

Martin Grimm

Anforderungen an eine ambiente  
Innenraumbeleuchtung von Kraftfahrzeugen

Herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen  
Technische Universität Darmstadt  
in der Reihe  
Darmstädter Lichttechnik



Herbert Utz Verlag · Wissenschaft  
München

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte  
bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, Darmstadt, Techn. Univ., 2002

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch  
begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung,  
des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der  
Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem  
Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwen-  
dung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2003

ISBN 3-8316-0232-8

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
Tel.: 089/277791-00 – Fax: 089/277791-01

**1 Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Grundlagen der visuellen Wahrnehmung</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Stand der Technik</b>	<b>19</b>
6.1	Begriffsbestimmungen.....	19
6.2	Bisherige Untersuchungen .....	21
6.3	Lichtquellen.....	24
6.3.1	Glühlampe .....	24
6.3.2	Leuchtdioden.....	26
6.3.3	Leuchtstofflampen .....	27
6.3.4	Elektrolumineszenz.....	28
6.4	Anforderung an die Lebensdauer von Lichtquellen .....	29
6.5	Optik .....	31
6.5.1	Streuoptik in der Lichtscheibe.....	31
6.5.2	Abbildende Optiken .....	32
6.5.3	Freiflächenreflektrooptik .....	33
6.5.4	Prismenlichtleiter .....	33
6.6	Lichttechnische Eigenschaften von Fahrzeuginnenräumen .	34
6.6.1	Beleuchtungsstärken .....	35
6.6.2	Leuchtdichten .....	38
6.6.3	Reflexionseigenschaften.....	39
6.6.4	Farben.....	41

<b>7 Laborversuche .....</b>	<b>43</b>
7.1 Versuchsaufbau .....	43
7.2 Kalibrierung.....	47
7.3 Farbdarstellung.....	48
7.4 Parameterwahl.....	48
7.5 Versuchsdurchführung .....	51
7.6 Versuchsergebnisse.....	53
7.6.1 Einfluss der Leuchtdichte auf die subjektive Beurteilung	53
7.6.1.1 Such- und Funktionsbeleuchtung .....	54
7.6.1.2 Großflächige ambiente Lichtfunktionen.....	61
7.6.2 Einfluss der Position auf die subjektive Beurteilung .....	66
7.6.3 Einfluss der Farbe auf die subjektive Beurteilung .....	70
7.6.4 Einfluss der Farbe auf die Schwellenleuchtdichte .....	78
7.6.5 Schwellenleuchtdichtheiterhöhung .....	79
7.6.6 Readaptationszeit.....	82
7.6.7 Kontrastbewertung.....	88
7.7 Mathematischer Ansatz zur Beschreibung der Leuchtdichtebewertung .....	92
<b>8 Fahrversuche.....</b>	<b>101</b>
8.1 Versuchsfahrzeug .....	101
8.2 Versuchsdurchführung .....	104
8.3 Versuchsergebnisse.....	105
8.3.1 Leuchtdichte Stör-Schwellen .....	105
8.3.2 Einfluss der Farbtemperatur .....	108
8.3.3 Optimale Leuchtdichten .....	111
8.3.4 Arbeitsplatzbeleuchtung .....	113
8.4 Gesamtinszenierung .....	114

8.5 Situativ abhängige Fahrzeuginnenraumbeleuchtung .....	117
8.5.1 Ansteuerungskonzept für den Fahrzeuginnenraum .....	119
<b>9 Ableitung einer Empfehlung .....</b>	<b>120</b>
9.1 Methode .....	120
9.2 Bewertungsablauf .....	130
<b>10 Ausblick .....</b>	<b>132</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>134</b>
<b>12 Anhang .....</b>	<b>155</b>
12.1 Abkürzungen .....	155
12.2 Versuchsaufbauten .....	157
12.2.1 Bewertungsmaßstäbe .....	158
12.3 Statistische Verfahren .....	158
12.4 Weitere Untersuchungsergebnisse .....	161
12.4.1 Leuchtdichtemessung Fahrzuginnenleuchten .....	161
12.4.2 Iso Bewertungsleuchtdichten für W = 5 .....	162
12.5 Verwendete Versuchsaufbauten .....	164
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>166</b>

### 3 Einleitung

Über einen langen Zeitraum war die Innenraumbeleuchtung bei Kraftfahrzeugen durch einen sehr einheitlichen Aufbau geprägt. Dieser war von der Fahrzeugklasse relativ unabhängig. Wesentliches Merkmal dieser Innenraumbeleuchtung ist die Gestaltung mit einer zentralen Hauptleuchte, die im Dachhimmel, häufig im Bereich des inneren Rückspiegels, angebracht ist. Die Funktion wird durch Kontakte an den Türen bzw. durch die Funkfernbedienung betätigt und sorgt für eine ausreichende Beleuchtung des Fahrzeuginneren im Standbetrieb. Aufgrund der Gestaltung und der Lichtverteilung dieser Leuchte ist ein Betrieb während der Fahrt meist mit einer Einschränkung der Sehleistung bzw. des Sehkomforts für den Fahrer verbunden. Verschiedene Aspekte erfordern allerdings eine Beleuchtung des Fahrzeuginneren auch während der Nachtfahrt. Diese Situationen ergeben sich zum einen, wenn Mitfahrer während der Fahrt lesen oder arbeiten wollen. Zum anderen ergibt sich die Anwendung einer permanenten Beleuchtung im Fahrzeug aus der Forderung, dem Fahrer durch eine diskrete Beleuchtung eine Orientierung im Fahrzeug zu ermöglichen. Durch eine dezente Beleuchtung lässt sich außerdem die Wahrnehmung des Innenraums verbessern. Im Allgemeinen ist eine Abschätzung der Größe des Innenraums nicht möglich, da die Entfernung zu den begrenzenden Flächen nicht wahrgenommen werden. Durch eine gezielte Beleuchtung lassen sich diese Defizite ausgleichen; eine Orientierung innerhalb des Fahrzeugaumes, sowie eine Abschätzung der Größe werden hierdurch möglich. Somit lässt sich insgesamt ein angenehmes Gefühl während der Nachtfahrt vermitteln, was zu einer ermüdfreieren und sichereren Fahrt beiträgt.

Ein weiterer Aspekt, der für die Orientierung im Fahrzeug eine wesentliche Rolle spielt, ist die Erkennbarkeit von Schaltern und Instrumenten. Schalter, die zur Bedienung verschiedener Funktionen, wie zum Beispiel Heckscheibenheizung, vorhanden sind, werden in der Regel mit Symbolen hinterleuchtet. Die Schalterelemente selbst sind allerdings während einer Nachtfahrt nicht zu erkennen. Erst durch eine angepasste Gestaltung der ambienten Beleuchtung kann die Kontur des Schalters erkennbar gemacht werden. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung zwischen Funktion, Schalter und Symbol möglich. Dies bietet dem Fahrer einen deutlichen Sicherheitsgewinn, der sich in kürzeren Erkennungszeiten und Blickzuwendungszeiten äußert, da er sich über sein visuelles System orientieren kann und den Schalter nicht

ertasten muss. Neben den beschriebenen Sicherheitsaspekten gibt es auch aus Sicht des Fahrzeugdesigns den Wunsch das Fahrzeugginnere bei Nacht zu beleuchten. Gerade in den oberen Fahrzeugklassen werden hochwertige Materialien wie Wurzelholz und Carbonoberflächen verwendet, diese Innenraumgestaltung soll auch während der Nachtfahrt in einem definierten Erscheinungsbild dargestellt werden.

Unter diesen verschiedenen Aspekten ist es daher sinnvoll, den Fahrzeuginnenraum während der Fahrt zu beleuchten. Diese im Vergleich zum heutigen Standard zusätzlichen Leuchtdichten im Fahrzeug stellen aber gleichzeitig eine Gefahr für den Fahrer dar. Aufgrund der zusätzlichen Leuchtdichten kann sich das Adaptationsniveau derart verändern, dass die Sehleistung des Fahrers ungünstig beeinflusst wird. Eine weitere Gefahr besteht in der Reduzierung der Sehleistung durch etwaige Reflexionen auf der Frontscheibe bzw. auf den Seitenscheiben. Diese Reflexionen verändern die Sicht ähnlich wie die Streuleuchtdichten im Nebel. Die zusätzlichen Leuchtdichten auf der Scheibe überlagern sich den Sehobjekten außerhalb des Fahrzeugs, dabei wird der Kontrast reduziert und die Erkennung verschlechtert. Zusätzlich kann durch solche Reflexionen oder durch unangepasste Leuchtdichten im Fahrzeugginnenraum eine gerichtete Blickbewegung des Fahrers hervorgerufen werden. Diese Sakkaden (unwillkürliche Augenbewegungen) sind unerwünscht und lenken den Fahrer von seiner Fahrttätigkeit ab.

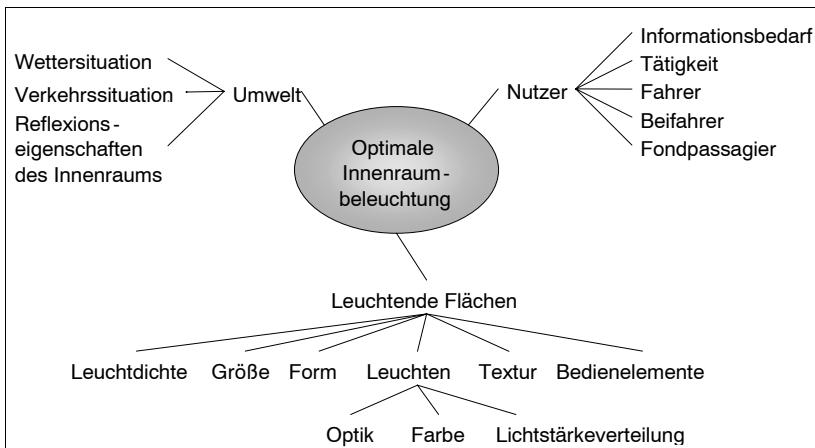
Zusätzlich zu den beschriebenen Leuchtdichten erfolgt in modernen Fahrzeugen zunehmend der Einsatz von Displays zur Anzeige von Navigations- oder anderen fahrzeugrelevanten Daten. Diese Displays sind in der Regel möglichst dicht am zentralen Gesichtsfeld angeordnet, um eine gute Ablesbarkeit zu gewährleisten, die mit kleinen Blickzuwendungen erreicht werden können. Gleichzeitig besteht hierbei jedoch die Gefahr, dass der Fahrer durch die zusätzlichen Leuchtdichten von der eigentlichen Fahraufgabe abgelenkt wird.

Im Rahmen dieser Arbeit soll systematisch untersucht werden, wie sich die einzelnen Parameter der Innenraumbeleuchtung auf die Sehleistung des Fahrers auswirken und welche Empfehlungen für eine Auslegung einer solchen Innenraumbeleuchtung gegeben werden können.

## 4 Aufgabenstellung

Die lichttechnische Gestaltung des Innenraums von Kraftfahrzeugen ergeben sich aus verschiedenen Anforderungen, wobei eine prinzipielle Unterscheidung von verschiedenen Situationen sinnvoll ist. Die Anforderungen für den Standbetrieb unterscheiden sich wesentlich von den Anforderungen, die an den Fahrbetrieb gestellt werden. Auch die Zielgruppe stellt unterschiedliche Anforderungen an die Eigenschaften der Innenraumbeleuchtung; eine Unterscheidung nach Fahrer und Beifahrer im Front- und Fondbereich des Fahrzeugs ist daher sinnvoll.

Die Einflussgrößen, die die Bewertung der Innenraumbeleuchtung beschreiben sind schematisch in Abbildung 1 dargestellt.



*Abbildung 1: Darstellung der Einflussparameter für eine Innenraumbeleuchtung für Kraftfahrzeuge*

Die Ansprüche, die der Fahrer des Fahrzeugs an die Innenraumbeleuchtung stellt, nehmen dabei eine besondere Rolle ein, da eine negative Beeinflussung der Wahrnehmungseigenschaften, bezogen auf den Straßenverkehr, ausgeschlossen werden muß. Ausgehend von einer permanenten Innenraumbeleuchtung soll diese gleichermaßen Komfortgesichtspunkten und Sicherheitsaspekten genügen.

Die ambiente Innenraumbeleuchtung soll den Fahrer in seiner Wahrnehmung des Innenraums unterstützen ohne die eigentlichen Wahrnehmungsaufgaben des Straßenverkehrs zu beeinträchtigen. Hier sind insbesondere Aspekte wie die Erkennbarkeit von Bedienelementen zu nennen. Durch entsprechende Wahl der Leuchtdichten im Fahrzeug kann das Adaptationsniveau positiv beeinflusst werden. Umadaptationsvorgänge vom Fahrzeuginneren zum Verkehrsraum werden zeitlich positiv beeinflusst, so dass ein Reaktionszeitgewinn zu erzielen ist, der in kritischen Verkehrssituationen, zur Vermeidung von Unfällen beitragen kann.

Auf Basis von physiologischen Untersuchungen sollen die Einflussparameter auf die Beurteilung einer ambienten Innenraumbeleuchtung ermittelt werden. Dabei sollen sowohl objektiv messbare Kriterien als auch psychometrische Bewertungen als Maßstab herangezogen werden. Aus den Ergebnissen der physiologischen Versuche sollen Gestaltungsregeln zur Beschreibung der Innenraumbeleuchtung erarbeitet werden.

Eventuelle Konsequenzen für eine technische Realisierung sollen aufgezeigt und in einem Konzept zur Gestaltung der Innenraumbeleuchtung berücksichtigt werden. Sollten der Umsetzung der gefundenen Realisierungsmöglichkeiten gesetzliche Richtlinien entgegenstehen, sollten Lösungsansätze aufgezeigt werden.