem Medianwert (Mittellinie in der Box) zeigt, dass für die Hälfte der Urteile Werte von zwei und besser vergeben wurden, Einzelurteile besonders im Boost-Mode jedoch Werte von - 3 (völlig ungeeignet) haben. Eine detaillierte Zusammenfassung der statistischen Kenndaten für die Befragungsergebnisse ist in Anhang C für die Bewertung der Leuchtentypen V03 und V04 angegeben.

### 3.3.1 Eignung – Gehen im Gleisbett (Mode 1)

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse für die Bewertung des Lichtmode 1 (Gehen) für die Testleuchte V03 nach Unternehmen dargestellt. Insgesamt sind die Bewertungen sehr ähnlich. Grundsätzlich wurde die Leuchte zum Gehen als gut geeignet bewertet. 50% der Urteile haben Werte von  $\geq 2$  (gute bis sehr gute Eignung).

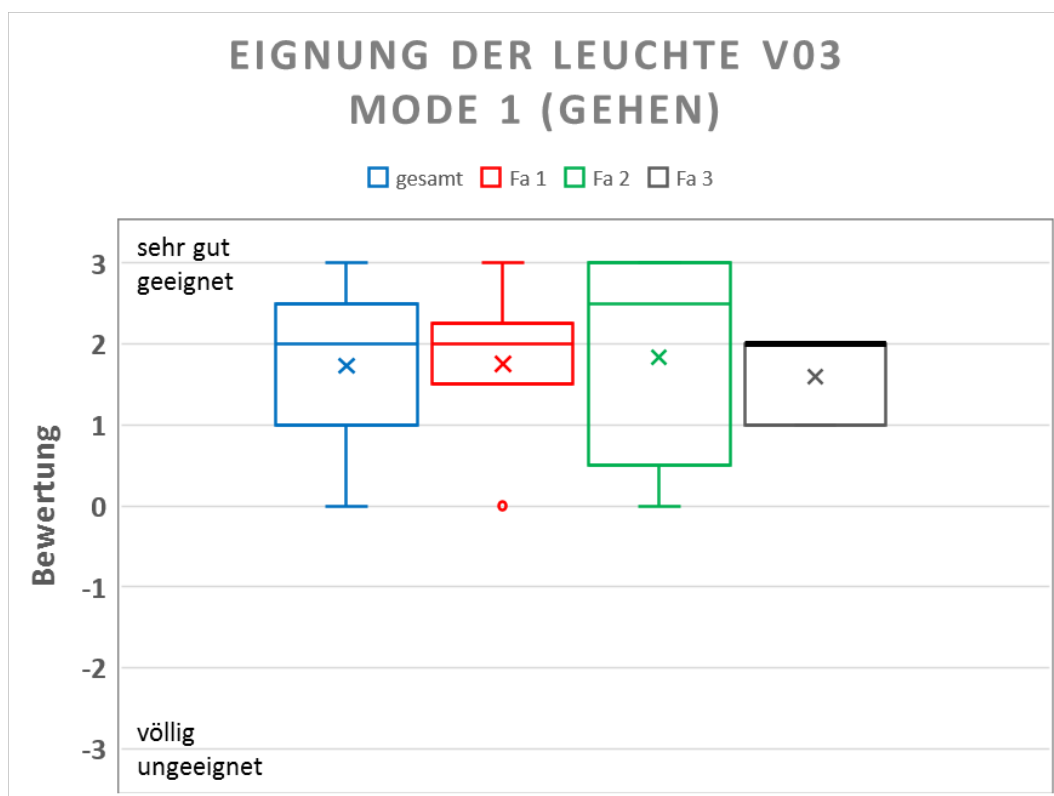


Abbildung 6: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 1 gesamt und nach Unternehmen, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

Abbildung 7 fasst die Urteile aller Probanden (N = 15) zusammen und stellt die Bewertung der lichttechnischen Parameter dar. Hindernisse und Gefahrensituationen können mehrheitlich sicher erkannt werden. Jedoch wurde die Beleuchtung mit  $E_0 = 80 \text{ lx}$  nach Tabelle 4 als etwas zu dunkel empfunden und der ausgeleuchtete Bereich könnte größer sein.

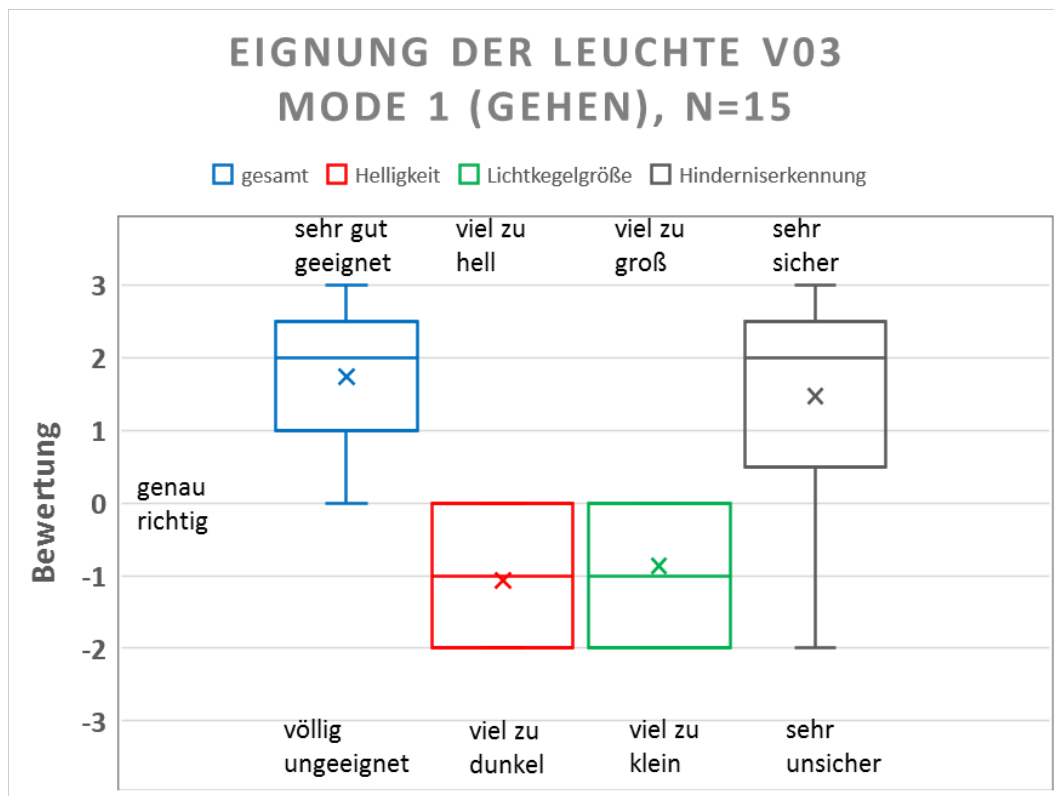


Abbildung 7: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 1 gesamt und nach Beleuchtungsniveau, Größe des ausgeleuchteten Bereichs und der sicheren Erkennung von Hindernissen und Gefahrensituationen, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

### 3.3.2 Eignung – Arbeiten im Greifraum (Mode 2)

In Abbildung 8 sind die Ergebnisse für die Bewertung des Lichtmode 2 (Nahfeld) der Testleuchte V03 nach Unternehmen dargestellt. Insgesamt sind die Bewertungen sehr ähnlich und wird diese Einstellung als gut geeignet bewertet. Alle Medianwerte sind  $\geq 2$ . Damit bewerten 50% der Probanden die Testleuchte für Arbeiten im Greifraum (Nahbereich) als gut bis sehr gut geeignet.

Abbildung 9 fasst die Urteile aller Probanden ( $N = 15$ ) bezüglich Beleuchtungsniveau, Lichtkegelgröße und Blendung zusammen. Die Beleuchtung  $E_0 = 55 \text{ lx}$  nach Tabelle 4 wird als zu dunkel eingeschätzt und der ausgeleuchtete Bereich als zu klein empfunden. Die Mehrheit der Testpersonen nimmt keine Blendung wahr. Einzelpersonen berichten von deutlicher bis störender Blendung bzw. Reflexblendung an glänzenden Teilen selbst bei dem geringen Beleuchtungsniveau. Mit einer maximalen Leuchtdichte bis zu  $200\,000 \text{ cd/m}^2$  ist in diesem Lichtmode mit Blendung in der Begegnungssituation bzw. Reflexblendung an glänzenden Oberflächen zu rechnen.

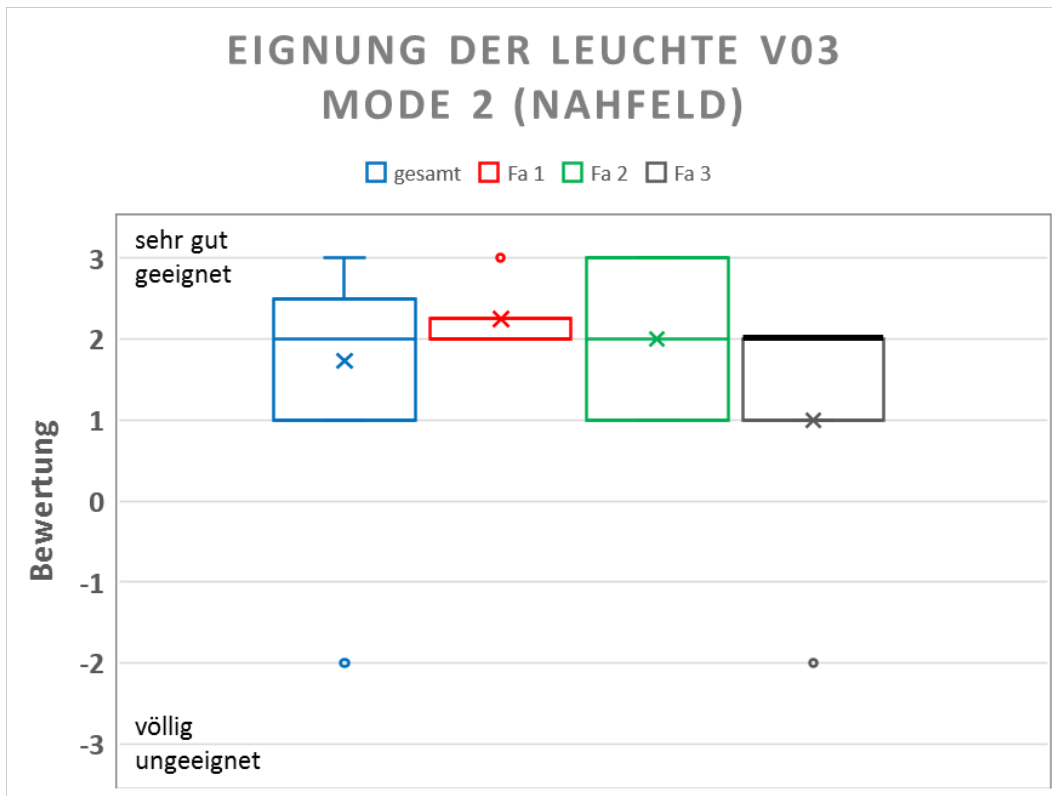


Abbildung 8: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 2 gesamt und nach Unternehmen, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

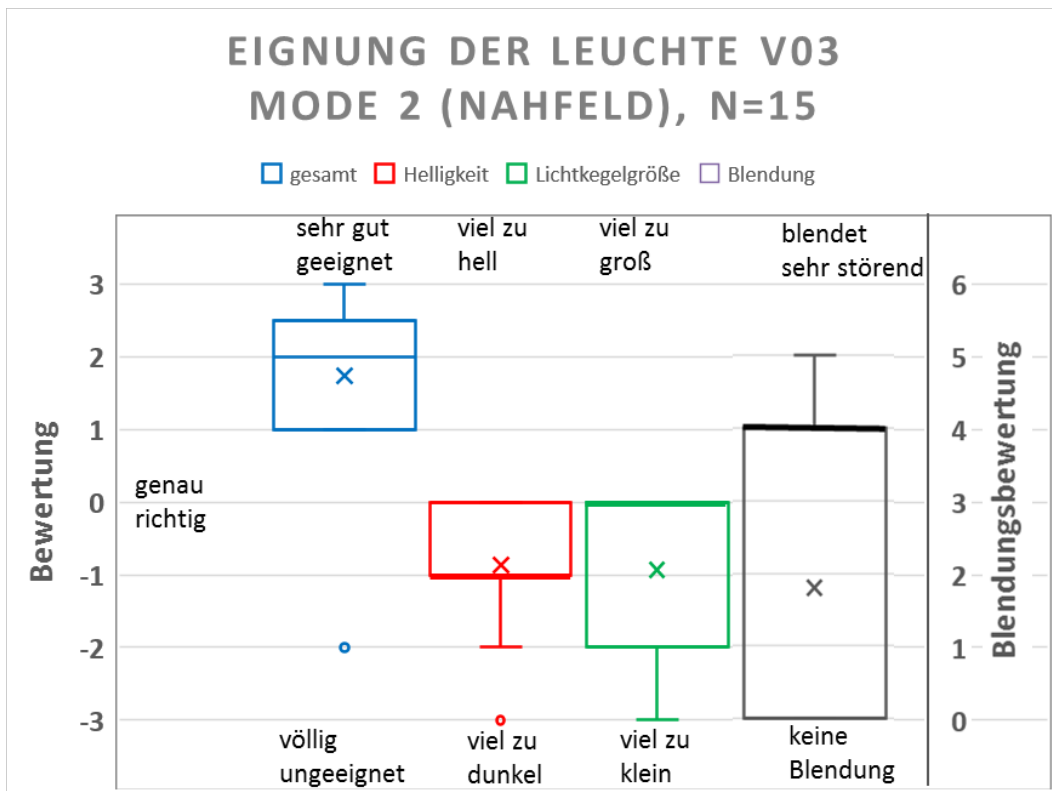


Abbildung 9: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 2 gesamt und nach Beleuchtungsniveau, Größe des ausgeleuchteten Bereichs und Blendung/ Reflexblendung, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

### 3.3.3 Eignung – Boost-Mode (Mode 3)

Die Ergebnisse der Befragung sind in Abbildung 10 und Abbildung 11 zusammengefasst. Das Diagramm in Abbildung 10 stellt die Bewertungen nach Unternehmen dar, in Abbildung 11 sind die Urteile bezüglich Beleuchtungsniveau, Größe des Lichtkegels und Blendung gezeigt. Der Boost-Mode wird als wenig geeignet eingeschätzt. Kritisiert werden die geringe Helligkeit und die fehlende Leuchtweite, um Details auch in größerer Entfernung gut sehen zu können. In einzelnen Fragebögen sind Anmerkungen zu finden, dass Leuchtweiten bis 100 m notwendig sind, z. B. beim der Ausrichtung von Kettenwerken. Da die Testleuchte V03 für den Boost-Mode deutlich das Beleuchtungsniveau der Mindestanforderung nach Tabelle 1 unterschreitet, kann davon ausgegangen werden, dass eine höhere Auslegung den Anforderungen in der Praxis eher gerecht wird.

Nach Abbildung 12 und Abbildung 13 bekommt die Testleuchte V04 im Boost-Mode eine bessere Gesamtbewertung. Hier ist das Beleuchtungsniveau etwa doppelt so hoch wie bei Testleuchte V03 (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5).

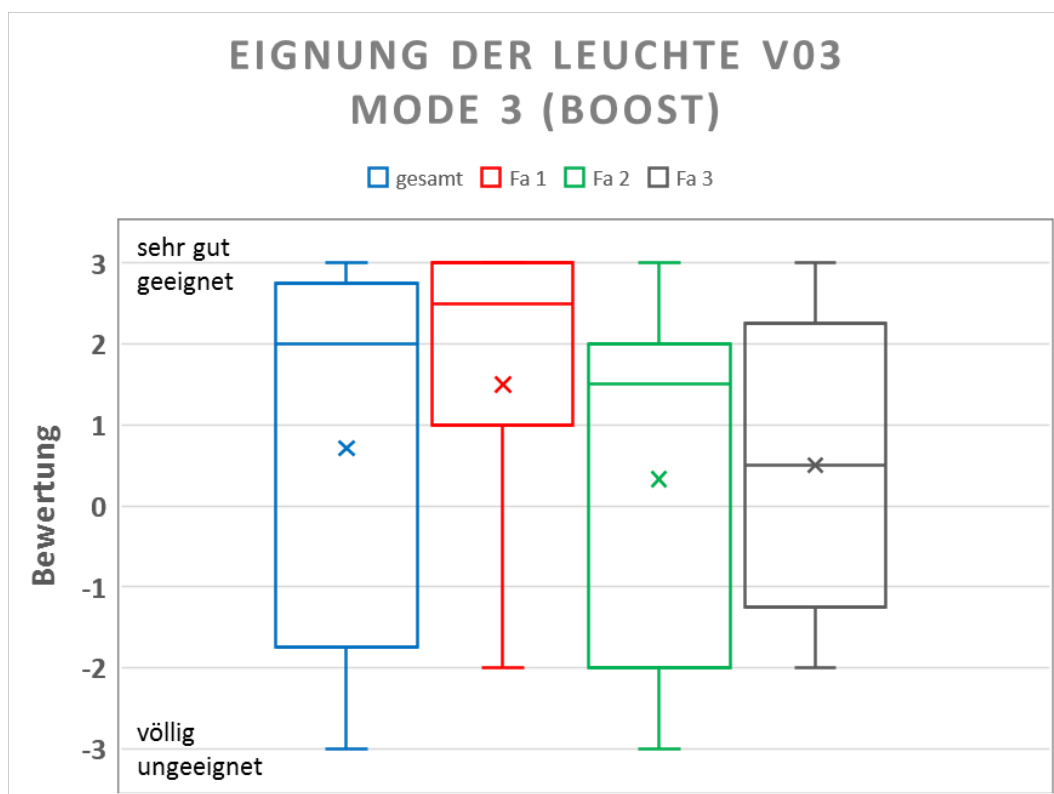


Abbildung 10: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 3 gesamt und nach Unternehmen, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

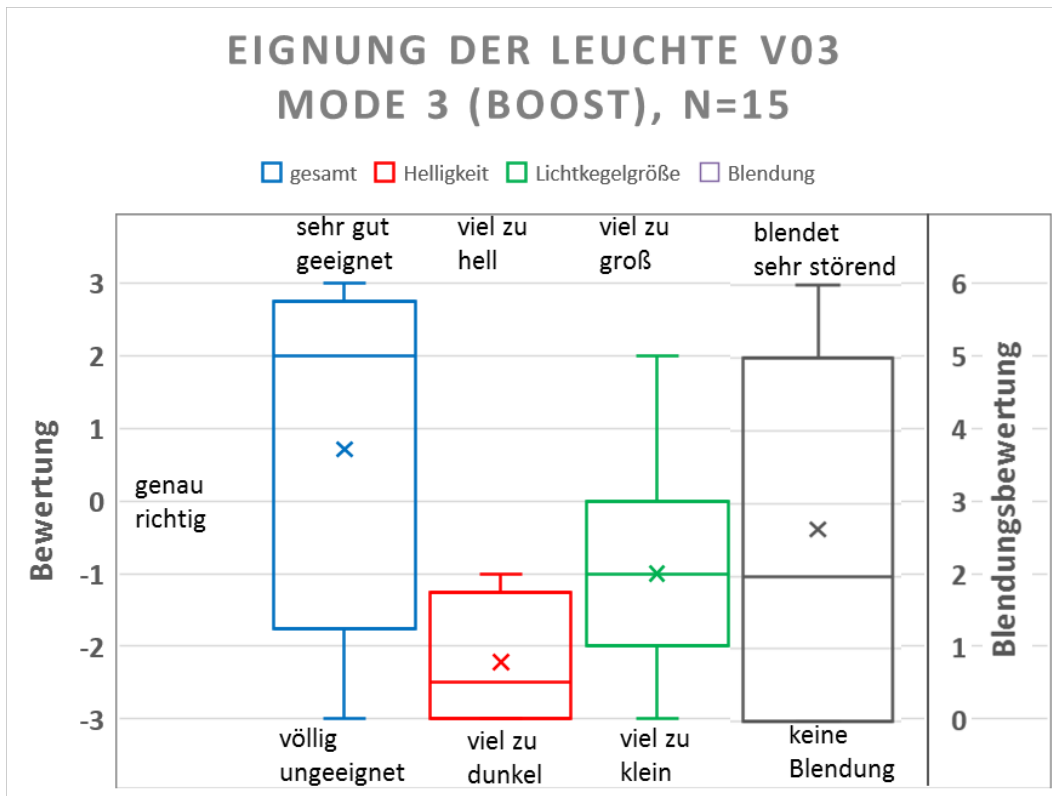


Abbildung 11: Urteile über die Testleuchte V03 zum Mode 3 gesamt und nach Beleuchtungsniveau, Größe des ausgeleuchteten Bereichs und Blendung/ Reflexblendung, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

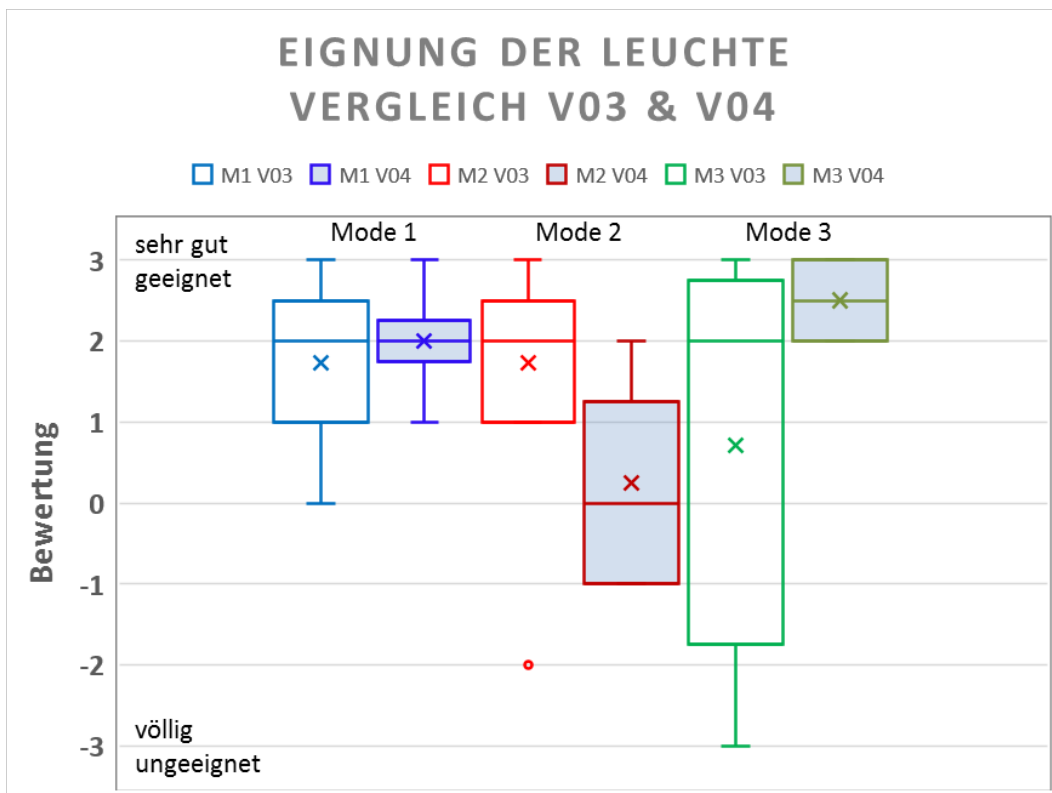


Abbildung 12: Vergleich zwischen den Testleuchten mit Folie (V03) und ohne Folie (V04) bezüglich dem Gesamturteil für die unterschiedlichen Lichtmodi, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

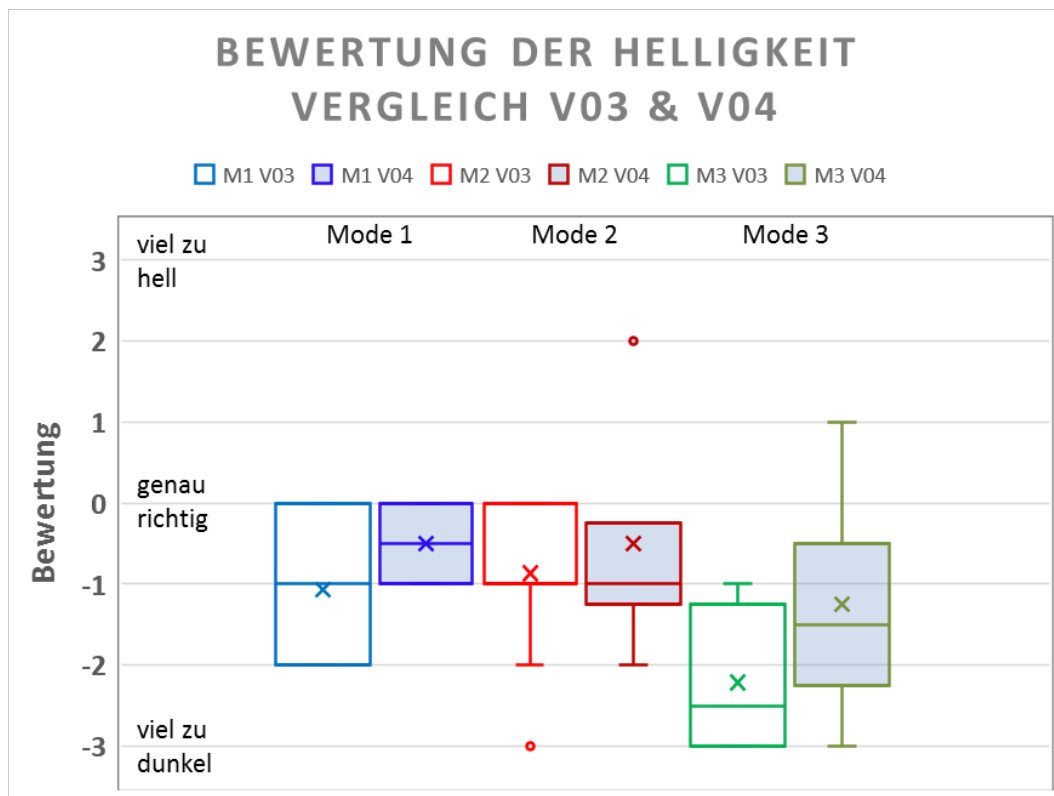


Abbildung 13: Vergleich zwischen den Testleuchten mit Folie (V03) und ohne Folie (V04) für die unterschiedlichen Lichtmodi bezüglich der Helligkeitsbewertung, dargestellt sind Boxplots (Min, 25 %-Perzentile, Median, 75 %-Perzentile, Max) und Mittelwerte der Bewertungen (Kreuz)

Eine Rückschaltautomatik im Boost-Mode halten die Probanden für nicht sinnvoll. 14 der 19 Urteile (74 %) bewerten sie als völlig sinnlos (-3) und zwei Probanden (10,5 %) als ziemlich sinnlos (-2). Nur zwei Probanden gaben ein neutrales Urteil ab (0) oder bewerteten eine Rückschaltautomatik für sinnvoll (1). Ein automatisches Umschalten wird in der Praxis nicht gewünscht. Allerdings konnte diese Option von den Probanden nicht unmittelbar getestet werden. Vielmehr leiteten die Probanden diese Aussage daraus ab, wie sie während ihrer Arbeit aktiv in einen anderen Lichtmode umschalten würden.

### 3.3.4 Kommentare

Die Anmerkungen des freien Antwortfeldes beziehen sich vorwiegend auf Kommentare zu den lichttechnischen Aspekten der Leuchte. Diese sind nachfolgend aufgelistet:

- stärkerer Fokus im Boost-Mode gewünscht
- Beleuchtung mit stärkerem Fokus im Boost-Modus notwendig
- Zoomfunktion fehlt
- Fernsicht zu gering!
- Sichtweiten bis 100 m erforderlich, Verlauf des Kettenwerks nicht erkennbar, Schaltgruppen nicht nachvollziehbar, Schalterstellung in 15 m Höhe nicht erkennbar
- Lampe zu dunkel (besonders im Boost-Modus)
- Helligkeit im Mode Gehen gleich der im Mode Nahfeld, kaum unterschiedlich wahrgenommen, zwei Modi bei Leuchte ausreichend: Nah & Boost
- ohne Zoom nicht verwendbar, da Schalter zur Netztrennung nicht erkennbar
- Leuchten für Arbeiten im Nahfeld gut geeignet, jedoch zu dunkel besonders in größeren Sehentfernungen

Ein Proband testete sowohl den Leuchtentyp V03 als auch V04 und kommentierte den Vergleich wie folgt:

- weniger harte Schatten, Rillen und Nuten im Fahrdraht besser erkennbar als bei Leuchten ohne Folie
- weniger Blendung als bei Leuchten ohne Folie: Kollegen haben sich deutlich mehr über Blendung beschwert als beim Test der Leuchte mit Folie
- ich würde die Leuchte V03 gerne behalten

Andere Anmerkungen bezogen sich auf die Handhabung der Leuchte:

- Rückschaltautomatik im Boost-Modus sehr störend, sinnlos
- Wenn man Kollegen ansieht, kann man immer noch dimmen
- Bedienung des Schalters schwierig, zu klein
- Halterung schlecht
- Halterung schlapperig, mehr Spangen erforderlich
- weichere Auflagefläche, damit Tragen auch ohne Helm nicht stört
- Leuchte schön leicht
- Betriebsdauer ausreichend

### 3.3.5 Diskussion

Die Urteile der Probanden zeigen das Dilemma zwischen ausreichender Helligkeit im Sehfeld und Blendungsgefährdung. Ein Beleuchtungsniveau von  $E_0 = 55$  lx für die Ausleuchtung im Nahfeld sollte nicht deutlich überschritten werden. Alternativ kann der Lichtmode 1 mit dem höheren Beleuchtungsniveau angewendet werden, um größeren Sehanforderungen im Nahbereich gerecht zu werden.

Die Erwartungshaltung der Probanden bezüglich Helligkeit und Leuchtweite sind wesentlich durch ihre bisherigen Erfahrungen geprägt. Zum Teil werden in der Praxis lichtstarke Stirnleuchten (wie Nao von Petzl (Fa 3) / V4pro von Suprabeam oder Piko von Lupine (Fa 2)) in den Firmen verwendet. Zusätzlich ist auf Turmwagen und Hubbühnen eine Beleuchtung vorhanden bzw. kann zusätzlich angebracht werden. Dies beeinflusst sicher die Bewertung von Helligkeit und Größe des ausgeleuchteten Bereichs.

Auch zusätzliches Licht in der Umgebung durch Straßen- und Stadtbeleuchtung oder in Bereichen von Haltepunkten auf Bahnstrecken hat Einfluss auf den jeweiligen Adaptationszustand und damit das Helligkeitsempfinden. In dunkler Umgebung wirkt das gleiche Beleuchtungsniveau heller als im helleren Umfeld.

Die Anpassung an eine dunkle Umgebung benötigt längere Zeit (einige Minuten) und ob sich im Arbeitskontext darauf eingelassen wurde, ist nicht sicher. Dies legt eine Beobachtung während einer Nachtschicht im Unternehmen Fa 3 nahe. Es wurden drei Beschäftigte während einer Nachtschicht begleitet. Zusätzlich war zu beobachten, dass die Einstellung der Beleuchtung während der Tätigkeit kaum verändert wurde. Eher wird die Blendung von Kollegen in Kauf genommen (Kommentar: „*Wenn man Kollegen ansieht, kann man immer noch dimmen.*“).

Aufgrund des fließenden Übergangs der Testleuchte zwischen Lichtkegel und Umgebung ist keine sprunghafte Änderung der Helligkeit im Sehfeld erkennbar. Es ist anzunehmen, dass dies Einfluss auf die Bewertung der Lichtkegelgröße hat, da sich der ausgeleuchtete Bereich durch den flachen Gradienten nicht klar von der dunklen Umgebung abgrenzt.

Grundsätzlich wird eingeschätzt, dass für das Gehen im Gleisbett ein Beleuchtungsniveau von  $E_0 = 100$  lx bis 150 lx bezogen auf eine Messentfernung von 0,5 m ausreichend sein sollte. Damit Mode 1 (Gehen) und Mode 2 (Nahfeld) deutlich unterschiedlich wahrgenommen werden, sollte sich das Beleuchtungsniveau um den Faktor zwei bis drei unterscheiden.



Der Einsatz von mikro- oder nanostrukturierten Folien kann bezogen auf eine geringere Blendungsgefährdung empfohlen werden. Es kann lohnend sein, andere Diffusoren zu testen, die eine breite Ausleuchtung im Vorfeld betonen.

Bei einer Vorortbegehung in einem Baustellenbereich der Stadtwerke Bonn wurden Schadensfälle gezeigt, die bei Inspektionen sicher erkannt werden müssen. Beispiele sind in Abbildung 14 zu sehen.

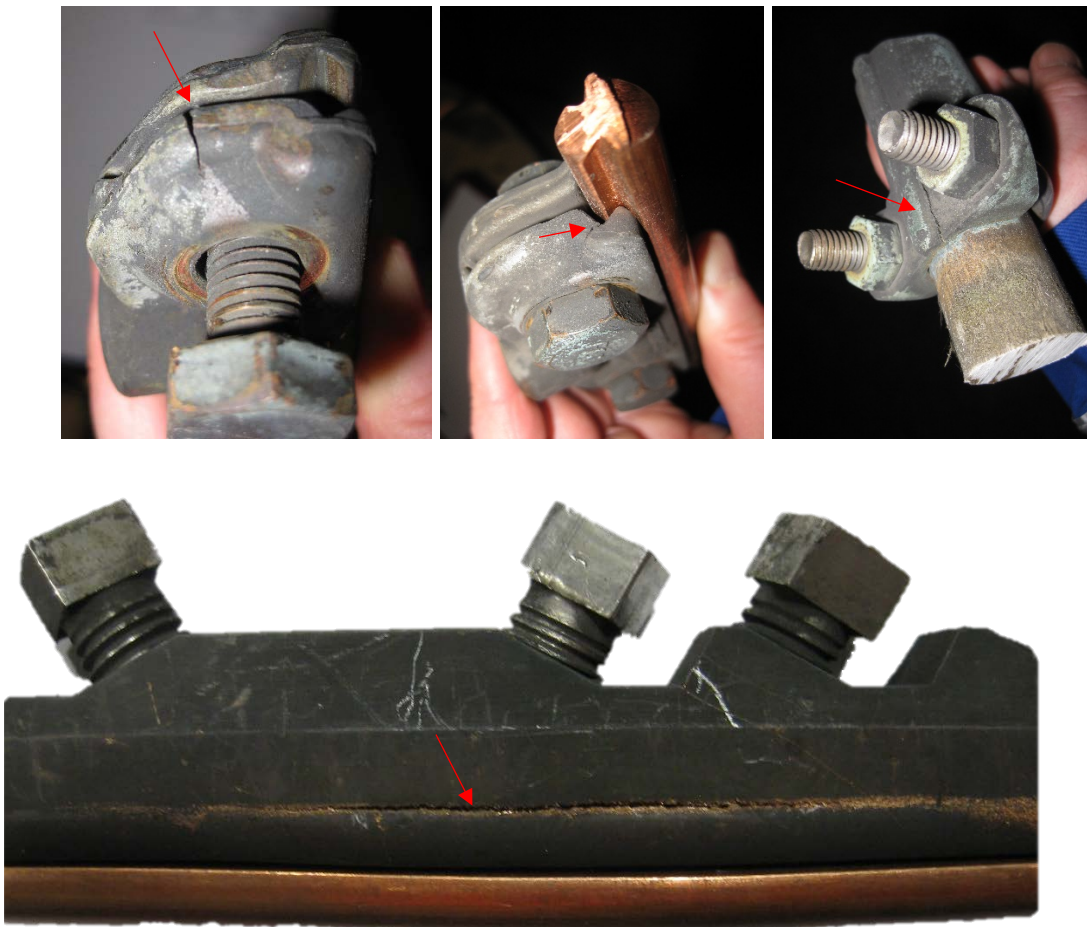


Abbildung 14: Beispiele für Schadensfälle (Pfeilmarkierung) an Verbindern und Halterungen, die bei Inspektionen sicher erkannt werden müssen

Solch kleine Details wie Risse erfordern auch höhere Beleuchtungsniveaus für das sichere Erkennen. In diesem Fall ist es sinnvoll einen Lichtmode mit höherem Beleuchtungsniveau zu wählen (z. B. Mode 1) oder zusätzliche Leuchten einzusetzen.

Nach Aussagen des Fachgebietsleiters der Firma Fa 3 wird zukünftig erwartet, dass sich wegen des hohen Verkehrsaufkommens am Tage der Anteil von Arbeiten an Fahrleitungen

weiter in die Nachtstunden verlagern wird. Stirnleuchten werden damit für die Arbeiten zukünftig noch wichtiger.

Während der Tests bei der Firma Fa 3 wurde beobachtet, dass fast unabhängig von den Tätigkeiten der Boost-Mode gewählt wurde. Das höhere Helligkeitsniveau wurde vorteilhaft beim Gehen empfunden und erlaubt zeitgleich auch den Blick in größere Entfernung. Dies ist zum Beispiel nach Aussagen einer Testperson während der Steuerung des Turmwagens von der Arbeitsbühne aus bei Inspektionstätigkeiten notwendig. Hier müssen Auslieger bei Durchfahrten rechtzeitig erkannt werden, um ausweichen zu können. Jedoch verfügen die Turmwagen über die Möglichkeit zusätzliche Beleuchtung zu nutzen, z. B. in Form von Strahlern und Handleuchten.

Bezüglich der Ablehnung der Rückschaltautomatik kann angemerkt werden, dass adaptive Beleuchtungssysteme, die Ihre Helligkeit variieren, bisher kaum vorkommen, sodass auch ein möglicher Vorteil nicht erlebt wurde. Gegenüber Änderung der Helligkeit im Gesichtsfeld sind Personen oft kritisch. In der Firma Fa 3 wird beispielsweise die Stirnleuchte NAO+ von Petzl verwendet. Diese ist mit der Reactive Lighting-Technologie ausgestattet, die mit Sensoren die Helligkeit der Umgebung erfasst und die Helligkeit der Leuchte daran anpasst. Damit soll Blendung in Begegnungssituationen und Reflexblendung im Nahfeld reduziert werden. Diese Funktion wird aber nur von einigen Mitarbeitern genutzt, da automatische Helligkeitsschwankungen im Sehbereich z. T. als unangenehm empfunden werden. Der Hersteller wirbt mit Optimierung der Akkulaufzeit bei Reduzierung der Lichtleistung in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen.

Die Messung der Leuchtdauer im Mode 3 zeigen, dass die Kapazität der Stromversorgung für eine Betriebsdauer im Boost-Mode von etwa 5,5 h in der aktuellen Auslegung ausreicht. Als typische Nutzungszeiten für die Helmleuchte während der Nachtschicht wurden Zeiten bis 5 Stunden angegeben. Diese Zeit wird als Mindestleuchtdauer in jedem Lichtmode betrachtet.

## 4 Zusammenfassung

Die Evaluierung der Testleuchte in der Praxis hat gezeigt, dass für unterschiedliche Einsatzzwecke verschiedene Lichtmodi zur Anpassung von Lichtleistung und Lichtverteilung erforderlich sind. Nur so kann gewährleistet werden, dass mit „so viel Licht wie nötig“ und so „wenig Licht wie möglich“ der Sehbereich für die jeweiligen Einsatzzwecke ausgeleuchtet wird, ohne möglichst die Adaptation der Augen an die Dunkelheit zu stören und Blendung und damit unfallrelevante Sehstörungen zu vermeiden. Die Tests zeigen aber auch, dass die Ergebnisse der Laborstudie in der Praxis nur zum Teil akzeptiert wurden. Mehrheitlich wurde selbst das im Vergleich zu der Laborstudie höhere Beleuchtungsniveau der Testleuchte als zu dunkel empfunden. Daher wird für den Mode 2 (Nahfeld) das doppelte Beleuchtungsniveau und ein um den Faktor 3 höheres Beleuchtungsniveau für den Mode 1 (Gehen) im Vergleich zu den Ergebnissen des ersten Projektteils vorgeschlagen. Dieser Kompromiss wird auch damit gerechtfertigt, dass der Einsatz oft nicht nur bei vollkommener Dunkelheit stattfindet. Der Boost-Mode sollte ein Beleuchtungsniveau von 800 lx nicht unterschreiten. Die Empfehlungen sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Empfehlung für Leuchten

Einsatzzweck	Typische Sehdistanz	Lichtkegel Öffnungswinkel $\alpha^{+)}$	Beleuchtungsstärke $E_0^{*)}$	Lichtstärke $I_0$
<b>Greifraum</b>	0,5 m	70° ( $E_0/3$ ); 75° bis 100°	50 lx	13 cd
<b>Gehen</b>	1 m bis 2 m	70° bis 100°	150 lx	40 cd
<b>Orientierung</b>	bis 10 m	$\approx 15^\circ$	1000 lx	250 cd

<sup>+) bezieht sich auf den Bereich bei  $E_0/10$</sup>

<sup>\*) in 0,5 m Entfernung</sup>

Die Folie im Leuchtenkopf reduziert nachweislich die Blendung, jedoch führt dies auch zur deutlichen Verringerung des Beleuchtungsniveaus im Boost-Mode. Die Abwertung der Gesamtbewertung der Testleuchte hängt wesentlich mit dieser Schwäche zusammen.

Inhomogenität im Lichtkegel wurde nicht kritisiert, die Lichtverteilung im Lichtkegel ist ausreichend gleichmäßig und der Übergang zur dunklen Umgebung ist fließend.

Wichtig für den Einsatz der Helmleuchte ist, dass die Lichtleistung mit schwächer werdenden Batterien nicht abnimmt, sondern die Beleuchtungsverhältnisse über die Einsatzzeit konstant sind. Die Messungen belegen, dass die Lichtleistung über lange Zeit stabil ist und

erst zum Ende der Akkulaufzeit innerhalb von 20 Minuten kontinuierlich zurückgeht. Die Mindestleuchtdauer sollte in keinem Lichtmode 5 Stunden unterschreiten.

Die Anpassung der Lichtleistung der Leuchte über die Änderung des Vorwärtsstroms der LEDs (Konstantstromregelung) ist vorteilhaft. Von störenden Stroboskopeffekten, wie sie bei Leuchten mit PWM-Dimmung beobachtet werden konnten, wurde nicht berichtet.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bieske K., Vandahl, C., Schierz Ch.: *Projekt „Stirnleuchten im Oberleitungsbau*. Forschungsbericht 7/2018



# Anhang B: Anleitung zu Handhabung von Testleuchte und Fragebogen

## Information zur Handhabung der LED-Helmleuchte

Bei der LED-Helmleuchte handelt es sich um eine spezielle Leuchte, die für Arbeiten im Fahrleitungs-  
 bau optimiert wurde. Die Leuchte verfügt über drei Schaltsufen (Leuchtmodi), die in Leuchtstärke,  
 Größe des ausgeleuchteten Bereichs und Leuchtweite an unterschiedliche Einsatzbedingungen ange-  
 passt wurden. Die Vorgaben für die Entwicklung der Helmleuchte wurden mit Praktikern in Test-  
 situationen unter praxisähnlichen Bedingungen ermittelt.

Modus	Konfiguration	Einsatzbereich	Eigenschaften
1	Distanzlicht	Gehen im Gleisbett	gebündeltes Licht mit mittlerer Helligkeit für Leuchtweiten bis 5 m
2	Flächenlicht	Klettern am Mast und Arbeiten im Nahbereich	breite Ausleuchtung im Nahbereich, angepasste Helligkeit zur Vermeidung von störender Reflexblending
3	Boost	Orientierung/Inspektion	stark gebündeltes Licht mit größerer Helligkeit und größerer Leuchtweite

Die Leuchten verfügen über ein Halteband mit Überkopfband und Haken für einen sicheren Sitz am Helm. Der **Leuchtenkopf** ist beweglich und eine **Justage**. breite Ausleuchtung im Nahbereich, angepasste Helligkeit zur Vermeidung von störender Reflexblending  
 rechts am **Leuchtenkopf**. Die geladene Leuchte verfügt über eine Leuchtdauer von mindestens 12 Stunden. Die Leuchte ist über das mitgelieferte Ladegerät aufladbar. Die Buchse für das Ladekabel befindet sich links am **Leuchtenkopf** unter der roten Schiebeabdeckung.



Abbildung: a) Leuchtenkopf mit Druckschalter, b) Leuchte mit Helmspinne befestigt, c) Einzelladegerät, d) Ladebuchse am Leuchtenkopf.

Vielen Dank, dass Sie die LED-Helmleuchte in der Praxis testen! Ihre Rückmeldung über die Eignung ist uns wichtig, um den Einsatz solcher Leuchten im Fahrleitungsbaubereich zu empfehlen zu können. Bitte füllen Sie den beigefügten Fragebogen sorgfältig aus und geben Sie ihn uns mit der Testleuchte zurück.

Die Beantwortung der Fragen erfolgt mit einer Bewertungsskala. Bitte kennzeichnen Sie Ihr Urteil mit einem X. Nachfolgend sind Beispiele für die Beantwortung der Fragen angegeben. Im Falle a) lautet das Urteil „Es ist schönes Wetter“ und im Falle b) die Temperatur genau richtig.

a) Das Wetter ist:

sehr schön	OOOOO	OOOOOOOOOOOOOOOOOO	sehr schlecht
------------	-------	--------------------	---------------

b) Die Temperatur ist:

viel zu warm	OOOOOOOOOO	OOOOOOOOOOOOOOOO	genau richtig	OOOOOOOOOOOOOOOO	viel zu kalt
--------------	------------	------------------	---------------	------------------	--------------

c) In welchen Situationen wurde der BOOST-Modus vorwiegend benutzt?

bei Arbeiten im **Nahfeld**     beim Gehen im Gelände     in beiden Situationen

## Beispiele für Angaben zu den Testbedingungen

Datum	Zeitraum	Einsatzort	Witterung	Typische Tätigkeiten	Zusatzbeleuchtung am Einsatzort?	Einsatzdauer der Helmleuchte
20.05.19	22 – 5 Uhr	Baustelle Lübbenu/Havarisestelle Bonn Nord	trocken, teilweise bewölkt, Vollmond	Montage von Hängern, Arbeiten im Gleisbett	keine	2 h

In einem zusätzlichen Antwortfeld können Sie mögliche Probleme, die Ihnen bei der Benutzung der Helmleuchte aufgefallen sind, notieren.  
 Hier können Sie z.B. Angaben dazu machen, ob z.B. blendende Reflexe und störende Blendung beobachtet wurden, Flimmerte des Licht oder traten Stroboskopieffekte bei Bewegungen im Lichtkegel oder bei Regen auf? usw. Alle Ihre Hinweise sind für uns wertvoll. Vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Abbildung 16: Anleitung zu Handhabung von Testleuchte und Fragebogen

## Anhang C: Statistische Kennwerte der Probandenurteile

Tabelle 9: Statistische Kennwerte der Probandenurteile für die Testleuchte KS-601-Duo GB (V03)

gesamt_F (N=15)	MW	STABW	Min	Max	Median	25%-Perz.	75%-Perz.
Eignung der Leuchte gesamt	0,6	1,92	-3	3	1	-1	2
Eignung der Leuchte Gehen	1,73	1,10	0	3	2	1	2,5
Helligkeit_Gehen	-1,07	0,88	-2	0	-1	-2	0
Lichtkegelgröße_Gehen	-0,87	0,92	-2	0	-1	-2	0
Erkennung Gefahr/ Hindernis_Gehen/ Sicherheitsgefühl	1,47	1,46	-2	3	2	0,5	2,5
Eignung der Leuchte Nahfeld	1,73	1,28	-2	3	2	1	2,5
Helligkeit_Nahfeld	-0,87	1,06	-3	0	-1	-1	0
Lichtkegelgröße_Nahfeld	-0,93	1,16	-3	0	0	-2	0
Blendung/ Reflexblendung_Nahfeld	1,80	2,31	0	5	0	0	4
Eignung der Leuchte Boost	0,71	2,37	-3	3	2	-1,75	2,75
Helligkeit_Boost	-2,21	0,89	-3	-1	-2,5	-3	-1,25
Lichtkegelgröße_Boost	-1,00	1,41	-3	2	-1	-2	0
Blendung_Boost	2,64	2,27	0	6	2	0,25	5
Rückschaltautomatik_Boost	-2,47	1,13	-3	1	-3	-3	-2,5

Tabelle 10: Statistische Kennwerte der Probandenurteile für die Testleuchte KS-601-Duo GB ohne Folie (V04)

gesamt_oF (N=4)	MW	STABW	Min	Max	Median	25%-Perz.	75%-Perz.
Eignung der Leuchte gesamt	-0,25	1,89	-3	1	0,5	-0,75	1
Eignung der Leuchte Gehen	2,00	0,82	1	3	2	1,75	2,25
Helligkeit_Gehen	-0,50	0,58	-1	0	-0,5	-1	0
Lichtkegelgröße_Gehen	-1,00	1,41	-3	0	-0,5	-1,5	0
Erkennung Gefahr/ Hindernis_Gehen/ Sicherheitsgefühl	1,50	1,29	0	3	1,5	0,75	2,25
Eignung der Leuchte Nahfeld	0,25	1,50	-1	2	0	-1	1,25
Helligkeit_Nahfeld	-0,50	1,73	-2	2	-1	-1,25	-0,25
Lichtkegelgröße_Nahfeld	-1,00	1,15	-2	0	-1	-2	0
Blendung/ Reflexblendung_Nahfeld	1,50	2,38	0	5	0,5	0	2
Eignung der Leuchte Boost	2,50	0,58	2	3	2,5	2	3
Helligkeit_Boost	-1,25	1,71	-3	1	-1,5	-2,25	-0,5
Lichtkegelgröße_Boost	-1,25	1,26	-3	0	-1	-1,5	-0,75
Blendung_Boost	3,00	2,45	0	5	3,5	1,5	5
Rückschaltautomatik_Boost	-2,25	1,50	-3	0	-3	-3	-2,25

**Legende:** Mittelwert (MW), Standardabweichung (STABW), Minimum (Min), Maximalwert (Max), Median, sowie die Werte für das 25%- und 75%-Perzentil, Anzahl (N), Leuchte mit Folie (F), Leuchte ohne Folie (oF)

### Codierung:

+3: sehr gut geeignet	0: weder noch	-3 völlig ungeeignet	+3: sehr sicher	0: weder noch	-3 sehr unsicher
+3: viel zu hell	0: genau richtig	-3 viel zu dunkel	+3: sehr sinnvoll	0: weder noch	-3 völlig sinnlos
+3: viel zu groß	0: genau richtig	-3 viel zu klein	6: blendet sehr störend	0: blendet nicht	