Technische Universität Berlin

Blendung im nächtlichen Straßenverkehr – die Bedeutung der Leuchtdichte von Blendquellen

Prof. Dr.-Ing. Stephan Völker | LuxJunior 2017 - Ehrenkolloquium für Prof Gall | 08.09.2017

Widmung

Dieses Buch widme ich meinem Lehrer und Doktorvater Professor Dr.-Ing. habil. Dietrich Gall. Er hat den Keim für diese Arbeit gelegt. In einer seiner Vorlesungen 1992/93 stellte er die Frage: “Blenden die neuen Gasentladungsscheinwerfer nicht stärker als die bisher üblichen Halogenscheinwerfer?“

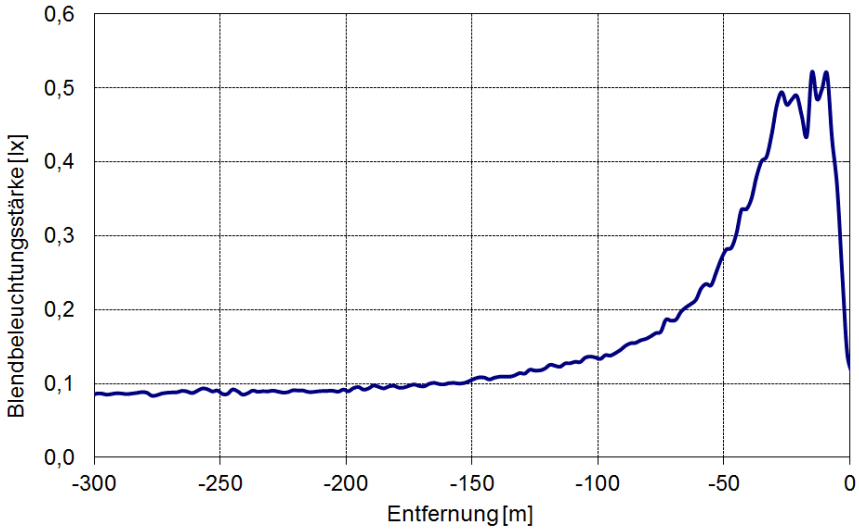
Da für den Bereich der Kfz-Beleuchtung alles gesetzlich geregelt ist, ergab sich das Problem: Messen wir falsch oder stimmen unsere Bewertungsmethoden nicht? Als ich fünf Jahre später auf seine Empfehlung zur Firma Hella kam, wollte ich diese Frage klären.

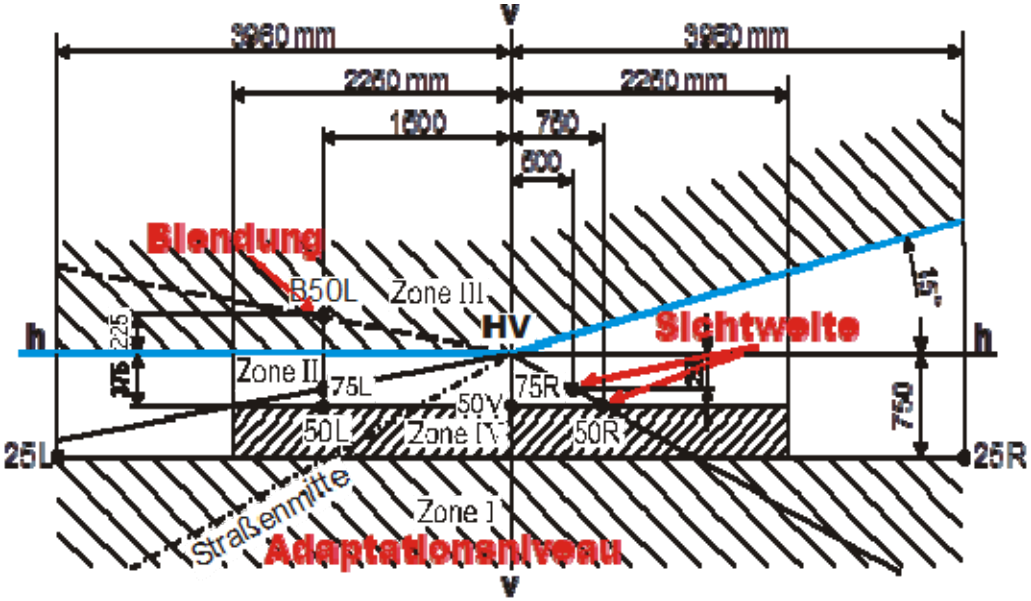
Einführung

- Presseartikel über die 'blauen Blender‘
- Hella: 'Neideffekt'

[Foto: Autobild 2004]

Bisherige Basis





Kriterium physiologische Blendung

Kriterium psychologische Blendung (GR vs. GCM)

$$\Delta L_S = \Delta L_{S00}\left[1+\frac{L_u}{C_L}+\frac{L_{Seq}}{C_L}\right]$$

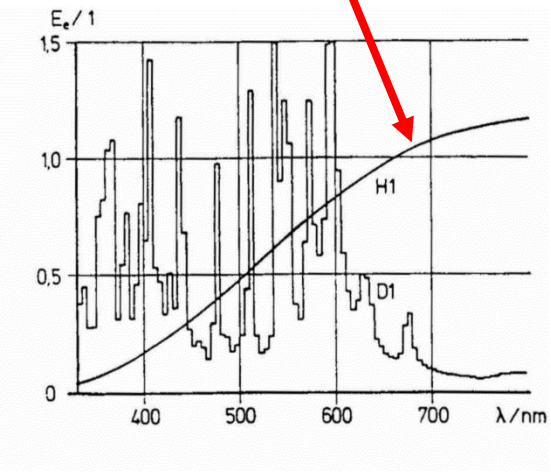
$$L_{Seq} = 11.4\cdot\frac{E_B}{\theta^{2.2}}$$

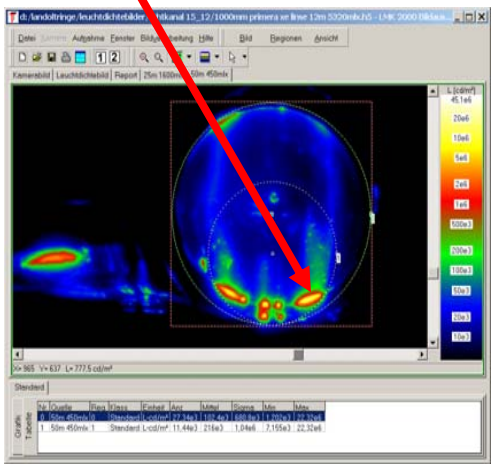
$$W = 5+2\log\left[1+\sqrt{\frac{L_u}{C_{pL}}}\right]-2\log\left[1+\frac{E_B}{C_{poo}\cdot\theta^{0.46}}\right]$$

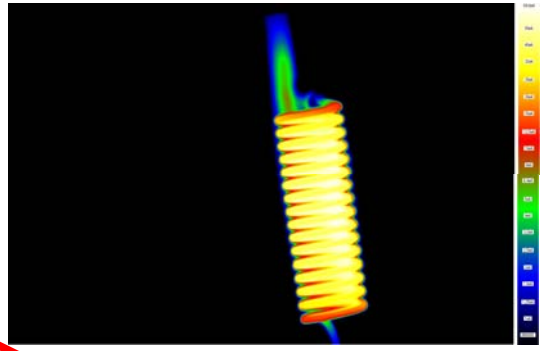
1 unerträglich
5 gerade zulässig
9 unmerklich

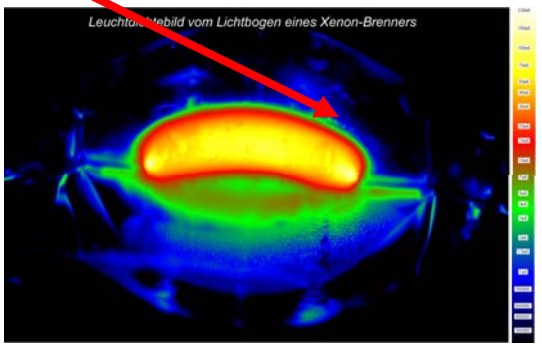
Was ist unterschiedlich?

- Zulässige Beleuchtungsstärke in B50L
- Leuchtdichte
- Leuchtdichteverteilung
- Spektrale Verteilung

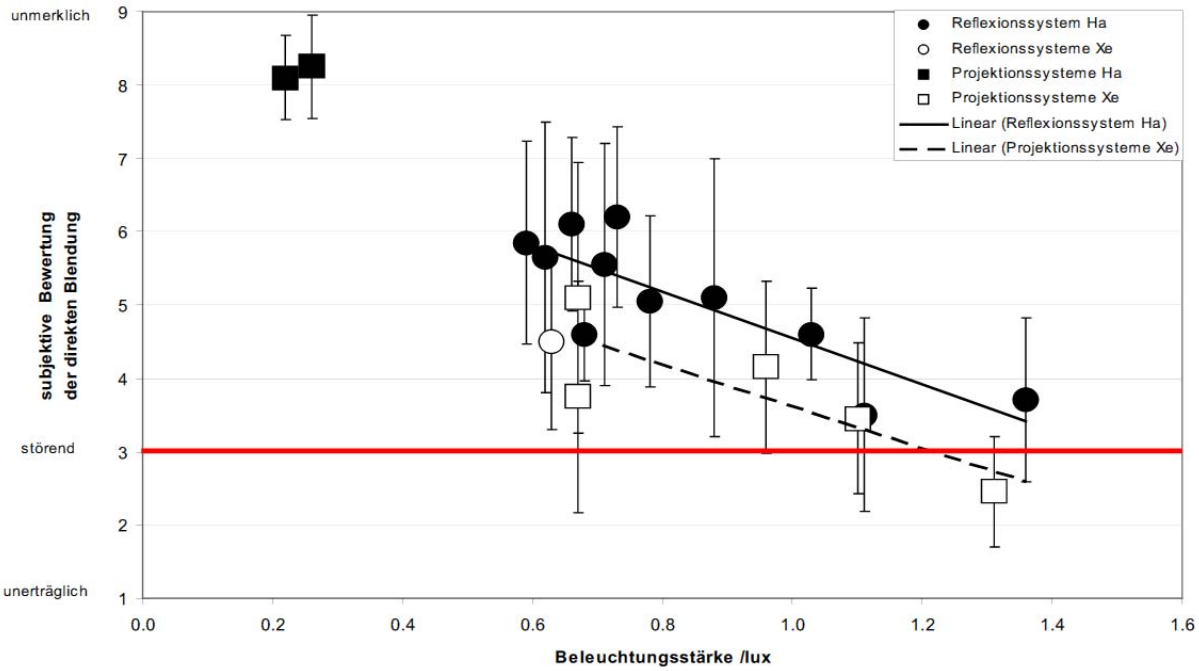


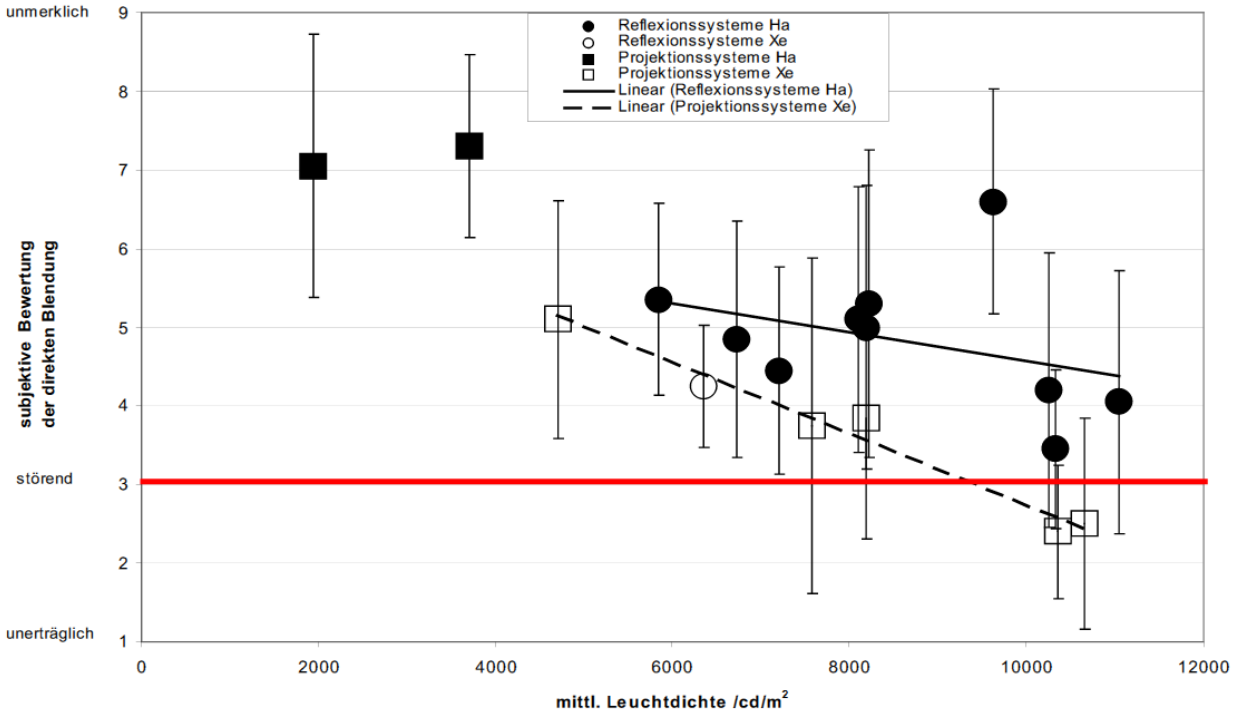






Einführung

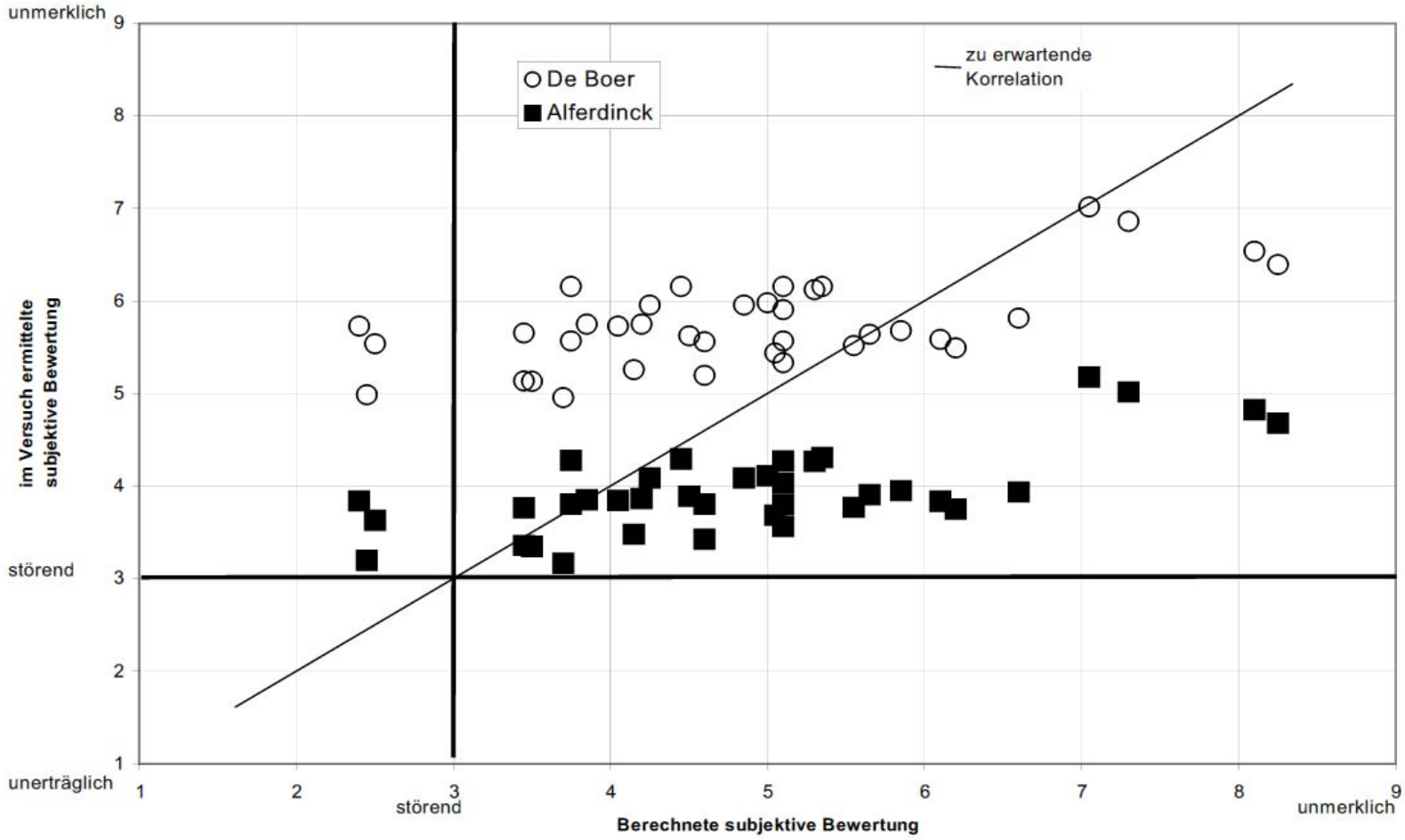




[Meyborg, DA, 2000]

Lichttechnik

Einführung



[Meyborg, DA, 2000]

Literaturrecherche

Beschreibung der Helligkeit von

a. großen Flächen: Leuchtdichte

b. kleinen Flächen: Produkt aus L und Sehwinkel des Objektes zum Quadrat (Riccoscher Satz).

Scheinwerfergröße im Begegnungsfall: 10^{-6} - 10^{-4} sr

(b) gültig

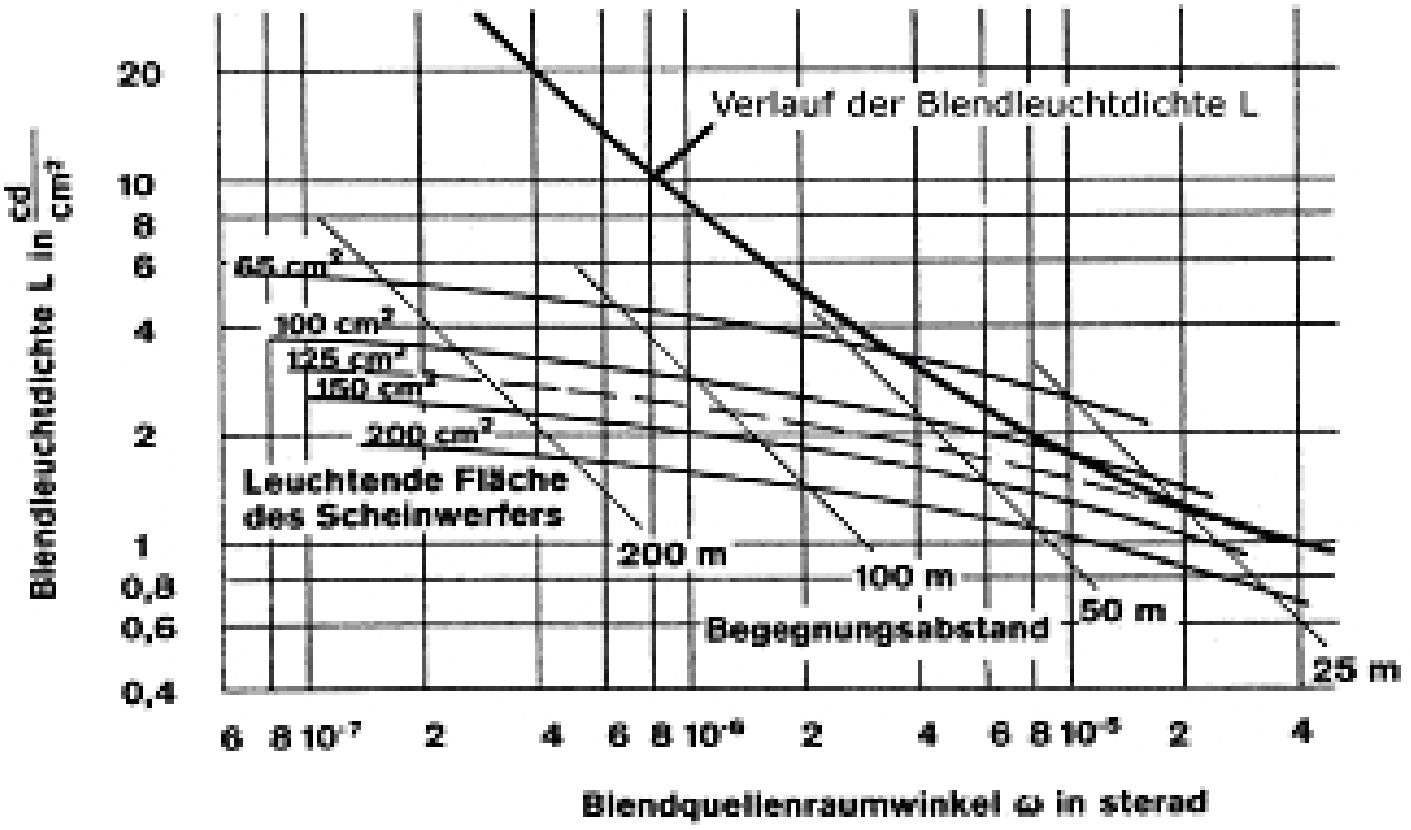
Literaturrecherche

Manz, 2001:

Autor	Ungleichung
Holloday [aus Bennett]	$E < c*D^{1,5}$
Hopkinson	$E < c*D$
Putnam	$E < D^{0,6*} (c_1 + c_2 D^{1,4})$
Lukiesh	$E < D^{1,6*} (c_1 - c_2 D^{0,4})$
Petherbridge	$E < a*D$
Levitin	$E < c_1 + c_2 (D^2 - c_3)$
LiTG	$E < a*D$
De Boer	$E < k*D^{0,8}$
Spiller	$E < c*D$
Lindae	$E < c*D^{0,8}$
Alferdinck	$E < c*D^{0,48}$

Einfluss der Leuchtdichte

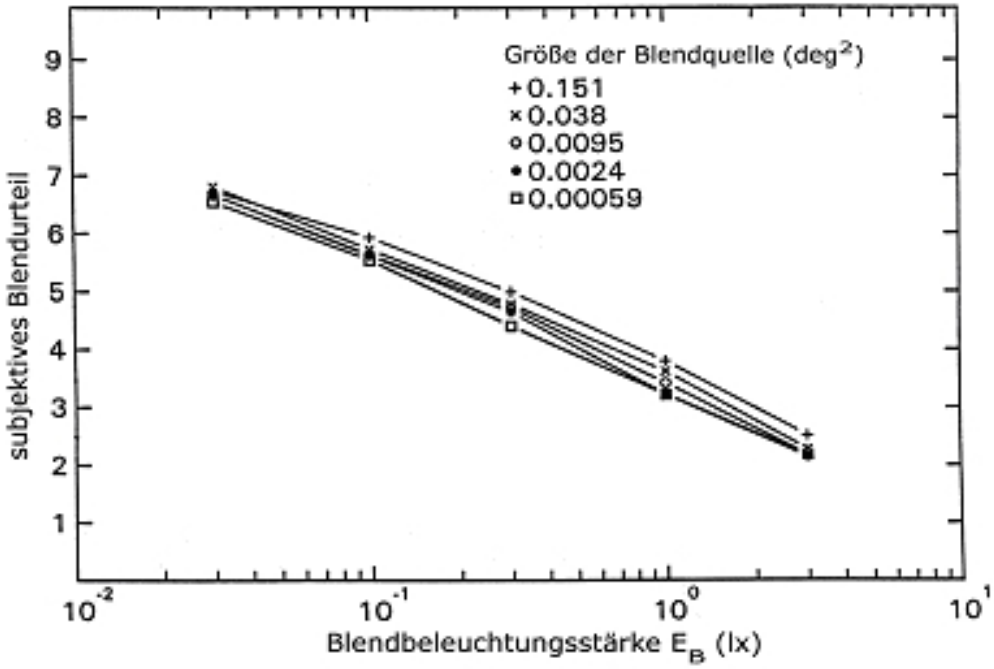
Lindae, 1970

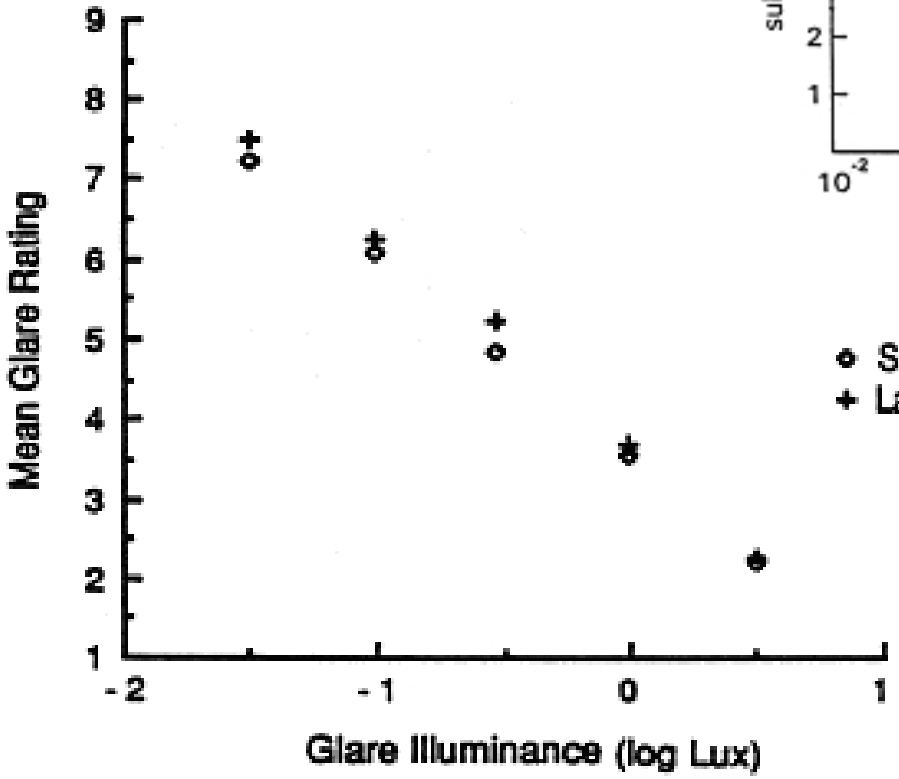


Einfluss der Leuchtdichte

Sivak, 1988 (unten)

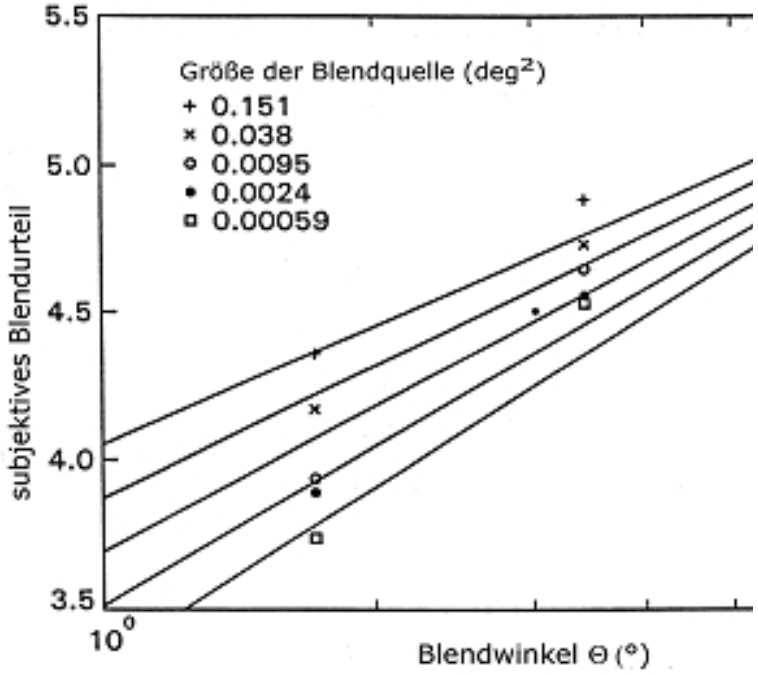
Alferdinck, 1991 (rechts)

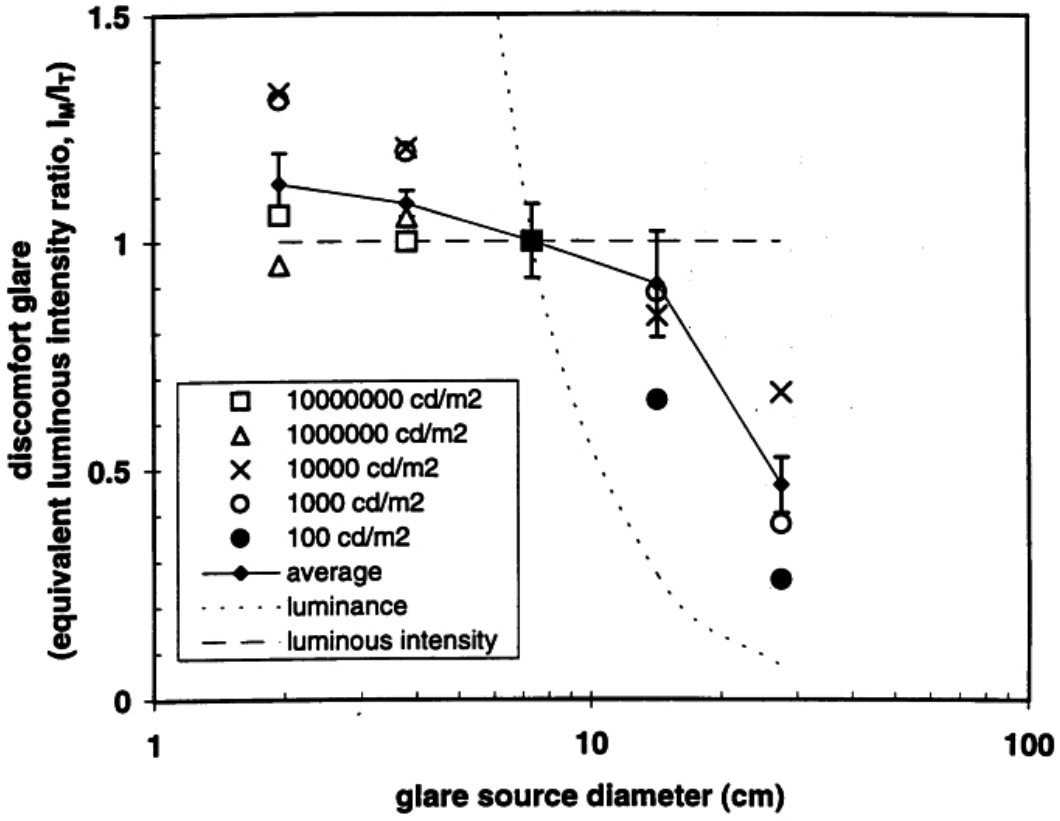




Einfluss der Leuchtdichte

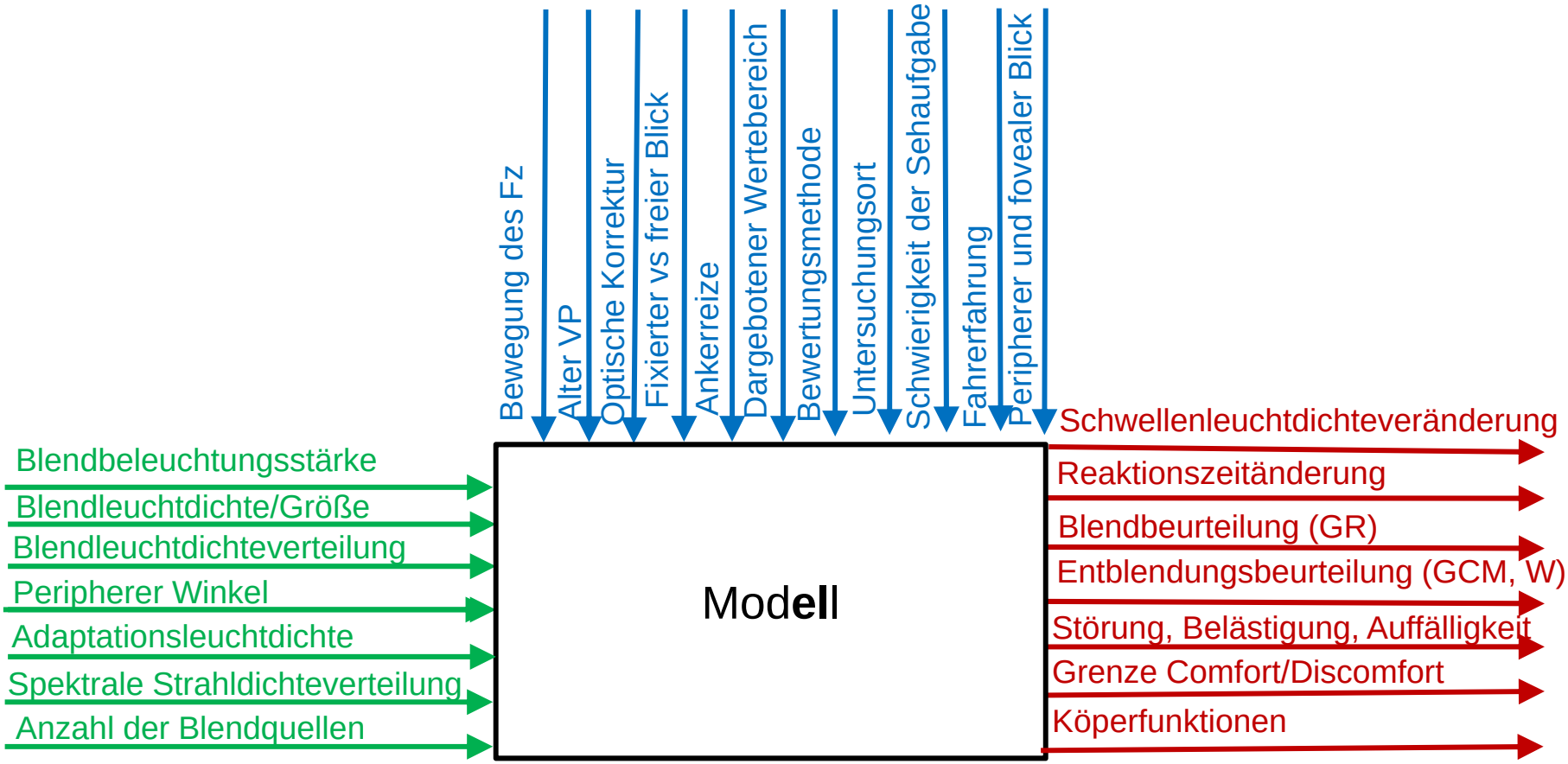
Alferdinck, 1991





$$W = 2{,}89 - 2{,}19 \cdot \log E_g + 1{,}62 \cdot \log \Theta + 0{,}169 \cdot \log A$$

Analyse der Einflussfaktoren



Hypothesen

H1 Die Blendleuchtdichte besitzt praktisch keinen Einfluss auf die physiologische Blendung.

H2 Die Blendleuchtdichte besitzt einen Einfluss auf die psychologische Blendung.

H3 Der Einfluss der Lichtfarbe auf die psychologische Blendung ist innerhalb ECE-Farbgrenzen für weißes Licht vernachlässigbar. Bunte Lichtfarben können aber als Distraktoren (Ablenkung) im Straßenverkehr wirken.

H4 Die psychologische Blendung von Kfz-Scheinwerfern lässt sich mittels der mittleren Blendleuchtdichte der Quelle, der aus 50 m gesehenen leuchtenden Fläche, der Umfeldleuchtdichte und der Position des Scheinwerfers berechnen.

H5 Mittels unterschiedlicher Exponenten als Gewichtungsfaktoren lassen sich sowohl verschiedene spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle als auch weitere Umweltfaktoren berücksichtigen.

Hypothesen

H1 Die Blendleuchtdichte besitzt praktisch keinen Einfluss auf die physiologische Blendung.

H2 Die Blendleuchtdichte besitzt einen Einfluss auf die psychologische Blendung.

H3 Der Einfluss der Lichtfarbe auf die psychologische Blendung ist innerhalb ECE-Farbgrenzen für weißes Licht vernachlässigbar. Bunte Lichtfarben können aber als Distraktoren (Ablenkung) im Straßenverkehr wirken.

H4 Die psychologische Blendung von Kfz-Scheinwerfern lässt sich mittels der mittleren Blendleuchtdichte der Quelle, der aus 50 m gesehenen leuchtenden Fläche, der Umfeldleuchtdichte und der Position des Scheinwerfers berechnen.

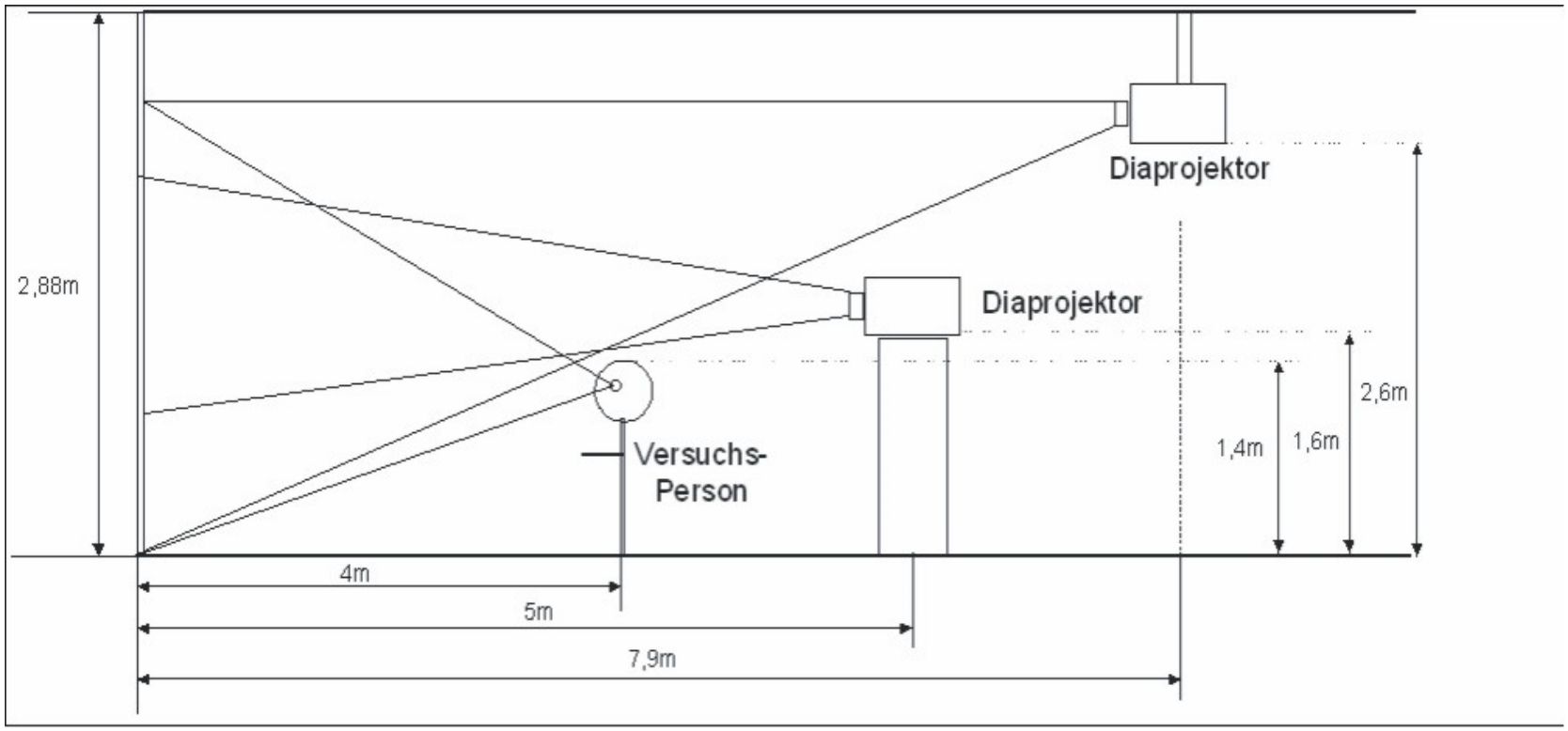
H5 Mittels unterschiedlicher Exponenten als Gewichtungsfaktoren lassen sich sowohl verschiedene spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle als auch weitere Umweltfaktoren berücksichtigen.

Eigene Untersuchungen
Operationalisierung, verwendete Blendquellen

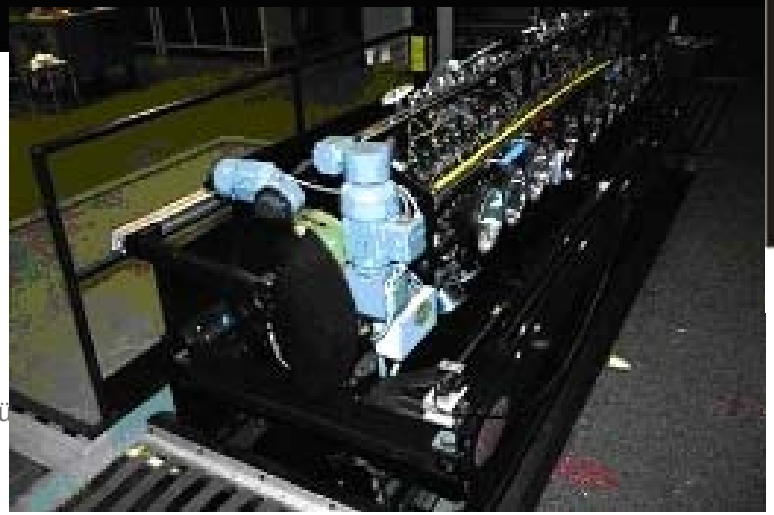
Ort	Nr.	Datum	Anzahl Scheinwerfer	Unabhängige Variable	Abhängige Variable	Völker &
Labor	B1	07/03	2	Lampenart	C_{th}, t_R	Kliebisch
	B2	11/03	4	E_g	C_{th}; t_R; GCM	Freyer
	B3	11/03	4	L_g	C_{th}; t_R; GCM	Freyer
	B4	11/03	4	Vorfeld	C_{th}; t_R; GCM	Freyer
Lichtkanal mit realen Schein-werfern	B5	**02/00**	26	Umfeld	letzte Tafel; GCM	Meyborg
	B6	02/00	21	Reale SW	C_{th}, GCM	Meyborg
	B7	07/00	4	Farbsaum	GCM	Grote
	B8a	07/00	15	Reale SW	GCM	Grote
	B8b	10/00	17	Reale SW	GCM	Grote
	B9	02/03	17	Reale SW	C_{th}, GCM,	Löscher,
	B12	06/03	6 mit 8 Neigungen	Reale SW	C_{th}, GCM	Kley, Locher
Lichtkanal mit Modell	B10	05/04	3	E_g, d	C_{th}, BCD, GCM	Raphael
	B11	**05/04**	18	Modell SW	C_{th}, GCM	Raphael

Eigene Untersuchungen

Ort der Untersuchung: Labor



Eigene Untersuchungen Ort: Lichtkanal

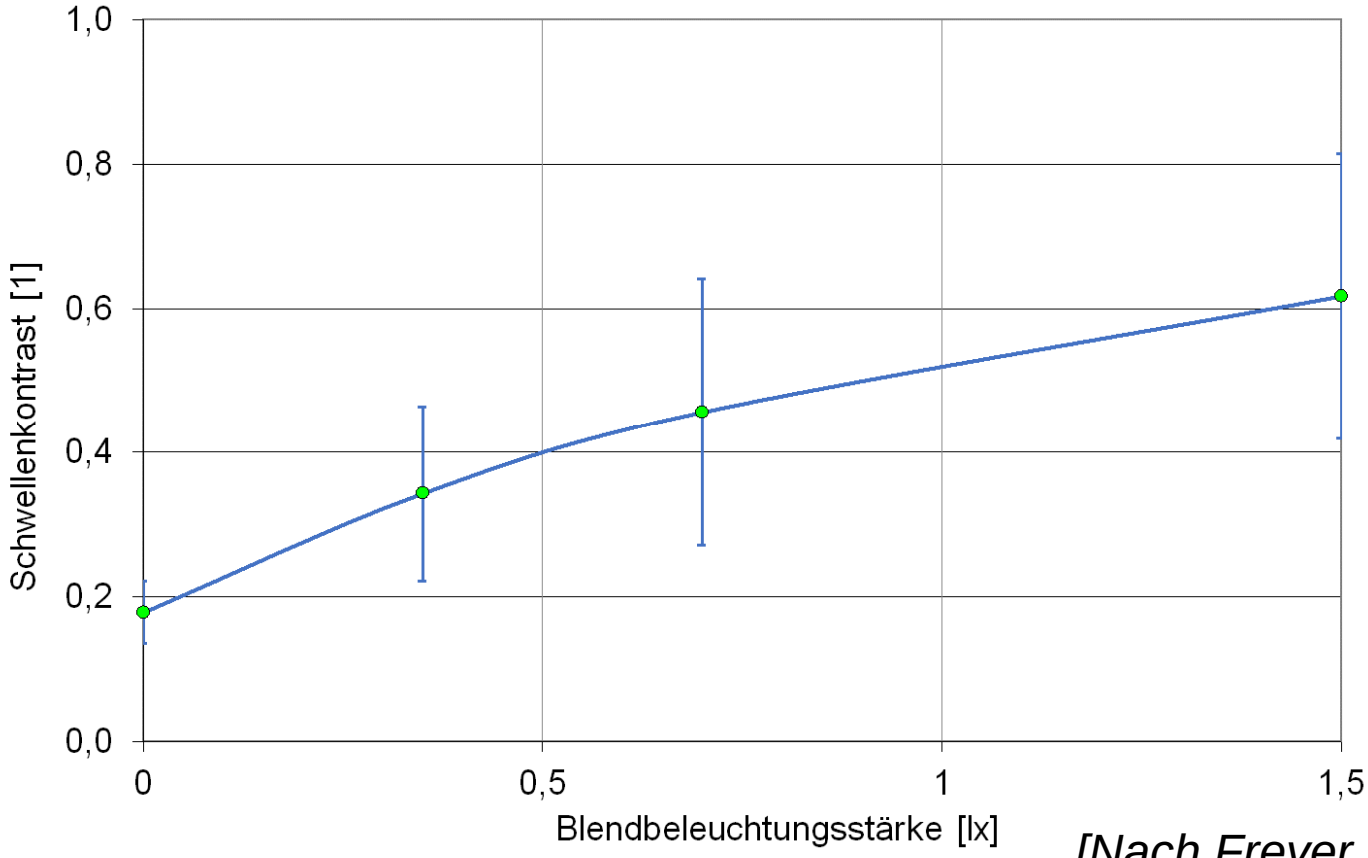


Eigene Untersuchungen

Versuchspersonen

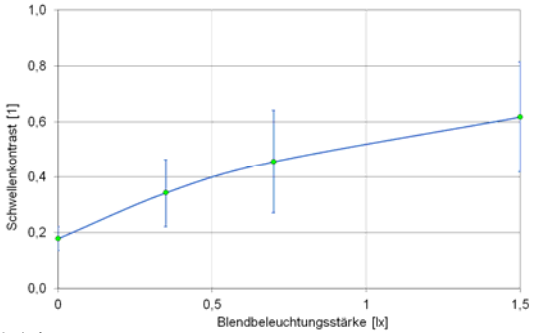
Untersuchungen	Nr	Zusammen mit	Anzahl	Männlich	Weib-lich	Alter	Alter (MW mit 1+SD)	Visus < 0,8	Brille
Labor	B1	Kliebisch	40	30	10	20-63	39,5 ± 13,6	0	22
	B2	Freyer	40	33	7	23-63	35,7 ± 13,3	0	19
	B3	Freyer	40	36	4	17-51	26,7 ± 7,0	0	15
	B4	Freyer	40	31	9	16-66	36,8 ± 16,7	0	24
Lichtkanal mit realen Schein-werfern	B5	Meyborg	10	10	0	24-36	-	0	-
	B6	Meyborg	10	9	1	25-31	-	0	-
	B7	Grote	8	-	-	-	-	0	-
	B8a	Grote	10	10	0	23-36	28,7 ± 4,8	0	4
	B8b	Grote	7	-	-	22-34	-	0	-
	B9	Löscher	20	12	8	20-56	32,4 ± 11,9	0	11
Lichtkanal mit Modell-scheinwerfer	B10	Raphael	17	16	1	23-37	26,6 ± 3,9		9
	B11	Raphael	38	32	6	23-64	38,9 ± 14,6	6	18

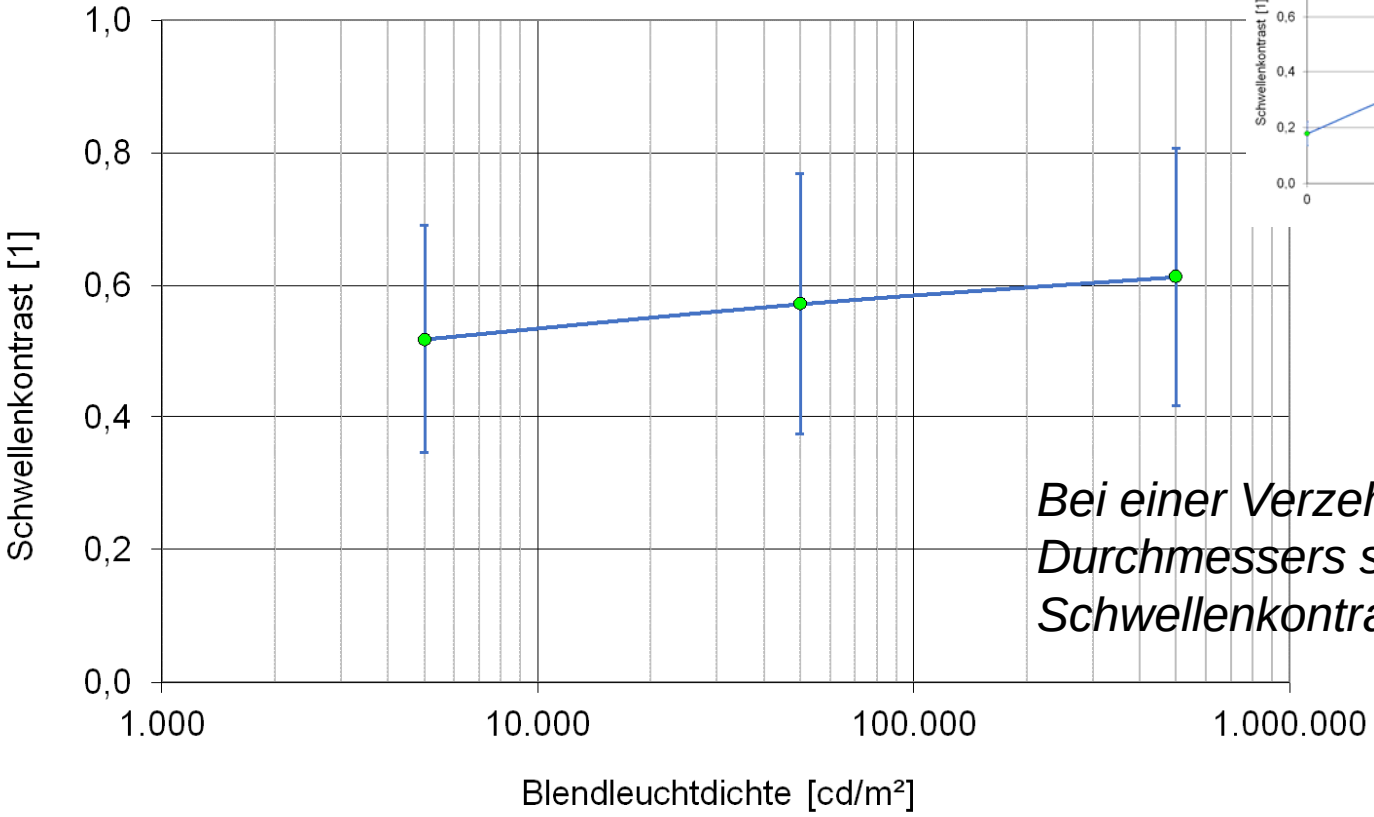
Ergebnisse zu H1
A. Einfluss der Blendbeleuchtungsstärke



[Nach Freyer, 2003]

Ergebnisse zu H1
A. Einfluss der Blendleuchtdichte





Bei einer Verzehnfachung des Durchmessers sinkt der Schwellenkontrast um 15 %.

[Nach Freyer, 2003]

Ergebnisse zu H1
Statistische Analyse

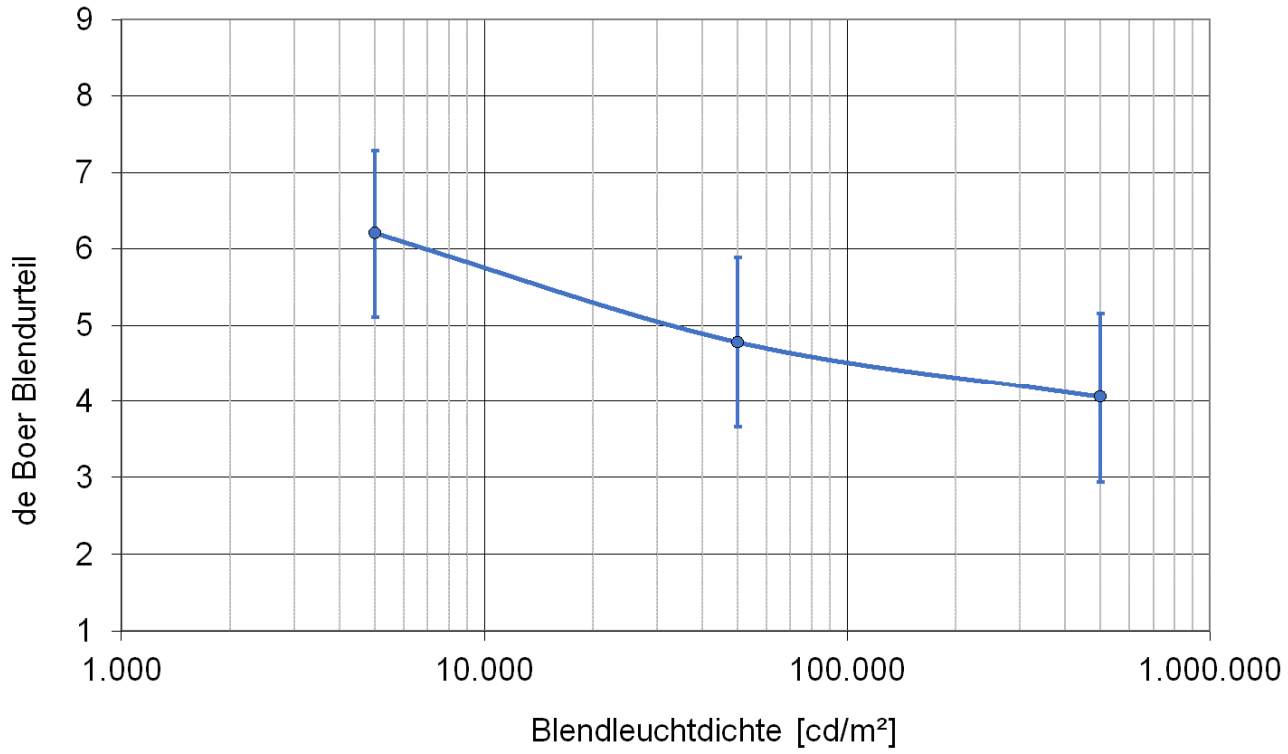
Schwellenkontrast	Lichtkanal [B11]		Labor [B2, B3]	
Effekt	F-Wert	Signifikanz	F-Wert	Signifikanz
D	6,845	0,000	18,903	0,000
E_g	340,094	0,000	116,752	0,000
E_g*D	5,906	0,000	k.A.	k.A.
D*Altersgruppe	2,063	0,013	k.A.	k.A.
E_g*Altersgruppe	3,008	0,056	6,216	0,001
Altersgruppe	7,149	0,011	15,899	0,000

[B2, B3] nach Freyer 2003; [B11] nach Raphael, 2004

Hypothesen

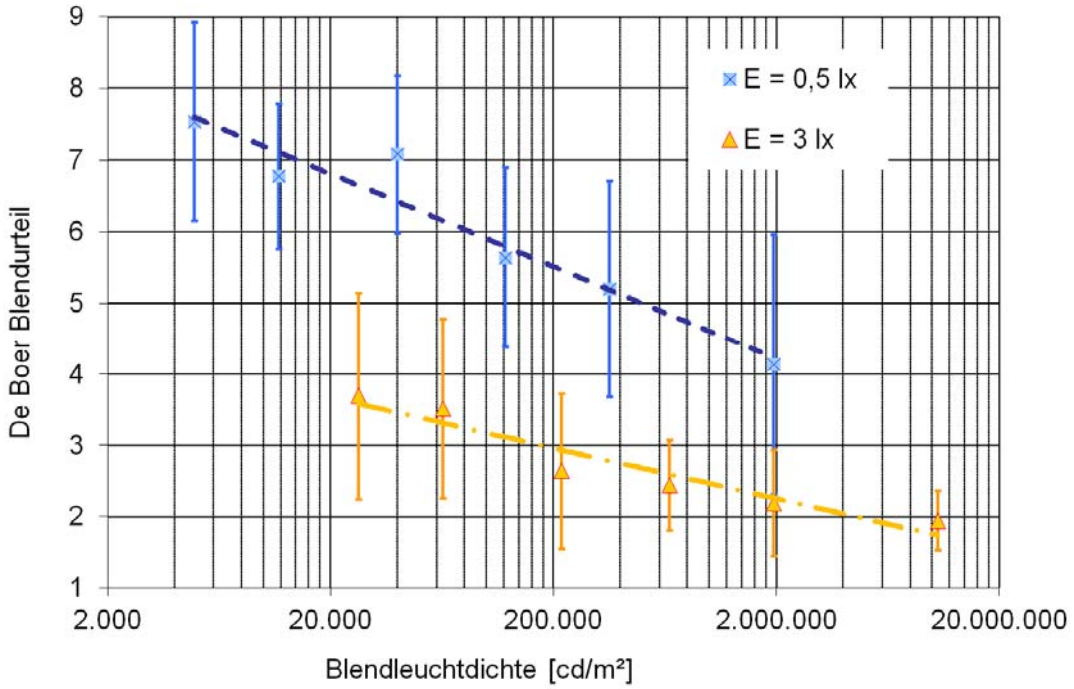
H1 Blendleuchtdichte besitzt praktisch keinen Einfluss auf die physiologische Blendung. ✔

Ergebnisse zu H2 - Labor
Einfluss der Blendleuchtdichte



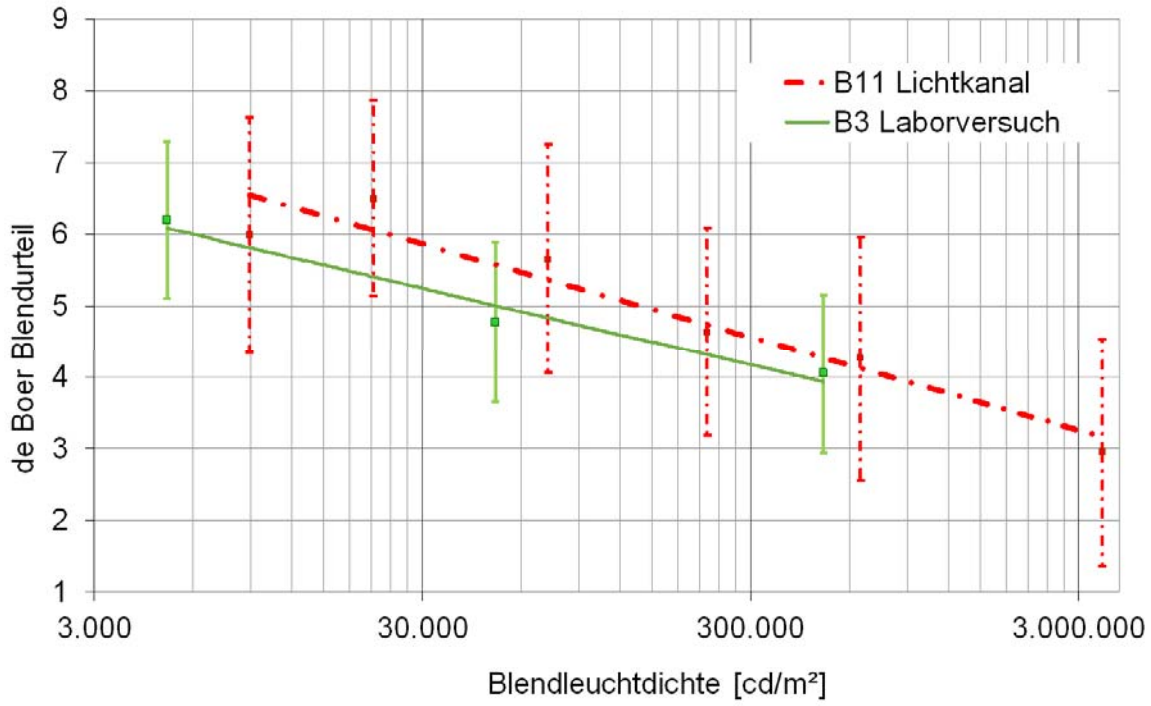
[Nach Freyer, 2003]

Ergebnisse zu H2 – Lichtkanal – Modell SW
Einfluss der Blendleuchtdichte



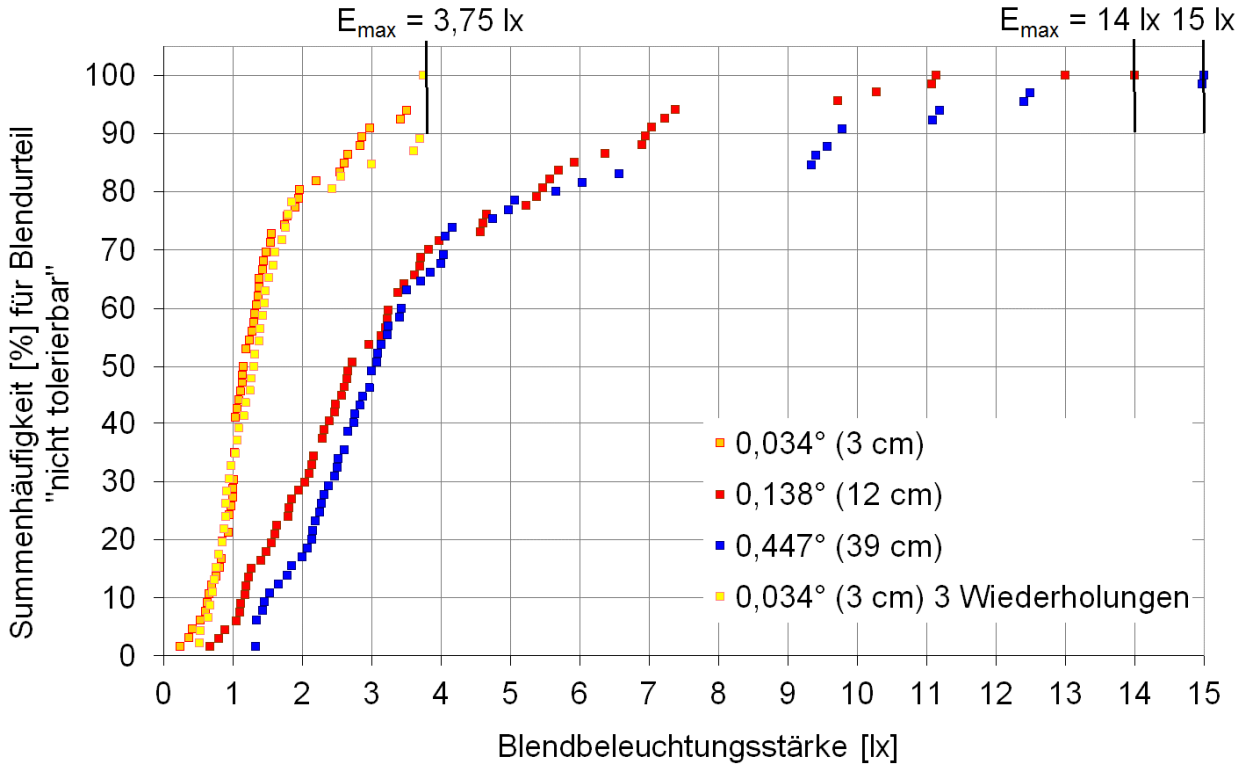
[Nach Raphael, 2004]

Ergebnisse zu H2
Vergleich der Versuchsorte



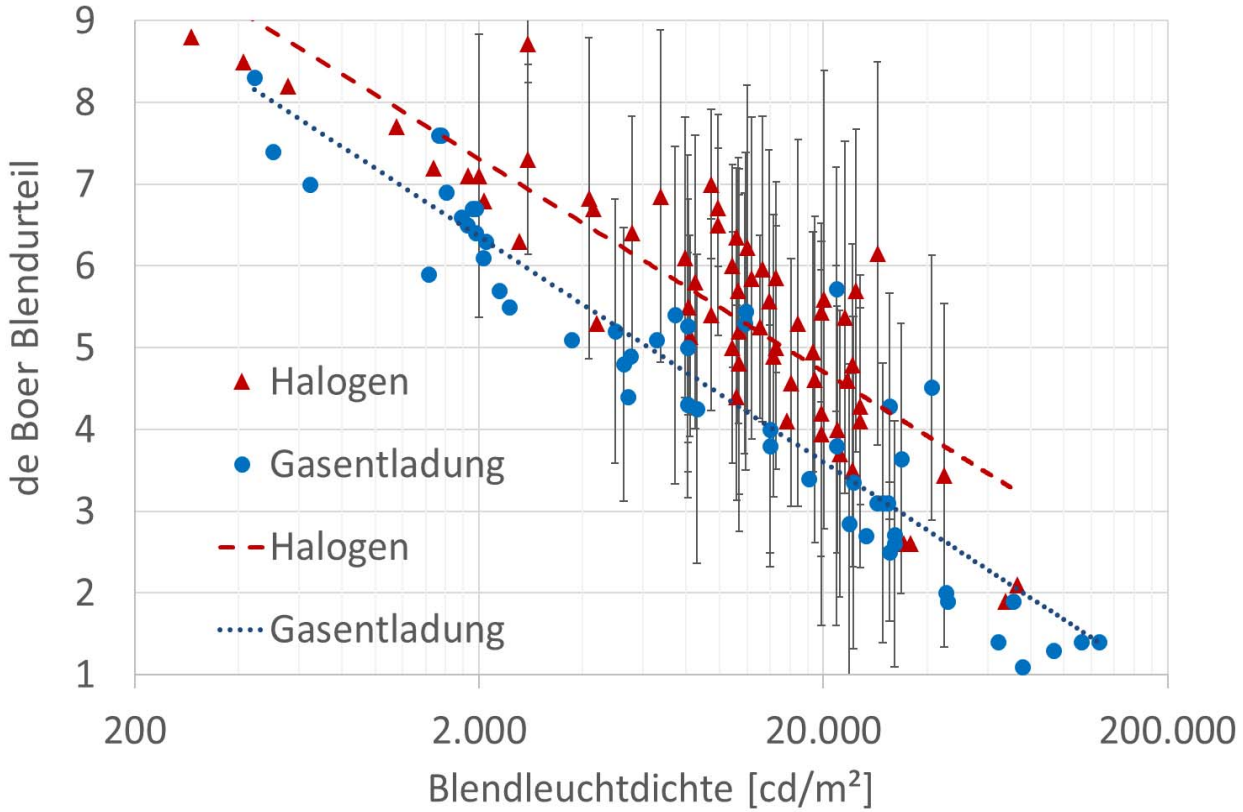
[Raphael, 2004]

Ergebnisse zu H2
Einfluss der Methode



[Raphael, 2004]

Ergebnisse zu H2 – Lichtkanal – Reale SW
Einfluss der Blendleuchtdichte



foveal

Ergebnisse zu H2
Statistische Analyse

De Boer Blendurteil	Lichtkanal [B11]		Labor [B2, B3]	
Effekt	F	Signifikanz	F	Signifikanz
D	95	0,000	70	0,000
E_g	429	0,000	-	-
D*Altersgruppe	8,4	0,000	-	-
E_g*Altersgruppe	0,6	0,566	-	-
E_g*D	11,5	0,000	-	-
Altersgruppe	0,2	0,631	-	-
Sehhilfe	8,7	0,006	1	0,315

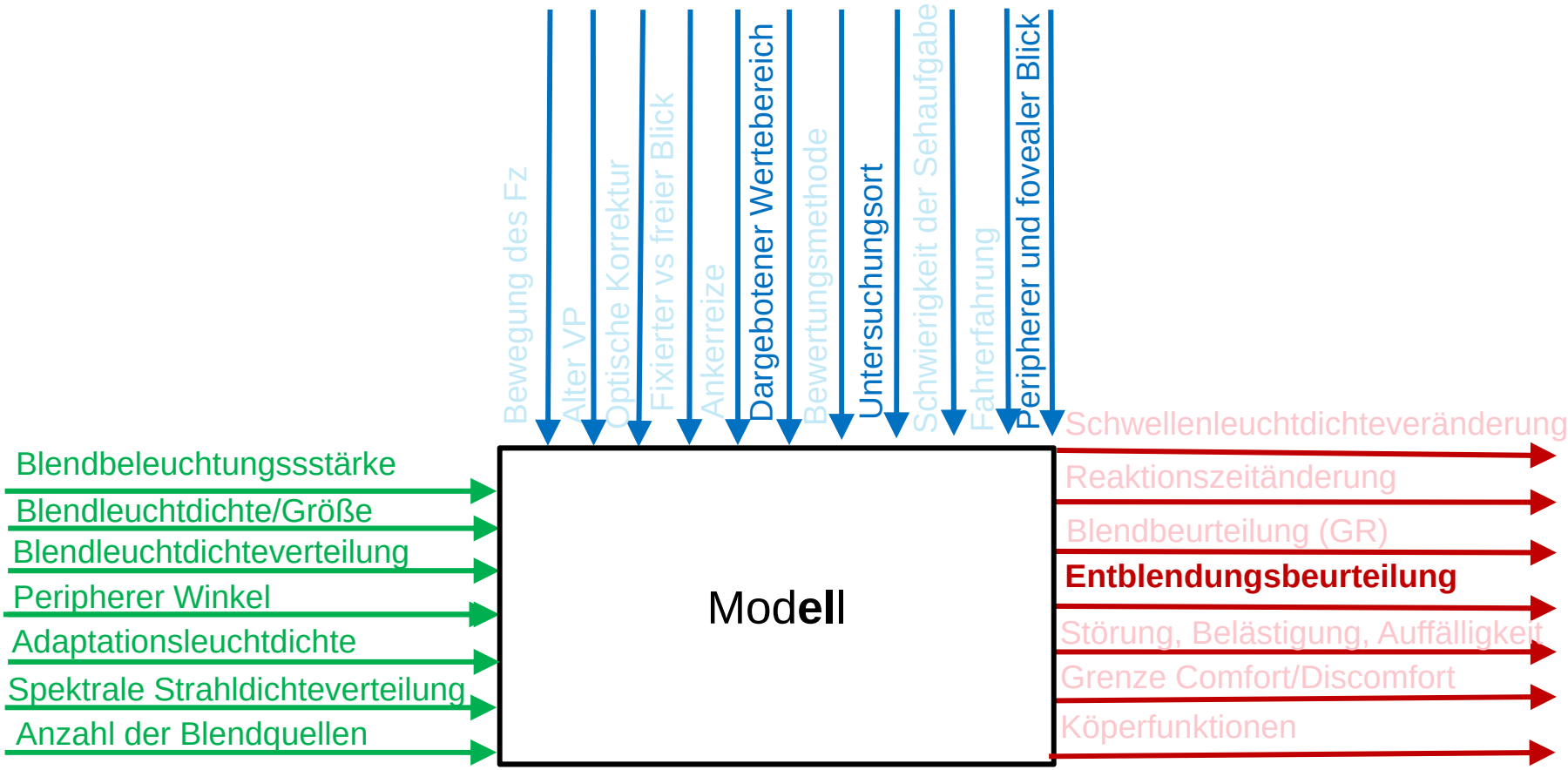
[B2, B3] nach Freyer 2003; [B11] nach Raphael, 2004

Hypothesen

H1 Blendleuchtdichte besitzt praktisch keinen Einfluss auf die physiologische Blendung. ✓

H2 Blendleuchtdichte besitzt einen Einfluss auf die psychologische Blendung. ✓

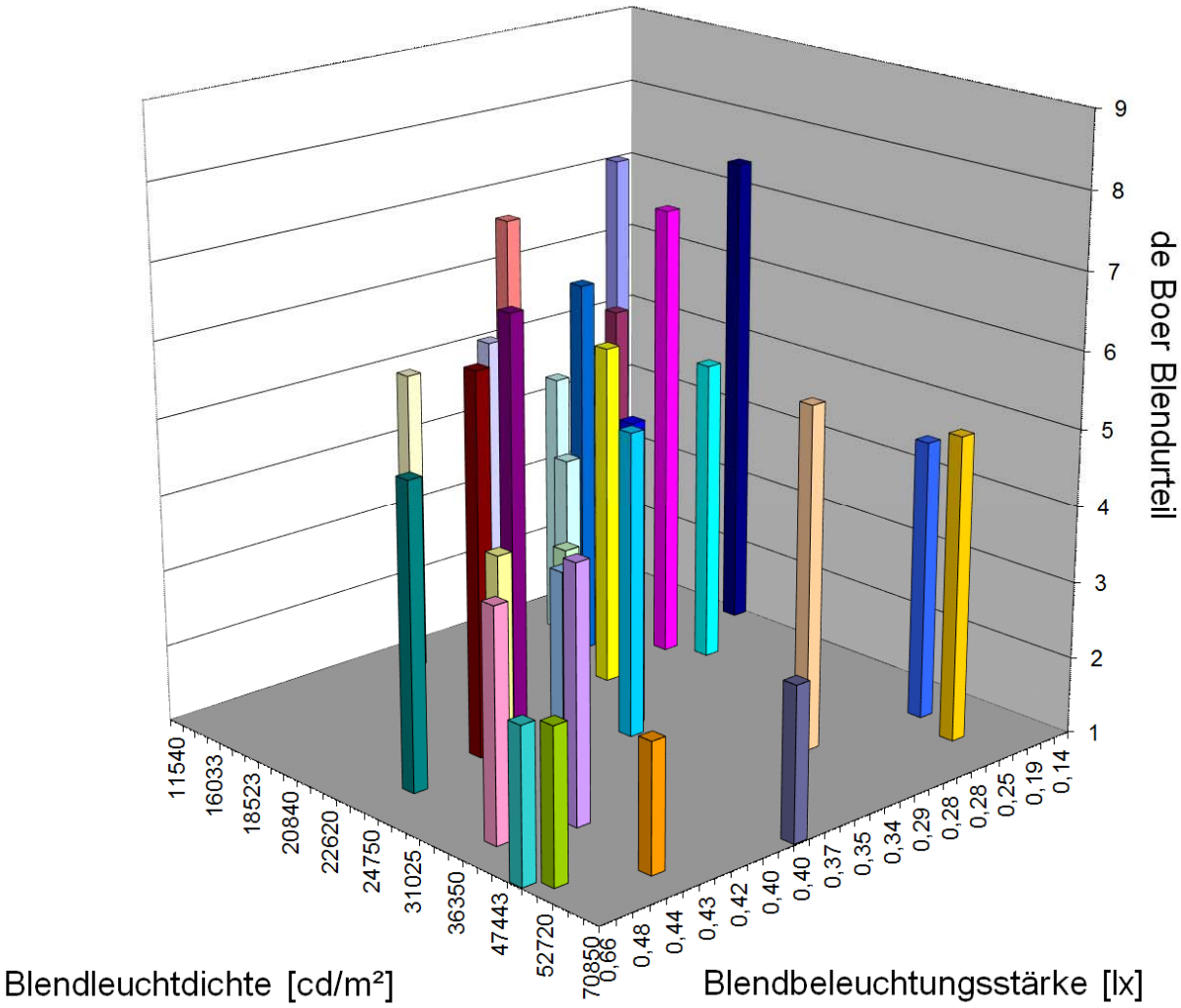
Modellbildung



Modellbildung

Ort	Laborversuch			Lichtkanalversuch (Modellscheinwerfer)		Lichtkanalversuch (reale Scheinwerfer, peripher)		
Methode	Physiologisch		Psycho-logisch	Physio-logisch	Psycho-logisch	Physiologisch		Psychologisch
Maßzahl	t_r	C_{th}	De-Boer	C_{th}	De-Boer	$C_{th,D}$	$C_{th,I}$	De-Boer
E_g	+	+	k.A.	+	+	-/+	+	+
L_g/Größe	k.A.	+	+	-/+	+	-	+	+
Lampen-art	-	+	k.A.	k.A.	0	k.A.	k.A.	+
Alter	+	+	k.A.	+	-	k.A.	k.A.	+

Modellbildung



Modellbildung

$$UGR = \frac{L_g^a \cdot \Omega_p^b}{L_a^c \cdot p^d} = \frac{L_g^{a*} \cdot E_g^{b*}}{L_a^c \cdot p^d}$$

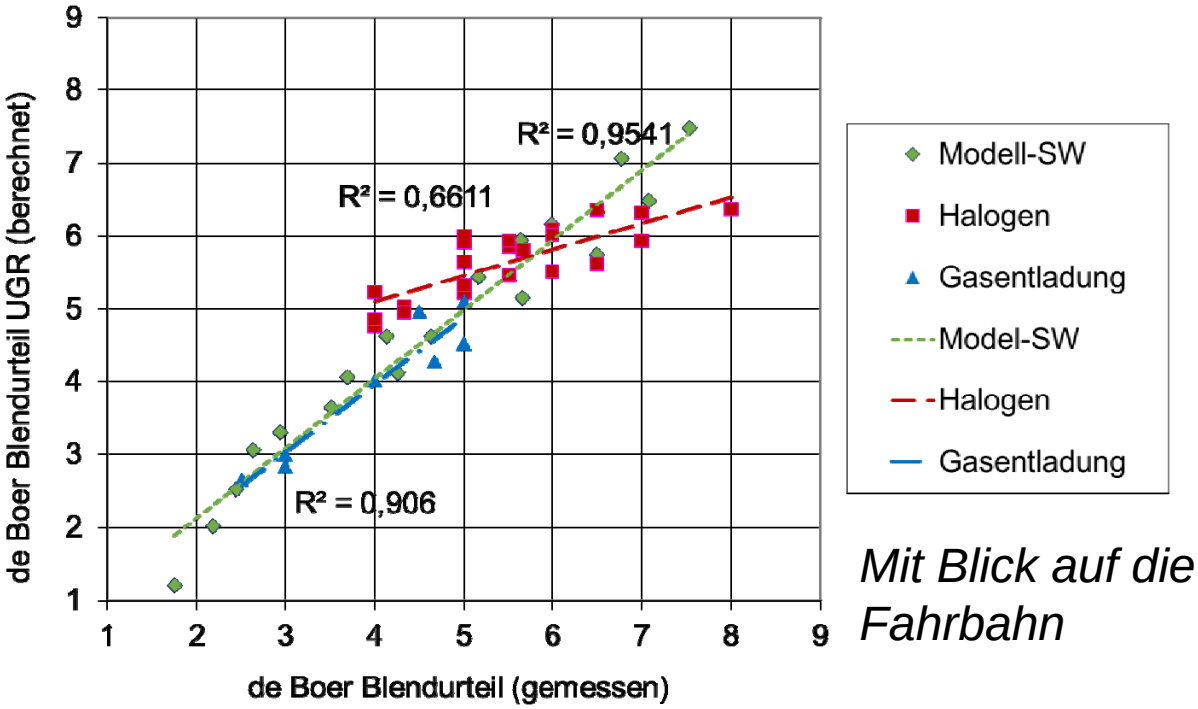
$$UGR_{car} = c_1 \frac{L_g^{a*} \cdot E_g^{b*}}{L_a^c \cdot p^d} + c_2 + X$$

$$UGR_{car,B50L} = c_1 L_g^{a*} \cdot E_g^{b*} + c_2 + X$$

$$UGR_{car,B50L} = 0,0001 \cdot L_g \cdot E_g + 6,5 - X$$

X = 0 für Halogenscheinwerfer
X = 1 für Gasentladungsscheinwerfer

Modellbildung



Mit Blick auf die Fahrbahn

Hypothesen

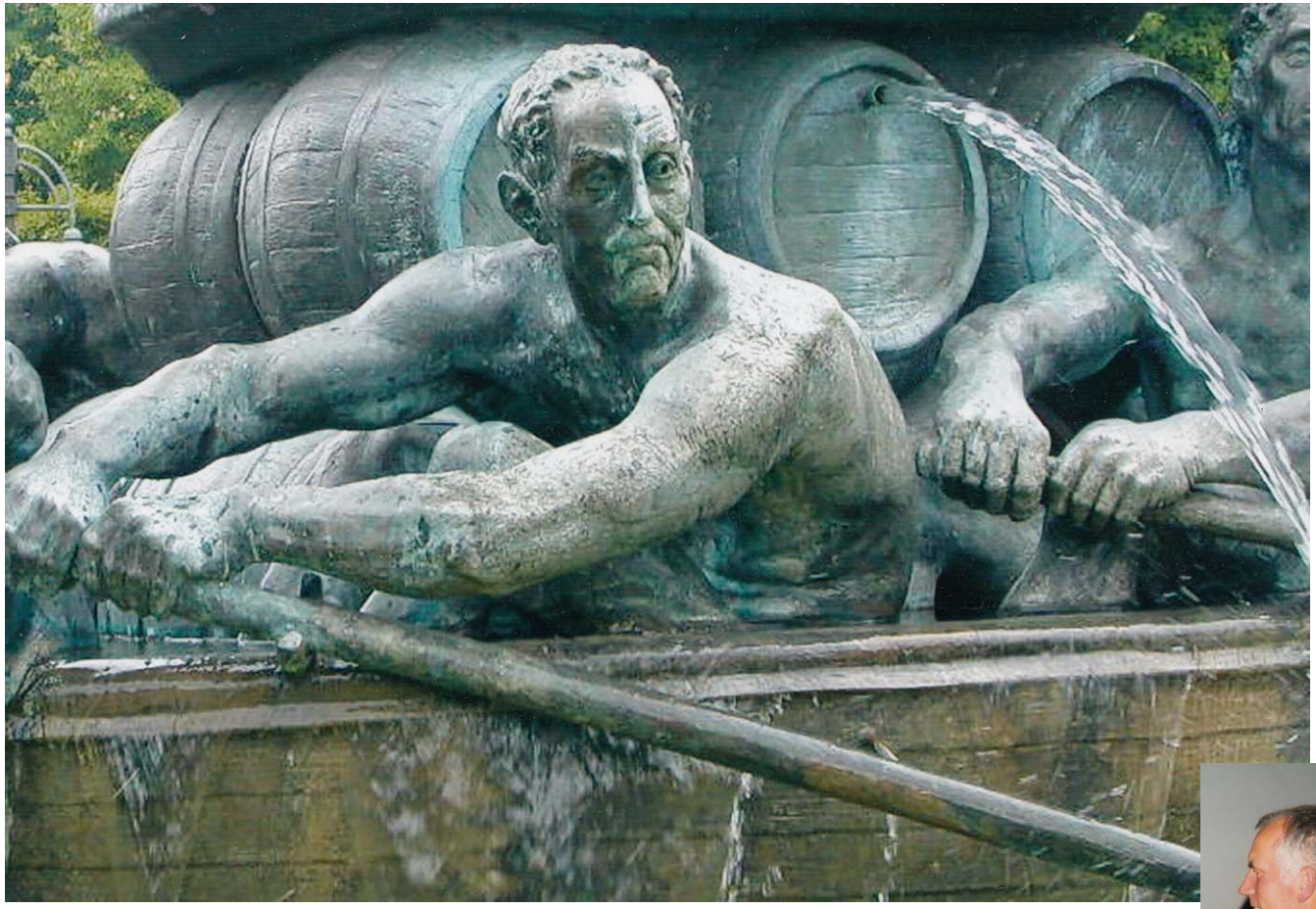
H1 Blendleuchtdichte besitzt praktisch keinen Einfluss auf die physiologische Blendung. ✓

H2 Blendleuchtdichte besitzt einen Einfluss auf die psychologische Blendung. ✓

H3 Der Einfluss der Lichtfarbe auf die psychologische Blendung ist innerhalb ECE-Farbgrenzen für weißes Licht praktisch vernachlässigbar. Bunte Lichtfarben können aber als Distraktoren (Ablenkung) im Straßenverkehr wirken.

H4 Die psychologische Blendung von Kfz-Scheinwerfern lässt sich mittels der mittleren Blendleuchtdichte der Quelle, der aus 50 m gesehenen leuchtenden Fläche, der Umfeldleuchtdichte und der Position des Scheinwerfers berechnen. ✓

H5 Mittels unterschiedlicher Exponenten als Gewichtungsfaktoren lassen sich sowohl verschiedene spektrale Zusammensetzung der Lichtquelle als auch weitere Umweltfaktoren berücksichtigen.



Prof. Gall: „Halten SIE durch!“