

NGT Beleuchtungskonzept

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Fahrzeugkonzepte, Berlin

OLEDWorks GmbH, Aachen

Berlin, 16. Dezember 2015

Wissen für Morgen



Inhalt:

- Kurzvorstellung NGT – Projekt
- Kurzvorstellung NGT – Beleuchtungskonzept
- NGT – Mockup als Versuchsträger
- Messungen und Probandenversuche im Mockup
- Beleuchtungstechnisches Modell des NGT – HGTV
- Wirtschaftliche Bewertung
- Aktueller Bearbeitungsstand und Ausblick



Zug der Zukunft

2035 Hamburg Dammtor

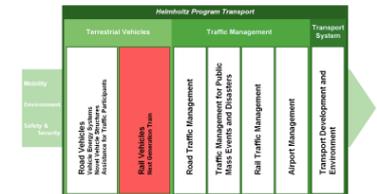


Stromlinienförmiger Doppelstock-Steuerwagen; Einzelräder; elektrischer Antrieb 18 MW
400 km/h; aerodyn. + Generatorbremsen Bremsweg 8 km; Laufleistung 83.000 km/Monat



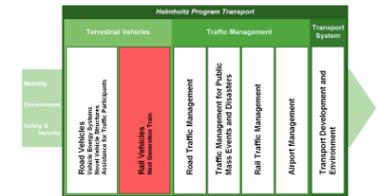
Themen und Ziele

1. **Erhöhung der zugelassenen Geschwindigkeit auf 400 km/h** (wiss. Untersuchungen zu 600 km/h)
2. **Halbierung des spezifischen Energiebedarfs** gegenüber dem ICE 3 bei 300 km/h
3. **Lärmreduktion**
4. **Komfortsteigerung**
5. **Verbesserung der Fahrsicherheit**
6. **Verringerung des Verschleißes und der Lebenszykluskosten**
7. **Kosteneffiziente Bauweisen durch Modularisierung und Systemintegration**
8. **Effizienzsteigerung von Entwicklungs- und Zulassungsprozessen**



Themen und Ziele

1. **Erhöhung der zugelassenen Geschwindigkeit**
auf 400 km/h (wiss. Untersuchungen zu 600 km/h)
2. **Halbierung des spezifischen Energiebedarfs**
gegenüber dem ICE 3 bei 300 km/h
3. **Lärmreduktion**
4. **Komfortsteigerung**
5. **Verbesserung der Fahrsicherheit**
6. **Verringerung des Verschleißes und der Lebenszykluskosten**
7. **Kosteneffiziente Bauweisen**
durch Modularisierung und Systemintegration
8. **Effizienzsteigerung**
von Entwicklungs- und Zulassungsprozessen



Beleuchtungskonzept – Zielsetzung

- Das Ziel ist ein innovatives Konzept der komfortablen, energieeffizienten und wartungsarmen (-freien) Beleuchtung für Reisezugwagen, welches wirtschaftlich umsetzbar ist.



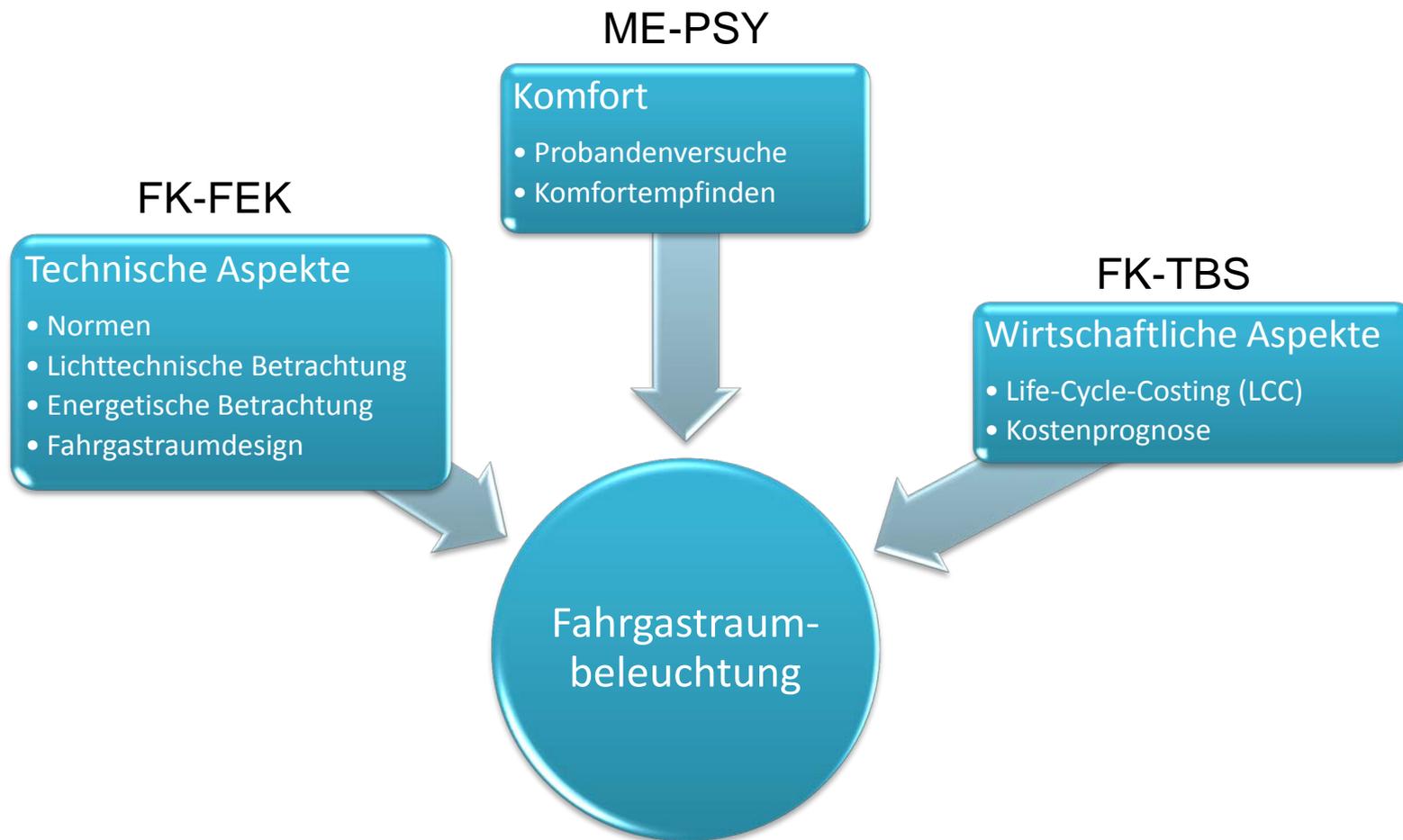
Untere Ebene



Obere Ebene



Beleuchtungskonzept – Systematische Betrachtung

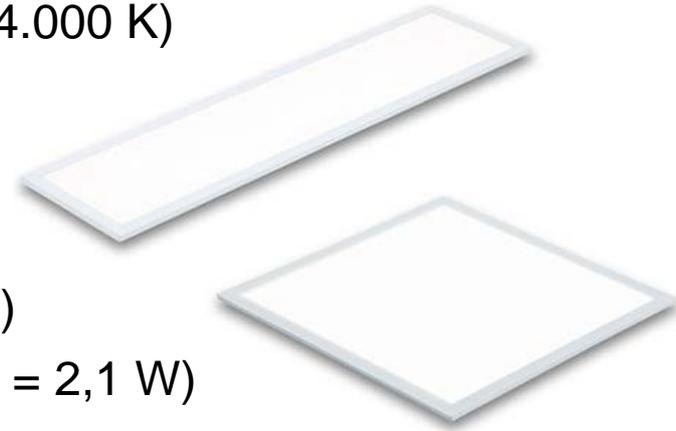


Beleuchtungskonzept – verwendete Leuchtmittel

OLEDs

Vorteile:

- Homogenes, blendfreies und flächiges Licht (Abstrahlwinkel 120°)
- Dimmbares neutralweißes Licht (Farbtemperatur 4.000 K)
- Hohe Farbwiedergabe $R_a > 90$
- Hocheffizient (derzeit 50 lm/W)
- Extrem flache Bauform (< 2,5 mm)
- Praktisch keine Wärmeentwicklung (typ. $T = 40^\circ\text{C}$)
- DC-Versorgung, typ. Vorwärtsstrom 230 mA ($P_{\text{max}} = 2,1 \text{ W}$)



Quelle: Tridonic®

Nachteile:

- Rand von 5 mm
- Elementgröße derzeit max. 145 x 145 mm
- Noch relativ hoher Preis (derzeit ca. 600 €/klm)



NGT-Mockup als Versuchsträger

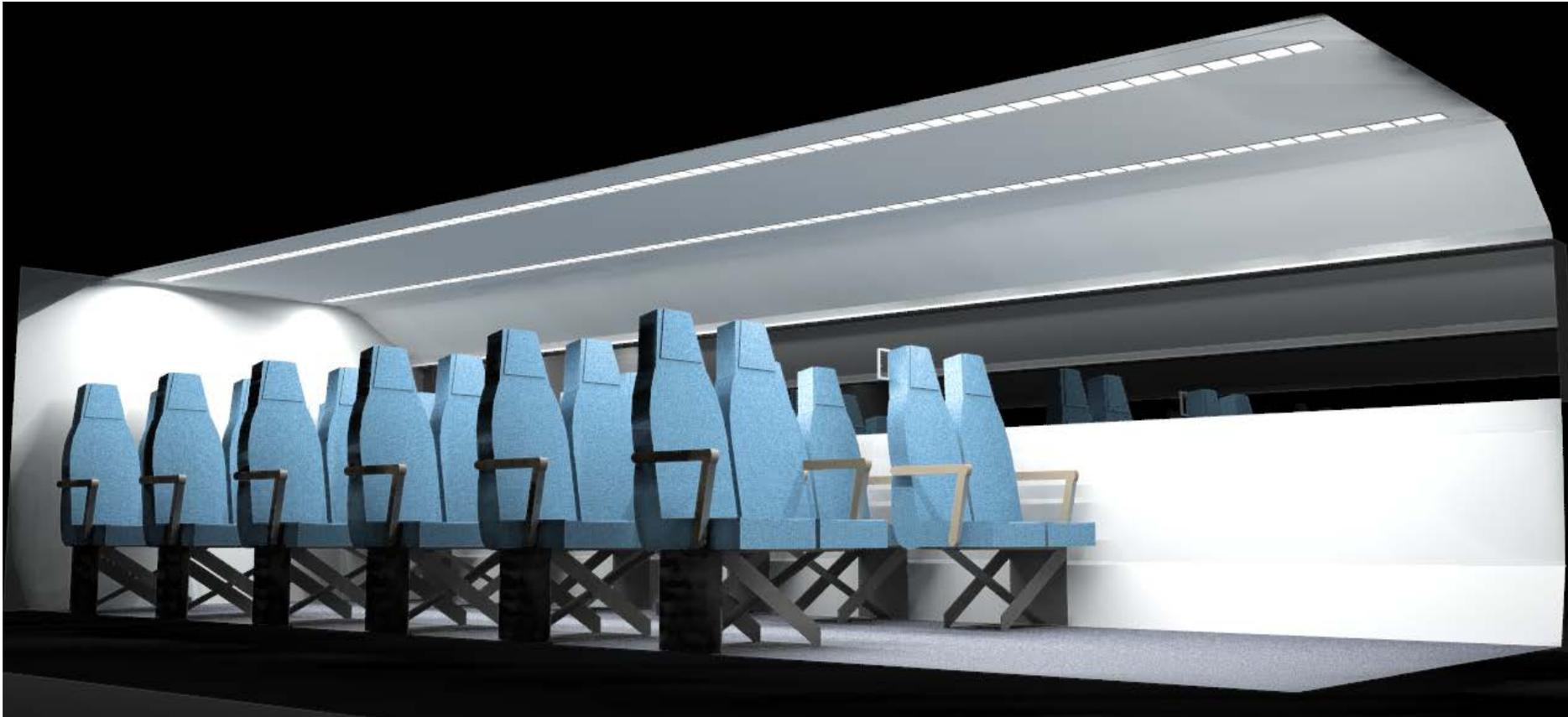
- Beleuchtung des mittleren Bereiches eines Wagens im Mockup realisiert
- Es mussten folgende Aspekte berücksichtigt werden:
 - Aussehen ähnlich zur NGT - Designstudie
 - Keine Orientierung an Sitzplatzpositionen
 - Realisierbarkeit mit am Markt verfügbaren Leuchtmitteln
 - Hohe Energieeffizienz
 - Vertretbare Kosten
 - Modellierung unterschiedlicher Beleuchtungsszenarien für Probandenversuche möglich



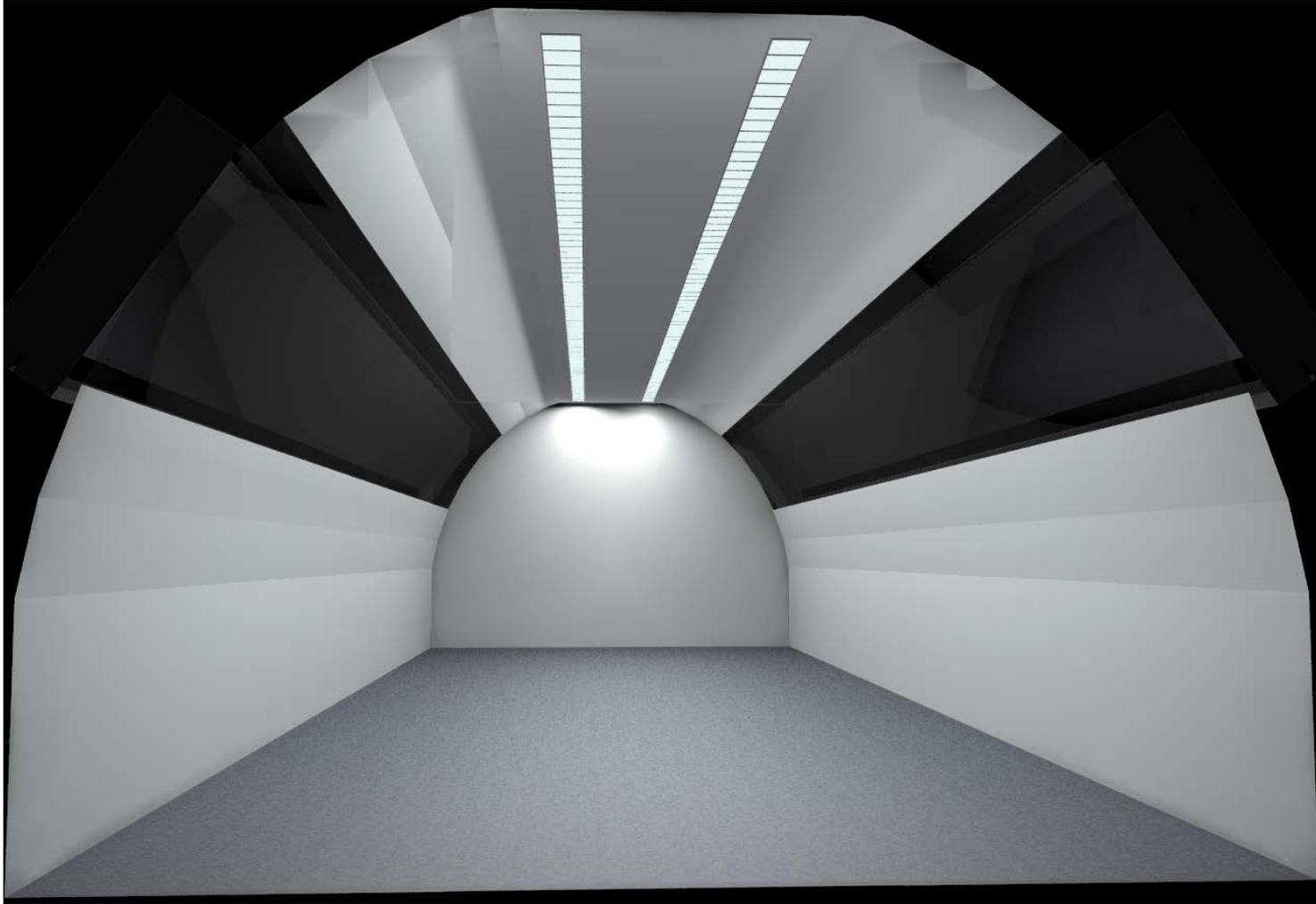
Anordnung aus zwei symmetrisch zur Mockup-Mittellinie angeordneten leuchtenden Bändern. Jeder Band besteht aus 76 OLED-Elementen der Größe ca. 10x10 cm. Diese Elemente sind dicht aneinander angebracht, so dass sie optisch einem durchgehenden Band ähneln.



NGT-Mockup als Versuchsträger: DIALux-Modell



NGT-Mockup als Versuchsträger: DIALux-Modell



Beleuchtungskonzept – Realisierung im NGT-Mockup (UG)



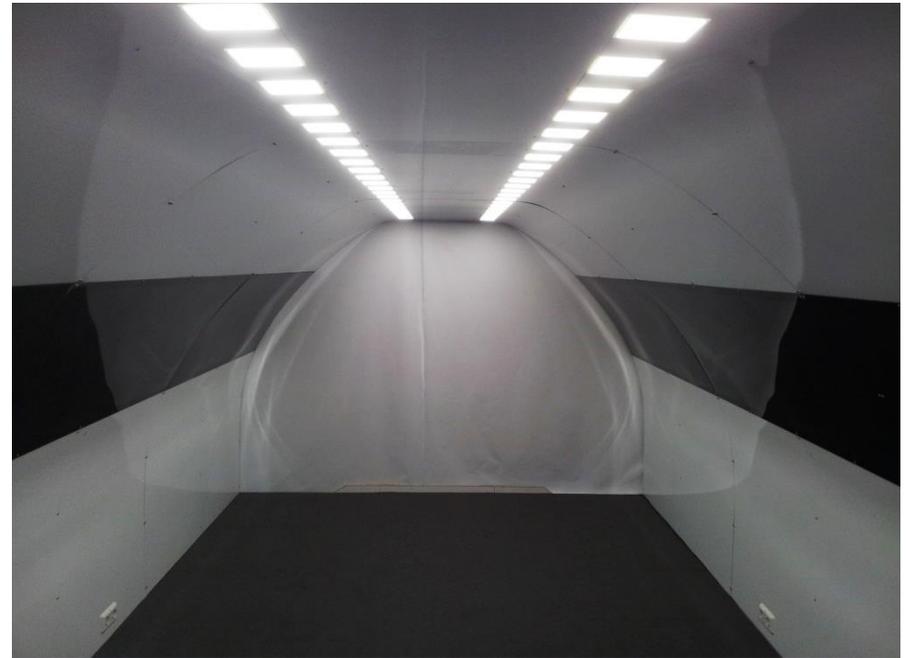
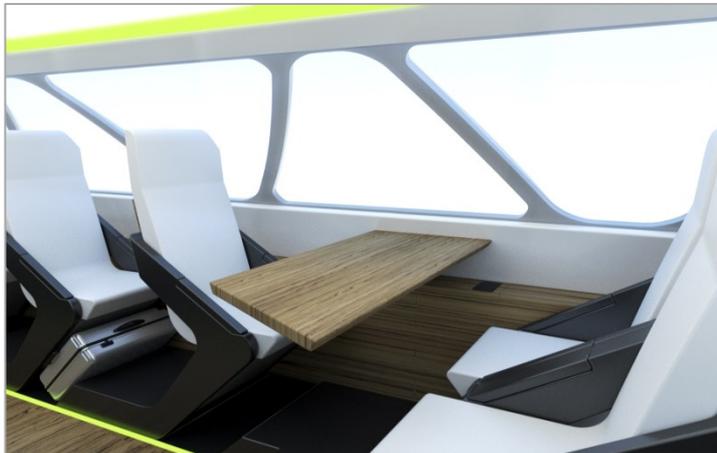
- Anordnung der Leuchten entsprechend dem NGT - Beleuchtungskonzept
- Messungen nach DIN EN 13272
- Probandenversuche zur Komfortbewertung



Beleuchtungskonzept – Realisierung im NGT-Mockup (OG)



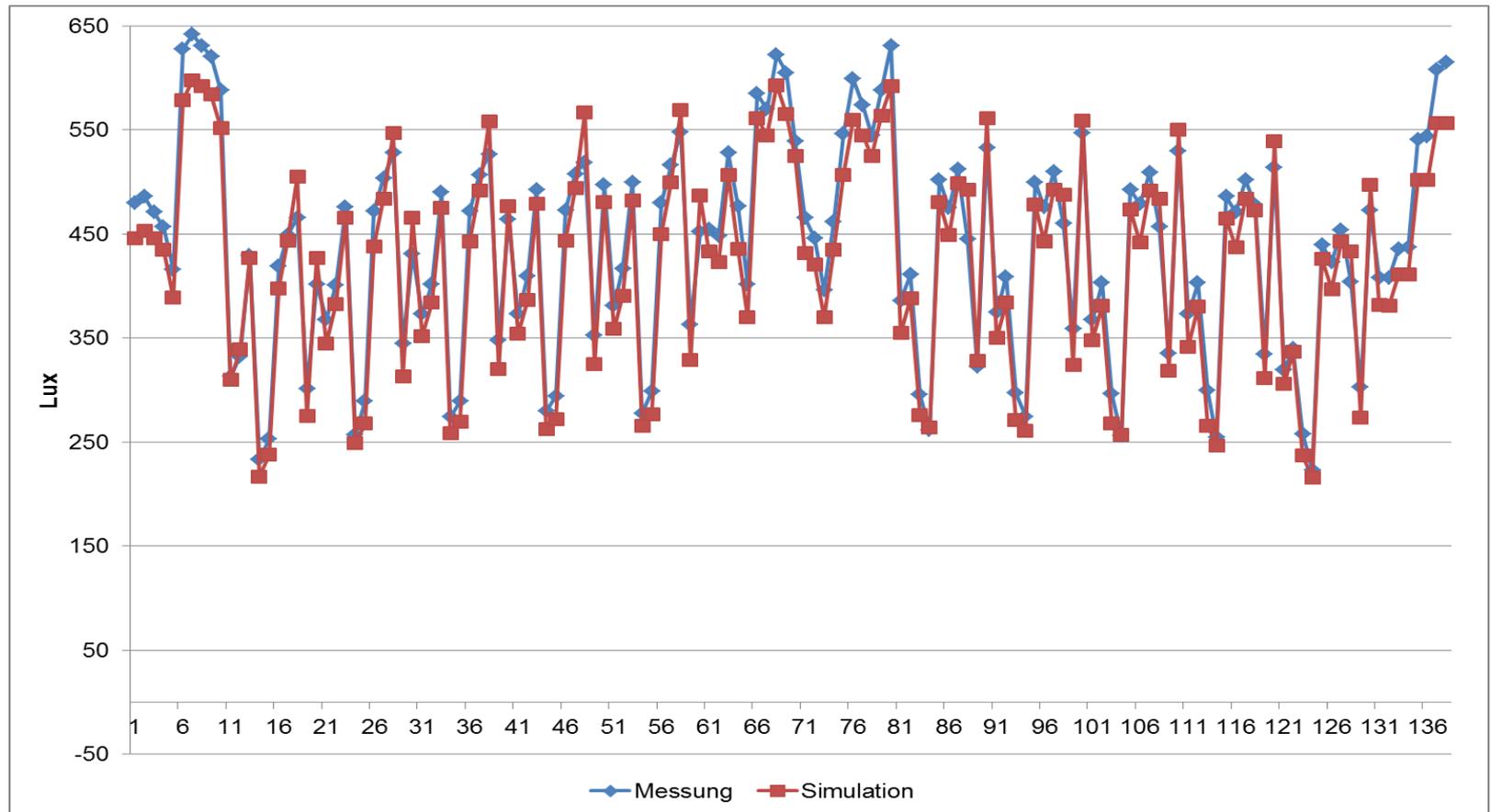
- Anordnung der Leuchten entsprechend dem NGT – Beleuchtungskonzept (reduziert)
- Sitzplatzunabhängige Messungen nach DIN EN 13272



Messungen und Modellvalidierung im Mockup

- Modelliert mit DIALux – etabliertes Werkzeug aus Gebäudetechnik
- Differenz zw. Modell und Messung 4,5% (untere Ebene) und 0,5% (obere Ebene)

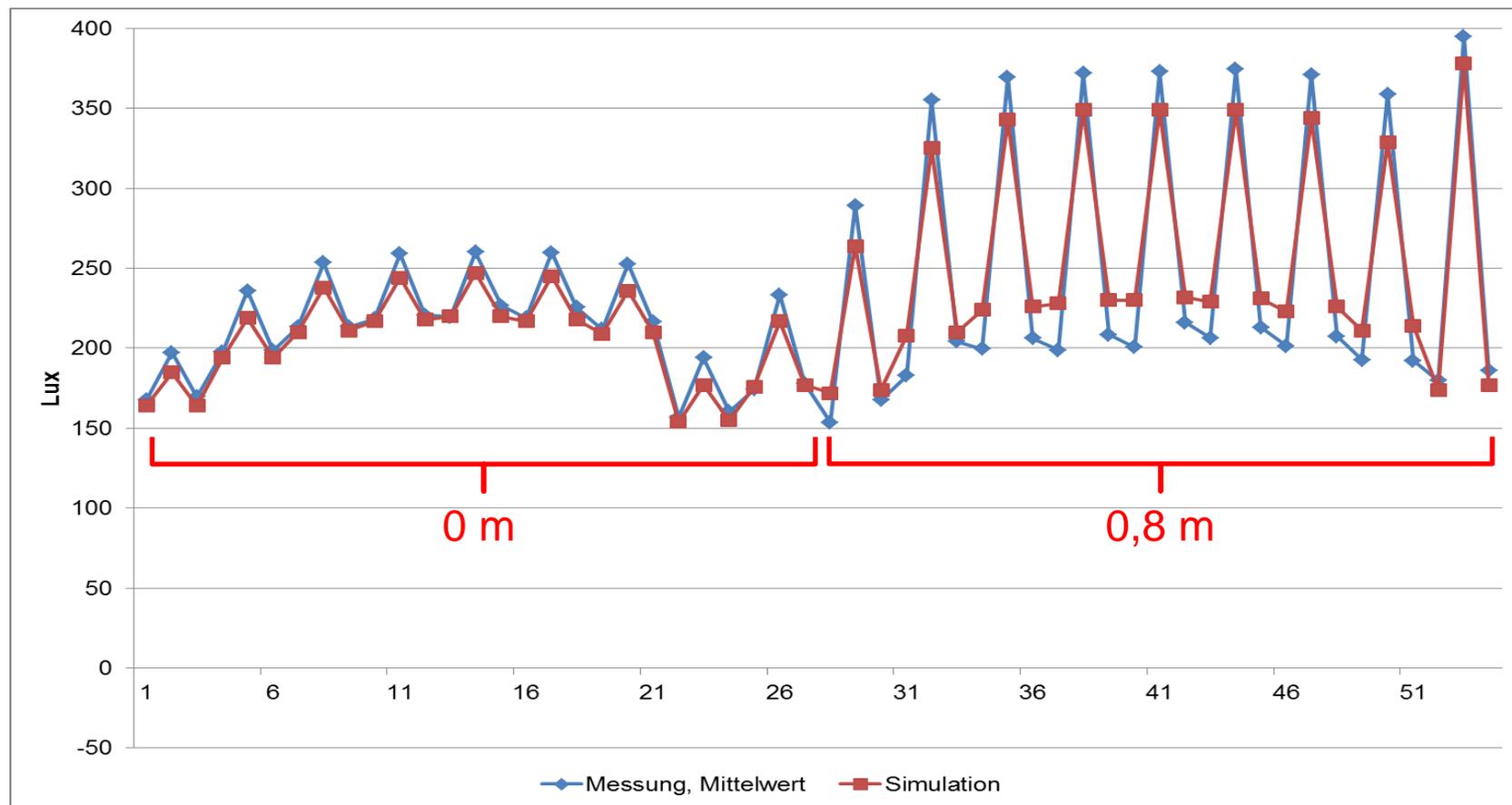
UG



Messungen und Modellvalidierung im Mockup

- Modelliert mit DIALux – etabliertes Werkzeug aus Gebäudetechnik
- Differenz zw. Modell und Messung 4,5% (untere Ebene) und 0,5% (obere Ebene)

OG



Probandenversuche im Mockup

- Zwei Versuche je 20 Probanden (10 männlich und 10 weiblich)
- Zwei Beschäftigungsszenarien: Kreuzworträtsel = Paper-Pencil und Computerspiel auf dem PDA
- Zwei Beleuchtungsszenarien: mind. 100 lx (\varnothing 133 lx) und mind. 150 lx (\varnothing 201 lx)
- Konstantes Klima und konstanter Geräuschpegel

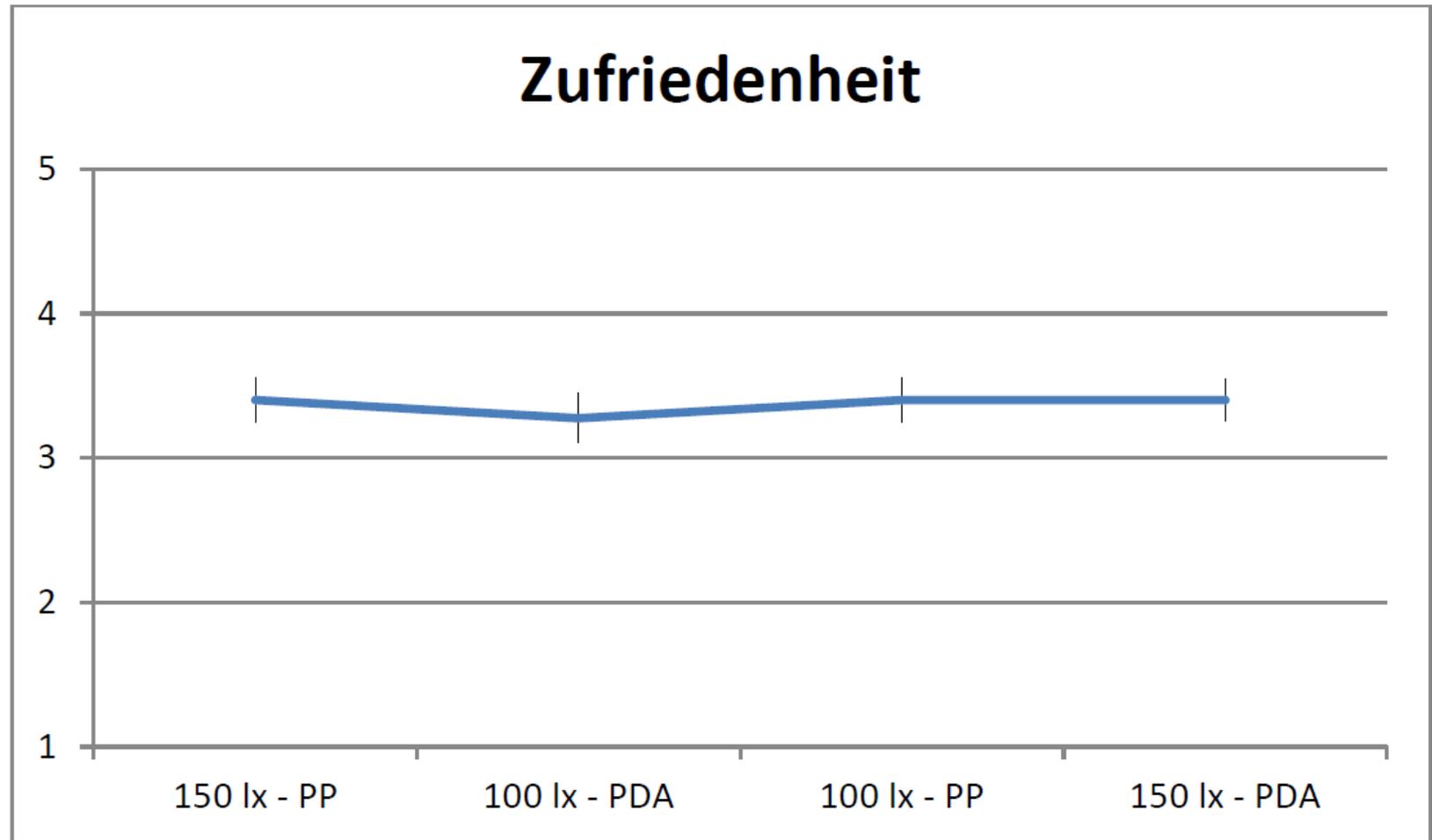


Probandenversuche im Mockup - Ergebnisse

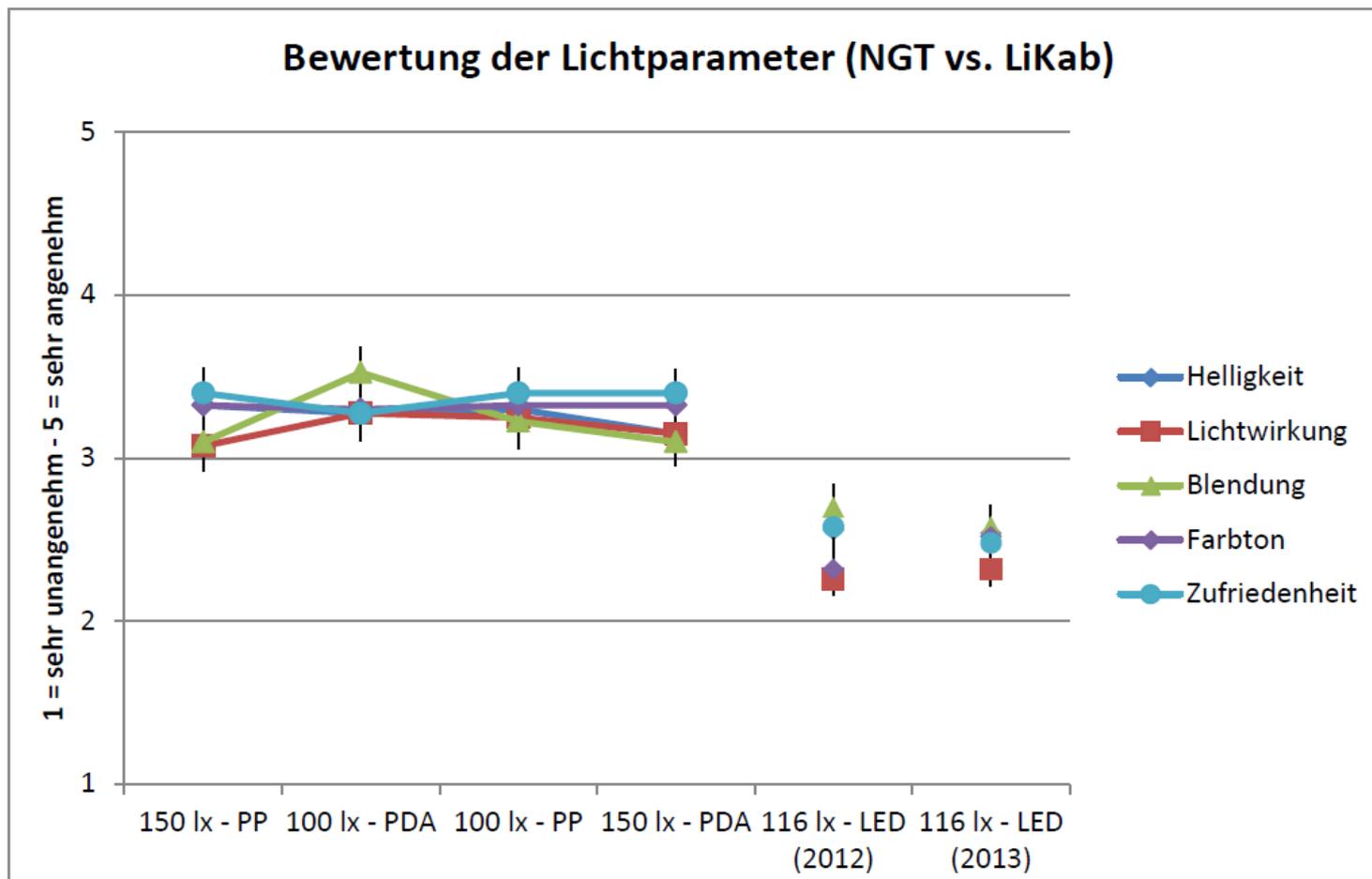
- Helligkeit **4,8** (1 = sehr dunkel, 4 = neutral, 7 = sehr hell)
- Lichtwirkung **neutral** (1 = sehr kalt, 7 = sehr warm)
- Blendung **4,7** (1 = sehr geblendet, 7 = gar nicht geblendet)
- Farbeindruck **4,8** (1 = sehr unrealistisch, 7 = sehr realistisch)
- Sehleistung **4,7** (1 = sehr schlecht, 7 = sehr gut)
- Zufriedenheit mit der Lichtsituation **3,4** (1 = sehr unzufrieden, 5 = sehr zufrieden)
- Subjektives Wohlbefinden:
 - Freude/Gefallen **4,7** (7 = sehr hoch; 1 = sehr gering)
 - Aktivierung **3,3** (7 = hoch aktiviert; 1 = wenig aktiviert)
 - Kontrolle **3,9** (7 = sehr kontrollierend; 1 = wenig kontrollierend)
 - Leistungsfähigkeit **3,8** (5 = sehr hoch; 1 = sehr niedrig)
 - Behaglichkeit **3,7** (5 = sehr hoch; 1 = sehr niedrig)
 - Schläfrigkeit **4,1** (3 = „wach“; 5 = „weder wach noch müde“)



Probandenversuche im Mockup - Ergebnisse



Probandenversuche im Mockup - Ergebnisse



Quelle: J. Winter, I. Windemut, N. Kevlishvili, D. Schmelting and J. Maier, "Passenger Comfort for the Next Generation Train: Subject Trials for Ventilation and Lighting", in The Third International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance, J. Pombo, (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, United Kingdom, paper 196, 2016. doi:10.4203/ccp.110.196



Beleuchtungskonzept – NGT-HGV (UG)

- Modelliert mit 302x Tridonic Lureon REP 20w5-40 DC (max. 634 Watt)
- Erfüllt alle Vorgaben aus DIN EN 13272
- Anschlussleistung UG: 12,2 W/FGst (ICE3: 23,2 W/FGst) => 48% Einsparung



Beleuchtungskonzept – NGT-HGV (OG)

- Modelliert mit 349x Tridonic Lureon REP 20w5-40 DC (max. 733 Watt)
- Erfüllt alle Vorgaben aus DIN EN 13272
- Anschlussleistung OG: 15,6 W/FGst (ICE3: 33,5 W/FGst) => 47% Einsparung



Wirtschaftliche Bewertung

Ziel:

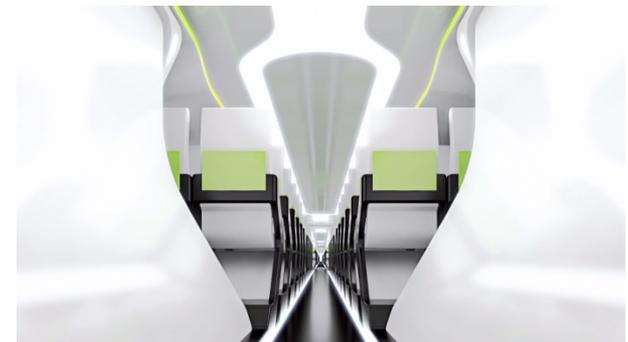
- Ermittlung der mit dem Beleuchtungskonzept verbundenen Lebenszykluskosten
- Prognose zur Kostenentwicklung

Betrachtungsgegenstand:

- Beleuchtung des NGT HGV und NGT LINK im Vgl. zum Stand der Technik ICE 3 (BR 407 – Velaro D)
- Fokus auf Beleuchtungssystem in den Fahrgasträumen und Wagenübergängen



Designkonzept NGT HGV – obere Ebene



Designkonzept NGT HGV – untere Ebene



Methodik und Annahmen

Vorgehen

- Erfassung der Kosten für Erstausrüstung, Austausch und Energie sowie Entsorgung und Recycling
- Berechnung der LCC-Kosten mithilfe dynamischer Investitionsrechenverfahren

Annahmen

- Betriebsdauer der Beleuchtung 20 h/d
- Fahrzeuglebensdauer 30 a
- konstanter Realzinssatz 6,38%
- konstante Energiepreissteigerung 2,52% pro Jahr



Innovatives Leuchtmittel – OLED

Beleuchtung der NGT-Triebzüge

- Konzept basiert auf der OLED-Technologie
- OLED-Module derzeit noch sehr teuer im Vgl. zu herkömmlichen Leuchtstoffröhren
- geringe Abmessungen 200 x 50 x 3 mm führen zu einer hohen Leuchtmittelanzahl pro Zug



OLED Modul LUREON von Tridonic®

ICE 3 (BR 407)

- 348 Leuchtstoffröhren
- 111 LED Leselampen
- 29 LED-Spots

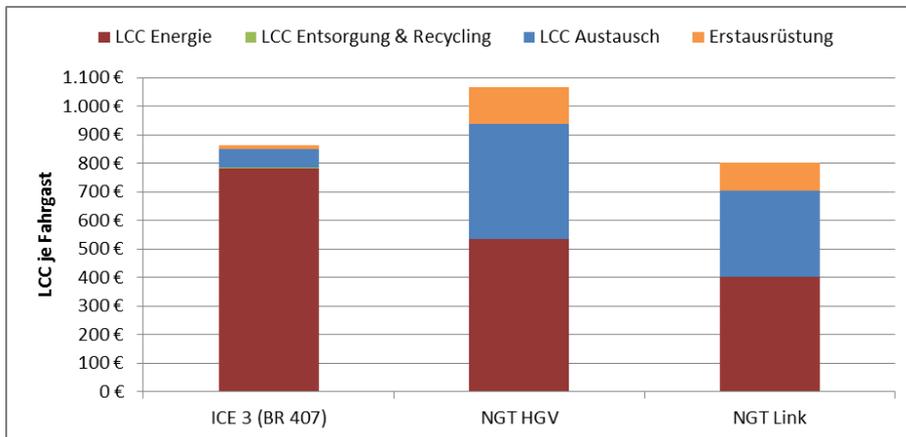
NGT

- 5208 OLED's im HGV
- ca. 3600 OLED's im LINK

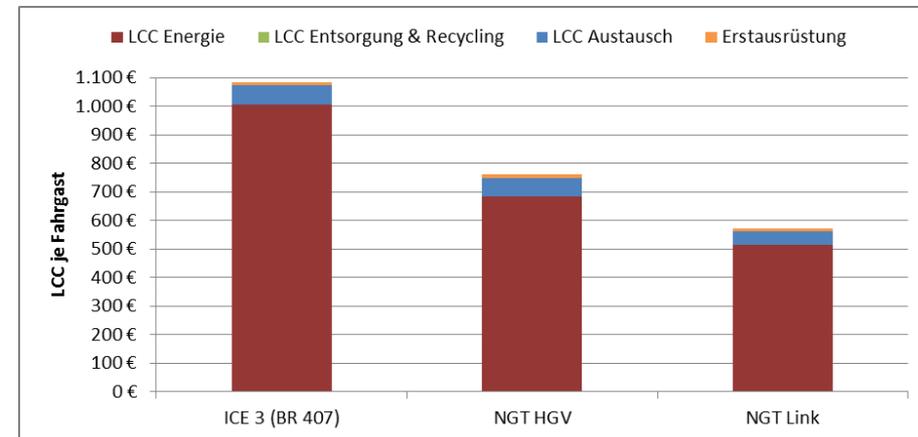


Ergebnisse

- Hohe Leuchtmittelanzahl, geringe Lebensdauer und hohe Kosten der OLED führen zu insgesamt höheren LCC-Kosten
- LCC-Kosten bei Erstausrüstung im Jahr 2025 trotz der höheren Anzahl an Leuchtmitteln deutlich geringer



Betrachtungszeitraum 2015-2045
Lebensdauer OLED 15.000 h



Betrachtungszeitraum 2025-2055
Lebensdauer OLED 50.000 h



Sensitivitätsanalyse - Parametervariation

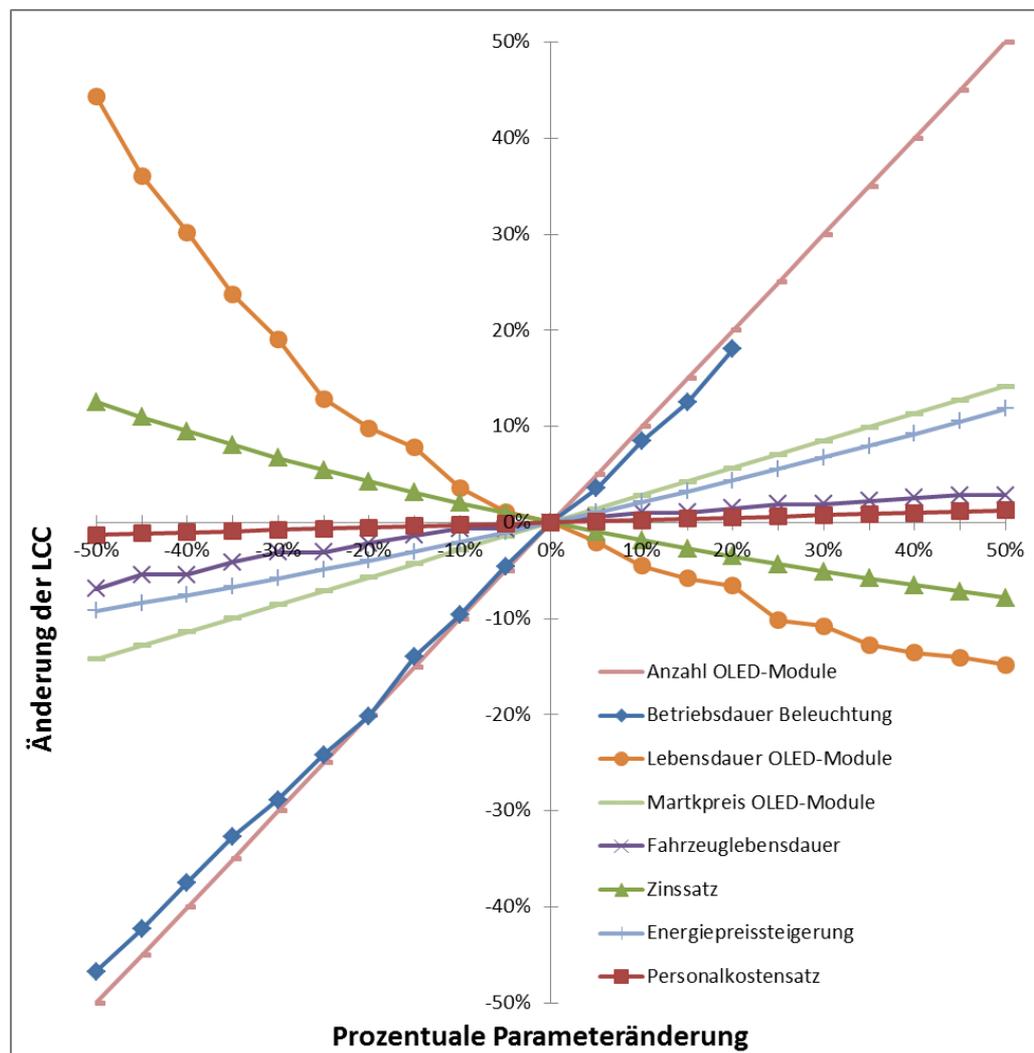
Ziel

- Ermittlung der individuellen Einflusshöhe der Eingangsparameter auf die Lebenszykluskosten
- Identifikation der Parameter, die ein hohes Kostenreduzierungspotenzial aufweisen
- Variation folgender Parameter:
 - Betriebsdauer der Beleuchtung [h/a]
 - Lebensdauer der OLED-Module [h]
 - Fahrzeuglebensdauer [a]
 - Anzahl der OLED-Module [Stk.]
 - Marktpreis der OLED-Module [€/Stk.]
 - Energiepreissteigerung [%]
 - Personalkostensatz [€/Std.]
 - Zinssatz [%]



Sensitivitätsanalyse - Parametervariation

Ergebnis



Aktueller Stand und nächste Schritte

- Motivation für Beleuchtungskonzept sind NGT – Projektziele:

- Reduktion des spezifischen Energiebedarfs
- Steigerung des Fahrgastkomforts
- Reduktion des Bauraums und des Fahrzeuggewichtes

➡ Es wurde die OLED – Technologie ausgewählt, die die Ziele erfüllt.

- Aktueller Stand:

- Software – Tool für beleuchtungstechnische Berechnung ausgewählt und Modell im Mockup validiert
- Probandenversuche durchgeführt und ausgewertet
- Modellaufbau für NGT abgeschlossen
- Wirtschaftliche Bewertung abgeschlossen

- Nächste Schritte:

- Aufbau einer individuellen Steuerung der Fahrgastraumbeleuchtung



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!



Wissen für Morgen



Kontaktdaten

Ivan WINDEMUT

Christopher KALATZ

**Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Institut für Fahrzeugkonzepte
Rutherfordstraße 2
12489 Berlin**

Telefon: +4930 67055 624
ivan.windemut@dlr.de

Telefon: +4930 67055 423
christopher.kalatz@dlr.de

www.dlr.de/fk

