

Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 49

bast

Die vorliegende Forschungsarbeit wurde im Hause der Bundesanstalt für Straßenwesen gefertigt und in geringfügig abgewandelter Version als Dissertation an der TH Darmstadt eingereicht.

Referent:	Professor Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen
Ko-Referent:	Professor Dr.-Ing. K. Weinspach
Tag der Einreichung:	10. März 1997
Tag der mündlichen Prüfung:	18. Juli 1997

Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen

von

Hans-Hubert Meseberg

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 49

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BASt-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 93450:
Untersuchungen zur Wirksamkeit
vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 - 0
Telefax (0 22 04) 43 - 674

Redaktion:
Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9331
ISBN 3-89701-062-3

Bergisch Gladbach, November 1997

Kurzfassung · Abstract

Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für Straßenarbeitsstellen

Eine eindeutige visuelle Führung im Straßenraum, insbesondere in Arbeitsstellen, ist eine Grundvoraussetzung für einen sicheren und homogenen Verkehrsablauf. Die visuelle Führung wird durch horizontale (z.B. Fahrbahnmarkierungen) und vertikale Leiteinrichtungen (z.B. Warnbaken) bewirkt. Vor allem nachts kommt den vertikalen Leiteinrichtungen eine besondere Bedeutung zu.

Eine eindeutiger visuelle Führung der Verkehrsteilnehmer könnte durch eine verbesserte Gestaltung von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen erreicht werden. Um zu überprüfen, welche Formen und Farben besonders wirksam sind, wurde die vorliegende Laborstudie durchgeführt.

Durch Befragung von Testpersonen wurde ermittelt, daß bei Leiteinrichtungen die Farbkombination Rot-Weiß die höchste Auffälligkeit und Warnwirkung besitzt, während bei Überleitungs- und anderen Verkehrslenkungstafeln von den Versuchspersonen Kombinationen mit schwarzer Schrift auf gelbem, orangefarbenem oder rotem Grund die höchste Warnwirkung attestiert wurde.

Bei richtungsanzeigenden Leiteinrichtungen besitzen Pfeilmuster eine deutlich höhere visuelle Wirksamkeit als diagonale Streifenmuster. Daher können die heute überwiegend verwendeten Leiteinrichtungen mit diagonalen Streifenmustern ihre richtungsanzeigende Funktion nur sehr bedingt erfüllen.

Als wirksamstes Gestaltungselement für absperrende Leiteinrichtungen erwies sich ein vertikales Streifenmuster, das heute meist zur Gestaltung solcher Leiteinrichtungen verwendet wird. Einige andere Gestaltungsmerkmale der heute verwendeten Leiteinrichtungen besitzen eine hohe visuelle Wirksamkeit: das Flächenverhältnis Rot:Weiß von 1:1, der Leuchtdichtekontrast zwischen Rot und Weiß sowie bei den meisten Leiteinrichtungen auch die Zahl der Rot-Weiß-Wechsel je Länge der Leiteinrichtung. Die Helligkeitsanforderungen an Leiteinrichtungen beim nächtlichen Fahren unterscheiden sich nicht von denen anderer Verkehrszeichen.

In vielen Fällen ist das visuelle Erscheinungsbild der in Deutschland verwendeten Leiteinrichtungen

als gut zu bezeichnen, teilweise aber verbesserungsbedürftig. In den abschließenden Empfehlungen wird unter anderem vorgeschlagen, die Warnbake und verwandte Leiteinrichtungen völlig neu zu gestalten, indem die diagonalen Streifen- durch Pfeilmuster ersetzt werden. Die Absperrschranke kann dagegen in ihrer Gestaltung kaum noch verbessert werden. Weiter wird ein einheitliches System der Farbkodierung von Verkehrszeichen für die wegweisende Beschilderung, Leiteinrichtungen und Verkehrslenkungstafeln vorgeschlagen, bei dem auch die Erfordernisse einer künftigen europäischen Harmonisierung auf diesem Gebiet berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse beziehen sich überwiegend auf Leiteinrichtungen, die in Arbeitsstellen verwendet werden, aber auch auf Leiteinrichtungen zur Dauerbeschilderung.

The effectiveness of vertical navigational aids at roadworks

Clear visual direction of traffic on roads, especially at roadworks is a basic necessity for safe, homogeneous traffic flow. Visual directing is carried out by means of horizontal aids (e.g. road markings) and vertical aids (e.g. warning signs). Vertical signs are of particular importance at night.

The clear, visual directing of road users could be achieved by improving the design of signs and installations. The present study was carried out to find out what shapes and colours were especially effective.

It was found by means of a survey of test subjects that for directing traffic a combination of red and white is the most striking and effective for warnings, whilst, in the case of rerouting and other sign faces for controlling traffic, combinations of black writing on a yellow, orange or red background were attested by the test subjects as having the best warning effect.

In the case of signposting, arrowed patterns were clearly more effective visually than diagonal road patterns. Thus the preponderant diagonal road patterns were only able to fulfil their directional function to a very limited extent.

For closure installations, a vertical striped pattern, as is most often used today for the design of such navigational aids, proved to be the most effective design. Some other design features of the navigation devices used today are highly efficient

visually: a 1:1 red-to-white surface ratio, the luminance contrast between road and white and also the number of red/white alternations per length of sign. The brightness requirement in navigational devices for night driving do not differ from those of other road signs.

In many cases the visual picture of navigational installations used in Germany can be characterised as good, but partly in need of improvement. In our final recommendations, the proposal will be made amongst other things that warning signs and navigational devices used should be designed from scratch, the diagonal stripes being replaced by an arrow pattern. Closure installations on the other hand can scarcely be improved as to their design. Further, a unitary system for the colour-coding of road signs is proposed for signposting, navigation and traffic control sign faces, whereby also the requirements of future European harmonisation will be taken into account in this area.

Results relate preponderantly to navigation devices used at roadworks, but also for navigational installations for permanent road signs.

Inhalt

1	Visuelle Führung und Leiteinrichtungen	7	4.2.2.5	Experiment 10, Leuchtdichteschwelle	29
1.1	Die Rolle der visuellen Führung im Straßenverkehr	7	4.2.3	Umfeldleuchtdichten	30
1.2	Verkehrszeichen	8	4.2.4	Physiologische Blendung	32
1.3	Beschreibung heutiger Leiteinrichtungen	8	4.2.5	Beobachtungsentfernung	32
1.4	Unfallrisiko und visuelle Führung in Arbeitsstellen	10	4.3	Versuchspersonenkollektiv	33
2	Aufgabenstellung	12	4.4	Bewertung	34
3	Voruntersuchungen	13	4.4.1	Die psychophysische Bewertungsmethode	34
3.1	Versuchsdurchführung und Auswertung	13	4.4.2	Reihenfolge der Darbietung der Testzeichen in einem Experiment	35
3.2	Ergebnisse	14	4.4.3	Auswertung	36
3.2.1	Richtungsweisung von StVO-Leiteinrichtungen	14	4.4.4	Statistische Behandlung der Bewertungen	36
3.2.2	Farbkombinationen	15	4.4.4.1	Mittelwerte	36
3.2.3	Form der Leiteinrichtungen	17	4.4.4.2	Häufigkeitsverteilung und Signifikanz der Bewertungen	37
3.2.4	Flächenverhältnis Rot-Weiß	18	4.4.4.3	Gewichtete Mediane und gewichtete Quartilswerte	39
3.2.5	Zusammenfassung der Ergebnisse der Voruntersuchungen	19	4.5	Ergebnisse	40
4	Hauptuntersuchungen	19	4.5.1	Unterschiede in der Bewertung durch Laien und Fachleute	40
4.1	Versuchsbeschreibung	19	4.5.2	Bewertung der Leiteinrichtungen für die verschiedenen Fahrsituationen	41
4.1.1	Methoden zur Präsentation von Sehobjekten	19	4.5.2.1	Links vorbei	42
4.1.2	Präsentation von Sehobjekten auf einem rechnergesteuerten Bildschirm	19	4.5.2.2	Links oder rechts vorbei	43
4.1.2.1	Der Personal Computer	19	4.5.2.3	Querabspernung	45
4.1.2.2	Der Bildschirm	19	4.5.2.4	Querabspernung und links oder rechts abbiegen	45
4.1.2.3	Das Präsentationsprogramm	21	4.5.2.5	Fahstreifenspernung	46
4.1.3	Versuchsanordnung	21	4.5.2.6	Arbeitsstelle	46
4.1.3.1	Versuchsaufbau	21	4.5.2.7	Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse in den Fahrsituationen	47
4.1.3.2	Helligkeits- und Farbeinstellung	21	4.5.3	Optimaler Rotanteil und optimale relative Ortsfrequenz	48
4.1.4	Meßgeräte	22	4.5.4	Sichtbedingungen	49
4.2	Versuchsparameter	22	4.5.5	Leuchtdichtebewertung	50
4.2.1	Testzeichengestaltung	22	4.5.5.1	Präsentation in zufälliger Reihenfolge	51
4.2.2	Leuchtdichte und Farben der Testzeichen	24	4.5.5.2	Präsentation in systematischer Reihenfolge	53
4.2.2.1	Experimente 1 bis 6, Bewertung der Leiteinrichtungen in den Fahrsituationen	24	4.5.6	Bewertung des Leuchtdichtekontrastes	53
4.2.2.2	Experiment 7, Leuchtdichtebewertung	25	4.5.7	Bewertung des Farbkontrastes	54
4.2.2.3	Experiment 8, Bewertung des Leuchtdichtekontrastes	25	4.6	Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle der Leuchtdichte	56
4.2.2.4	Experiment 9, Bewertung des Farbkontrastes	26	4.6.1	Rot-weiße Leiteinrichtungen	56
			4.6.2	Einfarbige Testzeichen	57

5	Diskussion der Ergebnisse	59
5.1	Psychophysische Bewertung und Leuchtdichteschwellen	59
5.2	Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur	60
5.3	Empfehlungen	62
5.4	Vorschläge zur Änderung der Straßenverkehrs-Ordnung	64
5.4.1	Leiteinrichtungen	64
5.4.2	Farbkombinationen	65
6	Zusammenfassung	66
7	Ausblick	67
8	Literatur	67
9	Richtlinien und Normen	70
10	Formelzeichen, Einheiten und Größen	71
11	Formeln	72
Anhang	73

1 Visuelle Führung und Leiteinrichtungen

1.1 Die Rolle der visuellen Führung im Straßenverkehr

Eine wichtige Voraussetzung dafür, daß der Straßenverkehr von allen Verkehrsteilnehmern möglichst sicher und mühelos bewältigt werden kann, ist eine eindeutige visuelle Führung. Unter visueller Führung versteht man die Gesamtheit aller im Straßenraum vorhandenen, visuell wirksamen Elemente, die einem Kraftfahrer über den weiteren Streckenverlauf, den Streckenzustand und im Straßenraum befindliche Objekte informieren und ihn in die Lage versetzen, adäquate Fahrmanöver durchzuführen. Die visuelle Führung dient

- der Erkennung des Straßenverlaufs,
- der Ordnung des Verkehrs durch Einteilung der Straße in verschiedene Verkehrsflächen (z.B. Fahrstreifen, Abbiegestreifen, Sperrflächen) - das heißt, der Erkennung der Funktion der einzelnen Teile der Straße ,
- der Signalisierung von gefährlichen Stellen im Straßenraum (z.B. von Kurven oder Hindernissen),
- der Unterstützung der Funktion von Beschilderung und Lichtsignalanlagen.

Die visuelle Führung wird vermittelt von¹

- vertikal angeordneten Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen (Absperrgeräte, Richtungstafeln, Leitplanken, Leitmale und Leitplatten),
- horizontal angeordneten Fahrbahnmarkierungen und Markierungsknöpfen,
- Rückstrahlern, vorwiegend an Leitpfosten angebracht,
- Signalleuchten (Warnleuchten),
- Schutzplanken, Schutz- und Leitwänden, Straßenbeleuchtungsmasten,
- ortsfesten Leuchten, Leuchten vorausfahrender Kraftfahrzeuge.

Während die ersten vier dieser Elemente speziell zur Gewährleistung der visuellen Führung verwendet werden, dienen die beiden letztgenannten Einrichtungen anderen Zwecken und tragen zur visuellen Führung eher nebenher bei.

Die Elemente der visuellen Führung werden verwendet

- dauerhaft - weiße Fahrbahnmarkierungen, Verkehrsschilder, Rückstrahler an Leitpfosten,
- zeitweilig - gelbe Fahrbahnmarkierungen, Verkehrsschilder.

Eine zeitweilige visuelle Führung ist bei der Signalisierung von Arbeitsstellen oder der Kennzeichnung von nicht ständig im Straßenraum vorhandenen Hindernissen jeder Art notwendig.

Bei der Gestaltung und Verwendung aller visuell wirksamen Leitelemente im Straßenraum (Fahrbahnmarkierungen, Signallichter, Rückstrahler, Verkehrszeichen inklusive Leiteinrichtungen) sollten einige Grundprinzipien der visuellen Führung und Signalisierung beachtet werden.

Das Prinzip der Uni-Funktionalität

Jedes für die visuelle Führung und Signalisierung wirksame Element (im folgenden Element genannt) darf nur einer einzigen Funktion zugeordnet werden. Elemente, die verschiedenen Funktionen zugeordnet sind, müssen sich in ihrer räumlichen und/oder zeitlichen Erscheinung voneinander unterscheiden. Andererseits sollte zur Signalisierung einer bestimmten Verkehrssituation auch nur ein Element verwendet werden.

Beispiele: Die in Deutschland übliche Leitbake zur Kennzeichnung von Hindernissen (Zeichen 605 StVO) hat eine Gestalt, die der der Ankündigungsbake vor einem Bahnübergang (Zeichen 162 StVO) sehr ähnlich ist; daher wird dieses Prinzip verletzt. Blinkende Elemente (z.B. Signallichter) bedeuten ganz allgemein „Achtung, erhöhte Aufmerksamkeit!“. Nach Straßenverkehrsordnung (StVO) - [V 6] und dem Wiener Abkommen [V 2] bedeutet aber rotes Blinklicht vor einem Bahnübergang das Verbot, über dieses Blinklicht hinaus fahren zu dürfen. Hier kollidiert die Funktion des Blinkens des Signallichtes „Achtung“ mit der Funktion der roten Farbe des Signallichts „Halt“.

Das Prinzip der Eindeutigkeit

Die Gestaltung oder Verwendung eines Elementes muß jede Möglichkeit ausschließen, daß ihm ver-

¹ Die im folgenden verwendeten Begriffe für die verschiedensten im Straßenraum vorkommenden, visuell wirksamen Leitelemente weichen teilweise von den in der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO), der Verwaltungsvorschrift zur StVO (VwV-StVO) und den Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen (RSA) verwendeten Begriffen ab, weil die Bezeichnungweise in diesen Vorschriften manchmal inkonsequent und widersprüchlich ist. Die hier verwendeten Begriffe wurden unter Berücksichtigung lichttechnischer und wahrnehmungspsychologischer Kriterien festgelegt.

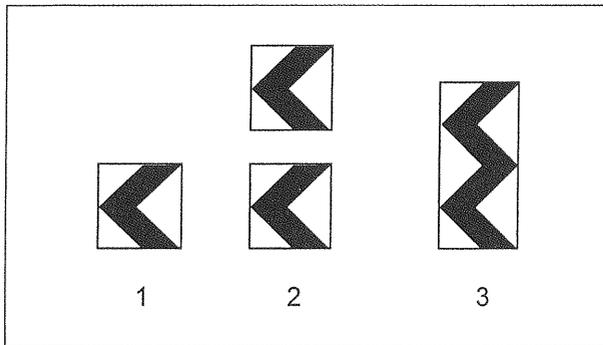


Bild 1.1: Richtungstafel(n) mit eindeutiger Linksweisung (1; 2) und zweideutiger Richtungsweisung (3)

schiedene Funktionen zugeordnet werden können (Mehrdeutigkeit, Ambivalenz).

Beispiel für die Ambivalenz einer Leiteinrichtung: Es ist ohne weiteres erkennbar, daß die in Bild 1.1 links gezeigte Richtungstafel eine Linksweisung vermittelt. Die Linksweisung wird verstärkt, wenn diese Richtungstafel doppelt angebracht ist (Mitte). Setzt man jedoch beide Richtungstafeln unmittelbar übereinander, kann man insbesondere beim flüchtigen Blick nicht mehr erkennen, ob die Pfeile nach links oder rechts weisen, der Informationsinhalt der Richtungstafel wird zweideutig - ambivalent. Eine eindeutige Linksweisung bleibt nur erhalten, wenn der Abstand zwischen den beiden Tafeln mindestens der Breite des roten Streifens entspricht.

Das Prinzip der Selbsterklärbarkeit

Jedes Element sollte so gestaltet werden, daß seine Funktion ohne weiteres erkennbar ist. Dieses Prinzip verlangt, daß nach Möglichkeit nur Sinnbilder oder andere, möglichst einfache, Figuren verwendet werden, deren Bedeutung aus dem täglichen Leben bekannt oder daraus ohne weiteres ableitbar sind (Pfeile, Balken). Dieses Prinzip ist bei Leiteinrichtungen sehr gut anwendbar, nicht jedoch für Verkehrszeichen. Bei Verkehrszeichen hat schon die Form Symbol-, aber keinen Sinnbildcharakter: So bedeutet das Achteck unter allen Umständen Halt, ein Kreis symbolisiert ein Verbot oder ein Gebot, ein Dreieck eine Warnung. Die Funktionen dieser geometrischen Figuren müssen erlernt werden und können nicht aus dem täglichen Leben abgeleitet werden.

Das Prinzip der Situationsäquivalenz

Die Elemente müssen stets den gleichen räumlichen und zeitlichen Bezug zur Verkehrssituation haben. Elemente, die zu einer Tagesbaustelle gehören, sollten nachts unsichtbar sein.

Das Prinzip der Effektivität

Es sollten nur die Elemente im Straßenraum aufgestellt werden, die zur Erkennung der Verkehrssituation notwendig sind. So ist das Aufstellen von Baken zur Kennzeichnung einer nur leicht beschädigten Mittelschutzplanke einer Autobahn sinnlos, weil niemand freiwillig gegen eine Schutzplanke fährt. Diese Baken lenken den Fahrer nur unnötig von der Beobachtung des vor ihm liegenden Straßenabschnittes ab.

1.2 Verkehrszeichen

Der Informationsinhalt von Verkehrszeichen inklusive Leiteinrichtungen wird durch das Zusammenwirken verschiedener Gestaltungsmerkmale erreicht.

Äußere Gestaltungsmerkmale

- Form (z. B. Dreieck, Achteck, Ronde)
- Größe
- Kontraststreifen (Lichtkante)

Innere Gestaltungsmerkmale

- geometrische Flächenelemente (z. B. Schrägschraffen, Streifen, Ringe)
- Sinnbilder (z. B. Fußgänger, Straßenbahn, Pfeil)
- Symbole (Ausrufezeichen)
- Schriftart und -Größe, Spationierung
- Helligkeit/Leuchtdichtekontrast
- Farben/Farbkombinationen

Alle Gestaltungsmerkmale tragen in gleicher Weise zu einer erfolgreichen Übermittlung des Informationsinhaltes an den Verkehrsteilnehmer bei; sie sind daher in der Straßenverkehrs-Ordnung und nachgeordneten Richtlinien exakt beschrieben. Die äußeren Gestaltungsmerkmale und die ersten vier aufgeführten inneren Gestaltungsmerkmale sind geometrische Größen und daher weitestgehend invariant gegenüber den Tageslichtbedingungen sowie den Einflüssen von Dämmerung, Nacht, Nebel und Blendung. Die Farbe und die Helligkeit der Verkehrszeichen hängen dagegen in starkem Maße von den Beleuchtungsbedingungen ab.

1.3 Beschreibung heutiger Leiteinrichtungen

Insbesondere zur Signalisierung von Arbeitsstellen, aber auch zur Kennzeichnung z.B. von Kurven, Trenninselspitzen, Bauwerken mit beschränkter Durchfahrhöhe werden vorwiegend vertikale Leitelemente verwendet, die in § 43 der StVO als

Absperrgeräte und Leiteinrichtungen bezeichnet werden und dort unter dem Namen Verkehrseinrichtungen zusammengefaßt sind. Die Größen, Formen und Farben der Verkehrseinrichtungen sind ebenfalls in der StVO bzw. im Katalog der Verkehrszeichen - Vz Kat - [V 7] festgelegt. Auch Fahrzeuge werden z.B. nach DIN 11 030 [V 17] oder DIN 30 710 [V 18] mit Leitelementen gekennzeichnet, die den in § 43 der StVO aufgeführten Absperrgeräten und Leiteinrichtungen ähneln. In vorliegender Arbeit werden alle diese Leitelemente abweichend von der Bezeichnungsweise der StVO als vertikale Leiteinrichtungen bezeichnet. Gegenüber den anderen, zur Gewährleistung der visuellen Führung verwendeten Elementen haben vertikale Leiteinrichtungen folgende Vorteile:

- Da Leiteinrichtungen vertikal und nicht auf der Fahrbahn angebracht sind wie Fahrbahnmarkierungen und Markierungsknöpfe, verschmutzen sie weniger stark und behalten ihre Wirksamkeit auch bei Regen bei.
- Die lichttechnischen Eigenschaften der retroreflektierenden Folien und die vertikale Anbringung ermöglichen nachts höhere Leuchtdichten als bei Fahrbahnmarkierungen.
- Die Gestaltungsmöglichkeiten mit Leiteinrichtungen sind größer als die mit Rückstrahlern, weil letztere nur quasi-punktförmig wirken.
- Leiteinrichtungen benötigen keine Stromversorgung wie Signalleuchten. Investitions- und Betriebskosten sind deshalb sehr viel geringer, ihr Einsatz ist deshalb wirtschaftlicher als der von Signalleuchten. Wegen ihres relativ geringen Gewichtes stellen Leiteinrichtungen ein geringeres Unfallrisiko bei einem Anprall dar als Warnleuchten. Auch die Wartung der Leiteinrichtungen im fließenden Verkehr ist mit einem geringeren Unfallrisiko für das Personal behaftet als die Wartung von Signalleuchten. Allerdings sind mit Warnleuchten wegen der erreichbaren hohen Leuchtdichten und der Möglichkeit des intermittierenden Betriebes die höchsten Auffälligkeiten zu erreichen, so daß Signalleuchten in vielen Fällen als Ergänzung oder anstelle von Leiteinrichtungen verwendet werden.

Die aufgeführten Einrichtungen sind meist ortsfest angebracht. Mit vertikalen Leitelementen können aber auch Fahrzeuge ausgestattet sein, die im Straßenverkehr aufgrund ihrer Größe oder ihrer Funktion ein besonderes Hindernis und damit eine

Gefahrenquelle darstellen können: Straßenarbeitsfahrzeuge, Lkw mit Hubladebühnen, landwirtschaftliche Fahrzeuge, bauartbedingt langsam fahrende Kraftfahrzeuge sowie ihre Anhänger, parkende Lkw, Container.

Als Farbkombination wird Rot-Weiß verwendet, wobei das Rot-Weiß-Flächenverhältnis 1:1 beträgt (Rotanteil an der Gesamtfläche = 50 %) und die Zahl der roten und weißen Streifen je Leiteinrichtung sich nach der Gestaltung der Leitbake (Warnbake), Zeichen 605 der StVO, richtet: Hier werden je zwei rote und weiße Streifen, bezogen auf die Höhe der Bake, verwendet. Man spricht hier von der relativen Ortsfrequenz 2 (zur Definition der relativen Ortsfrequenz s. Abschnitt 4.2.1).

Im Ausland werden z.T. andere Formen, Farbkombinationen, Flächenverhältnisse und relativen Ortsfrequenzen benutzt. Bei den heute in den verschiedenen Ländern verwendeten Leiteinrichtungen ist nicht mehr erkennbar, wie sie entstanden sind. Man kann nur vermuten, daß sie eher intuitiv entwickelt worden sind, unter mehr oder weniger bewußter Einbeziehung persönlicher Einstellungen und Erfahrungen.

In Anhang 1 sind die international gebräuchlichen Leiteinrichtungen tabellarisch zusammengestellt:

- Tabelle A 1.1 enthält die in verschiedenen Ländern gebräuchlichen Farbkombinationen für Überleitungstafeln (StVO-Zeichen 500; s. auch Anhang 2, Bild A 2.2). Diese Tafeln kündigen die Überleitung des Verkehrs auf die Gegenfahrbahn an. Danach finden sieben verschiedene Kombinationen Verwendung; einige Länder verwenden Tafeln mit unterschiedlichen Farbkombinationen (z.B. Belgien), andere Länder wie Deutschland verwenden die gleiche Farbkombination für Überleitungen in Arbeitsstellen, aber auch bei der Dauerbeschilderung. Hier wird das Prinzip der Uni-Funktionalität verletzt.
- Tabelle A 1.2 zeigt, daß in den 24 untersuchten Ländern für Leiteinrichtungen bei Arbeitsstellen fünf und zur Dauerbeschilderung sechs verschiedene Farbkombinationen verwendet werden. Viele Länder verwenden die gleiche Farbkombination für Arbeitsstellen und zur Dauerbeschilderung. Dagegen werden in Japan, Südafrika und den USA für Arbeitsstellen- und zur Dauerbeschilderung mehrere und unterschiedliche Farbkombinationen verwendet. In Schweden setzt man Rot-Gelb bei der Beschilderung

von Arbeitsstellen ein, während sich die Farbkombination für Dauerbeschilderung danach richtet, ob man sich auf einer Autobahn oder einer anderen Straße befindet.

- Tabelle A 1.3 enthält eine Auswahl von einzelnen Leiteinrichtungen, die in den 24 untersuchten Ländern verwendet werden. Aufgenommen wurden solche Leiteinrichtungen, deren Gestaltung von der in Deutschland üblichen abweicht. Man kommt auf 36 verschiedene Leiteinrichtungen, mit denen an Trenninseln das Links-Rechts-Vorbeifahrgebot signalisiert wird, auf 20 Leiteinrichtungen zur Signalisierung einer seitlichen Begrenzung/eines Hindernisses und 12 verschiedene Richtungstafeln. Berücksichtigte man die unterschiedlichen relativen Ortsfrequenzen und Flächenverhältnisse, die in der Tabelle nur verbal aufgelistet sind, stiegen diese Zahlen noch beträchtlich.

Aus den Tabellen des Anhangs 1 kann man folgendes Fazit ziehen:

- Es werden weltweit die unterschiedlichsten Farbkombinationen für Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen und für die Dauerbeschilderung verwendet. Für Überleitungstafeln vor Arbeitsstellen kommt überwiegend schwarze Beschriftung auf gelbem oder orangefarbenem Untergrund zum Einsatz. Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen werden vorwiegend in Rot-Weiß ausgeführt, während bei Dauerbeschilderung vorwiegend die Farbkombinationen Rot-Weiß, Schwarz-Gelb oder Schwarz-Weiß verwendet werden.
- Das wichtigste Element bei der Gestaltung von Leiteinrichtungen sind Streifen, die meist zu Pfeilen, Gattern oder Schrägschraffen angeordnet werden.
- Die Prinzipien der Unifunktionalität und der Selbsterklärbarkeit werden sehr oft verletzt: Die gleiche Leiteinrichtung wird z.B. zur Signalisierung sowohl des Links-Rechts-Vorbeifahrgebotes an Trenninseln als auch des Vorbeifahrgebotes an einem Hindernis verwendet. Die Kennzeichnung von Trenninseln oder von Hindernissen erfolgt in vielen Ländern jeweils durch verschiedene Leiteinrichtungen. Die in den meisten Ländern verwendeten Leitbaken und Leitplatten mit schrägen Schraffen sind nicht selbsterklärend, da die Richtungsweisung nicht aus der Anordnung der Schraffen hervorgeht.

Auch in Deutschland wird der Einsatz der verschiedenen Leiteinrichtungen nicht konsequent gehandhabt. So wurde festgestellt, daß das Ende von Standstreifen auf Bundesautobahnen mit mindestens 15 Varianten von Leiteinrichtungen signalisiert wird: Mit ein bis drei Leitbaken oder Leitplatten, mit Absperrschranken oder Kurventafeln verschiedenster Formen oder Leiteinrichtungen, die in der Straßenverkehrsordnung nicht aufgeführt sind, oder auch mit der Kombination der hier aufgezählten Leiteinrichtungen. Auch hier werden die oben genannten Prinzipien ständig verletzt.

1.4 Unfallrisiko und visuelle Führung in Arbeitsstellen

Zur Gewährleistung der visuellen Führung in Arbeitsstellen an Straßen werden neben Fahrbahnmarkierungen vorwiegend Leiteinrichtungen verwendet. Arbeitsstellen sind aus einer Reihe von Gründen (veränderte Verkehrsführung, reduzierter Querschnitt, verringerte Geschwindigkeit, erschwerte visuelle Führung) beim Durchfahren als besonders unfallträchtige Straßenabschnitte anzusehen. Deshalb ist die Unfallrate (Unfälle je 10^6 Fahrzeuge · km) in Arbeitsstellen generell höher als auf der freien Strecke. Die Erhöhung kann je nach Verkehrs- und Arbeitsstellensituation 10 % bis 150 % betragen (EMDE und HAMESTER [14], HOFFMANN u.a. [25], KOCKELKE und ROSSBANDER [28], KRUX und DETERMANN [29], NADLER u.a. [40], WEINSPACH [66], [67]). Die Erhöhung der Unfallrate für verletzte Personen beträgt etwa 15 % (BRÜHNING und VÖLKER [8]) bis 60 % (MARLOW und COOMBE [33], Oliver [41], PETERSEN [45]).

KÜHNEN [30] berichtet über die absoluten Unfallzahlen auf Arbeitsstellen im deutschen Straßennetz von 1970 bis 1993. Danach ereigneten sich in diesem Zeitraum im jährlichen Mittel ca. 3500 Unfälle mit Personenschaden; jährlich verunglückten mehr als 90 Personen tödlich. Der volkswirtschaftliche Schaden, verursacht nur durch Unfälle mit Personenschaden, betrug ca. 300 Millionen DM pro Jahr. Nach DREZNES [12] wurden 1990 in den USA in Autobahnarbeitsstellen mehr als 26 000 Personen verletzt und mehr als 770 Personen getötet.

Besonders hoch ist auch das Unfallrisiko für die in Arbeitsstellen Beschäftigten. ANDERSON [2] berichtet, daß in den USA 1972 die Unfallrate, bezogen auf Arbeitsstunden, für Straßenarbeiter um 73 % höher lag als für alle Industriearbeiter. 83 %

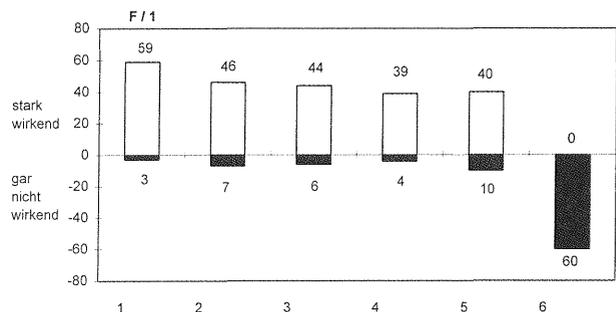
aller auf japanischen Autobahn-Arbeitsstellen Getöteten sind dort Beschäftigte und „nur“ 13 % Kraftfahrer (KURAWA und INOUE [31]).

Die Zahl der Arbeitsstellen längerer Dauer (Bauzeit von mindestens 14 Tagen) auf deutschen Autobahnen beträgt jährlich ca. 700. Bei einer durchschnittlichen Bauzeit von 105 Tagen bedeutet das, daß an jedem Tag im Jahr etwa 200 Arbeitsstellen längerer Dauer gleichzeitig auf den Autobahnen vorhanden sind². Auf jede dieser Arbeitsstellen kommt schätzungsweise mindestens die doppelte Anzahl von Arbeitsstellen kürzerer Dauer, bis hin zu Tagesarbeitsstellen. Die Zahl der Arbeitsstellen im nachgeordneten Straßennetz beträgt ein Vielfaches der Autobahn-Arbeitsstellen, nach [11] etwa 20 000 bis 25 000 im Jahr. So kommt man leicht auf mehrere 1000 Arbeitsstellen, die täglich im deutschen Straßennetz vorhanden sind, nicht gerechnet die vielen kleinen und kleinsten Arbeitsstellen, an denen z.B. kurzfristig eine neue Telefonleitung verlegt oder eine defekte Gasleitung repariert wird, sowie Unfallstellen. Auch diese Schätzung mag belegen, welcher Stellenwert einer möglichst sicheren Führung des Verkehrs in Arbeitsstellen beizumessen ist. Aber auch für die Signalisierung von anderen unfallträchtigen Bereichen des Straßenraums (Kurven, Engstellen, Knotenpunkte) spielen die visuelle Führung und damit Leiteinrichtungen eine wichtige Rolle.

Die große Zahl von Arbeitsstellen, verbunden mit dem erhöhten Unfallrisiko, mag veranschaulichen, wie notwendig die Verbesserung der heute verwendeten Leiteinrichtungen zur Verringerung des Unfallrisikos an den genannten Stellen ist. Daß eine bessere Gestaltung von Leiteinrichtungen auch nach Auffassung der Verkehrsteilnehmer notwendig und sinnvoll ist, wiesen POMAREDA und ZACHARIAS [46] nach. Sie befragten 75 Kraftfahrer, wie gut sechs vorgegebene Maßnahmen geeignet sind, die Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen auf Autobahnen zu verbessern. Bild 1.2 gibt die Ergebnisse der Befragung zusammengefaßt wieder. 59 % der Befragten nannten an erster Stelle eine nächtliche Beleuchtung der gesamten Arbeitsstelle; mit 45,6 % folgte bereits der Wunsch nach verbesserten Warnbaken, die hier für Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen ganz allgemein stehen mögen. Nur 7,4 % halten diese Maßnahme für

nicht geeignet, die Verkehrssicherheit zu erhöhen. Von der Aufstellung zusätzlicher Verkehrszeichen versprach sich niemand eine Verbesserung der Verkehrssicherheit, während 60 % der Befragten sogar eine Verschlechterung der Verkehrssicherheit befürchteten. Man kann das Ergebnis dieser Befragung mit dem Satz zusammenfassen: Man wünscht nicht mehr, sondern bessere Verkehrszeichen bzw. Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen!

Trotz der offenkundigen Bedeutung vertikaler Leiteinrichtungen für die Sicherheit des Verkehrs gibt es erstaunlicherweise kaum Untersuchungen in denen erforscht worden wäre, welche Formen und Farben unter den Bedingungen des Straßenverkehrs besonders wirksam sind. Über die wenigen Studien zu diesem Thema wird im Zusammenhang mit der Diskussion der Ergebnisse dieser Arbeit berichtet (s. Abschnitt 5.2). Das Fehlen solcher Untersuchungen wird auch durch die Vielzahl der international verwendeten Formen, Farben und Farbkombinationen von Leiteinrichtungen belegt (s. Abschnitt 1.3). Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Verbesserung der Gestaltung von Leiteinrichtungen leisten.



Maßnahme:
 1: Beleuchtung des Baustellenbereiches bei Dunkelheit
 2: deutlichere Führung durch Warnbaken
 3: deutlichere Fahrbahnmarkierungen
 4: verbesserter Linienführung der Fahrbahn
 5: verkehrsabhängige Geschwindigkeitsanzeige
 6: zusätzliche Verkehrszeichen

Bild 1.2: Häufigkeit F der Nennung von Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in Arbeitsstellenbereichen von Autobahnen. Ergebnisse einer Befragung von Kraftfahrern.

(An 100 % fehlende Prozentzahlen je Maßnahme: Diese Maßnahme wird als weniger stark oder schwach wirkend beurteilt. Diese fehlenden Prozentsätze sind im Bild nicht dargestellt.)

Nach POMAREDA und ZACHARIAS [46]

² Nach Angaben aus dem Bundesverkehrsministerium

2 Aufgabenstellung

Für vertikale Leiteinrichtungen wird in Deutschland bei der Arbeitsstellen- und Dauerbeschilderung grundsätzlich die Farbkombination Rot-Weiß verwendet. Leiteinrichtungen werden vorwiegend in den folgenden Situationen eingesetzt:

- Absicherung von Arbeits- oder Unfallstellen,
- Warnung vor Hindernissen, die dauerhaft das Lichtprofil einengen (z.B. bei Brückenbauwerken),
- Sperrung von Teilen des Verkehrsraumes,
- Kennzeichnung von Trenninselspitzen,
- Kennzeichnung von Kurven oder Engstellen,
- Kennzeichnung von Fahrzeugen.

In all diesen Fällen haben die Leitelemente sowohl eine Warn- als auch eine Leitfunktion: Sie sollen die besondere Aufmerksamkeit des Verkehrsteilnehmers darauf lenken, daß er sich vor einer kritischen Stelle im Straßennetz befindet, und die Leiteinrichtung soll ihm die Information vermitteln, daß er nur durch ein bestimmtes Fahrmanöver diese Stelle passieren kann. Diese Information beinhaltet sehr oft die Anweisung einer Richtungsänderung oder aber die Anweisung, sich bei der Vorbeifahrt z.B. links oder rechts von der gekennzeichneten Stelle zu halten. Die Warnfunktion soll vor allem durch die rot-weiße Farbgebung erreicht werden, die Leitfunktion durch die Form bzw. die Abmessungen des Schildes und durch ihren Inhalt. Die Gewährleistung der Leitfunktion erfordert, daß aus der Gestaltung der Leiteinrichtungen der vorgesehene Richtungsbezug deutlich hervorgehen muß. Es soll klar erkennbar sein, daß man an den gekennzeichneten Stellen

- links vorbei (linksweisende Bake) oder rechts vorbei (rechtsweisende Bake) fahren muß,
- sowohl links als auch rechts vorbeifahren kann,
- links oder rechts abbiegen muß,
- mehrfach an den Leiteinrichtungen links oder rechts vorbeifahren kann oder muß (Arbeitsstelle).

Es besteht die Vermutung, daß die heutigen Leiteinrichtungen diese Funktionen nicht immer zufriedenstellend erfüllen können. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Gestaltung von vertikalen Leiteinrichtungen so zu verändern, daß die visuelle Führung für die Kraftfahrer verbessert wird mit dem letztendlichen Ziel, die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Mittels Voruntersuchungen, die im wesentlichen aus Rangfolgetests bestanden, wurden die Eigenschaften der in den sechs Fahrsituationen zu untersuchenden Leiteinrichtungen festgelegt:

- Art und Formen der Leiteinrichtungen,
- zu verwendende Farbkombination,
- Flächenverhältniss der beiden Farben,
- Relative Ortsfrequenz.

Die Hauptuntersuchungen bestanden aus 10 Experimenten, bei denen zwei Gruppen zu unterscheiden sind. In der ersten Gruppe (Experimente 1 bis 6) wurden die im folgenden aufgeführten Leiteinrichtungen für verschiedene Fahrsituationen (s. auch Bild 4.4) untersucht.

1. Einzel stehende Leitbake zur Kennzeichnung, z.B. eines Hindernisses.
2. Leitplatte zur Kennzeichnung einer Trenninselspitze, z.B. bei Straßengabelungen oder bei BAB-Ausfahrten.
3. Absperrgerät zur Kennzeichnung einer Querabsperrung.
4. Leiteinrichtung zur Kennzeichnung eines Links-Rechts-Abbiege-Gebotes, z.B. bei Einmündungen.
5. Fahrbare Absperrtafel zur Sperrung von Fahrstreifen.
6. Leitbaken mit aufgesetzten Warnleuchten und gelben Fahrbahnmarkierungen zur Kennzeichnung einer Arbeitsstelle. Die Gestaltung der Arbeitsstelle erfolgt, mit Ausnahme der zu untersuchenden Baken, gemäß den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen (RSA 95, [V 9]).

Die Wirksamkeit der Leiteinrichtungen sollte in Laborexperimenten je nach ihrer in den sechs Fahrsituationen definierten Funktion durch Befragung von Probanden (psychophysische Bewertung) ermittelt werden. Die Bewertung erfolgte unter Sichtbedingungen, wie sie am Tage, bei Dämmerung und bei Nacht vorherrschen. Zusätzlich wurde die Bewertung in der Dämmerung und in der Nacht auch bei physiologischer Blendung vorgenommen. Die Bewertungen fanden damit unter insgesamt fünf verschiedenen Sichtbedingungen statt.

In der zweiten Gruppe von Experimenten (Experimente 7 bis 10) wurde eine Auswahl der heute verwendeten und eine Auswahl der in den Experimenten 1 bis 6 am besten bewerteten Leiteinrichtungen einer weiteren psychophysischen Bewertung unterzogen. Ziel dieser Experimente war es, mittels der Variation der Parameter Leuchtdichte, Leucht-

dichtekontrast und Farbkontrast zu versuchen, die Wahrnehmbarkeit, Erkennbarkeit, Auffälligkeit und Warnwirkung von Leiteinrichtungen weiter zu erhöhen. Die Aufgabe bestand bei diesen Experimenten darin, bei unterschiedlichen Sichtbedingungen

7. die nächtliche Leuchtdichte des Weißen Flächenanteils der Leiteinrichtungen zu bewerten und die optimale Leuchtdichte (Definition s. Abschnitt 4.4.1) für Leiteinrichtungen zu ermitteln,
8. den Leuchtdichtekontrast (Definition s. Abschnitt 4.2.2.1) zwischen dem weißen und dem bunten Teil der Leiteinrichtungen zu bewerten und den optimalen Leuchtdichtekontrast festzustellen,
9. die weiße Farbe der Leiteinrichtungen durch simulierte, fluoreszierende Farben (von Gelb bis Grün) zu ersetzen und den optimalen Weißfarbton (Definition s. Abschnitt 4.4.1) zu suchen,
- 10a. für sieben Leiteinrichtungen die Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeits-Leuchtdichteschwelle zu suchen,
- 10b. für zwölf einfarbige Testzeichen ebenfalls die Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeits-Leuchtdichteschwelle zu suchen.

3 Voruntersuchungen

Wegen der Vielzahl von möglichen Testzeichen wurden Vorversuche durchgeführt, in denen die grundsätzlichen Eigenschaften der Testzeichen für die Hauptversuche festgelegt wurden.

3.1 Versuchsdurchführung und Auswertung

Die Vorversuche sollten möglichst einfach durchgeführt werden können; hierfür bot sich die Methode der Präsentation der Testzeichen als verkleinertes Modell an (zu den Vor- und Nachteilen der verschiedenen Präsentationsmethoden s. Abschnitt 4.1.1). Alle verwendeten Testzeichen sind in Anhang 2 abgebildet. Die Testzeichen für die Vorversuche wurden aus Reflexfolie der Bauart Typ 1 nach DIN 67 520 [V 19] angefertigt, auf die der Zeicheninhalt mittels Siebdruckes aufgedruckt wurde. Eine Ausnahme bildeten die Zeichen in der Farbkombination Fluoreszenzrot-Weiß; hier wurde die rote Teilfläche aus fluoreszierendem, nichtretrore-

flektierendem Material angefertigt. Gegenüber den StVO-Verkehrszeichen wurden die Testzeichen maßstäblich um den Faktor 17,8 verkleinert. Dieser Faktor ergab sich aus dem Zusammenhang Bildgröße auf dem Monitor und der zur Verfügung stehenden Beobachtungsentfernung.

Für die Versuche bei Tageslicht wurden die Testzeichen auf neutralgraue Kunststoffolien der Größe DIN A 4 aufgeklebt. Bei den Nachtversuchen wurde vor die Testzeichen eine schwarze Maske gelegt, aus der die Umrisse der Testzeichen ausgeschnitten waren, so daß die Testzeichen vor einem schwarzen Hintergrund gezeigt werden konnten. Die Kunststoffolien befanden sich in einem Ringordner. Der Versuchsleiter konnte Seiten wie in einem Buch aufklappen, und die Versuchsperson sah alle Testzeichen gleichzeitig, die eine Testfrage betrafen. Zur Beantwortung einer Testfrage war es notwendig, eine Art „Modellbaustelle“ darzustellen (s. Bild 3.1). Dazu wurden vier Testzeichen (verschiedene Formen der Leitbake, s. Anhang 2, Bild A 2.3) auf schwarze Pappe übereinander aufgeklebt. Sechs dieser Testzeichenträger wurden versetzt hintereinander aufgestellt, so daß sich das Bild der Verschwenkung eines Fahrstreifens ergab. Da insgesamt acht Zeichenformen untersucht werden sollten, wurden 2 x 6 Testzeichenträger nebeneinander gestellt.

Die Tageslichtversuche wurden bei natürlicher Beleuchtung des Raumes durchgeführt. Die Nachtversuche fanden bei völliger Dunkelheit statt; die Versuchsperson setzte sich eine Art Brillengestell auf, das zwei batteriebetriebene Lampen enthielt.

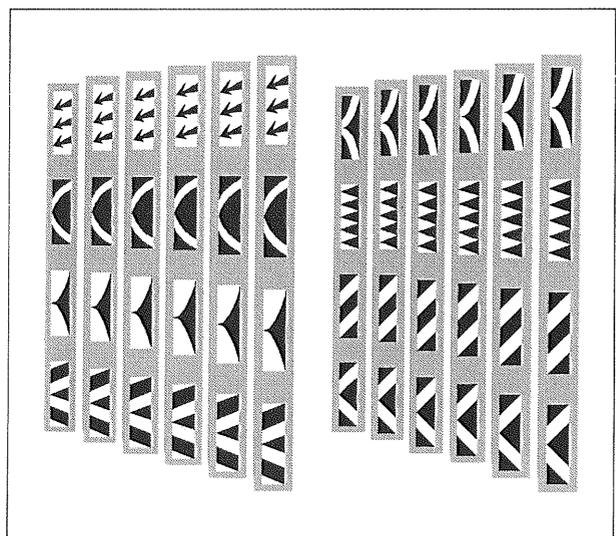


Bild 3.1: Darstellung der „Modellbaustelle“

Die Beobachtungsentfernung betrug am Tag 1 m, bei Nacht 3 m. Der Abstand Auge - Lampe betrug ca. 5 cm, daraus ergab sich für den Beobachtungsabstand $D = 3$ m ein Beobachtungswinkel ($\alpha = 0,95^\circ$). Bei diesem Beobachtungswinkel tritt eine ausgeprägte Retroreflexion bei den Testzeichen auf; die Leuchtdichte der weißen Reflexfolie betrug $L_{\text{weiß}} = 30 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Die Nachtversuche fanden nach einer Dunkeladaptationszeit von 30 min statt. Die Fragen zur Richtungswirkung der Leiteinrichtungen wurden nur am Tag gestellt, da es sich hier um reine Wissensfragen handelt, deren Beantwortung nicht von den Sichtbedingungen abhängt.

Da in den Vorversuchen einige grundsätzliche Fragen hinsichtlich der Eigenschaften der Leiteinrichtungen und ihrer Richtungswirkung untersucht werden sollten, wurde eine große Anzahl von Personen in diese Befragung einbezogen. Die Versuchspersonen erfüllten folgende Anforderungen:

- Besitz mindestens des Führerscheines Kl. 3 und mindestens 1 Jahr Fahrpraxis, auch bei Dunkelheit.
- Die Zusammensetzung sollte nach Alter und Geschlecht möglichst gleichmäßig verteilt sein.
- Benötigt die Versuchsperson im Straßenverkehr eine Sehhilfe, sollte diese auch bei der Durchführung der Tests benutzt werden.
- Die Versuchspersonen sollten nicht von Berufs wegen mit Verkehrszeichen zu tun haben.

In Tabelle 3.1 sind die wesentlichen statistischen Daten zu den Versuchspersonen zusammengestellt. Die Versuchspersonen hatten demnach im Mittel eine relativ hohe Fahrerfahrung aufzuweisen; ihre Zusammensetzung entspricht in seiner Zusammensetzung weitgehend dem „normalen Autofahrer“.

Versuchspersonen	weiblich	männlich	alle
Anzahl	24	33	57
Alter / Jahre	22 - 55	19 - 64	19 - 64
Mittelwert Alter / Jahre	39	39	39
Jahresfahrleistung/km	4.000 - 50.000	1.000 - 50.000	1.000 - 50.000
Mittelwert Jahresfahrleistung/km	14.700	23.200	19.600
Führerscheinbesitz/Jahre	4 - 29	1 - 45	1 - 45
durchschnittlicher Führerscheinbesitz/Jahre	18	18	18

Tab. 3.1: Zusammensetzung des Versuchspersonenkollektivs bei den Vorversuchen

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Richtungsweisung von StVO-Leiteinrichtungen

Den Versuchspersonen wurden vier Fragen gestellt. Bei den ersten beiden Fragen wurde den Versuchspersonen die Leitplatte, StVO-Zeichen 605-30, gezeigt sowie die gleiche Leiteinrichtung um 180° gedreht (Bild 3.2) und gefragt, ob die Versuchspersonen diese Zeichen schon einmal gesehen hätten und was sie bedeuten sollten. Die Antworten auf diese beiden Fragen sind in Tabelle 3.2 zusammengestellt. 50 % der Befragten haben das linke und 46 % das rechte Schild schon einmal gesehen, obwohl es das rechte Schild in Deutschland nicht gibt. Die Funktion des linken Schildes wird von 13 % der Versuchspersonen richtig beschrieben, aber die des rechten - wenn man davon ausgeht, daß es die gleiche Funktion haben soll wie das linke - nur von 2 %. Hier zeigt sich zumindest tendenziell, daß die linke Variante das StVO-gemäße Zeichen ist und immerhin einigen Probanden die Funktion bekannt ist. „Falsche Antwort“ bedeutet in fast allen Fällen, daß die Versuchspersonen diese Zeichen für Baustellen-Absperrschilde oder Warnbaken hielten. Auf Nachfrage wurde dazu in der Regel erklärt, daß die rot-weiße Farbgebung diese Antwort assoziiert hätte.

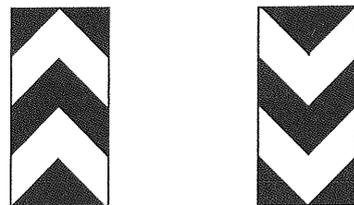


Bild 3.2: Leitplatte nach StVO (links) und Leitplatte, um 180° gedreht; gezeigt bei den Fragen 1 und 2

Frage 1: Haben Sie diese Schilder schon einmal auf einer Straße gesehen?	Ja	Nein	Weiß nicht
linkes Schild	50 %	13 %	37 %
rechtes Schild	46 %	15 %	39 %
Frage 2: Wissen Sie, was diese Schilder (Trenninsel, Fahrbahntrennung u.ä.) bedeuten?	Richtige Antworten	Falsche Antworten	Unbekannt
linkes Schild	13 %	35 %	52 %
rechtes Schild	2 %	9 %	89 %

Tab. 3.2: Antworten auf die Frage nach der Funktion der beiden Varianten der Leitplatte gemäß Bild 3.2

Bei der dritten Frage wurde die Standard-Leiteinrichtung, die StVO-Leitbake (Bild 3.3) gezeigt und nach der Möglichkeit des Vorbeifahrens gefragt. Nur ca. ein Drittel der Befragten weiß, daß man an dieser Leiteinrichtung links vorbeifahren muß (Tabelle 3.3); erstaunlich hoch (28 %) ist der Anteil von Versuchspersonen, die glauben, man könne diese Leiteinrichtung links oder rechts passieren.

Bei der vierten Frage wurde nochmals die StVO-Leitplatte gezeigt (Bild 3.2 links) und dieses Mal nach den Möglichkeiten des Vorbeifahrens gefragt. Mehr als ein Drittel der Probanden kennt nicht die Funktion links oder rechts vorbei (Tabelle 3.4).

Insgesamt kann man feststellen, daß das Wissen über das Aussehen und die Funktion der Leiteinrichtungen nicht sehr ausgeprägt ist. Insbesondere ist einem Großteil der Kraftfahrer nicht die Richtungsweisung der Leiteinrichtungen bekannt, die durch schräge Schraffen angezeigt werden soll.



Bild 3.3: Warnbake (Leitbake) nach StVO gezeigt bei Frage 3

Frage 3: Sie sehen in einer Straßenbaustelle dieses Schild. Welche Möglichkeiten des Vorbeifahrens gibt es?	Links vorbei	Rechts vorbei	Links oder rechts vorbei	Unbekannt
	37 %	9 %	28 %	26 %

Tab. 3.3: Antworten auf die Frage nach der Funktion der Warnbake gemäß Bild 3.3

Frage 4: Sie sehen in einer Straßenbaustelle dieses Schild. Welche Möglichkeiten des Vorbeifahrens gibt es?	Links vorbei	Rechts vorbei	Links oder rechts vorbei	Unbekannt
	5 %	5 %	63 %	27 %

Tab. 3.4: Antworten auf die Frage nach der Funktion der Leitplatte gemäß Bild 3.2

3.2.2 Farbkombinationen

Den Versuchspersonen wurden eine Absperrschranke (StVO-Zeichen 600) und eine aufgelöste Richtungstafel in Kurven (StVO-Zeichen 625) in neun Farbkombinationen (s. Anhang 2, Bild A 2.1) gezeigt. Es wurden die Farbkombinationen ausgewählt, die weltweit am häufigsten verwendet werden (s. Anhang 1). Die Befragung erfolgte mittels eines Rangfolgetests: Die Versuchspersonen wurden gebeten, die verschiedenfarbigen Leiteinrichtungen nach dem Grad ihrer Auffälligkeit und Warnwirkung zu ordnen. Die Leiteinrichtung mit der höchsten Auffälligkeit erhielt die Platzziffer 1, die Leiteinrichtung mit der niedrigsten Auffälligkeit die Platzziffer 9 (bei 9 Leiteinrichtungen mit unterschiedlichen Farbkombinationen). Aus den Platzziffern wird der Rang der jeweiligen Leiteinrichtung gebildet. Der Rang $R_a / 1$ ist definiert als arithmetischer Mittelwert der Platzziffern, gebildet aus der Summe der Platzziffern von allen Versuchspersonen je Leiteinrichtung. In den Bildern 3.4 bis 3.6 sind die Farbkombinationen nach steigendem Rang geordnet. Der niedrigste Rang stellt die beste Beurteilung dar.

Bild 3.4 zeigt die Rangfolge für Tageslicht. Die Darstellung erfolgt hier getrennt für Frauen und Männer, da ursprünglich vermutet worden war, daß sich bei der Bewertung der Warnwirkung von Farbkombinationen geschlechtsspezifische Unterschiede zeigen könnten. Das Diagramm zeigt jedoch, daß sich bei Frauen und Männern kaum unterschiedliche Reihenfolgen ergeben; Frauen bewerten nur Schwarz-Orange und Schwarz-Rot etwas besser als Männer.

Der Farbkombination Fluoreszenzrot-Weiß wird mit großem Abstand die höchste Warnwirkung zuge-

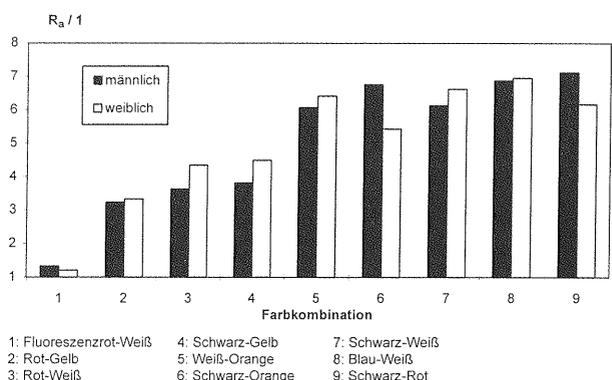


Bild 3.4: Rang R_a der Warnwirkung von Leiteinrichtungen in verschiedenen Farbkombinationen bei Tag, arithmetischer Mittelwert getrennt für Frauen und Männer

billigt. Der Rang der Kombinationen Rot-Gelb, Rot-Weiß und Schwarz-Weiß unterscheidet sich untereinander maximal um eine Platzziffer, während alle anderen Kombinationen schon sehr hohe Ränge aufweisen, also mit geringer Auffälligkeit assoziiert werden.

In Bild 3.5 sind die Ränge als Mittelwerte aller Versuchspersonen für Tag und Nacht dargestellt. Da die Farbkombination Fluoreszenzrot-Weiß bei Nacht nicht existiert - es handelte sich hier wie in Abschnitt 3.1 beschrieben um nicht retroreflektierendes Rot - sind in Bild 3.5 nur acht Farbkombinationen aufgeführt. Bei den drei Farbkombinationen mit der höchsten Auffälligkeit ändert sich die Rangfolge bei Nacht gegenüber derjenigen am Tag ganz entscheidend: Rot-Weiß wird bei Tageslicht um eine Platzziffer besser, Rot-Gelb aber um zwei und Schwarz-Gelb um eine Platzziffer schlechter beurteilt als bei Nacht, so daß nachts Rot-Weiß als die Farbkombination mit der größten Auffälligkeit und Warnwirkung angesehen wird. Die Versuchspersonen lieferten auf Nachfrage auch die Begründung für die veränderte Bewertung. Durch die Anleuchtung mit dem Licht der Glühlampe bei der Nachtbedingung verschiebt sich der Farbort der gelben Teilflächen in Richtung Rot, während er bei Rot etwa konstant bleibt. Dieser verringerte Farbkontrast zwischen Rot und Gelb reicht nicht mehr aus, um eine hohe Auffälligkeit dieser Farbkombination zu erzielen. Gelb-schwarze Leiteinrichtungen werden nachts als solche überhaupt nicht mehr erkannt, da das Schwarz der Leiteinrichtung nicht mehr vom Schwarz der Umgebung zu unterscheiden ist; von einem gelb-schwarzen Farbkontrast kann nicht mehr gesprochen werden. Die gel-

ben Flächen scheinen gleichsam in der Luft zu schweben.

Aus dem gleichen Grund wird das Ende von Streckenverboten oder -gebieten bei verschiedenen StVO-Verkehrszeichen durch fünf voneinander getrennte schwarze Linien signalisiert (s. Bild 3.6) und nicht durch einen schwarzen Balken. Letzterer würde dazu führen, daß man bei Nacht nicht mehr ein Verkehrszeichen, sondern nur noch zwei schwebende Halbkreise wahrnehmen würde. Die immer wieder auftauchende Forderung, die Farbkombination Schwarz-Gelb anstelle von Rot-Weiß für Warnmarkierungen zu verwenden (BAUER [7]), läßt außer acht, daß Verkehrszeichen nicht nur bei Tag, sondern vor allem bei Nacht ihre Funktion erfüllen müssen.

Vor allem wegen der deutlichen Überlegenheit bei Nacht, einer besonders kritischen Sichtbedingung, ist Rot-Weiß als beste Farbkombination für Leiteinrichtungen anzusehen.

Bei der nächsten Frage wurde den Versuchspersonen die Überleitungstafel (Spezialfall der Lenkungsstafel, Zeichen 500 StVO, s. Anhang 2, Bild A 2.2) in verschiedenen Farbkombinationen gezeigt. Es wurden die gleichen Farbkombinationen wie bei den Leiteinrichtungen (Bild 3.5) verwendet. Die Versuchspersonen wurden gebeten, die verschiedenfarbigen Überleitungstafeln nach dem Grad ihrer Warnwirkung zu ordnen.

Die in Bild 3.7 wiedergegebenen Ergebnisse zeigen, daß sich hier eine völlig andere Reihenfolge einstellt als bei den Leiteinrichtungen. Die größte Warnwirkung wird den Überleitungstafeln mit

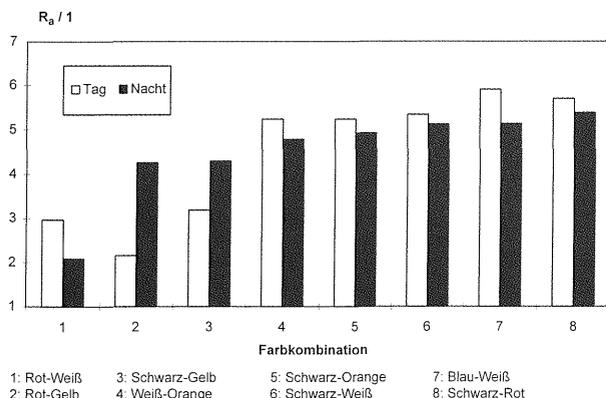


Bild 3.5: Rang R_a der Warnwirkung von Leiteinrichtungen in verschiedenen Farbkombinationen bei Tag und Nacht, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

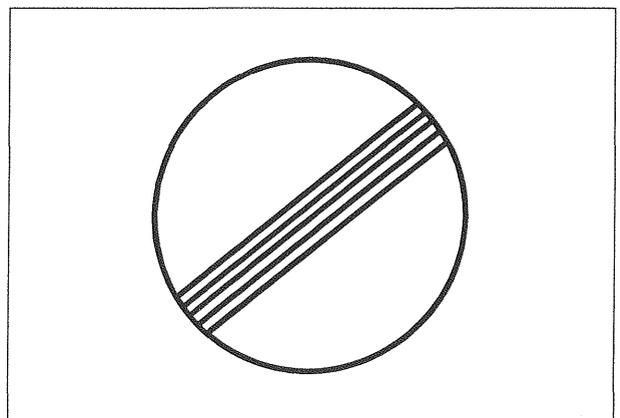


Bild 3.6: Zeichen 282 StVO „Ende aller Streckenverbote“. Die Durchstreichung wird durch fünf schwarze Linien erreicht.

schwarzer Schrift auf farbigem Untergrund (Gelb, Orange, Rot) eingeräumt. Die bei den Leiteinrichtungen favorisierten Farbkombinationen Rot-Weiß und Rot-Gelb schneiden bei Verwendung in Überleitungstafeln vor allem bei Nacht viel schlechter ab; die Kombination Rot-Gelb belegt nachts sogar den letzten Platz.

Für diese unterschiedlichen Ergebnisse ist die andersartige Funktion der Überleitungstafel verantwortlich, wie sich aus den Kommentaren der Versuchspersonen ergibt: Sie erwarten von der Überleitungstafel nicht nur eine hohe Auffälligkeit, sondern mehr noch eine hohe Lesbarkeit des Inhaltes, um sich Informationen über die angekündigte Arbeitsstelle verschaffen zu können. Deshalb sind auf den ersten drei Plätzen Farbkombinationen zu finden, die wegen des farbigen Untergrundes eine hohe Auffälligkeit besitzen und wegen der schwarzen Schrift auch einen relativ hohen Leuchtdichtekontrast und damit Lesbarkeit gewährleisten. Demgegenüber besitzen andere Farbkombinationen entweder eine geringe Auffälligkeit (Schwarz-Weiß, Blau-Weiß) oder einen geringen Leuchtdichtekontrast (Weiß-Orange, Gelb-Rot). Die schwarzen Teilflächen der Überleitungstafeln sind immer vom farbigen Untergrund umgeben und grenzen daher nie direkt an das Schwarz der Umgebung. Aus diesem Grund und wegen der anderen Struktur der schwarzen Teilflächen der Überleitungstafeln, verglichen mit der der Leiteinrichtungen, bleibt die Gestalt und damit die Funktion der Überleitungstafeln auch nachts erhalten. Für Überleitungstafeln vor Arbeitsstellen sollte deshalb schwarze Schrift auf farbigem Grund gewählt werden.

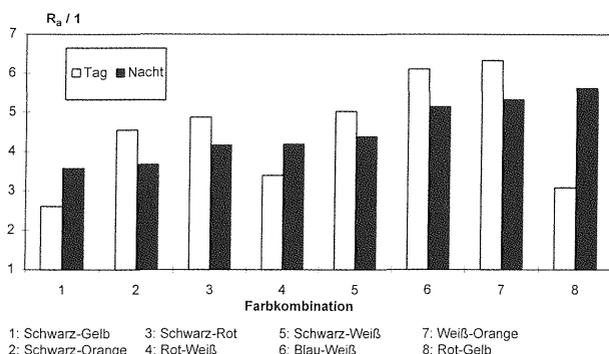


Bild 3.7: Rang R_a der Warnwirkung von Überleitungstafeln in verschiedenen Farbkombinationen bei Tag und Nacht, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

3.2.3 Form der Leiteinrichtungen

Zur Vorauswahl von geeigneten Bakenformen zur Signalisierung einer Links- oder einer Rechtsweisung wurden acht verschiedene Grundmuster verwendet (s. Anhang 2, Bild A 2.3). Es handelt sich einmal um die Leitbake (Zeichen 605-10 der StVO) sowie um verschiedene Bakenformen, bei denen versucht wurde, die Links- oder Rechtsweisung durch einen oder mehrere Pfeile in verschiedenen Ausführungsvarianten zu versinnbildlichen. In den Bildern 3.8 bis 3.10 sind die Bakenformen wieder nach zunehmendem Rang geordnet.

Zunächst wurden die Versuchspersonen gefragt, welche Bake am deutlichsten die Information „links vorbei“ vermittelt. Die Ergebnisse (Bild 3.8) zeigen, daß am Tag die Bake mit drei Pfeilen (Nr. 1 in Bild 3.8) mit großem Vorsprung für diese Funktion als am besten beurteilt wird, gefolgt von einer Bake, die einen Pfeil mit einer 90°-Spitze aufweist (Nr. 2; diese Bake wird im folgenden als „Pfeilbake“ bezeichnet). Die StVO-Bake (Nr. 7) belegt in dieser Reihung nur den siebenten und vorletzten Platz. Bei Nacht wird die Bake mit drei Pfeilen viel schlechter beurteilt als am Tage, weil die Sehschärfe einiger Versuchspersonen nicht mehr ausreichte, um die Pfeilspitzen und damit die Pfeile insgesamt erkennen zu können. Bei allen anderen Baken ergeben sich nachts nur unwesentlich andere Beurteilungen als bei Tageslicht.

Interessant ist das Ergebnis für die sogenannte „Sägezahnbake“ (Nr. 4): Einige Versuchspersonen setzten diese Bake auf den ersten oder zweiten Platz, weil für sie die roten Pfeile eindeutig nach links zeigen. Andere Versuchspersonen setzten

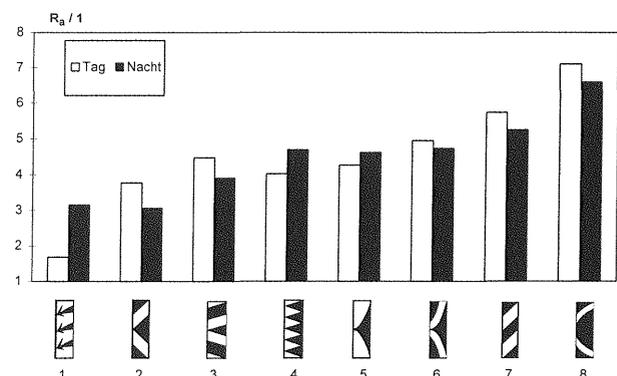


Bild 3.8: Rang R_a verschiedener Bakenformen bei der Funktion „links vorbei“ bei Tag und Nacht, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

diese Bake aber auf hintere Plätze. Auf Nachfrage wurde erklärt, daß die roten Pfeile dieser Bake eine Linksweisung, die weißen Pfeile aber eine Rechtsweisung signalisieren und diese Bake deshalb überhaupt keine Richtungsweisung beinhaltet. Hier handelt es sich um einen typischen Fall von Ambivalenz, diese Bake ist daher zur Anzeige einer Richtungsweisung ungeeignet.

Fast die gleiche Reihenfolge wird erzielt, wenn die Versuchspersonen beurteilen sollen, wie deutlich die verschiedenen Baken eine Fahrstreifenverschwenkung nach links anzeigen (Bild 3.9). Allerdings schneidet hier die Bake mit den drei Pfeilen (Nr. 1) noch schlechter ab als die entsprechende einzeln stehende Bake nachts, da die Testzeichen unter kleineren Seh winkeln erscheinen als bei den einzeln zu beurteilenden Baken und die Sehschärfe der meisten Versuchspersonen nicht mehr ausreicht, um die Pfeile erkennen zu können. Die Pfeilbake (Nr. 2) wird in dieser Situation eindeutig als am besten beurteilt.

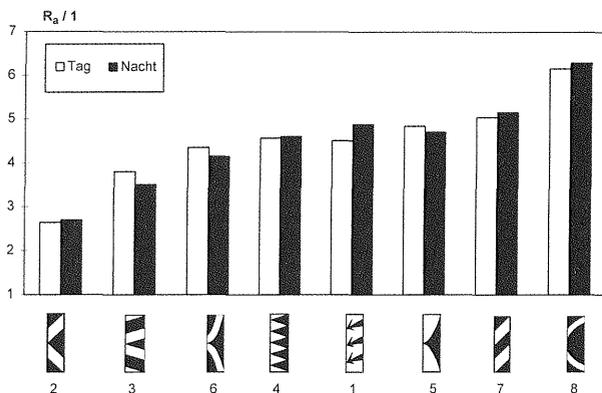


Bild 3.9: Rang R_a verschiedener Bakenformen, verwendet in einer Fahrstreifenverschwenkung bei Tag und Nacht, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

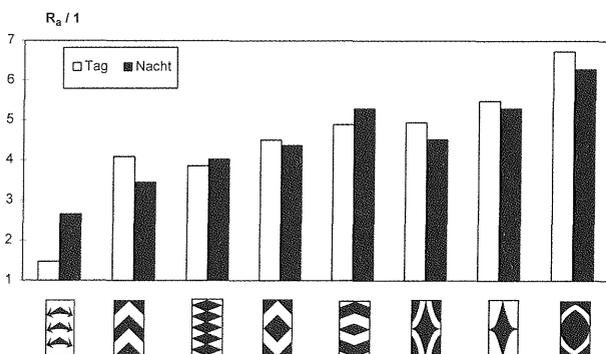


Bild 3.10: Rang R_a verschiedener Leittafeln bei der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“ bei Tag und Nacht, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

Durch Spiegelung dieser Baken entstehen Leittafeln, die signalisieren sollen, daß man diese Leittafeln links oder rechts passieren kann (s. Anhang 2, Bild A 2.4). Der Rangfolgetest (Bild 3.10) ergab in zwei Punkten unterschiedliche Ergebnisse, verglichen mit den einzeln stehenden Baken. Die gespiegelte Pfeilbake (Nr. 4 in Bild 3.10) belegt nur den vierten Platz, weil die Pfeilwirkung für die meisten Versuchspersonen durch die Spiegelung verloren geht. Die StVO-Leitplatte (Nr. 2) erreichte bei dieser Frage den Platz zwei; viele Versuchspersonen erklärten diese relativ gute Bewertung damit, daß diese Leiteinrichtung nicht ganz so schlecht für diese Funktion geeignet sei wie die übrigen gezeigten Leiteinrichtungen.

3.2.4 Flächenverhältnis Rot-Weiß

Den Versuchspersonen wurden die StVO-Leitbake, die Pfeilbake und eine Absperrschranke bei unterschiedlichem Flächenanteilen der Farben Rot und Weiß gezeigt. Der Rotanteil $R / 1$, definiert als prozentualer Anteil der roten an der Gesamtfläche einer Leiteinrichtung, betrug 33 %, 40 %, 50 %, 60 % und 67 %. Die Versuchspersonen wurden gebeten, die Leiteinrichtung mit der höchsten Warnwirkung in Abhängigkeit vom Rotanteil zu benennen.

In Bild 3.11 ist die Häufigkeitsverteilung der Rotanteile, gemittelt für die drei Leiteinrichtungen, zusammengestellt. Für den überwiegenden Teil der Versuchspersonen stellt sich die höchste Warnwirkung bei einem Rotanteil $R > 50 \%$ ein. Aus dieser Häufigkeitsverteilung ergibt sich für die maximale Warnwirkung der Leiteinrichtungen ein mittlerer Rotanteil $R = \text{ca. } 54 \%$ sowohl am Tag als auch bei Nacht.

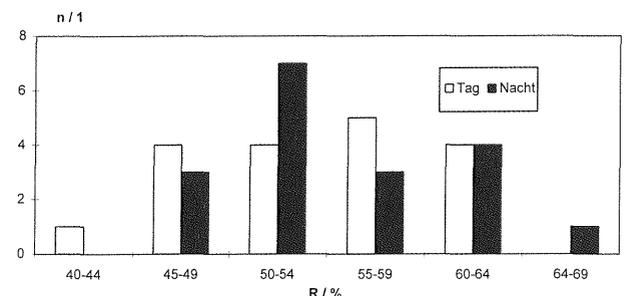


Bild 3.11: Häufigkeitsverteilung n der Rotanteile R , denen die höchste Warnwirkung zugeschrieben wird, bei drei Leiteinrichtungen, arithmetischer Mittelwert für Frauen und Männer

3.2.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Voruntersuchungen

Die Ergebnisse der Voruntersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen

- Die Funktion der StVO-Leitbake und -leitplatte ist den meisten Kraftfahrern unbekannt.
- Die Richtungsweisung der StVO-Leitbake und -Leitplatte ist aus ihrer Form nicht erkennbar.
- Leiteinrichtungen mit pfeilartigen Gestaltungselementen besitzen eine hohe Richtungsweisung.
- Bei Leiteinrichtungen hat die Farbkombination Rot/Weiß die größte Warnwirkung bei Tag und Nacht.
- Bei Überleitungstafeln geht die größte Warnwirkung von Farbkombinationen mit schwarzer Schrift auf farbigem Untergrund (Gelb, Orange, Rot) aus.
- Bei Leiteinrichtungen ist die größte Warnwirkung bei einem Rotanteil von 50 % bis 55 % vorhanden.

4 Hauptuntersuchungen

4.1 Versuchsbeschreibung

4.1.1 Methoden zur Präsentation von Sehobjekten

Eine psychologische und physiologische Bewertung von Sehobjekten, wie sie die zu testenden Leitelemente darstellen, kann auf verschiedene Weise erfolgen:

1. Die aufwendigste, aber realistischste Methode ist die Bewertung von Sehobjekten im Straßenraum. Leuchtdichten, Farben, Verkehrs- und Sichtbedingungen können entsprechend den realen Verhältnissen gewählt werden, aber aus vielerlei Gründen (hoher zeitlicher, organisatorischer und Kostenaufwand, Straßen müssen unter Umständen nachts gesperrt werden, Sichtbedingungen können nicht konstant gehalten werden, Witterungsunsicherheiten) ist diese Methode bei wissenschaftlichen Untersuchungen nicht anwendbar.
2. Eine zweite Methode ist die Darbietung von Sehobjekten als verkleinertes, aber maßstabgetreues Abbild realer Sehobjekte auf einer Modellstraße. Diese Methode ist einfach, die

Sehobjekte können in einem dreidimensionalen Umfeld dargeboten und Leuchtdichte- und Farbbereiche können weitgehend realistisch eingestellt werden; der apparative Aufwand und der Platzbedarf sind relativ hoch.

3. Die verbreitetste und sehr erfolgreiche Methode ist die Präsentation von Sehobjekten als Diapositiv. Hierbei sind Leuchtdichten und Farben der Sehobjekte und des Hintergrundes in weiten Grenzen frei wählbar. Das System Sehobjekt/Hintergrund wird zweidimensional präsentiert und wahrgenommen. Nachteilig ist der hohe apparative Aufwand und die Benutzung von mechanischen Komponenten.
4. Die Computertechnik bietet die Möglichkeit, Sehobjekte auf einem Bildschirm in den verschiedensten Formen, Farben und Helligkeiten definiert darzubieten. Wegen des Fehlens von mechanischen Komponenten ist diese Methode weniger störanfällig als eine Diapäsentation. Die Helligkeiten und Farben können stufenlos eingestellt werden. Mittels der mittlerweile sehr ausgereiften Grafikprogramme können die Testobjekte sehr schnell und exakt konstruiert werden. Der nutzbare Leuchtdichte- und Farbbereich ist jedoch nicht so groß wie bei der Diapäsentation, Leuchtdichtekontraste können nur eingeschränkt wiedergegeben werden, die Darstellung erfolgt zweidimensional.

4.1.2 Präsentation von Sehobjekten auf einem rechnergesteuerten Bildschirm

Wegen der genannten Vorteile gegenüber der Diapäsentation wurde entschieden, die Untersuchungen mit einem System durchzuführen, bei dem die Leiteinrichtungen auf einem Bildschirm dargeboten werden, der über einen Personal Computer (PC) gesteuert wird.

4.1.2.1 Der Personal Computer

Es wurde ein Personal Computer mit folgenden Daten ausgewählt: IBM-kompatibler PC mit Pentium-Prozessor, 90 MHz Taktfrequenz, 16 MByte Arbeitsspeicher, 1 GByte Festplattenspeicher, Grafikkarte mit einer Auflösung von $\geq 800 \times 600$ Bits per Pixel (bpp).

4.1.2.2 Der Bildschirm

Der Bildschirm sollte folgende Anforderungen erfüllen:

- Einstellbarkeit eines möglichst großen Leuchtdichtebereiches,
- Einstellbarkeit von möglichst gesättigten Farben,
- hardwaremäßig reproduzierbare Einstellung fester Leuchtdichten,
- Flimmerarmut des Bildschirms (hohe Bildwechselfrequenz) zur Vermeidung einer schnellen Ermüdung der Probanden,
- möglichst verzerrungsfreie, d.h. formgetreue Wiedergabe der Testzeichen.

Die Wahl fiel auf den Bildschirm Typ Eizo 662 mit 20 Zoll-Bilddiagonale. Bei diesem Bildschirm können durch einen in den Bildschirm eingebauten Mikroprozessor drei Helligkeits- und Farbeinstellungen fest vorgegeben werden. Zusätzlich kann die Helligkeit in 100 Stufen variiert werden. Der Bildschirm ist magnetisch abgeschirmt und hat eine eigene Netzspannungstabilisierung: Bei einer Veränderung der Netzspannung von 180 V bis 240 V traten keine meßbaren Schwankungen der Leuchtdichte und des Farbortes auf.

Vor Beginn und während der Durchführung der Versuche wurden immer wieder Leuchtdichten und Farbörter mittels der in Abschnitt 4.1.4 beschriebenen Meßgeräte auf Langzeitkonstanz überprüft.

In Bild 4.1 ist die Leuchtdichteverteilung auf dem Bildschirm für die Farbe Weiß schematisch wiedergegeben. Innerhalb des genutzten Bildschirmbereiches treten Leuchtdichtedifferenzen $\Delta L_{\text{Weiß}} < 10\%$ des Maximalwertes in der Mitte des Bildschirms auf. Eine Ausnahme bildet nur die rechte untere Ecke mit $\Delta L_{\text{Weiß}} = -18\%$.

Bild 4.2 zeigt die für Standardbildschirme und für den Bildschirm Eizo 662 einstellbaren Farbbereiche.

90	92	108	104	93
93	96	107	102	91
93	99	108	99	90
95	97	99	89	82
86	93	88	75	70

Bild 4.1: Schematische Darstellung der Verteilung der Weißleuchtdichte $L_{\text{Weiß}} / \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ auf dem Bildschirm Eizo 662. Der innere Rahmen markiert den für die Darstellung der Testzeichen benutzten Bildschirmbereich.

che. Insbesondere im roten und im grünen Bereich können mit dem Eizo 662 gesättigtere Farben eingestellt werden als bei Standardbildschirmen. Die hochgesättigten Farben werden nur erreicht, wenn einem kleinen Teil der Bildschirmfläche die gesättigte Farbe mit nicht zu großer Leuchtdichte zugewiesen wird und die restliche Bildschirmfläche möglichst dunkel ist. Wird die Farbe der gesamten Bildschirmfläche zugewiesen, tritt Ent sättigung auf.

Über zwei Monate hinweg wurden die Leuchtdichten und Normfarbwertanteile der Leitbake insgesamt zehnmal gemessen und protokolliert. Die Auswertung (Tabelle 4.1) zeigt, daß innerhalb dieser Zeit keine bemerkenswerten Schwankungen auftraten.

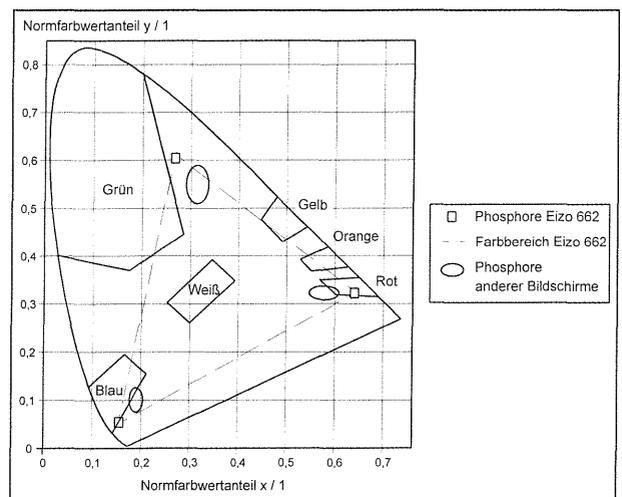


Bild 4.2: Normfarbtafel für den 2°-Beobachter nach DIN 5033 [V 14]; Farbbereiche für Standardbildschirme (nach [3]) und den verwendeten Bildschirm. Zusätzlich sind die Farbbereiche für Nachtfarben von retroreflektierenden Verkehrszeichen bei Anleuchtung mit Normlichtart A eingetragen.

	Leuchtdichte		Normfarbwertanteile			
	$L_{\text{Weiß}}$	L_{Rot}	Weiß		Rot	
	/ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$		x / 1	y / 1	x / 1	y / 1
Mittelwert der Leuchtdichte oder der Normfarbwertanteile x, y	249,2	77,7	0,334	0,334	0,349	0,349
Standardabweichung s	5,5	2,0	0,002	0,003	0,004	0,003
Variationskoeffizient $v_s = s/L; s/x; s/y / \%$	2,2	2,6	0,53	0,83	0,71	0,99

Tab. 4.1: Reproduzierbarkeit für Leuchtdichte und Normfarbwertanteile der Farben Weiß und Rot auf dem verwendeten Bildschirm. Mittelwerte aus zehn Messungen, verteilt über zwei Monate.

4.1.2.3 Das Präsentationsprogramm

Als Programm zur Präsentation der zu der jeweiligen Fahrsituation gehörenden Testzeichen wurde das Programm „Microsoft Powerpoint 4.0“ eingesetzt. Jedes Testzeichen wurde in ein Powerpoint-Bild eingebettet. In der unteren linken oder rechten Ecke befand sich die laufende Nummer des jeweils angezeigten Bildes, damit der Versuchsleiter ständig den Überblick hatte, an welcher Stelle der Präsentation er sich befand. Die Nummern hatten eine Zeichenhöhe von ca. 5 mm und konnten von der Versuchsperson nicht wahrgenommen werden. Das Umschalten von einem zum nächsten Bild erfolgte in 0,2 - 0,3 sec. Während des Umschaltens blieb der dunkle Zeichenhintergrund erhalten, so daß sich nur das Testzeichen selbst veränderte. Die so vermiedenen Dunkel- oder Hellpausen verhinderten eine vorzeitige Ermüdung der Versuchspersonen. Die Bildsequenz konnte nicht nur vor- oder rückwärts gezeigt werden, sondern man konnte zu jedem beliebigen Bild der Sequenz springen, was sich bei Rückfragen als sehr hilfreich erwies.

4.1.3 Versuchsanordnung

4.1.3.1 Versuchsaufbau

Alle Versuche fanden in einem verdunkelten, schwarz gestrichenen Raum statt. Bild 4.3 zeigt schematisch den gesamten Versuchsaufbau. Auf dem Bildschirm B wurden der Versuchsperson VP die Testzeichen gezeigt. Der Bildschirm befand sich in Augenhöhe, der Abstand Versuchsperson - Bildschirm betrug 7,4 m. Bei dieser Entfernung ist das Auge bereits fernakkommodiert. Hinter dem Bildschirm befand sich eine Leinwand Lw mit den Abmessungen 1,5 m x 2 m, die von einem Scheinwerfer S durchleuchtet wurde. Die so realisierte Leuchtdichte der Leinwand stellte die Hintergrundleuchtdichte für die Testzeichen dar. Über einen Regeltransformator konnte die Spannung der Scheinwerferlampe und damit die Hintergrundleuchtdichte stufenlos eingestellt werden. Die Leinwand hat von der Versuchsperson aus gesehen eine Winkelgröße von $\alpha_{LH} = 15,1^\circ$ (horizontaler Winkel) und $\alpha_{LV} = 11,5^\circ$ (vertikaler Winkel).

Neben dem Bildschirm war in Augenhöhe eine Blendlichtquelle BL aufgebaut, die aus zwei Leuchten bestand, deren Abstand voneinander 14 cm betrug. Der Abstand Mitte Blendlichtquelle - Mitte Bildschirm betrug 31 cm. Die beiden Leuchten der Blendlichtquelle hatten die Form von kleinen Kfz-

Scheinwerfern und bestanden aus einem Reflektor und einer Streuscheibe mit einem Durchmesser von 21 mm. Die Reflektoren waren mit 12 V-Miniaturlampenglühlampen bestückt, die von der Fa. Zorn/Stockach in kleiner Serie für eine Diplomarbeit entwickelt worden waren (TEWS [64]). Die Lampenspannung konnte über ein Netzgerät stufenlos eingestellt werden.

4.1.3.2 Helligkeits- und Farbeinstellung

Mittels des in den Monitor eingebauten, mikroprozessorgesteuerten „Bildschirmmanagers“ können drei feste, reproduzierbare und auf einfachen Tastendruck aufrufbare Helligkeits- und Farbeinstellungen gewählt werden. Der momentane Status der Bildschirmeinstellung kann jederzeit auf dem Bildschirm eingeblendet werden. Für jede der drei Einstellungen ist die Bildschirmhelligkeit über einen Drehknopf zusätzlich in 100 Stufen einstellbar. Der Helligkeitsstatus kann ebenfalls auf dem Bildschirm eingeblendet werden. Bei der Einblendung der Statusanzeige bleibt in der nicht von der Statusanzeige belegten Bildschirmfläche der Bildinhalt

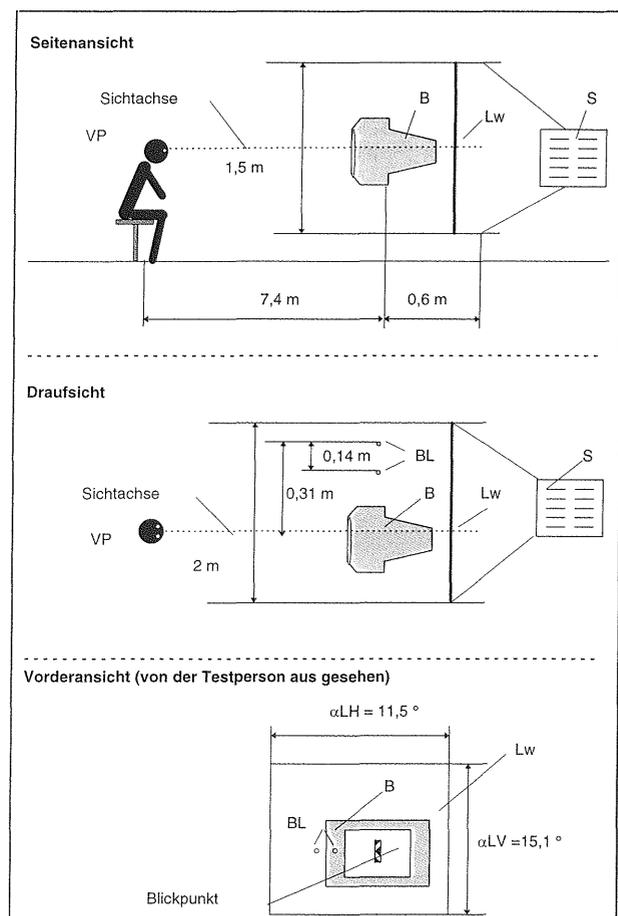


Bild 4.3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

erhalten, so daß der Einfluß der Helligkeitsänderung sofort sichtbar ist.

Alle Testzeichen wurden mittels des Grafikprogramms „CorelDraw!“ konstruiert. Dieses Programm erlaubt die Einstellung von Helligkeit und Farben nach mehreren Systemen. Es zeigte sich, daß das sogenannte HSB-System das am besten geeignete und am leichtesten zu handhabende System ist, um solch rot-weißen Testzeichen Helligkeit und Farbe zuzuordnen. In dem entsprechenden Programmenü liegen alle einstellbaren Farbörter auf einer Kreisfläche. Der Farbton ist durch den Winkel zwischen der Horizontalen und dem Strahl definiert, die Sättigung durch die Länge des Strahls. Die höchste Sättigung besitzen demnach die Farben, die auf dem äußeren Kreisbogen liegen. Farbton, Sättigung und Helligkeit sind in je 256 Stufen einstellbar. Die leichte Handhabbarkeit liegt darin, daß die Darstellung aller Farben auf einem Kreis sehr anschaulich ist und eine schnelle Einstellung der gewünschten Farbe ermöglicht.

4.1.4 Meßgeräte

Zur Messung der Leuchtdichten wurde ein Leuchtdichtemesser LMT 1009 mit 6'-Blende verwendet. Die Blendbeleuchtungsstärke wurde mit einem Optronik-Pocketluxmeter gemessen. Die Farbortmessung wurde mit einem tragbaren Spektralphotometer Spectrascan PR 650 der Fa. Photo Research durchgeführt. Dieses Meßgerät bewertet die Leuchtdichte über einen Telephotometer-Vorsatz (ähnlich dem des Pritchard-Leuchtdichtemessers) mit einer Meßöffnung von 1° im Spektralbereich von 380 bis 780 nm in Intervallen von 4 nm und berechnet daraus den Farbort.

4.2 Versuchsparameter

4.2.1 Testzeichengestaltung

Bei der Gestaltung der Testzeichen wurde von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- Je Fahrsituation sollten verschiedene Leiteinrichtungen auf ihre Wirksamkeit untersucht werden.
- Die Wirksamkeit der gleichen Leiteinrichtungen war u. U. bei verschiedenen Situationen zu testen.
- In den Untersuchungen sollten StVO-gemäße Leiteinrichtungen mit veränderten oder neuen Leiteinrichtungen verglichen werden.

- Es war das Ergebnis der Vorversuche zu berücksichtigen, nach dem vielen heute verwendeten Leiteinrichtungen ein Richtungsbezug fast völlig fehlt.

Für die Untersuchungen wurden sechs Fahrsituationen ausgewählt, bei denen entweder der Richtungsbezug oder die Absperrfunktion der verwendeten Leiteinrichtungen eine große Rolle spielt. Für die Fahrsituationen wurden folgende Kurzbezeichnungen verwendet:

- Experiment 1: „links vorbei“
- Experiment 2: „links oder rechts vorbei“
- Experiment 3: „Querabspernung“
- Experiment 4: „Querabspernung und links/rechts abbiegen“
- Experiment 5: „Fahrstreifenspernung“
- Experiment 6: „Arbeitsstelle“

Die Formen der Leiteinrichtungen werden in dieser Untersuchung teilweise anders als in der StVO und anderen Vorschriften bezeichnet (s. Tabelle 4.2), wobei im Text der Kürze halber für die verschiedenen Absperrschranken auch die Bezeichnungen „Zaun“, „Karo-Zaun“ und „Doppelpfeil“ verwendet werden.

Bild 4.4 zeigt schematisch diese Fahrsituationen. Die Bilder der Testzeichen sind in Anhang 3, Bilder A 3.1 bis A 3.14 zusammengestellt. In Tabelle A 3.1 des Anhanges 3 ist aufgeführt, welche Testzeichen in den Experimenten 1 bis 6 verwendet wurden. Eine Auswahl der in den Experimenten 1 bis 6 untersuchten Testzeichen wurde auch in den Experimenten 7 bis 10a verwendet (s. weiter unten in diesem Abschnitt).

Aus Tabelle A 3.1 ist zu ersehen, daß bei jeder Leiteinrichtung der Rotanteil R und die relative Ortsfrequenz O variiert wurden. Der Rotanteil wurde bereits in Abschnitt 3.3.4 definiert; diese Definition soll hier des Zusammenhanges wegen aber wiederholt werden: Der Rotanteil R / % stellt den prozentualen Anteil der roten Fläche an der Gesamtfläche der Leiteinrichtung dar. In den Vorversuchen (s. Abschnitt 3.3.4) war ermittelt worden, daß die höchste Warnwirkung für eine Leiteinrichtung bei einem Rotanteil ≥ 50 % zu erwarten ist. Deshalb wurde der Rotanteil in den Hauptversuchen im Bereich 50 % bis 65 % variiert. Für die relative Ortsfrequenz O / 1 wird folgende Definition verwandt: Zahl der Rot-Weiß-Wechsel in der Längsausdehnung der jeweiligen Leiteinrichtung, bezogen aber stets auf die Höhe der StVO-Leitbake.

Form	Höhe : Breite
Bake	4 : 1
Bake quer (Bake um 90 ° im Uhrzeigersinn gedreht)	1 : 2
Tafel	2 : 1
Schranke	1 : ≥ 3
Rahmen	ca. 1,5 : 1 Rahmendicke ca. 1/8 der Rahmenhöhe

Tab. 4.2: Bezeichnung der Leiteinrichtungen in Abhängigkeit vom Verhältnis der Abmessungen

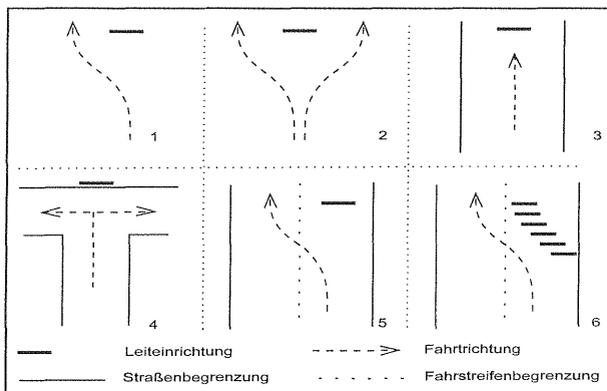


Bild 4.4: Schematische Darstellung der sechs untersuchten Fahrsituationen (Draufsicht)

Erläuterung zur Definition der relativen Ortsfrequenz

Die Ortsfrequenz wird üblicherweise definiert als Zahl von Phasenwechseln (hier: Rot-Weiß-Wechseln) je Länge des jeweiligen Objektes. Ein roter oder Weißer Streifen kann als „kritisches Detail“ d_k der Leiteinrichtung angesehen werden. Das kritische Detail ist definiert als kleinstes Längenelement eines Sehobjektes, das zur Erkennbarkeit des Sehobjektes (bzw. zur Lesbarkeit bei alphanumerischen Zeichen) notwendig ist - vgl. SCHREIBER und MESEBERG [60]. Die Ortsfrequenz ist der Streifenbreite bzw. dem kritischen Detail umgekehrt proportional. Von der Größe des kritischen Details kann die Erkennbarkeit und damit die Wirkung der Leiteinrichtung entscheidend abhängen. Hätte man die übliche Definition der Ortsfrequenz hier übernommen, wären z.B. die Ortsfrequenzen von Leitbake und Absperrschranke dann gleich, wenn die Streifenbreite unterschiedlich ist; eine sinnvolle, objektive Auswertung wäre dann aber nicht möglich gewesen. Durch die in dieser Arbeit verwendete relative Ortsfrequenz - immer Bezug auf die Länge einer bestimmten Leiteinrichtung -

anstelle der üblichen Ortsfrequenz wird erreicht, daß gleicher relativer Ortsfrequenz eine gleiche absolute Breite der roten und weißen Streifen zugeordnet ist. Dadurch ist gewährleistet, daß bei der Auswertung der Testergebnisse hinsichtlich der Ortsfrequenz immer das kritische Detail gemeint ist.

Bei der Schraffenbake „Standard“, der Schraffentafel „Standard“ und der Absperrschranke „Standard“ handelt es sich um Zeichen 605-10 (Leit- bzw. Warnbake), Zeichen 605-30 oder -31 (Leitplatte) bzw. Zeichen 600-33 (Absperrschranke) der StVO. Die Unternummern rechts vom Bindestrich besagen, daß diese Varianten der Leiteinrichtungen im Verkehrszeichenkatalog [V 7] abgebildet und vermaßt sind. Alle anderen Testzeichen entsprechen nicht der StVO.

Wie bereits in Abschnitt 3.3.3 beschrieben, entsteht die Schraffentafel durch Spiegelung der Schraffenbake und die Rautentafel durch Spiegelung der Pfeilbake. Der Doppelpfeil entsteht durch Spiegelung der „Richtungstafel in Kurven“, Zeichen 625 der StVO. Das Bild der „fahrbaren Absperrtafel“, Zeichen 615 oder 616 der StVO, wurde dahingehend modifiziert, indem das StVO-Zeichen 222 bzw. 223 „rechts vorbei“ bzw. „links vorbei“ durch das StVO-Zeichen 101 „Gefahrstelle“ ersetzt wurde. Das Weglassen des Pfeilzeichens war notwendig, um der Absperrtafel jede Richtwirkung zu nehmen.

Theoretisch sollte die Richtwirkung einer Bake unabhängig davon sein, ob die Bake nach links oder rechts weisen soll. Aus den Untersuchungen von PAIN u.a. [42], [43] und AULBACH [6] ist jedoch die Tendenz von Versuchspersonen bekannt, an einer Leiteinrichtung, deren Richtungsbezug nicht bekannt ist, im Mittel eher eine Links- als eine Rechtsweisung zu vermuten. Diese Tendenz ist wahrscheinlich durch den Rechtsverkehr in den Ländern zu erklären, in denen die zitierten Untersuchungen durchgeführt wurden: Bei Rechtsverkehr hält man sich links vom rechten Fahrbahnrand, Hindernisse tauchen meistens am rechten Fahrbahnrand auf, an denen dann links vorbeigefahren wird. Den Untersuchungsergebnissen von PAIN u.a. [42], [43], [44], GODTHELP und RIEMERSMA [20], AULBACH [5], [6] sowie den psychologischen Voruntersuchungen (Abschnitt 3.3.1) ist zu entnehmen, daß Schraffenbaken eine nur mäßige oder gar keine Richtungsweise besitzen. Deshalb ist auch zu erwarten, daß Baken, die eine

Linksweisung verdeutlichen sollen, eine relativ bessere Bewertung erhalten als rechtsweisende Baken. Deshalb genügte es zum Zwecke der Beschränkung von Testzeichen, in Experiment 1 nur die Fahrsituation „links vorbei“ einzubeziehen, also nur linksweisende Baken zu untersuchen, deren Bewertung aus den genannten Gründen als eher noch zu positiv anzusehen ist.

Aus Anhang 3, Tabelle A 3.1 geht hervor, daß einige Leiteinrichtungen in ihrer Standardform in mehreren Fahrsituationen untersucht wurden, da vermutet wurde, daß ein und dieselbe Leiteinrichtung bei verschiedenen Funktionen unterschiedlich wirksam sein könnte. Die Varianten der Standardform, gegeben durch unterschiedliche Rotanteile oder relative Ortsfrequenzen, werden in dem Experiment untersucht, bei dem erwartet wurde, daß die prinzipielle Form der jeweiligen Leiteinrichtung besonders wirksam sein könnte.

In Anhang 3, Tabelle A 3.2 sind die Leiteinrichtungen zusammengestellt, die in den Experimenten 7 bis 10a verwendet worden sind. Es wurden Leiteinrichtungen ausgewählt, die sich in den Fahrsituationen der Experimente 1 - 6 als besonders gut oder besonders schlecht erwiesen haben. In Experiment 7 (Leuchtdichtebewertung) wurden 7 Leiteinrichtungen in ihrer Standardform sowie den Varianten mit dem jeweils größten Rotanteil ($R = 65\%$) und der jeweils höchsten relativen Ortsfrequenz ($O = 4; 6$ bzw. 8), in Experiment 8 und 9 (Bewertung des Leuchtdichtekontrastes bzw. des „Weißfarbtones“) und Experiment 10a (Leuchtdichteschwelle) wurde nur die Standardversion dieser 7 Leiteinrichtungen einbezogen.

Im Experiment 10b wurden die in Anhang 4, Bild A 4.1 dargestellten einfarbigen Testzeichen verwendet. Die Testzeichen in Experiment 10b haben die gleiche Größe wie die in den Experimenten 1 - 9 verwendeten Testzeichen, ihre relativen Ortsfrequenzen liegen bei $O = 2$ bis 4 .

4.2.2 Leuchtdichten und Farben der Testzeichen

Die Leuchtdichten und Farben der in den 10 Experimenten (s. Abschnitt 2) untersuchten Testzeichen wurden durch geeignete Kombination der hard- und softwareseitigen Einstellmöglichkeiten (Abschnitt 4.1.3) realisiert.

4.2.2.1 Experimente 1 bis 6, Bewertung der Leiteinrichtungen in den Fahrsituationen

Für die Präsentation der Testzeichen bei den verschiedenen Sichtbedingungen (Tag, Dämmerung, Nacht) wurden drei Einstellungen benötigt. Mittels dieser Einstellungen wurden die in Tabelle 4.3 dargestellten Leuchtdichten, Leuchtdichtekontraste und Farbörter realisiert. Der Leuchtdichtekontrast $k/1$ zwischen den Weißen und roten Teilflächen der Testzeichen wird in dieser Untersuchung als Verhältnis der Rot- zur Weißleuchtdichte angegeben:

$$K = 1 : \frac{L_{\text{Weiß}}}{L_{\text{Rot}}} \quad (1)$$

Der Leuchtdichtekontrast k beträgt für alle drei Situationen einheitlich ca. $1 : 3$. Die eingestellten Farbörter sind in Bild 4.5 graphisch wiedergegeben. Bei der Farbeinstellung wurde berücksichtigt, daß sich die Farben der Verkehrszeichen mit der Lichtart der anleuchtenden Lichtquelle ändern. Bei Beleuchtung unter Tageslicht - die hierfür in DIN 5033 [V 14] definierte Normlichtart D 65 hat eine ähnlichste Farbtemperatur von 6500 K - sollen die Farben von Verkehrszeichen in den durch DIN 6171 [V 16] vorgegebenen Bereichen liegen; diese Bereiche wurden ebenfalls in Bild 4.5 eingetragen. Bei nächtlicher Anleuchtung durch Kfz-Scheinwerfer, deren Licht etwa der Normlichtart A gemäß [V 14] mit einer ähnlichsten Farbtemperatur von 2854 K entspricht, wandern die Farbörter der Verkehrszeichenfarben in Richtung Rot. Diese Verschiebung ist bei Weiß stärker ausgeprägt als bei Rot, Rot selbst bei Anleuchtung mit dem weißen Licht der Normlichtart D 65 schon sehr gesättigt ist. Zusätzlich sind in das Bild auch die Farbörter der Leinwand eingezeichnet, mit der die Umfeldleuchtdichte für die Testzeichen realisiert wurde (s. Abschnitt 4.2.3).

Sichtbedingungen	Farbe	Leuchtdichte	Leuchtdichtekontrast $k/1$	Normfarbwertanteile	
		$L / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$		$x/1$	$y/1$
Tag	Rot	81	1:3,1	0.609	0.349
	Weiß	250		0.333	0.333
Dämmerung	Rot	17,4	1:2,9	0.624	0.343
	Weiß	50,5		0.402	0.387
Nacht	Rot	9,0	1:3,0	0.626	0.343
	Weiß	27		0.386	0.401

Tab. 4.3: Die Leuchtdichten und Normfarbwertanteile der Testzeichen für die Experimente 1 bis 6

Die Leuchtdichten am Tage entsprechen Verkehrszeichenleuchtdichten, wie sie an einem bewölkten Himmel vorherrschen. Über Leuchtdichtemessungen bei Dämmerung und Nacht an Leiteinrichtungen, die bodennah - etwa in 0,9 m Höhe - angebracht sind und bei denen die üblichen retroreflektierenden Verkehrszeichenfolien der Bauarten Typ 1 oder 2 nach DIN 67 520 [V 19] verwendet werden, sind in der Literatur kaum Angaben zu finden. Deshalb wurden die an diesem Anbringungsort zu erwartenden Verkehrszeichenleuchtdichten rechnerisch unter Zuhilfenahme der bekannten spezifischen Rückstrahlwerte R' der Reflexstoffe ermittelt, einmal aus Messungen, die bei Anleuchtung von bodennahen Leiteinrichtungen (unter Verwendung von mikropismatischem Reflexmaterial) mit Abblendlicht eines Pkw auftreten (MESEBERG [35]), und zum anderen aus Messungen, die verschiedene Autoren an Verkehrszeichen durchgeführt haben, die in Standardhöhe (ca. 2,3 m) angebracht sind (FRANK und EWALD [19]; JAINSKI und GERDES [26]; SCHMIDT-CLAUSEN [53], [54]; YOUNGBLOOD und WOLTMAN [69]). Für eine Entfernung von 40 m zwischen Leiteinrichtung und anleuchtendem Pkw und Abblendlicht ergeben sich für Bauart Typ 2 Weißleuchtdichten im Intervall von 15 bis 40 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ und Rotleuchtdichten von 2,5 bis 15 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Für Typ 1 liegen die Leuchtdichten etwa um den Faktor 2,5 bis 3 niedriger. Dementsprechend wurde die Leuchtdichte bei Nacht auf die Werte 27 bzw. 9 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ eingestellt, die für Leiteinrichtungen des Typs 2 gelten.

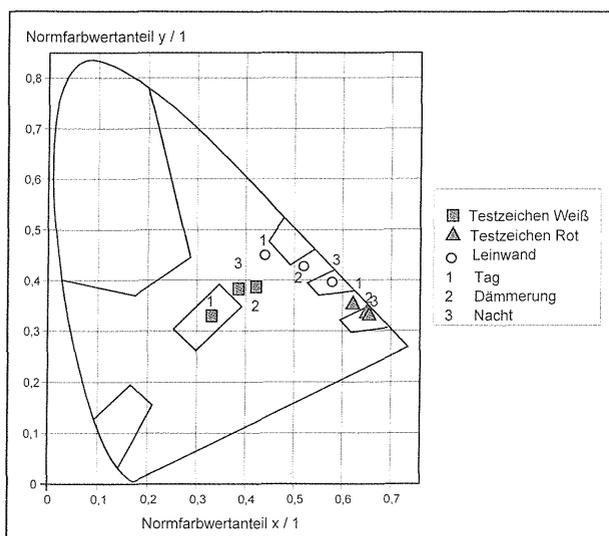


Bild 4.5: Normfarbwertanteile der Testzeichen und der Leinwand

Bei Dämmerung wurde davon ausgegangen, daß den Verkehrszeichenleuchtdichten, die durch die Anleuchtung eines Pkw entstehen, eine Leuchtdichte überlagert ist, die vom Himmelslicht herrührt. Diese Leuchtdichte ist nicht konstant, da die Beleuchtungsstärken bei Dämmerung schnell ab- bzw. zunehmen. Als ungefährender Mittelwert für die Verkehrszeichenleuchtdichten bei Dämmerung werden Werte angenommen, die etwa doppelt so hoch sind wie die nächtlichen Leuchtdichten.

4.2.2.2 Experiment 7, Leuchtdichtebewertung

Mit je drei hard- und softwareseitigen Einstellungen des Bildschirms waren neun unterschiedliche Leuchtdichten einstellbar. Da einige Leuchtdichtestufen relativ nahe beieinander liegen und um den Versuchsaufwand in Grenzen zu halten, wurden sechs Leuchtdichtestufen für Experiment 7 ausgewählt (Tabelle 4.4), die im logarithmischen Maßstab nahezu gleichabständig sind. Die Weißleuchtdichte von $350 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ist die maximale Leuchtdichte, die sich mit dem verwendeten Monitor realisieren läßt. Diese Leuchtdichte liegt zwar unter den real vorkommenden Verkehrszeichenleuchtdichten; wie entsprechende Vorversuche zeigten, reicht sie aber aus, um bei bestimmter Adaptationsleuchtdichte die optimale Leuchtdichte für Leiteinrichtungen ermitteln zu können (s. Abschnitt 4.5.5).

4.2.2.3 Experiment 8, Bewertung des Leuchtdichtekontrastes

Der Leuchtdichtekontrast zwischen den roten und Weißen Teilflächen von Leiteinrichtungen hängt im wesentlichen ab von der Bauart und den Reflex-

Sichtbedingungen	Coreleinstellung	Leuchtdichte L_{Rot} $L_{\text{Weiß}}$ / $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$		Leuchtdichtekontrast $k / 1$	ausgewählt für Experiment 7
		L_{Rot}	$L_{\text{Weiß}}$		
Nacht	dunkel	0,20	0,98	1 : 4,90	ja
	mittel	1,20	5,9	1 : 4,92	ja
	hell	5,34	19,1	1 : 3,58	ja
Dämmerung	dunkel	7,04	23,5	1 : 3,34	nein
	mittel	13,7	9,5	1 : 3,81	ja
	hell	32,0	97,0	1 : 3,03	ja
Tag	dunkel	45,3	138	1 : 3,04	nein
	mittel	60,7	240	1 : 3,95	nein
	hell	99,0	350	1 : 3,53	ja

Tab. 4.4: Mögliche Rot- und Weißleuchtdichten und Auswahl der sechs Leuchtdichtestufen für die Leiteinrichtungen des Experimentes 7

ionseigenschaften der Reflexfolien, der Beobachtungsgeometrie sowie der anleuchtenden Lichtart. Tabelle 4.5 zeigt die Leuchtdichtekontraste für verschiedene Bauarten, ermittelt für Tageslichtbedingungen aus der Messung des Leuchtdichtefaktors β mit Normlichtart D 65 gemäß DIN 5033 [V 14] und für Nachtbedingungen aus der Messung der spezifischen Rückstrahlwerte dieser Reflexstoffe, wenn sie unter der Geometrie $0,33^\circ/5^\circ$ nach DIN 67 520 [V 19] mit Normlichtart A nach DIN 5033 [V 14] bzw. mit dem Licht eines Gasentladungslampenscheinwerfers mit einer ähnlichsten Farbtemperatur (DIN 5033 [V 12]) von 4370 K angeleuchtet werden.

Die Leuchtdichtekontraste liegen demnach in der Praxis im Bereich von ca. 1:5 bis 1:10 am Tage bzw. bei ca. 1:3 bis 1:8 bei Nacht; in Experiment 8 mußten deshalb Leuchtdichtekontraste verwendet werden, die diesen Bereich mindestens einschließen. Ausgewählt wurden schließlich 5 Stufen der Leuchtdichtekontraste, in denen die in Tabelle A 3.2 aufgeführten sieben Leiteinrichtungen dargeboten wurden. Die Rot- und Weißleuchtdichten L_{Rot} bzw. $L_{\text{Weiß}}$ sowie die sich daraus ergebenden Leuchtdichtekontraste k sind in Tabelle 4.6 zusammengestellt. Die Leuchtdichten wurden so gewählt, daß im unteren Bereich der Leuchtdichtekontraste, in dem auch der optimale Leuchtdichtekontrast zu

Verkehrszeichen-Bauart	Leuchtdichtekontrast $k / 1$ bei Anleuchtung mit		
	Normlichtart D 65	Normlichtart A	Gasentladungslampe
Typ 1	1 : 5,7	1 : 3,3	1 : 4,2
Typ 2	1 : 9,0	1 : 4,5	1 : 7,9
mikroprismatisch	1 : 10,2	1 : 4,1	1 : 6,3

Tab. 4.5: Leuchtdichtekontraste k von roten und weißen Reflexstoffen verschiedener Bauart am Tage (Normlichtart D 65) und bei Nacht (Normlichtart A bzw. Licht einer Gasentladungslampe mit 4370 K). Entnommen MESEBERG [37]

$L_{\text{Weiß}} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	$L_{\text{Rot}} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Leuchtdichtekontrast $k / 1$
50	32,8	1 : 1,5
98	32,8	1 : 3,0
98	21,7	1 : 4,5
98	15,3	1 : 6,3
98	7,9	1 : 12,4

Tab. 4.6: Weiß- und Rotleuchtdichten und daraus resultierende Leuchtdichtekontraste der in Experiment 8 verwendeten Leiteinrichtungen

erwarten war, etwa gleichabständige Stufen erreicht wurden. Diese Einstellung wurde für Tag, Dämmerung und Nacht, jeweils ohne Blendung, verwendet.

4.2.2.4 Experiment 9, Bewertung des Farbkontrastes

In einer Reihe von Untersuchungen wird berichtet, daß Fluoreszenzfarben geeignet sind, die Erkennbarkeit und Auffälligkeit verschiedenster Sehobjekte bei Tageslicht erheblich zu erhöhen. So stellten SIEGEL und FEDERMAN [61] bei der Suche nach einer optimalen Farbgebung für Flugzeuge in Feldversuchen fest, daß sowohl die Wahrnehmbarkeitsentfernung für Sehobjekte verschiedener Form als auch die Farberkennbarkeitsentfernung dieser Sehobjekte sich bei der Verwendung von Fluoreszenzfarben gegenüber Standardfarben etwa verdoppelt. MICHON, EERNST und KOUTSTAAL [39] ermittelten bei Fahrversuchen die Zeit, die Kraftfahrer zur Erkennung von verschiedenfarbigen Testzeichen benötigen. Für Fluoreszenzorange und -gelb ergaben sich um 26 % bzw. 39 % geringere Wahrnehmungszeiten als für Standardweiß. JEHU [27] stellte fest, daß die Erkennbarkeitsentfernung von Warndreiecken verdoppelt werden kann, wenn die (retroreflektierenden) roten Streifen eines Warndreieckes durch fluoreszierende rote Streifen ersetzt bzw. ergänzt werden. BURNS und PAVELKA [9] ermittelten in Fahrversuchen, daß ein Testzeichen aus fluoreszierender, gelber Reflexfolie mindestens eine um mindestens 40 % höhere Erkennbarkeitsentfernung besitzt als ein gleiches Testzeichen, in gelber Standard-Reflexfolie ausgeführt. Alle diese Untersuchungen wurden bei Tageslicht durchgeführt.

In diesem Experiment sollte untersucht werden, ob auch die von Leiteinrichtungen ausgehende Auffälligkeit und Warnwirkung steigt, wenn die Farbe Weiß der Leiteinrichtungen durch eine Fluoreszenzfarbe ersetzt wird. Der Farbton Rot wurde nicht variiert, weil nach den Erkenntnissen von FRANK [18] bei Verkehrszeichen recht verschiedene Rottöne noch eindeutig als Rot wahrgenommen und akzeptiert werden. Die hohe Auffälligkeit von Fluoreszenzfarben rührt daher, daß sie eine höhere Leuchtdichte bzw. einen höheren Leuchtdichtefaktor besitzen als konventionelle Farben gleichen Farborts, so daß sie „unnatürlich“ hell erscheinen.

Bei dem Experiment müssen die Fluoreszenzfarben simuliert werden. Die weißen Flächenanteile

der auf dem Monitor dargebotenen Leiteinrichtungen werden durch farbige Flächen ersetzt, deren lichttechnische Eigenschaften und damit auch deren Wirkung denen von fluoreszierenden Farben möglichst nahekommen soll. Deshalb sind zur Festlegung der fluoreszierenden Bildschirmfarben die Leuchtdichtefaktoren und Farbörter realer herkömmlicher und Fluoreszenzfarben notwendig. Diese wurden an fluoreszierenden Verkehrszeichen-Reflexfolien mikrop Prismatischer Bauart und fluoreszierenden, nicht retroreflektierenden Kunststofffolien sowie den entsprechenden weißen Materialien gemessen. Als Meßproben wurden Materialien ausgewählt, deren Fluoreszenz sehr ausgeprägt war und die eine hohe visuelle Auffälligkeit des Materials erzeugte.

Bei der Messung wurden die Meßproben vom Himmelslicht bei bedecktem Himmel angeleuchtet, der Beobachtungswinkel zwischen der Oberfläche der Meßproben und den verwendeten Meßgeräten (s. Abschnitt 4.1.4) betrug 45°. Die Messungen fanden zwischen 12 und 13 Uhr statt. In Tabelle 4.7 sind der Farbort und der relative Hellbezugswert Y_{rel} der Meßproben aufgeführt; die Farbörter aller Meßproben sind in Bild 4.6 wiedergegeben. Zum Verständnis von Y_{rel} und der weiteren, in Tabelle 4.7 eingetragenen Werte ist es notwendig, den Begriff der Optimalfarben zu erläutern. Die Optimalfarbe stellt für eine gegebene Farbart die hellstmögliche Körperfarbe dieser Farbart dar

(RICHTER [48], DIN 5033 [V 12]). Anders ausgedrückt: Bei gegebenem Hellbezugswert und gegebenem Buntton ist die Optimalfarbe die gesättigste Körperfarbe. Zu jeder Farbart existiert ein größtmöglicher Hellbezugswert $Y_{opt} / 1$.

Der relative Hellbezugswert $Y_{rel} / 1$ einer farbigen Meßprobe ergibt sich aus dem Verhältnis gemessene Leuchtdichte der farbigen Meßprobe zur gemessenen Leuchtdichte der Weißen Meßprobe der gleichen Materialart:

$$Y_{rel} = \frac{L_{\text{farb}}}{L_{\text{weiß}}} \quad (2)$$

In Bild 4.6 sind die größtmöglichen Hellbezugswerte Y_{opt} in die Normfarbtafel als „Iso-Hellbezugswertlinien“ eingezeichnet. In der 5. Spalte der Tabelle 4.7 sind die sich für den Farbort x, y der jeweiligen Meßprobe (Spalten 2 und 3) nach Bild 4.6 ergebenden größtmöglichen Hellbezugswerte Y_{opt} eingetragen. Aus dem Verhältnis des relativen Hellbezugswertes Y_{rel} einer Meßprobe und des Hellbezugswertes Y_{opt} der Optimalfarbe der gleichen Meßprobe erhält man den sogenannten Fluoreszenzfaktor $F_{fl} / 1$:

$$F_{fl} = \frac{Y_{rel}}{Y_{opt}} \quad (3)$$

Farbe	Normfarbwertanteile		relative Leuchtdichte / % = $Y_{rel} / \%$	Y_{opt} / %	F_{fl} / 1
	$x / 1$	$y / 1$			
retroreflektierende Verkehrszeichenfolie					
Standardweiß	0,308	0,322	100	100	1,00
Standardrot	0,672	0,318	14,6	17	0,86
Fluoreszenz-Grüngelb	0,404	0,573	161	82	1,96
Fluoreszenz-Gelb	0,522	0,468	141	64	2,20
Fluoreszenz-Orange	0,621	0,371	78,0	38	2,05
Fluoreszenz-Rot	0,646	0,319	40,6	20	2,03
nicht retroreflektierende Kunststoffolie					
Standardweiß	0,307	0,321	100	100	1,00
Fluoreszenz-Gelbgrün	0,431	0,542	164	85	1,93
Fluoreszenz-Orange	0,593	0,388	75,6	40	1,89
Fluoreszenz-Rotorange	0,617	0,359	65,9	33	2,00
Fluoreszenz-Rot	0,618	0,340	53,3	27	1,97

Tab. 4.7: Lichttechnische Kennzahlen von fluoreszierenden und nicht fluoreszierenden Materialien

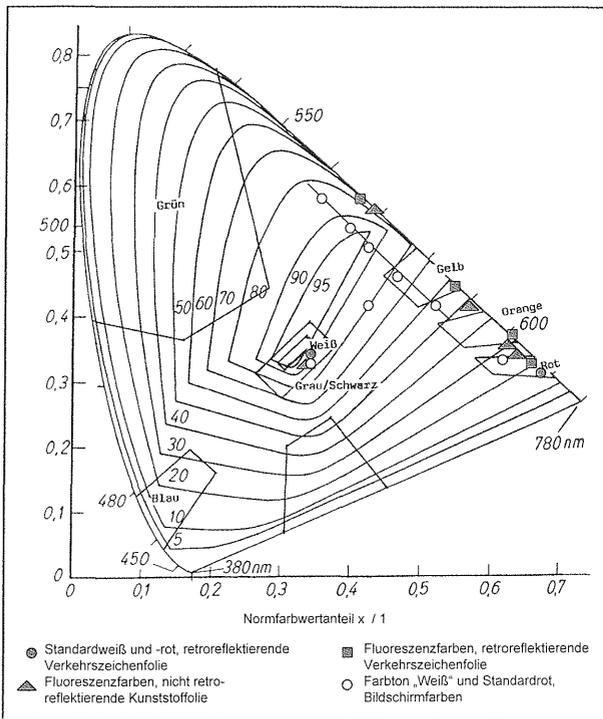


Bild 4.6: Normfarbtafel mit Linien gleicher größtmöglicher Hellbezugsweite Y_{opt} der Optimalfarben und der Farbgebiete für Verkehrszeichen nach DIN 6171 [V16] (entnommen TERSTIEGE [63]). In die Tafel sind die Farbörter fluoreszierender Materialien und die zur Simulation von Fluoreszenzfarben verwendeten Bildschirmfarben eingetragen.

Für Optimalfarben ist $F_{fl} = 1$; ist $F_{fl} > 1$ liegt Fluoreszenz vor. Die Fluoreszenzfaktoren sind in der rechten Spalte der Tabelle 4.8 verzeichnet. Sie liegen etwa bei Werten von 2. Diese Werte werden also benötigt, um eine hohe Auffälligkeit von Fluoreszenzfarben zu erzeugen. Sie werden von Fluoreszenzfarben erreicht, die mit Himmelslicht angeleuchtet werden, das um 12 Uhr etwa eine Farbtemperatur von ca. 6500 K aufweist.

Mit zunehmender Dämmerung steigt die Farbtemperatur des Himmelslichts wegen des zunehmenden Blauanteils. Dadurch wird die Fluoreszenzwirkung verstärkt und die Fluoreszenzfaktoren können in der Dämmerung Werte von ca. 3 annehmen, wie Bild 4.7 verdeutlicht. Hier sind die Fluoreszenzfaktoren einer roten fluoreszierenden und einer roten Standard- Verkehrszeichenfolie eingezeichnet. Bis kurz vor Sonnenuntergang bleiben die Fluoreszenzfaktoren konstant bei Werten von 2 bzw. 1; dann steigt der Fluoreszenzfaktor der fluoreszierenden Folie bis auf den Wert von 2,85 an. Das bedeutet, daß die Helligkeiten der „Weißfarbtöne“ der zu testenden Leiteinrichtungen in der Computersimulation um den Faktor 2 bis 3 höher liegen

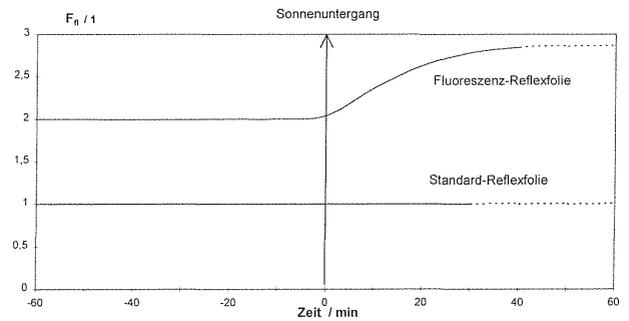


Bild 4.7: Veränderung der Fluoreszenzfaktoren F_{fl} einer roten Fluoreszenz-Folie und einer roten Standard-Verkehrszeichenfolie mit fortschreitender Dämmerung. Nach MESEBERG [36]

müssen als die der konventionellen Farbtöne, um den Effekt der Fluoreszenz visuell nachzubilden. Dies wurde bei der Hard- und Softwareeinstellung in Experiment 9 erreicht, indem für die „Weißfarbtöne“ die maximal erreichbare Leuchtdichte und Farbsättigung eingestellt wurde und die Leuchtdichte der roten Flächenanteile soweit abgesenkt wurde, bis sich die notwendigen Leuchtdichteverhältnisse ergaben, um Fluoreszenzfaktoren $F_{fl} \geq 2$ zu erreichen; dabei wurde der Fluoreszenzfaktor $F_{fl} = 1$ der Farbe Rot zugewiesen.

Die so bestimmten Farbörter und Leuchtdichten der simulierten Fluoreszenzfarben sind in Tabelle 4.8 eingetragen, die Farbörter sind in Bild 4.6 eingezeichnet. Zusätzlich zu den fünf ausgewählten Fluoreszenzfarben wurde die Bewertung der Auffälligkeit auch für Standardweiß und einen pastellweißen Farbton durchgeführt, dessen Bunnton etwa dem der Fluoreszenzfarbe Gelb entspricht, aber eine geringere Sättigung besitzt. Pastellweiß ist ebenfalls eine Fluoreszenzfarbe.

Sowohl die heutigen retroreflektierenden Verkehrszeichenfolien als auch andere Materialien besitzen einen Fluoreszenzeffekt nur am Tage und vor allem bei Dämmerung, aber nicht bei nächtlicher Anleuchtung mit herkömmlichen Kfz-Scheinwerfern, weil von diesen kaum kurzwelliges (blaues) Licht oder UV-Strahlung ausgeht. Trotzdem wurde dieses Experiment auch bei Nachtbedingungen durchgeführt um herauszufinden, ob ein grundsätzlicher Unterschied in der Wirkung von fluoreszierenden Materialien bei den verschiedenen Sichtbedingungen vorhanden ist. Außerdem kommen immer stärker mit Gasentladungslampen betriebene Scheinwerfer auf den Markt, die einen höheren UV-Strahlungsanteil besitzen als die heute überwiegend verwendeten, mit Glühlampen ausgerü-

Farbbezeichnung	Normfarbwertanteile		Leuchtdichte L / cd · m ⁻²	Fluoreszenzfaktor F _{fl} / 1
	x / 1	y / 1		
Standardweiß	0,316	0,578	96	1,49
Fluoreszenz-Weiß	0,412	0,421	126	2,30
Standardrot	0,605	0,342	18	1,00
Fluoreszenz-Gelbgrün	0,316	0,578	116	2,12
Fluoreszenz-Grüngelb	0,368	0,539	134	2,39
Fluoreszenz-Zitronengelb	0,412	0,503	150	2,45
Fluoreszenz-Gelb	0,475	0,457	118	2,24
Fluoreszenz-Orange gelb	0,519	0,422	88	2,44

Tab. 4.8: Lichttechnische Daten der in Experiment 9 zur Simulation von Fluoreszenzfarben verwendeten Bildschirmfarben

steten Scheinwerfer. Weiterhin befinden sich reine UV-Scheinwerfer in der Entwicklung. Sollten UV-Scheinwerfer zum Einsatz kommen, ist es denkbar, Verkehrszeichen zu entwickeln, die bei nächtlicher Anleuchtung mit diesen Scheinwerfern fluoreszieren.

4.2.2.5 Experiment 10, Leuchtdichteschwelle

Die durch die psychophysische Bewertung in den Fahrsituationen (Experimente 1 bis 6) erhaltenen Ergebnisse sollten durch ein physiologisches Experiment vertieft werden, bei dem die Leuchtdichteschwellen für die Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit von rot-weißen Leiteinrichtungen und einfarbigen Testzeichen zu bestimmen waren. Zum besseren Verständnis der Beschreibung der Versuchsparemeter und des Ablaufs dieses Experimentes ist es notwendig, den Prozeß der visuellen Information näher zur erläutern. Nach HARTMANN [21], [22] verläuft dieser Prozeß modellartig in den drei Stufen Sehen, Wahrnehmen und Erkennen.

Sehen

Die Erzeugung einer physiologischen Erregung im Auge durch einen physikalischen Reiz, der in Form elektromagnetischer Strahlung vom Sehobjekt ausgeht und ins Auge des Beobachters fällt. Sehen in diesem Sinne ist ein rein physikalisch-physiologischer Prozeß.

Wahrnehmen

Die im Auge erzeugte und ins Gehirn weitergeleitete Erregung ruft dort eine bewußt erlebte Empfindung hervor, beispielsweise eines Leuchtdichte- oder Farbunterschiedes zwischen Sehobjekt und seiner Umgebung.

Erkennen

Durch Vergleich des wahrgenommenen Sehobjektes mit im Gehirn abgespeicherten „Vorlagen“ wer-

den Inhalt und Bedeutung eines Sehobjektes erkannt, genauer gesagt, wiedererkannt.

Der Prozeß des Sehens, Wahrnehmens und Erkennens ist nicht umkehrbar. Das Sehen ist Voraussetzung für das Wahrnehmen und das Wahrnehmen Voraussetzung für das Erkennen. Aber nicht alle Sehobjekte, die gesehen werden, können wahrgenommen werden. Das ist der Fall, wenn die Auffälligkeit des Sehobjektes unter der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt. Dementsprechend können wahrgenommene Sehobjekte nicht erkannt werden, wenn ihre Auffälligkeit unter der Erkennbarkeitsschwelle liegt. Die Auffälligkeit eines Sehobjektes ist sehr schwer zu definieren; als hauptsächliche Parameter, von denen die Auffälligkeit abhängt, sind zu nennen Leuchtdichte, Leuchtdichtekontrast, Sehwinkel, Form und Farbe des Sehobjektes, Umfeldhelligkeit und andere Umfeldbedingungen, die den Prozeß der visuellen Information beeinträchtigen können (z.B. Störlichter, akustische Reize) sowie die dynamischen Parameter wie Bewegung und intermittierende Darbietung des Sehobjektes.

Sehobjekte können im zentralen (fovealen) und peripheren (extrafovealen) Teil des Gesichtsfeldes gesehen werden. Die Wahrnehmung erfolgt überwiegend peripher. Voraussetzung dafür ist eine genügend hohe Auffälligkeit. Dann erfolgt automatisch eine Blickzuwendung zu dem Sehobjekt, das jetzt im zentralen Teil des Gesichtsfeldes abgebildet wird, und bei genügend hoher Auffälligkeit beginnt die Erkennung des Sehobjektes. Das bedeutet, daß normalerweise nur foveal abgebildete Sehobjekte erkannt werden können.

Die Leuchtdichte ist einer der wichtigsten Parameter, die die Auffälligkeit eines Sehobjektes beeinflussen. Deshalb wurde in diesem Experiment für

verschiedene Testzeichen die Leuchtdichte bestimmt, bei der die Versuchspersonen

1. den vom Testzeichen ausgehenden Lichtreiz wahrnehmen, ohne die Form erkennen zu können. Die Weißleuchtdichte eines Testzeichens, bei der die Versuchspersonen den Lichtreiz wahrnehmen, wird mit Wahrnehmbarkeitsschwelle $L_{WS} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bezeichnet;
2. die Form des Testzeichens erkennen und beschreiben können. Die dazugehörige Weißleuchtdichte des Testzeichens wird mit Erkennbarkeitsschwelle $L_{ES} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bezeichnet.

Die Wahrnehmbarkeitsschwelle bestimmt den Zeitpunkt, an dem eine Blickzuwendung zu der Leiteinrichtung erfolgt; die Erkennbarkeitsschwelle bestimmt den Zeitpunkt, ab dem ein Kraftfahrer den Informationsinhalt einer Leiteinrichtung verstanden hat und eine adäquate Reaktion auf diese Information einleiten kann. Je kleiner die Wahrnehmbarkeits- und die Erkennbarkeitsschwelle sind, desto Größer ist die Wahrnehmbarkeits- und die Erkennbarkeitsschwelle dieser Leiteinrichtung und damit die dem Kraftfahrer zur Verfügung stehende Zeit, um die von der Leiteinrichtung vermittelte Information in ein Fahrmanöver (z.B. Brems- oder Lenkmanöver) umsetzen zu können. Die Wahrnehmbarkeits- und die Erkennbarkeitsschwelle können daher als Qualitätskriterium für die Wirksamkeit von Leiteinrichtungen betrachtet werden. Ein weiteres Qualitätskriterium ist das Verhältnis der Erkennbarkeits- zur Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{ES}/L_{WS} . Je kleiner dieses Verhältnis ist, je dichter beide Schwellen also beieinander liegen, desto „effektiver“ funktioniert die Leiteinrichtung.

Der Ablauf dieses Experimentes, das nur bei Nachtbedingungen durchgeführt wurde, unterscheidet sich grundlegend von dem der anderen Experimente. Die Bildschirmleuchtdichte kann mittels des Bildschirmmanagers in 100 Stufen eingestellt werden. Die jeweils gewählte Leuchtdichtestufe wird als relative Helligkeit / % auf dem Bildschirm eingeblendet. Dieser Helligkeitsanzeige entsprechen die in Bild 4.8 gezeigten Rot- und Weißleuchtdichten der Testzeichen, so daß aus der auf dem Bildschirm abgelesenen Helligkeitseinstellung die Leuchtdichteschwelle für die Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit der Testzeichen ermittelt werden kann. Bei der Auswertung wurde nur die Weißleuchtdichte zur Schwellenwertermittlung herangezogen.

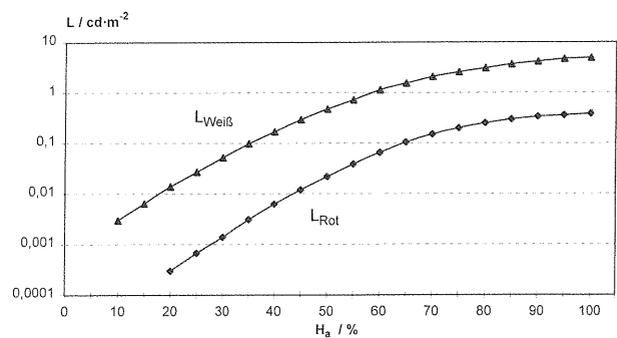


Bild 4.8: Zusammenhang zwischen der Zeichenleuchtdichte L_{Rot} bzw. $L_{Weiß}$ und der Helligkeitsanzeige H_a auf dem Bildschirm

Nach erfolgter Dunkeladaptation der Versuchsperson, aber vor Beginn des Experiments, ist zwar ein Testzeichen auf dem Bildschirm vorhanden, aber die relative Helligkeit ist mittels des Bildschirmmanagers auf 0 % eingestellt worden, so daß die Leuchtdichte des Testzeichens unterhalb der Wahrnehmbarkeitsschwelle liegt. Auf dem Bildschirm ist nur die Helligkeitsanzeige sichtbar, die aber gegenüber der Versuchsperson abgedeckt ist. Bei Beginn des Experiments wird die relative Helligkeit von Hand mit dem Drehknopf um etwa 1 % je Sekunde erhöht, bis die Versuchsperson einen Lichtreiz wahrnimmt und „Halt“ sagt. Der angezeigte Helligkeitswert in % wird notiert und anschließend mittels des Bildes 4.8 in einen Leuchtdichtewert umgerechnet. Diese Leuchtdichte stellt die Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{WS} dar. Anschließend wird die Helligkeit weiter erhöht, bis die Versuchsperson die Form bzw. Bedeutung des Testzeichens erkannt hat und wieder „Halt“ sagt. Jetzt wird die Helligkeit erneut notiert und daraus mittels Bild 4.8 die Erkennbarkeitsschwelle L_{ES} bestimmt. Anschließend wird die Helligkeit auf 0 % zurückgesetzt und zum nächsten Testzeichen übergegangen. Bei einer Beobachtungsentfernung von 7,4 m (s. Abschnitt 4.2.5) hat der verwendete 20 Zoll-Bildschirm eine Winkelgröße von ca. $2^\circ \times 3^\circ$. Da die Versuchspersonen wissen, daß die Testzeichen nur innerhalb der Bildschirmfläche auftauchen können, erfolgt die Beobachtung der Testzeichen etwa foveal.

4.2.3 Umfeldleuchtdichten

Die Umfeldleuchtdichte L_U wurde erzeugt, indem eine Leinwand mittels eines Scheinwerfers rückwärtig (von der Versuchsperson aus gesehen) beleuchtet wurde (s. Bild 4.3). Über einen Regeltransformator wurde die Spannung der Scheinwer-

ferlampe und damit die Umfeldleuchtdichte eingestellt.

Die Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit von Sehobjekten hängt in entscheidendem Maß von der Adaptationsleuchtdichte ab. Über den Einfluß der Adaptationsleuchtdichte auf die Erkennbarkeit von Sehobjekten im statischen Fall liegen viele Erkenntnisse vor; die Sehaufgabe des Kraftfahrers im Straßenverkehr ist aber ein dynamischer Prozeß, bei dem sich der Adaptationszustand des Kraftfahrers ständig ändert. Im allgemeinen wird näherungsweise die Leuchtdichte des Umfeldes der jeweiligen Sehobjekte als Adaptationsleuchtdichte angenommen, vgl. FORTUIN [16] und SCHREIBER und MESEBERG [60]. Leiteinrichtungen der hier untersuchten Art sind im allgemeinen bodennah angeordnet und werden deshalb nicht gegen den hellen Himmel, sondern vor relativ dunklen Hintergründen (bituminöse Fahrbahn, Vegetation) wahrgenommen. Das wurde bei der Wahl der Umfeldleuchtdichten berücksichtigt.

An einem Tag mit bewölktem Himmel wurden für diese Hintergründe Umfeldleuchtdichten $L_U = 50 - 300 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ gemessen. Deshalb wurde als Tages-Umfeldleuchtdichte der Wert $100 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ gewählt. Bei Dämmerung wurde eine Umfeldleuchtdichte von $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ eingestellt, die ziemlich genau bei Sonnenuntergang vorhanden ist: Eine bituminöse Fahrbahn hat erfahrungsgemäß eine Leuchtdichte von $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$, wenn die vom bedeckten Himmel herrührende, mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn $300 - 350 \text{ lx}$ beträgt. Auf diesen Wert ist die Beleuchtungsstärke nach MAAS [32] und Unterlagen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) [V 5] etwa 2 - 4 min vor Sonnenuntergang abgesunken. Zum Vergleich: Nach den Empfehlungen der DIN 5044 [V 15] soll die ortsfeste Straßenbeleuchtung bei einer Fahrbahnleuchtdichte von $2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ bzw. einer horizontalen Beleuchtungsstärke von 70 lx eingeschaltet werden. Diese Fahrbahnleuchtdichte ist nach [V 5] 10 - 15 min nach Sonnenuntergang vorhanden.

Bei Nacht wurde eine Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ eingestellt. FRANK [17] wählte bei der lichttechnischen Untersuchung von Standard-Verkehrszeichen eine Umfeldleuchtdichte bei Nacht von $0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$; dies ist deshalb gerechtfertigt, weil Standard-Verkehrszeichen nicht bodennah, sondern in der Regel in Höhen von mindestens $2,30 \text{ m}$ angeordnet werden. Dort werden die Zei-

chen im allgemeinen gegen einen quasi lichtlosen Hintergrund gesehen, während die bodennahen Leiteinrichtungen gegen die Fahrbahnoberfläche, Vegetation oder andere Hintergründe gesehen werden, deren Leuchtdichten in der Regel deutlich höher als $0,01 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ liegen: Nach Untersuchungen von SCHMIDT-CLAUSEN und DAMASKY [57] beträgt die Leuchtdichte in Höhe von Leitbaken bei nächtlicher, nasser Fahrbahnoberfläche etwa $0,05 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Für die trockene Fahrbahn maßen SCHMIDT-CLAUSEN u.a. [58], [59] im Bereich von 10 - 40 m vor dem Kraftfahrzeug $0,15 - 0,6 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Auch bei Messungen von MESEBERG [34] zum Zwecke der Feststellung der Fahrbahnleuchtdichte für Blendungsgutachten ergaben sich 10 - 30 m vor einem Fahrzeug mit $0,15 - 0,30 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ die gleichen Fahrbahnleuchtdichten. Man kann also annehmen, daß die reale Hintergrundleuchtdichte für Leiteinrichtungen im Bereich zwischen $0,05$ und $0,6 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ liegt, wobei die höheren Werte eher die Ausnahme sein dürften. Deshalb wurde als Umfeldleuchtdichte für die Sichtbedingung Nacht der Wert $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ gewählt. In Tabelle 4.9 werden die festgelegten Umfeldleuchtdichten (Soll) den bei Versuchsdurchführung gemessenen Werten gegenübergestellt. Die Meßwerte sind Mittelwerte über die ganze Leinwand.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß unter der „Sichtbedingung Nacht“ nur zu verstehen ist, daß ein Kraftfahrer beim nächtlichen Fahren ein Verkehrszeichen unter den in Tabelle 4.6 angegebenen Leuchtdichten und der Umfeldleuchtdichte von $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ sieht. Streng lichttechnisch gesehen handelt es sich hier um Sehen im mesopischen Bereich, der sich nach DIN 5031 [V 11] von 10^{-5} bis $10^2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ erstreckt; für praktische Zwecke wird dieser Bereich auf 10^{-3} bis $10 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ eingeschränkt.

Bei der Bildschirmpräsentation ist das Testzeichen nicht unmittelbar von der Leinwand, sondern vom Bildschirmhintergrund umgeben. Die Einstellung des Bildschirmhintergrundes erfolgte softwareseitig so, daß die Bildschirm-Hintergrundleuchtdichte möglichst der jeweiligen Umfeldleuchtdichte entsprach.

In Tabelle 4.9 ist auch der zur jeweiligen Umfeldleuchtdichte gehörige, gemessene Farbort angegeben. Die Farbörter sind ebenfalls in Bild 4.5 (zusammen mit den Farbörtern der Testzeichen) eingezeichnet. Der Farbort verändert sich mit abnehmender Leuchtdichte in Richtung Gelb, weil

Sichtbedingung	Umfeldleuchtdichte $L_U / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$		Normfarbwertanteil x / 1 y / 1	
	Soll	gemessen	gemessen	
Tag	100	100	0,433	0,455
Dämmerung	10	9,9 - 10,1	0,520	0,418
Nacht	0,1	0,09 - 0,12	0,569 *	0,401 *

* Bei Nacht konnte der Farbort nicht auf der Leinwand gemessen werden, da das Signal für das Meßgerät zu schwach war. Der Farbort wurde deshalb auf der Streuscheibe des Scheinwerfers gemessen.

Tab. 4.9: Leuchtdichte und Farbort der Leinwand zur Realisierung der Umfeldleuchtdichte L_U

die ähnlichste Farbtemperatur der Scheinwerfer-Glühlampe mit abnehmender Spannung sinkt. Dies ist ja auch durchaus sinnvoll, da bei Dämmerung die Lichtfarbe des Sonnenlichtes und bei Nacht die Lichtfarbe des Kfz-Scheinwerferlichtes sehr viel gelblicher ist als das Sonnenlicht am Tage.

4.2.4 Physiologische Blendung

Blendung tritt immer dann auf, wenn das Licht von externen Störlichtquellen ins Auge fällt (SCHMIDT-CLAUSEN und BINDELS [55], [56], Lichttechnische Gesellschaft (LiTG) [V 3]). Wird durch Blendung die Sehleistung des Auges herabgesetzt, handelt es sich um physiologische Blendung. Wird dagegen der Sehkombi eingeschränkt, ohne daß dadurch die Sehleistung verringert wird, spricht man von psychologischer Blendung. Physiologische Blendung ist meßbar, psychologische Blendung muß mittels eines Bewertungsverfahrens erfaßt werden. Physiologische Blendung entsteht, indem dem Bild der Sehobjekte, die auf der Netzhaut des Auges abgebildet werden, eine wie ein Schleier wirkende Leuchtdichte überlagert wird, die von der Streuung des ins Auge fallenden Lichtstromes der Störlichtquellen an den verschiedenen Augenmedien herrührt. Die sogenannte äquivalente Schleierleuchtdichte $L_{s\ddot{a}q} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ist als Maß für die physiologische Blendung anzusehen und berechnet sich nach [V 3] zu

$$L_{s\ddot{a}q} = K \cdot \cos \Theta \cdot E_{Bl} \cdot \Theta^{-n} \quad (4)$$

mit $K / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ altersabhängiger Faktor; für eine 40jährige Person beträgt $K = 10 \text{ cd m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$

E_{Bl} / lx Blendbeleuchtungsstärke am Auge des Beobachters

Sichtbedingung	Farbe	Leuchtdichte $L / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$		Leuchtdichtekontrast k / 1	
		ohne Blendung	mit Blendung	ohne Blendung	mit Blendung
Dämmerung	Rot	17,4	22,6	1 : 2,90	1 : 2,46
	Weiß	50,5	55,7		
Nacht	Rot	9,0	14,2	1 : 3,00	1 : 2,34
	Weiß	27	32,2		

Tab. 4.10: Veränderung der Leuchtdichten und Leuchtdichtekontraste der Testzeichen durch die Schleierleuchtdichte bei Auftreten von physiologischer Blendung

$\Theta / ^\circ$ Winkel zwischen Blickrichtung und der Verbindungsgeraden Auge - Blendlichtquelle

$n / 1$ liegt zwischen 1,7 (für die Sehbedingungen der Straßenbeleuchtung) und 2,2 (für die Sehbedingungen der Kfz-Beleuchtung, s. SCHMIDT-CLAUSEN und BINDELS [55]). Nach [V 3] wird in der Praxis $n = 2$ gesetzt.

Die Berücksichtigung von physiologischer Blendung ist nur bei Dämmerung und Nacht sinnvoll. E_{Bl} wurde zu 3 lx festgelegt. Mit (4) ergibt sich daraus für die in Abschnitt 4.1.3.1 beschriebenen Abstände ein $\Theta = 2,4^\circ$ und mit $n = 2$ ein $L_{s\ddot{a}q} = 5,2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Diese Schleierleuchtdichte überlagert sich den Testzeichenleuchtdichten $L_{\text{Weiß}}$ und L_{Rot} gemäß Tabelle 4.6 und verringert den Leuchtdichtekontrast k . Die Leuchtdichtekontraste mit und ohne Einfluß der Schleierleuchtdichte sind in Tabelle 4.10 wiedergegeben.

4.2.5 Beobachtungsentfernung

Alle Testzeichen werden auf dem Bildschirm mit dem Verkleinerungsfaktor v dargestellt, der sich aus dem Verhältnis Höhe h / m eines Testzeichens auf dem Bildschirm zur Höhe H / m der entsprechenden StVO-Leiteinrichtung ergibt:

$$v = h/H / 1$$

Die virtuelle Beobachtungsentfernung D ergibt sich dann aus dem Verhältnis gewählte Modell-Beobachtungsentfernung (Abstand Testzeichen - Versuchsperson) $d /$ und dem Verkleinerungsfaktor:

$$D = d/v / 1$$

d sollte so gewählt werden, daß realistische Beobachtungsentfernungen auf der Straße simuliert

Art des Zeichens	Höhe Testzeichen h / m	Höhe StVO-Zeichen H / m	Verkleinerungs- faktor v / 1	virtuelle Beobachtungs- entfernung (für d = 7,4 m) D / m
Leitbake u. a. (s. Anhang 3, Bilder A 3.1 bis 3.9)	0,184	1	0,184	40,2
Absperrtafel (s. Anhang 3, Bilder A 3.10 und A 3.11)	0,226	2,5 bzw. 3,6	0,092 bzw. 0,064	82 bzw. 116
1. Leitbake in Arbeitsstellen- konfiguration (s. Anhang 3, Bilder A 3.15 bis A 3.24)	0,054	1	0,054	137

Tab. 4.11: Verkleinerungsfaktor v für die Testzeichendarstellung und virtuelle Beobachtungsentfernung für die verschiedenen Testzeichen

werden konnten und im Regelfall eine gute Erkennbarkeit der Testzeichen gewährleistet war. Aus Vorversuchen ergab sich, daß eine gute Erkennbarkeit bei einer Entfernung $d = 7,4$ m noch gegeben war. Die Werte für v und D sind in Tabelle 4.11 zusammengestellt.

Die virtuelle Beobachtungsentfernung betrug bei Leitbaken ca. 40 m und entspricht realistischen Beobachtungsbedingungen für solche Leiteinrichtungen auf der Straße. Eine Ausnahme bildeten die virtuellen Beobachtungsentfernungen für die Rahmen der Absperrtafel, die wegen ihrer natürlichen Größe von 2,5 bzw. 3,6 m stärker verkleinert werden mußten. Diese Absperrtafeln werden überwiegend auf Autobahnen eingesetzt; virtuelle Beobachtungsentfernungen $D = 82$ bzw. 118 m sind daher ebenfalls als sehr realistisch anzusehen. Bei den Arbeitsstellenkonfigurationen des Experimentes 6 ist die virtuelle Beobachtungsentfernung bewußt sehr hoch gewählt worden. Hier werden die gleichen Standard-Leitelemente verwendet wie in Experiment 1 (vgl. Anhang 3, Tabelle A 3.1). Während dort aber die grundsätzliche Wirkung der einzeln stehenden Baken unter guten Erkennbarkeitsbedingungen (hinsichtlich der Größe der Baken) untersucht wird, befaßt sich Experiment 6 mit der Untersuchung der Wirkung einer Bakenkonfiguration unter erschwerten Sehbedingungen. Vgl. hierzu auch die Abschnitte 4.2.1 und 4.5.2.6.

4.3 Versuchspersonenkollektiv

Das Versuchspersonenkollektiv bestand aus zwei Gruppen. Die Versuchspersonen der ersten Gruppe sollten in ihrer Zusammensetzung dem „normalen Autofahrer“ möglichst weitgehend entsprechen, soweit dies bei einer begrenzten Zahl von Probanden überhaupt möglich ist. Diese Gruppe

sollte weder beruflich noch interessehalber mit Verkehrszeichen befaßt sein. Die zweite Gruppe bestand dagegen aus Personen, die von Berufs wegen mit Verkehrszeichen zu tun haben. Alle Versuchspersonen erfüllten folgende weitere Anforderungen, die auch Voraussetzung zur Teilnahme an den Vorversuchen waren (s. Tabelle 4.1)

- Besitz mindestens des Führerscheines Kl. 3 und mindestens 1 Jahr Fahrpraxis, auch bei Dunkelheit.
- Die Zusammensetzung sollte nach Alter und Geschlecht möglichst gleichmäßig verteilt sein.
- Benötigt die Versuchsperson im Straßenverkehr eine Sehhilfe, sollte diese auch bei der Durchführung der Tests benutzt werden.

Nach den genannten Kriterien wurden für die Experimente 1 bis 6 14 Versuchspersonen der ersten Gruppe (Laien) und 11 Versuchspersonen der zweiten Gruppe (Fachleute) ausgewählt (s. Tabelle 4.12). An den anderen Experimenten (Experimente 7 bis 10) nahmen insgesamt 15 Versuchspersonen aus den in Tabelle 4.12 beschriebenen zwei Personengruppen teil.

Vor Beginn jeder Testreihe wurden die Versuchsperson über den Ablauf der Versuche unterrichtet. Dann erfolgte eine Einweisung über die zu erwartenden Fahrsituationen (Experimente 1 - 6) und eine Erläuterung der Bewertungsskala. Ähnlich wurde bei den übrigen Experimenten verfahren. Vor Beginn der Versuchsreihe wurden die Versuchspersonen 15 min (Dämmerungssituation) bzw. 30 min (Nachtsituation) dunkeladaptiert. Jede Testreihe innerhalb einer Sitzung begann mit einer Übungsreihe, bei der die Testperson sich mit der Fahrsituation, den Testzeichen und mit der Bewertungsskala vertraut machte. Die Ergebnisse der Übungsserie wurden in der Regel nicht protokolliert.

Versuchspersonen	weiblich	männlich	alle	davon mit Sehhilfe
<u>Laien</u>				
Anzahl	7	7	14	6
Alter / Jahre	20 - 55	24 - 54	20 - 55	
Mittelwert Alter / Jahre	36	42	39	
<u>Fachleute</u>				
Anzahl	2	9	11	6
Alter / Jahre	32 - 54 *	32 - 54		
Mittelwert Alter / Jahre	47 *	47 *		
<u>Alle Probanden</u>				
Anzahl	9	16	25	12
Alter / Jahre	20 - 55	24 - 54	20 - 55	
Mittelwert Alter / Jahre	42 *	42		

* Da in der Gruppe der Fachleute nur zwei weibliche Probanden zur Verfügung standen, können hier aus Datenschutzgründen nur die Werte für weibliche und männliche Probanden zusammen angegeben werden.

Tab. 4.12: Zusammensetzung des Versuchspersonenkollektivs

Die Testreihen wurden nur dann durchgeführt, wenn sich die Versuchsperson nach eigenem Bekunden aufmerksam und konzentriert fühlte. Die Länge einer Sitzung betrug maximal 1,5 Stunden. Pausen wurden immer auf Wunsch der Versuchsperson, spätestens aber nach einer Stunde eingelegt. Es wurde darauf geachtet, daß die Sitzungen in einer möglichst entspannten Atmosphäre stattfanden. Die Sitzungen wurden zu unterschiedlichen Tageszeiten und Wochentagen vorgenommen.

4.4 Bewertung

4.4.1 Die psychophysische Bewertungsmethode

Die psychophysische Bewertungsmethode, diese Bezeichnung wurde zuerst bei SOMMER und LOEF [62] gefunden, wurde von DE BOER und SCHREUDER [9] sowie HAUBNER [23], [24] in die Lichttechnik eingeführt. Sie beruht darauf, daß physikalische Größen nicht gemessen, sondern je nach persönlicher Empfindung und Wahrnehmung subjektiv bewertet werden. Seitdem SCHMIDT-CLAUSEN und BINDELS [55], [56] nachwiesen, daß diese Bewertungsmethode auch unter den Seh- und Wahrnehmungsbedingungen des Straßenverkehrs erfolgreich angewendet werden kann, wird diese Methode häufig zur Untersuchung verschiedener lichttechnischer Phänomene im Straßenraum eingesetzt (z.B. AULBACH [5],

FRANK [17], SCHMIDT-CLAUSEN [54], WAMBSGANSS [65]).

Grundlage der psychophysischen Bewertungsmethode ist eine Bewertungsskala, bei der dem jeweiligen Betrag der zu untersuchenden physikalischen Größe eine Note oder Bewertungsstufe zugeordnet wird. In der Fachliteratur sind die verschiedensten Bewertungsskalen zu finden. Es werden fast ausschließlich Skalen mit ungerader Anzahl von Bewertungsstufen verwendet, weil man bei einer ungeraden Zahl von Bewertungsstufen und einer symmetrischen Skala (s.u.) das Optimum der Bewertung in die Mitte der Skala legen kann. Es wird jedoch eine sehr unterschiedliche Zahl von Bewertungsstufen verwendet. So wurden in den USA (ADELEKE-SHEIDUN und STONE [1], ELLIS KING und GRAHAM [13], ETHEN und WOLTMAN [15]) und Deutschland (WAMBSGANSS [65]) einige Untersuchungen an Fahrbahnmarkierungen durchgeführt, bei denen die optimale Leuchtdichte von Fahrbahnmarkierungen mittels einer psychophysischen Bewertung gesucht wurde. Bei allen vier Untersuchungen (s. Tabelle 4.13) zeigte sich, daß ein logarithmischer Zusammenhang zwischen Bewertung und Markierungsleuchtdichte besteht (s. auch Abschnitt 4.5.5), und daß die Güte der logarithmischen Kurvenanpassung (dargestellt durch das Bestimmtheitsmaß r^2) und damit die Sicherheit der Bewertung um so besser ist, je größer die Zahl der Bewertungsstufen ist. Aus die-

sem Grund hat sich eine Skala mit 9 Bewertungsstufen als am sinnvollsten erwiesen, vgl. FRANK [17] und SCHMIDT-CLAUSEN [54]. Tabelle 4.13 zeigt auch, daß die Zahl von 9 Bewertungsstufen nicht überschritten werden sollte, weil keine größere Sicherheit der Bewertung mehr zu erreichen ist - r^2 ist bereits sehr nahe bei 1,0.

Zwischenstufen oder Stufen außerhalb der Skala dürfen nicht vergeben werden. Auch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung bestätigen die gute Eignung dieser Bewertungsmethode: Bei der Leuchtdichtebewertung ergaben die Regressionsrechnungen ein r^2 von 0,95 bis 1,00. Die Reaktionen der Versuchspersonen sprechen ebenfalls für die Bewertungsskala: 23 von 25 Probanden empfanden diese Skala für die Testreihen als am besten geeignet, eine Versuchsperson empfand die Differenzierung als zu groß (und benutzte deshalb einige Stufen grundsätzlich nicht) und eine weitere Versuchsperson wünschte sich eine noch stärkere Differenzierung (und wollte deshalb Noten von z.B. 5,5 vergeben).

Selbstverständlich ist die gleiche Methode auch geeignet, um eine Bewertung rein subjektiver Kriterien durchzuführen, wie dies bei der Bewertung der psychologischen Blendung der Fall ist (SCHMIDT-CLAUSEN und BINDELS [55], [56], LITG [V 3]). Dann ist allerdings strenggenommen von einer psychologischen Bewertungsskala die Rede.

Die Bewertungsskala kann ein- oder zweiseitig (symmetrisch) ausgelegt sein. Einseitig bedeutet, daß die Skala von sehr schlecht (Note 1) über befriedigend (Note 5) bis ausgezeichnet (Note 9) reicht. Eine einseitige Skala wurde bei den Experimenten 1 bis 6 benutzt. Hier wurde gefragt, wie gut das Testzeichen die vorgesehene Funktion im Verkehrsraum erfüllt; die Bewertung reichte von sehr schlecht (Note 1) bis ausgezeichnet (Note 9). Auch bei Experiment 9 (Bewertung des Weißfarbtones) wurde eine einseitige Bewertungsskala verwendet.

Zweiseitig (symmetrisch) bedeutet, daß die Skala von sehr schlecht (Note 1) über sehr gut = optimal (Note 5) bis wiederum sehr schlecht (Note 9) reicht. Das sehr schlecht der Noten 1 und 9 unterscheidet sich dadurch, daß der Betrag der zu bewertenden Größe im ersteren Fall so klein ist, daß die erfragte Funktion des Untersuchungsobjektes nicht erfüllt werden kann. Das sehr schlecht der Note 9 heißt, daß bei Überschreiten eines bestimmten Betrages der zu bewertenden Größe neue, negative Effekte auftreten können, so daß die erfragte Funktion des

Autoren	Bewertungsstufen	Untersuchungs-ort	Bestimmtheitsmaß $r^2/1$
ELLIS KING und GRAHAM [14]	1 bis 3	Labor Straße	0,641 0,463
ADELEKE-SHEIDUN und STONE [1]	1 bis 5	Straße	0,883
ETHEN und WOLTMAN [16]	1 bis 7	Straße	0,993
WAMBSGANSS [65]	1 bis 9	Labor	0,972

Tab. 4.13: Einfluß der Bewertungsskala auf die Güte der Kurvenanpassung (Bestimmtheitsmaß r^2) bei einer psychophysischen Bewertung der Leuchtdichte von Fahrbahnmarkierungen

Untersuchungsobjektes wieder nicht erfüllt werden kann. Die zweiseitige Skala wurde bei Experiment 7 (Leuchtdichtebewertung) benutzt: Sind die Testzeichenleuchtdichten zu gering, ist das Testzeichen unsichtbar und kann nicht erkannt werden. Es bekommt die Note 1. Ist die Leuchtdichte zu hoch, ist die Versuchsperson geblendet und/oder die weiße Fläche überstrahlt die rote, das Zeichen kann ebenfalls nicht erkannt werden. Es bekommt die Note 9. Die optimale Bewertung liegt in der Mitte der Skala bei der Note 5. Die zweiseitige Skala kam auch bei Experiment 8 (Bewertung des Leuchtdichtekontrastes) zur Anwendung: Note 1 bzw. 9 bedeuten, daß der Versuchsperson der Leuchtdichtekontrast viel zu gering bzw. viel zu hoch ist; ist der Leuchtdichtekontrast genau richtig = optimal, bekommt das Testzeichen die Note 5.

4.4.2 Reihenfolge der Darbietung der Testzeichen in einem Experiment

Die Reihenfolge der Darbietung aller Testzeichen in einem Experiment wurde nach dem Zufallsprinzip festgelegt. Um die Sicherheit der Bewertung zu erhöhen, wurde in den Experimenten 1 bis 6 jedes Testzeichen zweimal gezeigt. Bei den Experimenten 7 bis 9 genügte es, jedes Testzeichen einmal zu zeigen, weil hier nicht die Testzeichen selbst bewertet wurden, sondern bestimmte Eigenschaften der Testzeichen (Leuchtdichte, Leuchtdichtekontrast, Weißfarbton). Hier wurde eine hohe Bewertungssicherheit dadurch erreicht, daß die jeweiligen Stufen der drei genannten Eigenschaften bei 16 (Experiment 7) bzw. 7 Testzeichen gezeigt wurden.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß die Bewertung eines Testzeichens davon abhängt, wel-

ches Zeichen die Versuchsperson unmittelbar zuvor gesehen hat. Deshalb wurden einer Hälfte des Versuchspersonenkollektivs die Testzeichen in der Reihenfolge Bild 1 bis Bild n (letztes Bild) gezeigt, der anderen Hälfte in der Reihenfolge Bild n bis Bild 1. Dadurch hat bei den Experimenten 1 bis 6 jedes Testzeichen in der Regel vier Vorgänger-Testzeichen, so daß ein eventueller Einfluß des Vorgänger-Testzeichens auf die Bewertung minimiert werden kann. Bei den Experimenten 7 bis 9 hat jedes Testzeichen grundsätzlich ein Vorgänger-Testzeichen in einer anderen Gestaltung; zur Sicherheit wurde aber auch hier die Reihenfolge der Darbietung bei beiden Hälften des Versuchspersonenkollektivs vertauscht.

Wie zuvor beschrieben, werden die Testzeichen aller Fahrsituationen (Experimente 1 bis 6) unter 5 verschiedenen Sichtverhältnissen gezeigt (Tag, Dämmerung ohne bzw. mit Blendung, Nacht ohne bzw. mit Blendung); die Testzeichen der Experimente 8 und 9 bei Tag, Dämmerung und Nacht jeweils ohne Blendung. Es muß damit gerechnet werden, daß sich trotz der vorhergehenden Übungsreihe (s. Abschnitt 4.3) die Einstellung der Versuchspersonen zu den Testzeichen während der Präsentation ändert. Um zu vermeiden, daß eine solche eventuell veränderte Einstellung fälschlicherweise der Veränderung der Sichtbedingungen zugeschrieben wird, wurden die Testzeichen einer Hälfte des Versuchspersonenkollektivs in der Reihenfolge Tag, Dämmerung, Nacht und der anderen Hälfte in der Reihenfolge Nacht, Dämmerung, Tag gezeigt.

Bei den Experimenten 1 bis 9 wurden den Versuchspersonen vor der eigentlichen Bewertung alle in einem Experiment vorkommenden Testzeichen gezeigt. Damit die Versuchspersonen mit der Handhabung der Bewertungsskala vertraut wurden, erfolgte eine probeweise Bewertung der ersten 15 bis 20 Testzeichen jedes Experimentes bei einer Sichtsituation.

Die Leuchtdichtebewertung (Experiment 7) wurde nur bei Nacht ohne und mit Blendung durchgeführt. Die Reihenfolge der Testzeichen und der 6 Leuchtdichtestufen wurde wieder zufällig gewählt. Die Ergebnisse dieses Experimentes (s. Abschnitt 4.5.5.1) machten eine zweite Befragung der Versuchspersonen erforderlich. Jetzt wurden alle Testzeichen in der Reihenfolge gezeigt, in der sie in Tabelle A 3.1 aufgeführt sind. Die Testzeichen wurden nacheinander in den 6 ausgewählten Leucht-

dichtestufen mit aufsteigender Leuchtdichte gezeigt. Die Präsentation erfolgt demnach sowohl hinsichtlich der Formen als auch der Leuchtdichten systematisch.

Bei Experiment 10 (Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle) wurde keine Bewertung durchgeführt. Um die beiden Schwellen zu finden, durften die Versuchspersonen darüber hinaus auch die Testzeichen vorher nicht kennen.

4.4.3 Auswertung

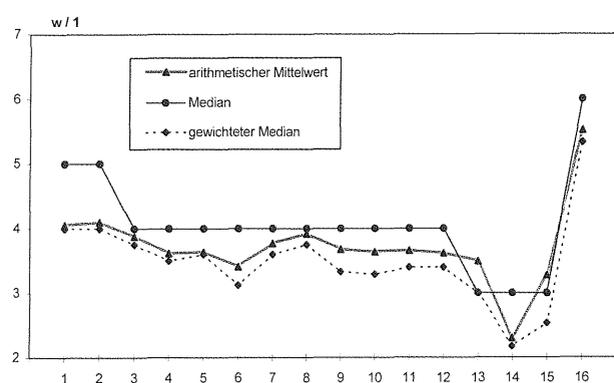
Nach Ende jeder einzelnen Sitzung und nach Ende der Gesamtsitzung bei den Experimenten 1 bis 6 wurden die Ergebnisse anhand des Handprotokolls sofort auf offensichtliche Hör- oder Schreibfehler kontrolliert und auch daraufhin durchgesehen, ob sich die Bewertung der Testzeichen im Laufe der Sitzung grundlegend verändert hatte. Das war jedoch bei keiner Versuchsperson der Fall, so daß die Ergebnisse aller Versuchspersonen uneingeschränkt in die Auswertung einbezogen werden konnten. Die Bewertungsnoten je Versuchsperson (bei den Experimenten 1 bis 6 der arithmetische Mittelwert aus den beiden Einzelnoten je Testzeichen) wurden vom Handprotokoll in Excel 5.0-Dateien übertragen, die so aufgebaut waren, daß damit die weitere statistische Auswertung erfolgen konnte. Die grafische Aufarbeitung der Ergebnisse erfolgte ebenfalls mit dem Programm Excel 5.0, unterstützt durch das Programm Microsoft Draw.

4.4.4 Statistische Behandlung der Bewertungen

4.4.4.1 Mittelwerte

Die zur Einschätzung der Eigenschaften von Leit-einrichtungen benutzte psychophysische Bewertungsskala stellt mathematisch gesehen eine Ordinalskala (s. REKER [47], LiTG [V 3]) dar, da die abhängige Variable - die Bewertung w - nur ganze Zahlen (1 bis 9) annehmen kann. Es ist mathematisch strenggenommen unzulässig, arithmetische Mittelwerte der Bewertungsstufen w zu berechnen, weil die Bewertungsstufen empfindungsgemäß nicht gleichabständig sein müssen. Dem ist allerdings entgegenzuhalten, daß bei einer genügend großen Anzahl von Probanden zu vermuten ist, daß die Bewertungsstufen sich der Gleichabständigkeit zumindest soweit annähern, daß die Bildung von arithmetischen Mittelwerten zur Einschätzung von Bewertungstrends und -unterschieden sinnvoll und plausibel wird.

Es wurde auch untersucht, ob die theoretisch mögliche und mathematisch exakte Verwendung von Medianen oder gewichteten Medianen (Definition s. in Abschnitt 4.4.4.3) anstelle der arithmetischen Mittelwerte infrage kommt³. Bild 4.9 zeigt an einem Beispiel den Einfluß der Art der Mittelwertbildung auf den Mittelwert der Bewertung. Danach sind Mediane nicht praktikabel, da diese definitionsgemäß nur ganze Zahlenwerte annehmen können und tatsächlich vorhandene Bewertungsunterschiede, die unterhalb des Intervalls $\Delta w = 1$ liegen, verloren gehen. Verwendete man anstelle der einfachen, ganzzahligen Mediane gewichtete Mediane, die rationale Zahlen sind, bliebe die Auswertung mathematisch exakt, und die Bewertungsunterschiede unterhalb des Intervalls $\Delta w = 1$ blieben ebenfalls bestehen. Die Ermittlung gewichteter Mediane ist jedoch einerseits sehr zeitraubend, während andererseits kein Informationsgewinn gegenüber der Verwendung von arithmetischen Mittelwerten zu erwarten ist, wie aus Bild 4.9 zu erkennen ist: Die Trends der Veränderung der Bewertung mit Variation der Form der Leiteinrichtung bleiben gleich, die absoluten Werte der arithmetischen Mittelwerte und der gewichteten Mediane unterscheiden sich in der Regel nur um Bruchteile einer Bewertungsstufe. Die Unterschiede zwischen beiden Mittelwerten werden allgemein um so kleiner, je mehr Beobachtungen in die Auswertung einbezogen werden. Bei Medianen beeinflussen Extrem-



Numerierung der Abszisse:

- | | | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 1: Schraffentafel St | 5: Schraffentafel O 3 | 9: Rautentafel R 55 % | 13: Rautentafel O 4 |
| 2: Schraffentafel R 55 % | 6: Schraffentafel O 4 | 10: Rautentafel R 60 % | 14: Pfeilbake quer St |
| 3: Schraffentafel R 60 % | 7: Schraffentafel U | 11: Rautentafel R 65 % | 15: Pfeilbake quer U |
| 4: Schraffentafel R 65 % | 8: Rautentafel St | 12: Rautentafel O 3 | 16: Doppelpfeil St |

Bild 4.9: Einfluß der Art der Mittelwertbildung auf den arithmetischen Mittelwert der Bewertung w am Beispiel des Experimentes 2, Bewertung bei Tageslicht

werte die Mittelwertbildung weniger stark als bei arithmetischen Mittelwerten. Deshalb liegen die gewichteten Mediane im Fall des Bildes 4.11 unterhalb der arithmetischen Mittelwerte.

Fazit dieser Überlegungen: Die Ermittlung arithmetischer Mittelwerte bei Verwendung einer psychophysischen Bewertungsskala (Ordinalskala) ist sinnvoll und plausibel, da sie tendenziell die gleichen Ergebnisse wie die mathematisch exakten gewichteten Mediane ergeben. Deshalb wurde bei der Auswertung folgender Weg beschritten: Generell wurden arithmetische Mittelwerte verwendet. Sollten bestimmte zusätzliche Aussagen über die Art der Bewertung gemacht werden (Vorurteile von Probanden gegenüber bestimmten Leiteinrichtungen, Schiefe der Häufigkeitsverteilung der Bewertungsnoten), wurden gewichtete Mediane und gewichtete Quartile (s. Abschnitt 4.4.4.3) in die Auswertung einbezogen.

4.4.4.2 Häufigkeitsverteilung und Signifikanz der Bewertungen

In Abschnitt 4.4.4.1 war dargelegt worden, daß es sinnvoll und plausibel ist, zur Auswertung die arithmetischen Mittelwerte der Bewertung w heranzuziehen. Es wäre natürlich auch wünschenswert, die Signifikanz der unterschiedlichen Ergebnisse nachzuweisen. Dazu benötigt man die Vertrauensbereiche der arithmetischen Mittelwerte der Bewertungsnoten; diese sind allerdings nur für normalverteilte Häufigkeitsverteilungen der Bewertungsnoten definiert (s. SACHS [49]). Die Bewertungsnoten w können jedoch nicht normalverteilt sein:

1. Eine Normalverteilung (Gaußverteilung) ist nur für metrische Skalen (Skalen, bei denen kontinuierliche Daten zu erwarten sind, z.B. bei physikalischen Größen) definiert, aber nicht für die hier verwandte Ordinalskala.
2. Der Wertebereich der verwendeten Skala ist begrenzt, es können nur Werte von 1 bis 9 auftreten.
3. Die Bewertungen entstammen im allgemeinen nicht der gleichen Grundgesamtheit. Insbesondere bei den Experimenten, bei denen persönliche Auffassungen, Vorurteile und Erfahrungen der Versuchspersonen die Bewertung beeinflussen (Experimente 1 bis 6 und 9), ist die Häufigkeitsverteilung der Bewertung w aus mehreren Häufigkeitsverteilungen zusammengesetzt, die aus verschiedenen Grundgesamtheiten herrühren.

³ Für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Behandlung der Bewertung bedanke ich mich bei Herrn Dr. SCHEPERS (Bundesanstalt für Straßenwesen)

Bei den Experimenten 7 und 8 werden die Leuchtdichte und der Leuchtdichtekontrast bewertet, also physikalische Größen. Hier ist anzunehmen, daß die unter 3. genannten Auffassungen und Erfahrungen keine Rolle spielen, da es sich um die Bewertung einer rein physiologisch wirkenden Größe handelt; die Bewertungsnoten sollten daher der gleichen Grundgesamtheit entstammen und die

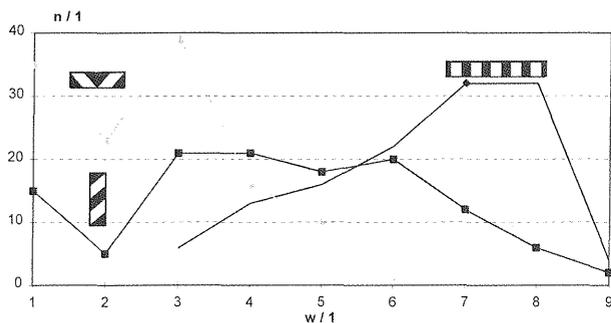


Bild 4.10: Häufigkeit n aller Bewertungsstufen w bei ausgewählten Leiteinrichtungen, Standardvariante. Alle Sichtbedingungen

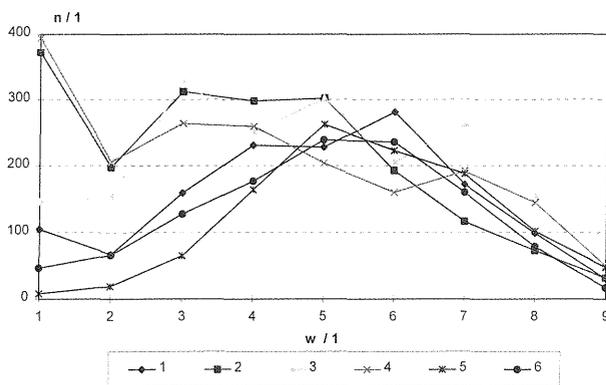


Bild 4.11: Häufigkeit n der Bewertungsstufen w aller Leiteinrichtungen bei den Fahr-situationen 1 bis 6. Alle Sichtbedingungen

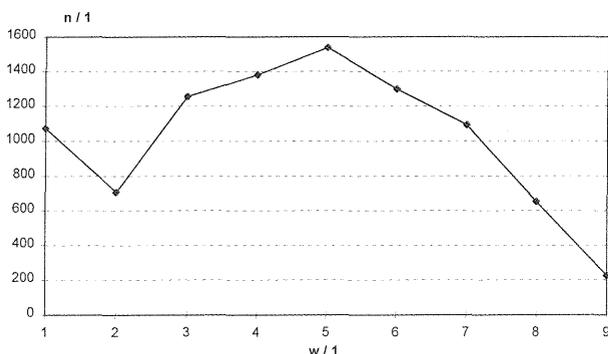


Bild 4.12: Häufigkeit n der Bewertungsstufen w aller Leiteinrichtungen bei der Summe der Fahr-situationen 1 bis 6. Alle Sichtbedingungen

Häufigkeitsverteilungen sich der Normalverteilung nähern. So konnte FRANK [17] auch zeigen, daß bei der Bewertung der Leuchtdichte von Verkehrszeichen mit der von 1 bis 9 reichenden Bewertungsskala sich tatsächlich angenäherte Normalverteilungen einstellen. Die Häufigkeitsverteilung sollte sich darüber hinaus der Normalverteilung nähern, wenn die Bedingung erfüllt ist, daß die Bewertungsnoten den Bewertungsgrenzen 1 und 9 nicht zu nahe kommen, also etwa im Bereich 3 bis 7 bleiben.

In Bild 4.10 sind drei typische Häufigkeitsverteilungen n_w für Leiteinrichtungen wiedergegeben, die in der entsprechenden Fahr-situation eine sehr schlechte (Pfeilbake quer, Fahr-situation „links oder rechts vorbei“), eine mittlere (Schraffenbake, Fahr-situation „links vorbei“) und gute (Absperrschranke, Fahr-situation „Querabsper-rung“) Bewertung erhielten. In allen drei Fällen kann von einer Normalverteilung nicht die Rede sein; es handelt sich z.T. um mehrgipflige Verteilungen, die den Schluß zulassen, daß die Bewertungsnoten aus verschiedenen Grundgesamtheiten stammen. Besonders deutlich wird dies bei den Verteilungen der Pfeilbake quer und der Schraffenbake: Hier gab es eine Gruppe von Versuchspersonen, die diese Leiteinrichtungen grundsätzlich ablehnten und deshalb die Note 1 gaben, während eine andere Gruppe mittlere Noten und bei der Schraffenbake eine dritte Gruppe höhere Noten vergab.

In Bild 4.11 sind die Häufigkeitsverteilungen n für alle in einem Experiment getesteten Leiteinrichtungen bei allen Sicht-situationen eingetragen, in Bild 4.12 die Häufigkeitsverteilung für alle 6 Experimente insgesamt. Die Mehrgipfligkeit und die starke Abweichung der Verteilungen von der Normalverteilung bleibt in jedem Experiment erhalten; die über alle Experimente gebildete Häufigkeitsverteilung zeigt zwar eine ausgeprägtere Regelmäßigkeit und eine bessere Symmetrie, aber noch einen einseitigen Gipfel bei $w = 1$. Diese Häufigkeitsverteilung kann so interpretiert werden, daß bei der Gesamtheit der präsentierten Leiteinrichtungen gut und schlecht bewertete Leiteinrichtungen sich im allgemeinen die Waage hielten, daß aber auch einige besonders schlechte Leiteinrichtungen unter den Testzeichen vertreten waren.

4.4.4.3 Gewichtete Mediane und gewichtete Quartilswerte

Der Median $w_{0,5}$ teilt die Grundgesamtheit oder Stichprobe in zwei gleiche Hälften. Der Median ist nur ein Spezialfall des allgemeinen α -Quantils mit $\alpha = 2$. Weitere Spezialfälle sind die Quartile ($w_{0,25}$; $w_{0,5}$; $w_{0,75}$), die eine Grundgesamtheit oder Stichprobe in vier gleich große Viertel teilen. Bei der in dieser Arbeit verwendeten psychophysischen Bewertungsmethode können Quantile nur die Zahlenwerte 1 bis 9 annehmen. Die Bewertungsstufen 1 bis 9 spielen hier die Rolle von Klassen, in die alle Bewertungen einzuordnen sind; die Klasse, in die der Median bzw. ein Quartilswert fällt, heißt Medianklasse bzw. Quartilsklasse.

Das Verfahren zur Ermittlung des gewichteten Medians und der gewichteten Quartile geht folgendermaßen vor sich: Zunächst ermittelt man den Median und die Quartile und berechnet danach die gewichteten Werte durch lineare Interpolation [s. ARMINGER u.a.[4], SACHS [49]]. Das gewichtete untere Quartil $\bar{w}_{0,25} / 1$, der gewichtete Median $\bar{w}_{0,5} / 1$ und das obere Quartil $\bar{w}_{0,75} / 1$ der Bewertung eines Testzeichens werden berechnet aus

$$\bar{w}_{0,25} = w_{0,25} - 1 + \frac{n/4 - \sum f(w_{0,25}-1)}{f_{\text{unteres Quartil}}} \quad (5)$$

$$\bar{w}_{0,5} = w_{0,5} - 1 + \frac{n/2 - \sum f(w_{0,5}-1)}{f_{\text{Median}}} \quad (6)$$

$$\bar{w}_{0,75} = w_{0,75} - 1 + \frac{3n/4 - \sum f(w_{0,75}-1)}{f_{\text{oberes Quartil}}} \quad (7)$$

Es ist

- n : die Gesamtzahl der Bewertungen
 $f_{\text{unteres Quartil}}$: die Anzahl von Bewertungen in der unteren Quartilsklasse
 f_{Median} : die Anzahl von Bewertungen in der Medianklasse
 $f_{\text{oberes Quartil}}$: die Anzahl von Bewertungen in der oberen Quartilsklasse
 $\sum f(w_{0,25}-1)$: die Summe der Bewertungen aller Klassen unterhalb der unteren Quartilsklasse
 $\sum f(w_{0,5}-1)$: die Summe der Bewertungen aller Klassen unterhalb der Medianklasse
 $\sum f(w_{0,75}-1)$: die Summe der Bewertungen aller Klassen unterhalb der oberen Quartilsklasse.

Mittels der gewichteten Mediane und Quartile können die Interquartilsabstände QA und der Grad der Unsymmetrie (die Schiefe) S der Verteilung der Bewertungen berechnet werden. Der Interquartilsabstand QA / 1 ist die Differenz der gewichteten oberen und unteren Quartile

$$QA = \bar{w}_{0,75} - \bar{w}_{0,25} \quad (8)$$

Der Grad der Unsymmetrie (die Schiefe) S / 1 wird berechnet aus

$$S = \frac{\bar{w}_{0,75} - \bar{w}_{0,5}}{\bar{w}_{0,5} - \bar{w}_{0,25}} \quad (9)$$

Die Größe des Interquartilsabstandes QA ist ein Maß für die Streuung der Beurteilung: Je kleiner QA ist, desto weniger weichen die Beurteilungen der verschiedenen Versuchspersonen voneinander ab, desto gleichmäßiger wird demnach eine Leiteinrichtung beurteilt. Die Verteilung ist symmetrisch, wenn die Schiefe S = 1 ist. Die Verteilung ist links- bzw. rechtsschief, wenn S > 1 bzw. < 1 ist. Je rechtsschiefer die Verteilung der Bewertungsnoten ist, um so kleiner ist der relative Anteil von Versuchspersonen, die eine Leiteinrichtung negativ beurteilen. In Bild 4.13 sind die verwendeten statistischen Größen beispielhaft dargestellt.

Die Bewertung einer Leiteinrichtung ist als um so positiver einzuschätzen, je

- größer die mittlere Bewertungsnote ist,
- kleiner der Interquartilsabstand ist,
- rechtsschiefer die Verteilung ist.

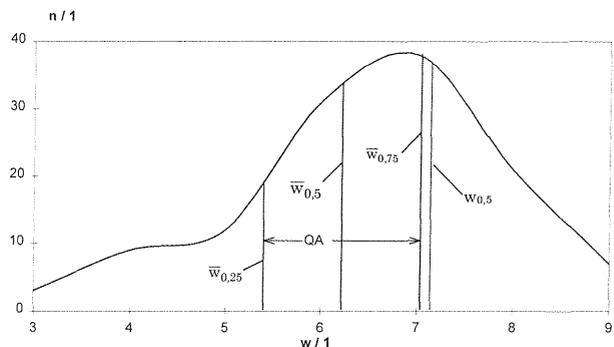


Bild 4.13: Häufigkeit n aller Bewertungsstufen w (aus Experiment 1) bei der Pfeilbake, Standardvariante, alle Sichtbedingungen, mit Darstellung der verwendeten statistischen Größen: Interquartilsabstand QA, gewichteter Median $\bar{w}_{0,5}$, gewichtetes unteres und oberes Quartil $\bar{w}_{0,25}$ bzw. $\bar{w}_{0,75}$.

4.5 Ergebnisse

In vielen Diagrammen dieses Abschnittes sind die Datenpunkte durch Kurvenzüge miteinander verbunden, obwohl dies mathematisch nicht exakt ist, weil die Daten auf der Abszisse keinen funktionalen Zusammenhang besitzen. Die Kurvenzüge wurden allein wegen der besseren Übersichtlichkeit eingezeichnet.

4.5.1 Unterschiede in der Bewertung durch Laien und Fachleute

Die Bewertung der Leiteinrichtungen der Fahrsituationen wurde für die in Abschnitt 4.3 beschriebenen Versuchspersonengruppen „Laien“ und „Fachleute“ vorgenommen. Dadurch sollte untersucht werden, ob es systematische Unterschiede in der Einschätzung der verschiedenen Verkehrszeichen durch „normale Autofahrer“ und die Personen gibt, die von Berufs wegen mit Verkehrszeichen zu tun haben. Bild 4.14 gibt die Bewertung für diese beiden Personengruppen bei der Fahrsituation „Querabspernung, links oder rechts“ abbiegen wieder, die als exemplarisch für die Bewertungsunterschiede bei allen Fahrsituationen angesehen werden können: Bei fast allen Leiteinrichtungen liegt die Bewertungsnote der Fachleute um eine halbe bis eine Bewertungsstufe höher als die der Laien. Ausnahmen bilden nur die Pfeilbake quer und die Raute tafelformig, bei denen Laien im Mittel höhere Bewertungsnoten abgeben. Der Grund für die Abweichung in der Bewertung liegt darin, daß einige Laien diese beiden Leiteinrichtungen für die Signalisierung dieser Fahrsituation als besonders geeignet hielten, im Gegensatz zur Mehrheit der Laien und allen Fachleuten, wodurch sich aber ein höherer Mittelwert ergab als bei den Fachleuten. Auch für alle anderen in den Experimenten 1 bis 5 getesteten einzelnen Leiteinrichtungen geben Fachleute höhere Bewertungsnoten. Bei Experiment 6 - Arbeitsstelle - gelten andere Verhältnisse (s. weiter unten in diesem Abschnitt).

Bild 4.14 läßt auch erkennen, daß der Bewertungsunterschied tendenziell um so größer wird, je besser die Bewertung generell wird. So beträgt der Bewertungsunterschied bei der bestbewerteten Leiteinrichtung - dem Doppelpfeil mit 55 % Rotanteil - ca. 1,3. Diese Aussage wird auch durch Bild 4.15 bestätigt. Hier sind die Mittelwerte der Beurteilungen durch Laien und Fachleute für alle Leiteinrichtungen je Experiment der Beurteilung der bestbewerteten Leiteinrichtung je Experiment

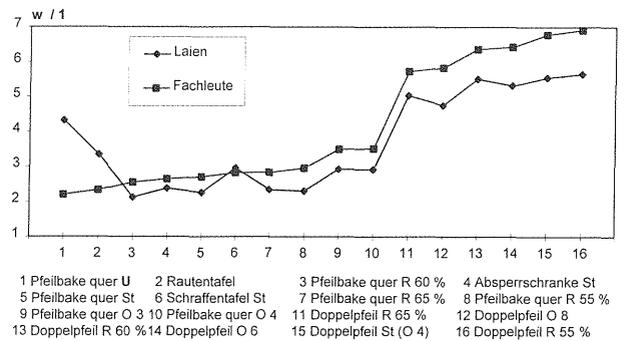


Bild 4.14: Unterschied der Bewertung w aller Leiteinrichtungen der Fahrsituation „Querabspernung/links und rechts abbiegen“ für Laien und Fachleute, Mittelwert alle Sichtbedingungen

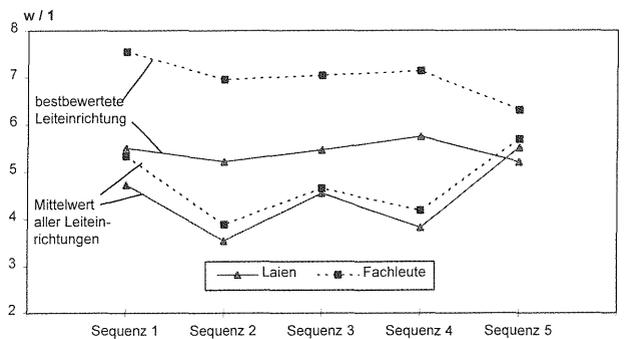
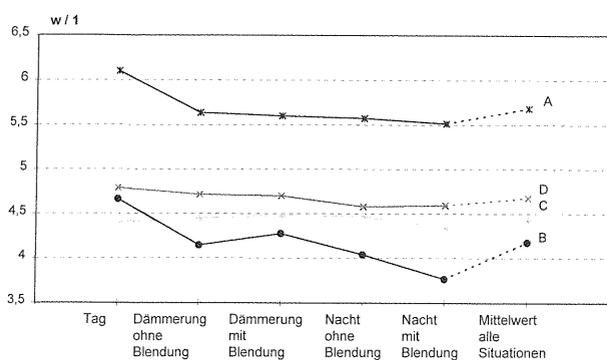


Bild 4.15: Unterschiedliche Bewertung w durch Laien und Fachleute der bestbewerteten Leiteinrichtung und des Mittelwertes aller Leiteinrichtungen je Experiment. Mittelwert alle Sichtbedingungen

gegenübergestellt. Während bei sich bei allen Leiteinrichtungen je Experiment nur Unterschiede in der Bewertung $\Delta w = 0,2$ bis $0,6$ ergeben, erreicht bei den bestbewerteten Leiteinrichtungen $\Delta w = 1,4$ bis $2,0$. Fachleute zeigen demnach die Tendenz, generell gut bewertete Leiteinrichtungen noch besser zu beurteilen als Laien.

Das Alter der Fachleute betrug 47 Jahre gegenüber 39 Jahren bei den Laien (s. Tabelle 4.12). Das aufgrund des unterschiedlichen Alters zu vermutende schlechtere Sehvermögen der Fachleute wirkt sich bei den Fahrsituationen, bei denen nur einzelne Leiteinrichtungen gezeigt werden (Experimente 1 bis 5) offensichtlich nicht auf die Bewertung aus, wie Bild 4.16 zeigt. Bei allen Sichtbedingungen vergeben die Fachleute höhere Bewertungsnoten. Bei der Arbeitsstelle ist dies grundlegend anders: Hier reicht bei vielen Versuchspersonen aus der Gruppe der Fachleute offensichtlich die Sehschärfe nicht mehr aus, um die Leiteinrichtungen erkennen zu können, es kommt zu deutlich geringeren Noten als bei den Laien. Zusätzlich ist bei der Gruppe der Fachleute auch eine höhere Blendempfindlichkeit



A: Arbeitsstelle, Laien C: alle Fahrsituationen außer Arbeitsstelle, Laien
 B: Arbeitsstelle, Fachleute D: alle Fahrsituationen außer Arbeitsstelle, Fachleute

Bild 4.16: Änderung der Bewertung w mit den Sichtbedingungen für die Probandengruppen Laien und Fachleute

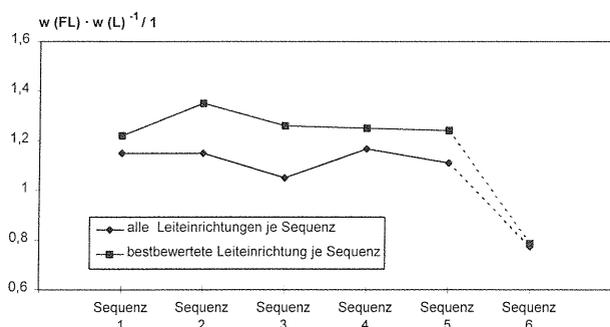


Bild 4.17: Verhältnis der Bewertung von Fachleuten w (FL) zur Bewertung von Laien w (L)

anzunehmen, da insbesondere bei Nacht mit Blendung die Bewertungsnoten stärker absinken als bei den Laien.

In Bild 4.17 ist das Verhältnis der Bewertung von Fachleuten zur Bewertung der Laien für alle Leiteinrichtungen und die bestbewertete Leiteinrichtung je Experiment dargestellt. Fachleute vergeben bei der Präsentation einzelner Leiteinrichtungen in den Experimenten 1 bis 5 im Mittel um ca. 10 bis 15 %, bei den bestbewerteten Leiteinrichtungen ca. 25 % höhere Noten als Laien. Bei der Arbeitstellensituation (Experiment 6) vergeben die Fachleute aus den oben genannten Gründen um ca. 20 % niedrigere Noten als Laien. Die hier genannten Prozentsätze für die unterschiedliche Bewertung durch Fachleute und Laien gelten auch für alle einzelnen Leiteinrichtungen, mit Ausnahme der querliegenden, um 180° gedrehten Pfeilbake und der Rautentafel. Damit kann gesagt werden, daß Fachleute und Laien, abgesehen von diesen beiden Ausnahmen, gleichartige Bewertungen abgeben. Bei allgemein gut bewerteten Leiteinrichtungen haben Fachleute die Tendenz, noch bessere

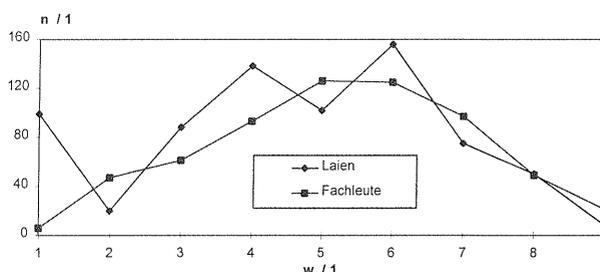


Bild 4.18: Unterschied der Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsnoten w von Laien und Fachleuten, Experiment 1, alle Sichtbedingungen

Bewertungsnoten zu vergeben als Laien. Sie verstärken damit nur einen ohnehin vorhandenen Trend.

Anders ausgedrückt: Laien sind bei von Fachleuten für gut empfundenen Leiteinrichtungen kritischer als diese. Will man die absolute Qualität einer Leiteinrichtung ermitteln, für die hier eine gute Beurteilung mittels der psychophysischen Bewertungsmethode stehen soll, ist es daher unbedingt notwendig, nur Laien als Testpersonen einzusetzen. Will man aber vor allem Unterschiede in der Bewertung herausfinden, kommen sowohl Laien als auch Fachleute als Versuchspersonen infrage. In vorliegender Untersuchung geht vor allem um die zweite Fragestellung, deshalb konnten alle folgenden Auswertungen nur für eine Versuchspersonengruppe, bestehend aus allen Laien und Fachleuten, durchgeführt werden.

Daß Laien eine kritischere Haltung zu den gezeigten Leiteinrichtungen haben, geht auch aus Bild 4.18 hervor. Hier sind die Häufigkeitsverteilungen der Bewertungsnoten von Laien und Fachleuten für Experiment 1 „links vorbei“ dargestellt. Bei den Laien ergibt sich eine mehrgipflige Verteilung mit einem hohen Anteil an Bewertungsnoten $w = 1$ (ca. 13 % aller Bewertungen). Das bedeutet, daß ein gewisser Prozentsatz von Laien die dargebotenen Leiteinrichtungen für völlig ungeeignet hält, während dies bei den Fachleuten nur bei etwa 1 % aller Bewertungen der Fall ist.

4.5.2 Bewertung der Leiteinrichtungen für die verschiedenen Fahrsituationen

In den Diagrammen dieses Abschnittes sind die untersuchten Leiteinrichtungen in die Diagrammfläche eingezeichnet. Die jeweilige Variante der Leiteinrichtung ist auf der Abszisse dargestellt; etwa in der Mitte die Standardversion, von dort nach links die Varianten mit erhöhter relativer Ortsfrequenz

und nach rechts die Varianten mit erhöhtem Rotanteil. Auf der Ordinate ist die mittlere Bewertung w dargestellt.

4.5.2.1 Links vorbei

Untersuchte Leiteinrichtungen

Schraffen- und Pfeilbake in jeweils 6 Varianten (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.1 und A 3.2).

Ergebnisse Richtungsweisung

Die Pfeilbake wird in ihrer Funktion zur Verdeutlichung einer Linksweisung durchgehend besser als die Schraffenbake beurteilt (Bild 4.19): Die Standardversion (Rotanteil = 50 %, relative Ortsfrequenz $O = 2$) der Pfeilbake erreicht eine Bewertung von 6,4, die Standardversion der Schraffenbake nur 4,3. Im Mittel liegt die Bewertung bei 5,9 bzw. 3,9. Die Verwendung höherer relativer Ortsfrequenzen bringt eine geringe Verschlechterung der Beurteilung bei beiden Bakenformen mit sich. Auch höhere Rotanteile führen insgesamt eher zu einer Verschlechterung der Bewertung. Die Standardversion ist bei beiden Bakenformen als die beste Variante anzusehen. Die Pfeilbake wird bei allen getesteten Varianten gleichmäßig besser beurteilt als die Schraffenbake.

Bei der Erläuterung der Testzeichengestaltung (Abschnitt 4.2.2.1) wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Versuchspersonen tendenziell dazu neigen, unter sonst gleichen Bedingungen einer Leiteinrichtung mit unbekannter Richtungsweisung eher eine Links- als eine Rechtsweisung zu attestieren. Es ist daher anzumerken, daß, wenn in diesem Experiment anstelle der linksweisenden Baken solche mit Rechtsweisung verwendet worden wären, die Pfeilbaken wegen ihrer selbsterklärenden Richtungsweisung vermutlich genauso beurteilt worden wären, die Schraffenbaken aber noch schlechter. Der Bewertungsabstand wäre bei rechtsweisenden Baken noch größer als bei den hier verwendeten linksweisenden Baken, so daß man feststellen muß, daß die Schraffenbake insgesamt noch schlechter abschneiden würde als in dem hier beschriebenen Experiment.

Die in Bild 4.20 dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Bewertungsnoten lassen erkennen, daß die Pfeilbake deutlich homogener beurteilt wird als die Schraffenbake (der Interquartilsabstand beträgt für die Pfeilbake $QA = 1,71$ und für die Schraffenbake $= 3,03$). Die Verteilung ist bei der Pfeilbake auch rechtsschief (S = 1,05 gegenüber = 0,85),

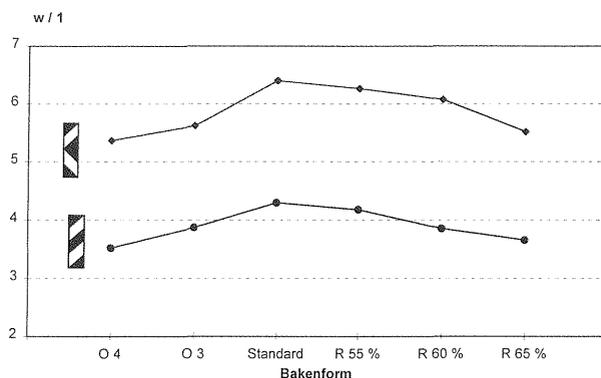


Bild 4.19: Mittelwert der Bewertung w der Bakenform bei der Fahrsituation „links vorbei“, alle Sichtbedingungen

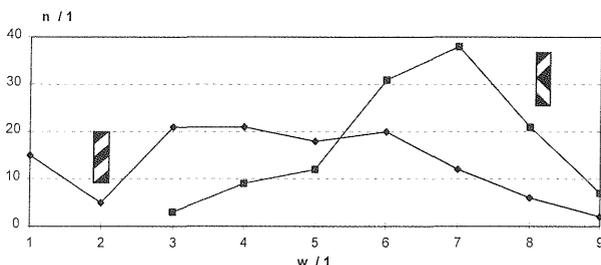


Bild 4.20: Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsstufen w , Mittelwert alle Sichtbedingungen, bei der Schraffen- und Pfeilbake (Experiment 1)

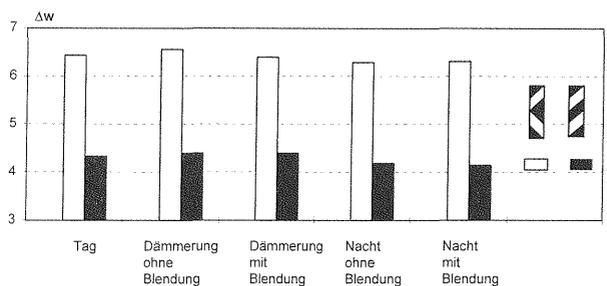
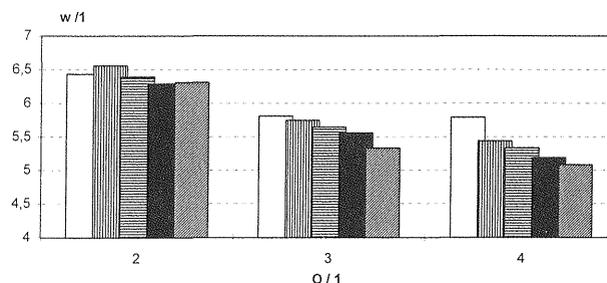


Bild 4.21: Mittelwert der Bewertung w der Pfeil- und Schraffenbake (Standardversion) für die verschiedenen Sichtbedingungen



Je Säulengruppe (relative Ortsfrequenz $O = 2$ bis $O = 4$) von links: Tag; Dämmerung ohne Blendung; Dämmerung mit Blendung; Nacht ohne Blendung; Nacht mit Blendung

Bild 4.22: Änderung der Bewertung w mit den Sichtbedingungen und der relativen Ortsfrequenz O bei der Pfeilbake

der relative Anteil von Versuchspersonen, die die Pfeilbake negativ beurteilen, ist kleiner als bei der Schraffentafel. Auch aus diesen statistischen Daten läßt sich eine bessere Beurteilung der Pfeilbake ablesen.

Ergebnisse Sichtbedingungen

Die Überlegenheit der Pfeilbake zeigt sich auch bei der Bewertung in Abhängigkeit von den Sichtbedingungen (Bild 4.21) für die Standardversion beider Bakenarten. Die Bewertungsdifferenz zwischen Pfeil- und Schraffentafel beträgt bei allen Sichtbedingungen $\Delta w = 2,0$ bis $2,4$. Bei der Standardversion beider Baken zeigt sich nur eine geringe Abnahme der Bewertung mit schlechter werdenden Sichtbedingungen. Dieses Ergebnis wird für die Pfeilbake auch durch Bild 4.22 bestätigt. Bei der Standardversion dieser Bake, also bei einer relativen Ortsfrequenz $O = 2$, geht die Bewertung beim Übergang vom Tageslicht bei Nacht mit Blendung nur um $\Delta w = 0,15$ zurück; bei $O = 3$ bzw. 4 beträgt diese Abnahme $\Delta w = 0,5$ bzw. $0,7$. Insgesamt nimmt die Bewertung mit schlechter werdenden Sichtbedingungen ab, und zwar um so stärker, je höher die relative Ortsfrequenz ist.

4.5.2.2 Links oder rechts vorbei

Untersuchte Leiteinrichtungen: Zunächst 5 Leiteinrichtungen mit insgesamt 17 Varianten (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.3 bis A 3.6 und A 3.9). Dann in einem Zusatzexperiment 6 Leiteinrichtungen, jeweils nur Standardvariante (s. Anhang 3, Bilder A 3.5, A 3.6 bis A 3.9 und A 3.12 bis A 3.14 oder Legende zu Bild 4.25).

Ergebnisse Richtungsweisung

Mit Abstand am besten schnitt der Doppelpfeil ab, der eine mittlere Bewertung bei allen Sichtverhältnissen von $5,7$ erhielt (Bild 4.23). Die Bewertungsnoten aller anderen Leiteinrichtungen überschreiten kaum den Wert 4 . So erreichen die Schraffentafel und Rautentafel nur Bewertungen von $4,1$ bzw. $3,7$. Bei den querliegenden Pfeilbaken ist bemerkenswert, daß die Variante „U“ mit $3,3$ eine relativ bessere Bewertung erhielt als die Standardvariante mit $2,3$. Allerdings schnitt bei der Schraffentafel die Variante „U“ mit $3,9$ schlechter ab als die Standardvariante mit $4,2$. Die Umkehrung der Neigung der Schraffen bringt demnach keine Verbesserung der Qualität dieser Leiteinrichtung. Auch bei dieser Fahrsituation wird die Bewertung durch die Erhöhung des Rotanteils oder der relativen Ortsfre-

quenz eher verschlechtert. Die Schraffentafel ist nach diesen Ergebnissen zur Kennzeichnung einer Links/Rechts-Weisung nicht sehr geeignet. Der Grund ist darin zu suchen, daß diese Leiteinrichtung einen Pfeil zeigt, der aber in die falsche Richtung - in die Höhe - zeigt und nicht nach links und rechts. Siehe hierzu auch die Ergebnisse der Ermittlung der Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle (Abschnitt 4.6.1).

Die einzige Leiteinrichtung, die nach den Ergebnissen dieses Experimentes zur Signalisierung eines Links-/Rechts-Vorbeifahrgebotes geeignet scheint, ist der Doppelpfeil. Dieses Ergebnis ist auf den ersten Blick schlüssig - wenn man eine Links-/Rechts-Weisung signalisieren will, geht das am besten mit einer Leiteinrichtung, die auch tatsächlich eine große horizontale Ausdehnung besitzt und nicht in die Vertikale geht wie die Schraffen- oder Rautentafel. Die in Bild 4.24 dargestellten Häufigkeitsverteilungen und die statistischen Daten (Tabelle 4.14) für drei der in dieser Fahrsituation getesteten Leiteinrichtungen zeigen jedoch, daß das Ergebnis auch für den Doppelpfeil nicht so gut ist, wie nach der mittleren Bewertung $w = 5,7$ eigentlich anzunehmen wäre. Diese relativ hohe Bewertung findet sich zwar in der ausgeprägten Rechts-schiefe der Häufigkeitsverteilung wieder ($S = 1,45$), aber der Interquartilsabstand $QA = 2,31$ wie auch

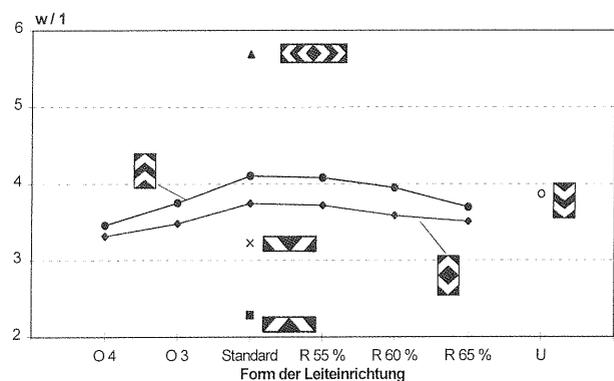


Bild 4.23: Mittelwert der Bewertung w der Leiteinrichtungen bei der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“, alle Sichtbedingungen

Leiteinrichtung	Interquartilsabstand $QA / 1$	Schiefe $S / 1$
Schraffentafel	3,51	0,68
Rautentafel	2,67	0,48
Doppelpfeil	2,31	1,45

Tab. 4.14: Statistische Daten ausgewählter Leiteinrichtungen in Experiment 2 (s. auch Bild 4.24)

die Häufigkeitsverteilung für den Doppelpfeil in Bild 4.24 lassen den Schluß zu, daß ein relativ hoher Prozentsatz der Versuchspersonen auch den Doppelpfeil nicht als geeignete Leiteinrichtung zur Signalisierung des Gebotes „links oder rechts vorbei“ akzeptiert.

Die auf den zweiten Blick doch nicht so gute Bewertung des Doppelpfeils ergibt sich aus folgenden Gründen:

1. Der Doppelpfeil ist auch diejenige Leiteinrichtung, die bei in der Fahrsituation „Querabspernung und links oder rechts abbiegen“ mit Abstand die beste Bewertung erhielt (s. Abschnitt 4.5.2.4). Nach diesen Ergebnissen müßte der Doppelpfeil sowohl bei der Kennzeichnung des Gebotes „links oder rechts vorbei“ als auch des Gebotes „Querabspernung und links oder rechts abbiegen“ empfohlen werden. Beide Fahrsituationen unterscheiden sich jedoch voneinander verkehrsrechtlich und hinsichtlich der zu absolvierenden Fahraufgabe. Die Verwendung des Doppelpfeiles für beide Situationen würde daher eine Verletzung des Prinzips der Unifunktionalität darstellen. Es sei aber an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß der Doppelpfeil in anderen Ländern durchaus für die Kennzeichnung von Trenninselspitzen verwendet wird (Frankreich, Großbritannien, Spanien; s. Anhang 1).
2. Bei Trenninselspitzen oder in ähnlichen anderen Situationen ist oft sehr wenig Platz vorhanden, um eine solch breite Leiteinrichtung wie den Doppelpfeil aufstellen zu können. Hier ist es wünschenswert, eine Leiteinrichtung zu haben, die eher vertikal ausgedehnt ist, aber etwa die gleiche visuelle Wirksamkeit besitzt wie der Doppelpfeil.

Aus diesen beiden Gründen ist es problematisch, dem Ergebnis dieses Experimentes zu folgen und den Doppelpfeil zur Signalisierung des Gebotes „links oder rechts vorbei“ zu empfehlen. Deshalb wurde nach Abschluß der Bewertung aller Fahrsituationen ein Zusatzversuch zu Experiment 2 mit einigen anderen Leiteinrichtungen durchgeführt. 15 der in Tabelle 4.12 aufgeführten Versuchspersonen wurden gebeten, unter gleichen Versuchsbedingungen drei neue Leiteinrichtungen und drei Leiteinrichtungen aus Experiment 2 nochmals zu bewerten. Bei den neuen Leiteinrichtungen (s. Anhang 3, Bilder A 3.12 bis A 3.14) wurde versucht, pfeilförmige Elemente auf Leiteinrichtungen anzubringen, die eine größere vertikale als horizontale

Ausdehnung besitzen. Es handelte sich einmal um zwei Pfeilbaken, die nach links bzw. rechts weisen und einen Abstand voneinander haben, der so groß ist wie die Streifenbreite der Pfeilbake (Bezeichnung: Doppelte Pfeilbake). Die zweite Leiteinrichtung ist eine modifizierte Rautentafel, bei der aus der Raute durch das Anbringen eines senkrechten weißen Striches zwei Pfeile entstehen. Die dritte Leiteinrichtung entstand durch Vertauschung der Farben Rot und Weiß der Rautentafel.

Die Ergebnisse dieser Bewertung sind in Bild 4.25 zusammen mit den Ergebnissen der ersten Bewertung wiedergegeben. Wie zu erwarten, fällt die Bewertung der drei zweimal getesteten Leiteinrichtungen ähnlich aus: Bei der zweiten Bewertung liegen die Noten geringfügig, aber systematisch unter den Noten der ersten Bewertung, was an der Auswahl der Versuchspersonen liegen mag. Die beste der neu hinzugekommenen Leiteinrichtungen ist die doppelte Pfeilbake, die mit einer Bewertung von 5,7 dem Doppelpfeil (Bewertung 6,0 bzw. 5,7) sehr

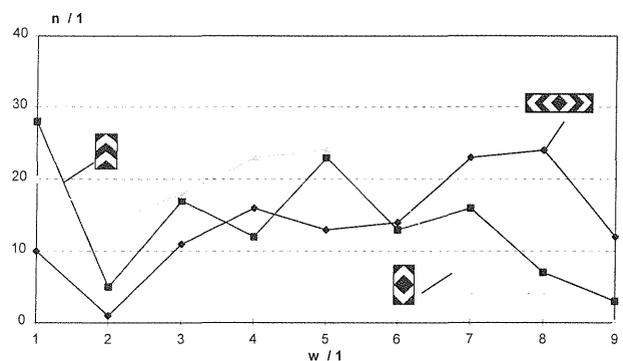


Bild 4.24: Häufigkeitsverteilung n aller Bewertungsstufen w bei ausgewählten Leiteinrichtungen in Experiment 2, alle Sichtbedingungen

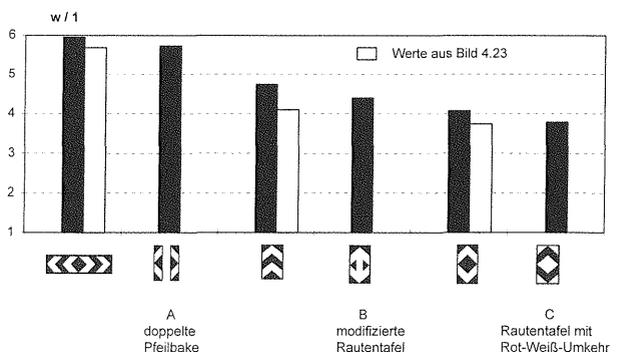


Bild 4.25: Mittelwert der Bewertung w von drei Leiteinrichtungen A, B und C bei der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“ im Vergleich zu drei Leiteinrichtungen, die bereits in Experiment 2 getestet worden waren (s. Bild 4.23), jeweils Standardversion, alle Sichtbedingungen

nahe kommt. Auch der Interquartilsabstand $QA = 1,75$ der doppelten Pfeilbake belegt eine verbesserte Beurteilung, verglichen mit dem des Doppelpfeils ($QA = 2,31$ nach Tabelle 4.14). Die modifizierte Rautentafel und die Rautentafel mit Rot-Weiß-Umkehr bringen jedoch keine verbesserte Bewertung gegenüber den Schraffen- oder Rautentafeln.

4.5.2.3 Querabspernung

Untersuchte Leiteinrichtungen

6 Leiteinrichtungen mit 16 Varianten (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.3, A 3.4, A 3.7 bis A 3.9).

Ergebnisse Absperrwirkung

Der „Zaun“ in der Standardversion, das ist Zeichen 600-33 der StVO „Absperrschranke“, erreichte mit der Note 5,8 die beste Bewertung, nur geringfügig übertroffen von der Variante mit der relativen Ortsfrequenz 2,4 mit der Note 5,9 (Bild 4.26). Der „Karozaun“ liegt um mehr als eine Bewertungsstufe unter der des Zaunes; die manchmal in der Praxis zur Kennzeichnung von Querabspernungen verwendete Schraffenbake quer mit Noten von 4,5 - 4,9 und der Doppelpfeil mit einer Note von 4,1 kommen ebenfalls nicht an die Bewertung des

Zaunes heran. Die querliegenden Pfeilbaken werden mit Noten von 2,6 für die Querabspernung als völlig ungeeignet angesehen.

Absperrschranken (Zäune) mit anderen relativen Ortsfrequenzen wurden im Mittel auch nicht besser bewertet als die Standardversion, während eine Erhöhung des Rotanteils mit einem Abfall von 5,7 auf 5,2 eine deutliche, kontinuierliche Verschlechterung der Bewertung ergab.

In Bild 4.27 sind die Häufigkeitsverteilungen der Bewertungsnoten für die am besten bzw. am schlechtesten bewerteten Leiteinrichtungen (Zaun bzw. Pfeilbake quer) dargestellt. Beide Verteilungen zeigen trotz der extrem unterschiedlichen mittleren Bewertungsnoten eine relativ hohe Streuung ($QA = 2,03$ bzw. $2,38$) und jeweils eine Linksschiefe ($S = 0,67$ bzw. $0,70$). Daraus muß man schließen, daß auch der Zaun von einem Teil der Versuchspersonen nur mäßig beurteilt wird. Wie allerdings aus Bild 4.27 abzulesen ist, gibt es keine totale Ablehnung des Zaunes (keine Noten $w = 0$ oder 1), so daß insgesamt der Zaun in der Standardform als geeignete Leiteinrichtung für die Querabspernung anzusehen ist.

4.5.2.4 Querabspernung und links oder rechts abbiegen

Untersuchte Leiteinrichtungen

5 Leiteinrichtungen mit insgesamt 16 Varianten (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.4 bis A 3.7 und A 3.9).

Ergebnis Absperrwirkung/Richtungsweisung

Die einzige Leiteinrichtung mit einem guten Ergebnis, das von den Bewertungsstufen 5,2 bis 6,2 reicht, erzielte der Doppelpfeil (Bild 4.28). Die Pfeilbake quer erreichte in allen Varianten nur Bewertungen zwischen 2,3 und 3,1; auch die Variante „U“, kam nur auf eine Bewertung von 3,3. Der Zaun (Absperrschranke) sowie die Schraffen- und die Rautentafel werden von den Versuchspersonen mit Bewertungsstufen von ca. 3 für diese Funktion gleichfalls als ungeeignet angesehen.

Die Häufigkeitsverteilungen (Bild 4.29) für die am besten (Doppelpfeil) und am schlechtesten bewertete Leiteinrichtung (Zaun) zeigen, daß der Doppelpfeil von fast allen Versuchspersonen hohe Bewertungsnoten erhält, während der Zaun von fast allen Versuchspersonen schlecht bewertet wird. Die gleichmäßig gute Bewertung des Doppelpfeils

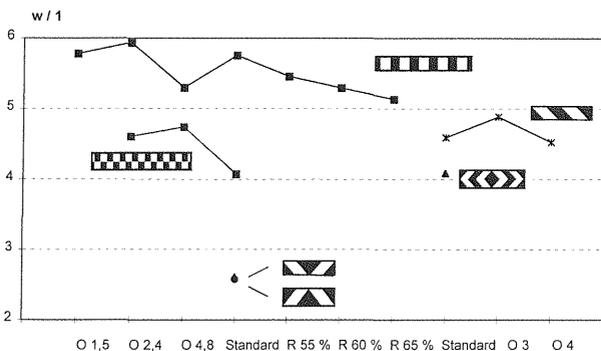


Bild 4.26: Mittelwert der Bewertung w der Leiteinrichtungen bei der Fahrsituation „Querabspernung“, alle Sichtbedingungen

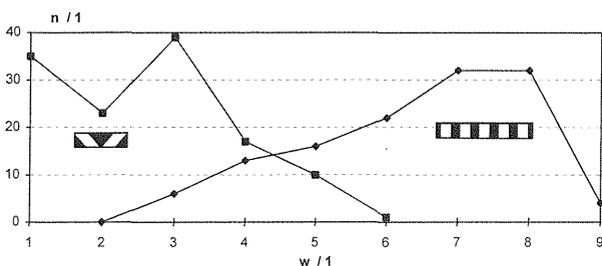


Bild 4.27: Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsstufen w bei ausgewählten Leiteinrichtungen des Experimentes 3, Mittelwert alle Sichtbedingungen

spiegelt sich auch im Interquartilsabstand $QA = 1,75$ wieder. In der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“ (s. Abschnitt 4.5.2.2) ergab sich ein $QA = 2,31$ für den Doppelpfeil; auch daraus läßt sich ablesen, daß der Doppelpfeil besser zur Kennzeichnung der Fahrsituation „links und rechts abbiegen“ als zur Signalisierung der Situation „links oder rechts vorbei“ geeignet ist.

Ergebnis Sichtbedingungen und relative Ortsfrequenz

Die Erhöhung der relativen Ortsfrequenz oder des Rotanteils, in dieser Fahrsituation bei Doppelpfeil und Pfeilbake quer getestet, bringt eher eine Verschlechterung der Bewertung mit sich (Bild 4.28). Bild 4.30 zeigt für den Doppelpfeil, daß die Bewertungsnoten sowohl mit zunehmender relativer Ortsfrequenz als auch schlechter werdenden Sichtbedingungen abnehmen. Allerdings steigt die Bewertung für alle drei relativen Ortsfrequenzen beim Übergang von Nacht ohne Blendung zu Nacht mit Blendung wieder an; weniger stark bei den relativen Ortsfrequenzen $O = 4$ und 6 , aber sehr ausgeprägt bei $O = 8$. Diese Anomalie zeigte sich etwa gleichmäßig bei allen Versuchspersonen; Gründe hierfür konnten nicht gefunden werden.

4.5.2.5 Fahrstreifensperrung

Untersuchte Leiteinrichtungen

4 Varianten des Karo- und 5 Varianten des Schraffenrahmens der Absperrtafel (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.10 und A 3.11).

Ergebnisse Absperrwirkung

Bei der Standardversion zeigt sich der Schraffenrahmen mit einer Bewertungsnote $w = 6,0$ dem Karorahmen mit $w = 5,7$ leicht überlegen (Bild 4.31); bezogen auf alle getesteten Varianten werden beide Arten des Rahmens in etwa gleich bewertet. Die Erhöhung des Rotanteils erbringt eine Verschlechterung der Bewertung, während die Verringerung der relativen Ortsfrequenz von $O = 4$ auf 2 beim Schraffenrahmen keine Veränderung der Bewertung nach sich zieht.

4.5.2.6 Arbeitsstelle

Untersuchte Leiteinrichtungen

In den simulierten Arbeitsstellensituationen wurden die Standardversionen der Schraffen- und Pfeilbake getestet (s. Anhang 3, Tabelle A 3.1 und Bilder A 3.15 bis A 3.24). Bei den Situationen handelt

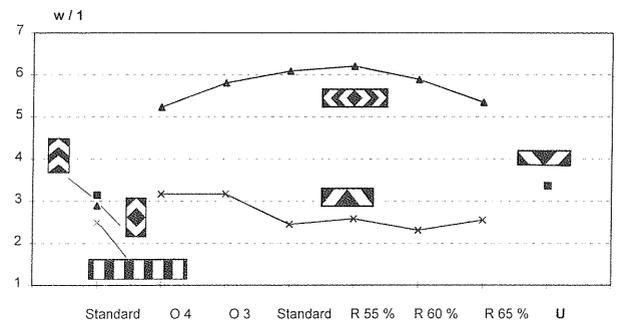


Bild 4.28: Mittelwert der Bewertung w verschiedener Leiteinrichtungen bei der Fahrsituation „Querabspernung und links oder rechts abbiegen“, alle Sichtbedingungen

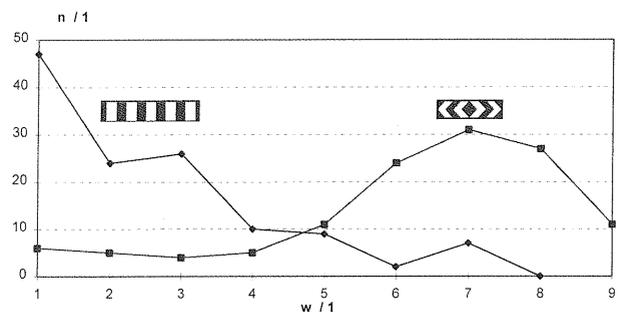


Bild 4.29: Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsstufen w bei ausgewählten Leiteinrichtungen des Experimentes 4, Mittelwert alle Sichtbedingungen

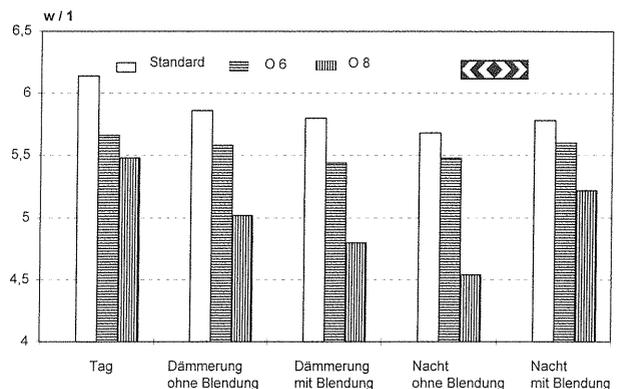


Bild 4.30: Abhängigkeit der Bewertung w des Doppelpfeils bei der Fahrsituation „Querabspernung und links oder rechts abbiegen“ von den Sichtbedingungen und der relativen Ortsfrequenz

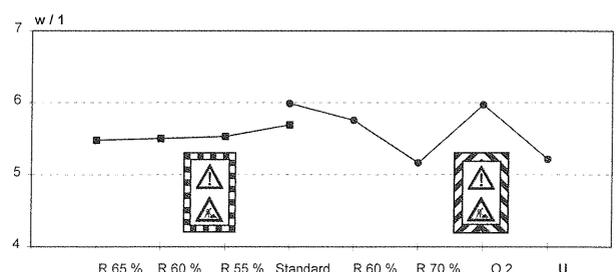
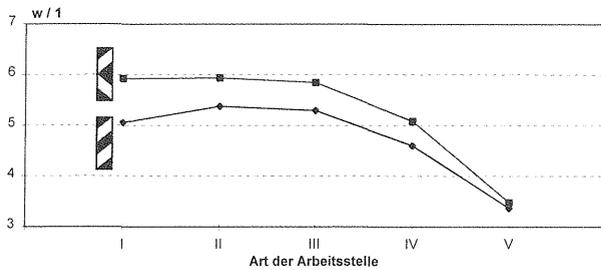


Bild 4.31: Mittelwert der Bewertung w des Rahmens der Absperrtafel bei der Fahrsituation „Fahrstreifensperrung“, alle Sichtbedingungen



- I: Verschwenkung zweier Fahrstreifen nach links
 II: 3 + 1-Führung, vom rechten Fahrstreifen gesehen
 III: 3 + 1-Führung, vom rechten Fahrstreifen gesehen und Verwendung kleiner Sichtzeichen anstelle der linken Bakenreihe
 IV: 3 + 1-Führung, vom linken Fahrstreifen gesehen
 V: 3 + 1-Führung, vom linken Fahrstreifen gesehen und Verwendung kleiner Sichtzeichen anstelle der linken Bakenreihe

Bild 4.32: Bewertung w der Pfeil- und Schraffenbake in der Fahrsituation „Arbeitsstelle“, Mittelwert alle Sichtbedingungen

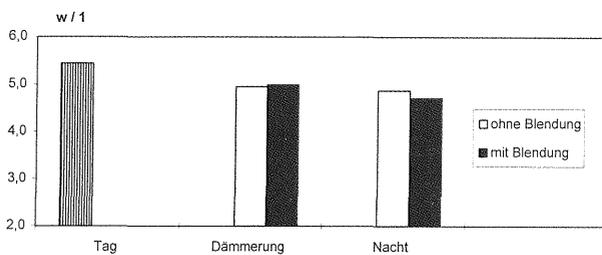


Bild 4.33: Bewertung w der Richtungsweisung der Pfeil- und Schraffenbake in Abhängigkeit von den Sichtbedingungen, Mittelwert aller 10 untersuchten Arbeitsstellensituationeng

es sich einmal um eine einfache Verschwenkung zweier Fahrstreifen nach links („2 + 1“-Verkehrsführung nach RSA [V 9]) sowie um eine 3 + 1-Verkehrsführung nach RSA, gesehen vom linken bzw. rechten Fahrstreifen. In einer weiteren Variante wurde bei der 3 + 1-Führung die linke Bakenreihe gemäß einem Vorschlag von AULBACH [6] durch gelbe Sichtzeichen ersetzt. Insgesamt wurden die beiden Bakenarten in 10 verschiedenen Arbeitsstellensituationen getestet.

Ergebnisse Richtungsweisung

Der Pfeilbake wird von den Versuchspersonen eine bessere Richtungswirkung und damit Leitwirkung zugebilligt als der Schraffenbake (Bild 4.32). Allerdings ist der Bewertungsabstand beider Bakenarten kleiner als bei der einfachen Funktion „links vorbei“ (vgl. Abschnitt 4.5.2.1): Betrag dort der Unterschied in der Bewertung ca. 2,0, beträgt er bei der Verschwenkung noch 0,9, um bei der 3 + 1-Führung mit Sichtzeichen, von links gesehen, auf 0,1 abzusinken. Die beste Beurteilung erhalten beide Bakenarten bei der 3 + 1-Führung, von rechts gesehen (Bewertung 5,4 bis 5,9) und die schlechtesten bei der 3 + 1-Führung, von links gesehen (Bewertung 3,4 bis 3,5).

AULBACH [6] fand bei Fahrversuchen einen positiven Einfluß auf das Fahrverhalten und damit auf die Sicherheit von Arbeitsstellen, wenn die linke Bakenreihe bei einer 3 + 1-Führung durch kleine Sichtzeichen ersetzt wird. Die Resultate der vorliegenden Untersuchung stehen im Widerspruch zu diesen Ergebnissen. Während bei der 3 + 1-Führung von rechts gesehen kein Unterschied in der Bewertung erkennbar ist, bewerten die Versuchspersonen die 3 + 1-Führung bei beiden Bakenarten um ca. 1,5 Bewertungsstufen schlechter, wenn die Baken durch kleine Sichtzeichen ersetzt werden. Die Versuchspersonen gaben dafür Begründungen an: Einige Versuchspersonen fühlen sich durch eine Bakenreihe vor dem entgegenkommenden Verkehr geschützt, andere wiesen darauf hin, daß die 1,25 m hohen Baken Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge verhindern. Diese Gründe haben mit der eigentlich erfragten Leitwirkung der Baken oder Sichtzeichen nichts zu tun; auch verhindert eine Bakenreihe die Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge nicht, sondern es entsteht dadurch sogar intermittierende Blendung. Gleichwohl müssen diese genannten Gründe als real und nicht vernachlässigbar angesehen werden.

Ergebnisse Sichtbedingungen

Die Bewertung nimmt mit schlechter werdenden Sichtbedingungen für alle Arbeitsstellenvarianten kontinuierlich, wenn auch nur geringfügig ab (Bild 4.33). Die Abnahme fällt bei allen Varianten etwa gleich aus. Die Blendung beeinflusst die Bewertung der verschiedenen Situationen so gut wie gar nicht.

4.5.2.7 Zusammenfassung der Bewertungsergebnisse in den Fahrsituationen

Die Funktionen, die die Leiteinrichtungen in den sechs untersuchten Fahrsituationen zu erfüllen haben, lassen sich grob in die Gruppen „Richtungsweisung“ und „Absperrung“ einteilen. Die Funktion der Richtungsweisung kann von den Leiteinrichtungen nur dann sicher erfüllt werden, wenn

1. die Richtungsweisung durch Pfeilmuster realisiert wird und
2. die Pfeile in die vorgegebene Richtung zeigen.

Zur Richtungsweisung sind nur Pfeilbaken, Kombinationen von Pfeilbaken, Schranken mit nach außen weisenden Pfeilen (Doppelpfeil), aber auch die in dieser Untersuchung nicht getesteten Richtungstafeln der StVO geeignet. Nicht geeignet zur

Richtungsweisung sind alle Arten von Schrägschraffen und auch nicht die Schraffentafel, weil der hier vorhandene Pfeil in die falsche Richtung zeigt - nach oben anstatt nach links und rechts.

Die Funktion der Absperrung wird am besten von Leiteinrichtungen erfüllt, die aus Streifenmustern - „Zäunen“ - zusammengesetzt sind. Schräge Schraffen und Pfeilmuster sind hierfür weniger oder gar nicht geeignet.

Die Veränderung des Rotanteils und der relativen Ortsfrequenz sowie die bei Tageslicht, Dämmerung und Nacht anzutreffenden Leuchtdichteniveaus unter Einschluß von physiologischer Blendung beeinflussen die psychophysische Bewertung der Leiteinrichtungen nur unwesentlich.

Daß ein Pfeil besonders gut mit einer Richtungsweisung und ein Zaun mit einer Absperrung assoziiert werden, hängt mit der Entwicklungsgeschichte des Menschen zusammen. Diese Sinnbilder haben archetypischen Charakter, das heißt, sie sind als urtümliche Bilder im Unbewußten des Menschen angelegt, in denen sich das älteste Erleben der Menschheit niederschlägt: Pfeile, mit Bogen verschossen, Pfeilspitzen von Speeren und spitz zulaufende Feuersteinmesser waren die ersten Instrumente der Menschen, mit denen sie auf Jagd gingen oder sich ihrer Feinde erwehrt. Mit einer Reihe nebeneinander in die Erde gesteckter Holzstäbe wurde die Behausung umgeben, wieder um sich vor Feinden zu schützen oder um Nahrungskonkurrenten (Tiere) abzuwehren. Pfeil und Zaun haben seit der Frühzeit der Menschheitsgeschichte existentielle Bedeutung für uns Menschen; diese Bedeutung lebt in uns fort bis auf den heutigen Tag und veranlaßt uns, selbst bei dem (angeblich) hochtechnisierten Prozeß des Autofahrens die Qualität von Leiteinrichtungen dann als positiv zu beurteilen, wenn sie diese urtümlichen Bilder zeigen.

4.5.3 Optimaler Rotanteil und optimale relative Ortsfrequenz

Wie in Abschnitt 4.2.1 erläutert, wurde die Abhängigkeit der Wirksamkeit der Leiteinrichtungen von Rotanteil und relativer Ortsfrequenz bei der Fahrsituation getestet, bei der eine positive Bewertung der jeweiligen Leiteinrichtung erwartet wurde. In den Bildern 4.34 und 4.35 ist die Abhängigkeit der Bewertung von Rotanteil bzw. relativer Ortsfrequenz zusammengestellt.

Aus Bild 4.34 ist die Tendenz erkennbar, daß die Bewertung mit zunehmenden Rotanteil abnimmt (Ausnahme: Pfeilbake quer), wie auch bereits bei Erläuterung der Ergebnisse in den einzelnen Fahrsituationen (Abschnitt 4.5.2) beschrieben. Bei der relativen Ortsfrequenz ist die Tendenz uneinheitlicher. Bei der querliegenden Schraffen- und Pfeilbake steigt die Bewertung mit zunehmender relativer Ortsfrequenz etwas an, beim Schraffenrahmen ist die Bewertung unabhängig von der relativen Ortsfrequenz und bei allen anderen Leiteinrichtungen fällt die Bewertung mit zunehmender relativer Ortsfrequenz, von $O = 2$ ausgehend. Nur bei den langgestreckten Absperrbaken („Zaun“, „Karozaun“) läßt sich mit $O = 1,5$ eine kleinere relative Ortsfrequenz realisieren. Auch in dieser Richtung nimmt die Bewertung wieder ab.

In Bild 4.36 ist die Bewertung in Abhängigkeit vom Rotanteil für den Mittelwert aller Leiteinrichtungen dargestellt. Beim Schraffenrahmen wurde die Bewertung für $R = 65\%$ aus den vorhandenen Werten für $R = 50\%$ bis 60% extrapoliert. Aus dem Bild ergibt sich eine kontinuierliche Verschlechterung der Bewertung mit zunehmendem Rotanteil (Abnahme von 4,94 bis 4,49).

Die gleiche Mittelwertbildung für alle Leiteinrichtungen wurde auch für die Bewertung in Abhängigkeit von der relativen Ortsfrequenz durchgeführt (Bild 4.37). Da nicht alle Leiteinrichtungen bei allen relativen Ortsfrequenzen getestet wurden, wurde die fehlenden Werte inter- bzw. extrapoliert. Nach Bild 4.37 ist die Bewertung bei den relativen Ortsfrequenzen $O = 2$; 2,4 und 3 praktisch konstant ($w = 4,46$ bis $4,48$) und fällt dann deutlich ab bis auf eine Bewertung $w = 4,05$ bei $O = 4,8$.

Bei allen Fahrsituationen gab es Versuchspersonen, die bestimmte Leiteinrichtungen für die vorgesehene Funktion prinzipiell ablehnten und deshalb konsequent die Note $w = 1$ vergaben, unabhängig von Rotanteil und relativer Ortsfrequenz. Die Bewertung dieser Versuchspersonen kann dazu führen, daß die Abhängigkeit der Bewertung von Rotanteil und relativer Ortsfrequenz nivelliert wird. Um die Stichhaltigkeit dieser These zu untersuchen, wurden die Mittelwerte der Urteile einmal für alle Versuchspersonen gebildet, wie in den Bildern 4.36 und 4.37 gezeigt, und einmal nur für die Versuchspersonen, die die jeweilige Leiteinrichtung nicht mit dem Urteil $w = 1$ versehen hatten. Wegen des Wegfalls der Noten $w = 1$ sind die letzteren Mittelwerte natürlich höher. In den Bildern 4.38

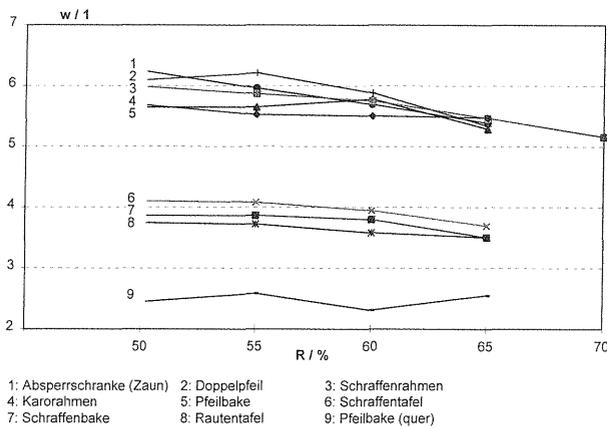


Bild 4.34: Abhängigkeit der Bewertung w vom Rotanteil R bei verschiedenen Leiteinrichtungen, Mittelwert alle Sichtbedingungen

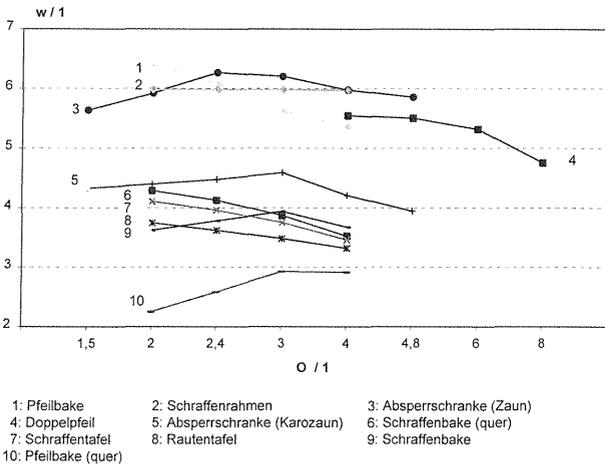


Bild 4.35: Abhängigkeit der Bewertung w von der relativen Ortsfrequenz O bei verschiedenen Leiteinrichtungen, Mittelwert alle Sichtbedingungen

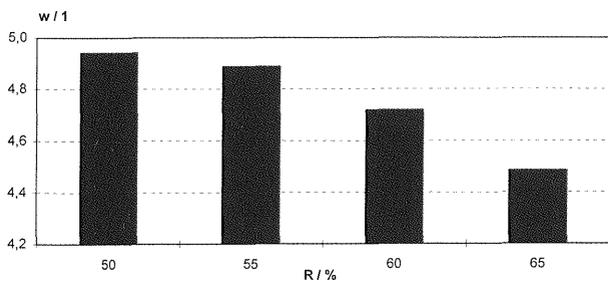


Bild 4.36: Abhängigkeit der Bewertung w vom Rotanteil R . Mittelwert für alle Leiteinrichtungen gemäß Bild 4.34

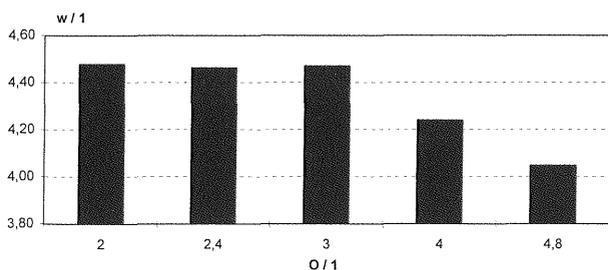


Bild 4.37: Abhängigkeit der Bewertung w von der relativen Ortsfrequenz O . Mittelwert für alle Leiteinrichtungen gemäß Bild 4.35

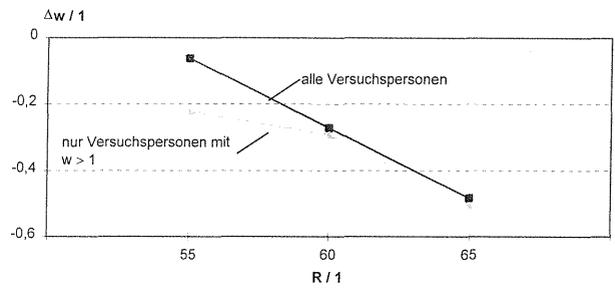


Bild 4.38: Abhängigkeit der Differenz der Bewertung Δw (bezogen auf die Standardversion mit $R = 50\%$) vom Rotanteil R für alle Versuchspersonen und für Versuchspersonen, die bestimmte Leiteinrichtungen nicht völlig ablehnen

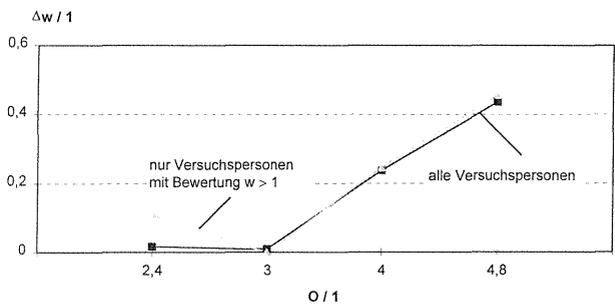


Bild 4.39: Abhängigkeit der Differenz der Bewertung Δw der relativen Ortsfrequenz (bezogen auf die Standardversion mit $O = 2$) für alle Versuchspersonen und unter Ausschluß der Versuchspersonen, die bestimmte Leiteinrichtungen nicht völlig ablehnen

und 4.39 ist dargestellt, wie sich die Differenz dieser beiden Bewertungsmittelwerte, bezogen auf die Bewertung bei der Standardversion ($R = 50\%$ und $O = 2$) mit zunehmendem Rotanteil bzw. zunehmender relativer Ortsfrequenz verändert. Aus den Bildern ist ablesbar, daß sich die Bewertungsdifferenzen für beide Bewertungsmittelwerte kaum unterscheiden. Die Beurteilung $w = 1$ durch einige Versuchspersonen hat also praktisch keinen Einfluß auf die generelle Abhängigkeit der Bewertung von Rotanteil und relativer Ortsfrequenz; obige These kann verworfen werden.

4.5.4 Sichtbedingungen

Wenn die Sichtverhältnisse sich verschlechtern, sollte sich prinzipiell auch die Bewertung verschlechtern, da die Leiteinrichtungen ihre Funktion dann weniger gut erfüllen können. In Bild 4.40 ist die über alle Leiteinrichtungen je Fahrsituationen gemittelte Bewertung in Abhängigkeit von den Sichtverhältnissen dargestellt. Eine Abnahme der Bewertung zeigt sich nur bei zwei Fahrsituationen: Bei der Situation „links vorbei“ ist eine kontinuierliche, aber mit $\Delta w = \text{ca. } 0,3$ sehr moderat ausfallen-

de Abnahme vorhanden; bei der Arbeitsstelle ist ein deutlicher Unterschied nur bei den Sichtbedingungen am Tage zu den anderen Sichtbedingungen festzustellen. Hier beträgt die Bewertungsdifferenz bis zu $\Delta w = \text{ca. } 0,8$. Bei allen übrigen Fahr-situationen ist die Bewertung praktisch unabhängig von den Sichtbedingungen.

Bildet man den Mittelwert der Bewertung aller Fahr-situationen gemäß Bild 4.40, erhält man die in Bild 4.41 gezeigte Darstellung. Daraus ergibt sich insgesamt eine nur sehr geringe Abnahme der Bewertung mit Verschlechterung der Sichtbedingungen. Insbesondere ändert sich durch die Sichtbedingungen nicht die Reihenfolge der Beurteilung: Eine Leiteinrichtung, die bei Tageslicht als gut bzw. schlecht beurteilt wird, wird auch bei Nacht als gut bzw. schlecht beurteilt. Man muß eine Leiteinrichtung nicht unterschiedlich gestalten, je nach dem, ob man sie überwiegend tagsüber oder nachts verwenden will.

Insgesamt kann man feststellen, daß die Funktion der Leiteinrichtungen durch die Sichtverhältnisse (dargestellt durch die Abnahme der Testzei-

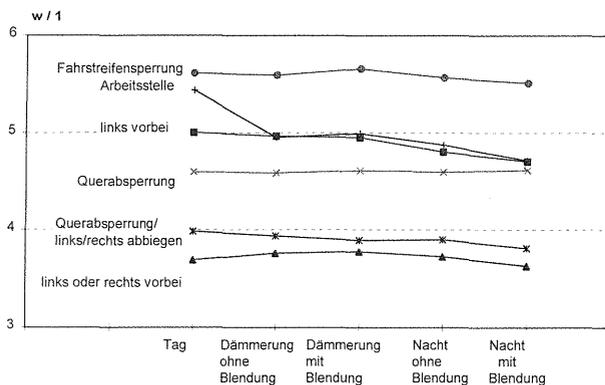


Bild 4.40: Änderung der Bewertung w mit den Sichtbedingungen. Mittelwert alle Leiteinrichtungen je Fahr-situation

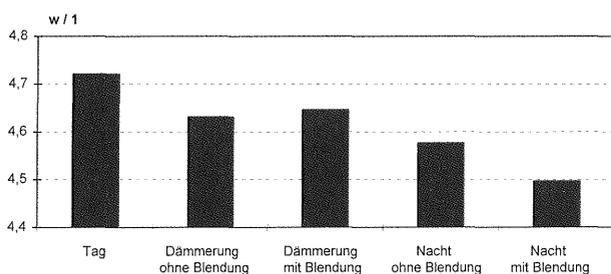


Bild 4.41: Änderung der Bewertung w mit den Sichtbedingungen für alle Leiteinrichtungen. Mittelwert für alle Fahr-situationen gemäß Bild 4.40

und Umgebungsleuchtdichten bzw. physiologische Blendung) so gut wie gar nicht beeinflusst wird. Bei einer Umgebungsleuchtdichte von $0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ beträgt nach SCHMIDT-CLAUSEN [52] die Sehschärfe $V = 0,5 \text{ min}^{-1}$, es können also noch Details mit einer Winkelgröße von mindestens 2 min aufgelöst werden. Nach Tabelle 4.11 ergibt sich für $O = 4$ bei den Fahr-situationen 1 bis 5 eine Streifenbreite von $0,023 \text{ m}$, die dem kritischen Detail d_k entspricht, und daraus mit dem Beobachtungsabstand $d = 7,4 \text{ m}$ eine Winkelgröße α_k für das kritische Detail von $10,7 \text{ min}$; das kritische Detail kann also noch deutlich erkannt werden. Bei der Arbeitsstelle sind die Baken und damit auch das kritische Detail um ein Vielfaches kleiner als bei den anderen Fahr-situationen. α_k beträgt $= 0,3 \dots 3 \text{ min}$, damit reicht die Sehschärfe nicht mehr bei allen Versuchspersonen aus, um die Leiteinrichtungen auch bei Dämmerung und Nacht noch gut erkennen zu können. Daher rührt der Bewertungssprung beim Übergang vom Tagessehen zur Dämmerung in dieser Fahr-situation (s. Bild 4.40).

4.5.5 Leuchtdichtebewertung

Untersuchte Testzeichen

7 Leiteinrichtungen mit insgesamt 19 Varianten (s. Anhang 3, Tabelle A 3.2 und Bilder A 3.1, A 3.2, A 3.5 bis A 3.7, A 3.9, A 3.10).

Untersuchungsparameter

Darbietung der Testzeichen zunächst bei Nachtbedingungen in zufälliger Reihenfolge und Leuchtdichtestufe, mit und ohne Blending. Bewertung der Weißleuchtdichte wL der Leiteinrichtungen zum Zwecke der Bestimmung der optimalen Weißleuchtdichte L_{opt} (Definition s. Abschnitt 4.4.1). Weil die Leuchtdichtebewertung, wie im folgenden Abschnitt 4.5.5.1 beschrieben, hinsichtlich der verschiedenen Varianten von Leiteinrichtungen kaum Unterschiede zeigte, wurde die Präsentation anschließend in systematischer Reihenfolge (nur ohne Blending) wiederholt. Dabei sollte folgender These nachgegangen werden: Die Leuchtdichtebewertung ist empfindlicher, wenn man Versuchspersonen die verschiedenen Varianten der gleichen Leiteinrichtung nacheinander bei gleicher Leuchtdichte zeigt, verglichen mit der Präsentation in zufälliger Reihenfolge.

Ergebnisse

Die Abhängigkeit der Bewertung wL von der Weißleuchtdichte für den Mittelwert aller Leitein-

richtungen ist in Bild 4.42 wiedergegeben. Auf der Abszisse sind auch die 6 Leuchtdichtestufen eingetragen, bei denen die Untersuchungen stattfanden. Auf die in die Abbildung eingezeichneten Optimalleuchtdichten L_{opt} wird in Abschnitt 4.5.5.1 eingegangen. Die Ergebnisse für die Bewertung der Testzeichen in zufälliger und in systematischer Reihenfolge sind in den folgenden Abschnitten 4.5.5.1 und 4.5.5.2 wiedergegeben.

Die Regressionsgeraden zeigen in guter Näherung eine logarithmische Abhängigkeit der Leuchtdichtebewertung von der Weißleuchtdichte - wie auch in allen anderen Fällen ist hier das Bestimmtheitsmaß $r^2 > 0,9$. Die Regressionsgeraden bei zufälliger Reihenfolge, mit Blendung und systematischer Reihenfolge, ohne Blendung haben eine geringere (negative) Steigung als die Regressionsgerade für zufällige Reihenfolge, ohne Blendung. Bei Präsentation der Testzeichen unter Blendung werden höhere Leuchtdichten benötigt, um das Testzeichen erkennen zu können bzw. es werden höhere Leuchtdichten als inakzeptabel hell empfunden als bei der Präsentation ohne Blendung; deshalb ist hier der Kurvenverlauf flacher.

Bei systematischer Reihenfolge passen sich die Versuchspersonen schnell an die momentane Leuchtdichte an und sind deshalb weniger geneigt, extreme Urteile abzugeben; der Kurvenverlauf wird ebenfalls flacher. Anders ausgedrückt, bei systematischer Reihenfolge wird scheinbar ein größerer Leuchtdichtebereich als akzeptabel angesehen. Wegen der schnellen Anpassung an die momentane Leuchtdichte bei systematischer Reihenfolge der Testzeichendarbietung geben die Versuchspersonen hier eine um ziemlich genau eine Note höhere Bewertung ab als bei zufälliger Reihenfolge (s. Bild 4.42) bzw. bei gleicher Bewertung liegt die

Leuchtdichte bei zufälliger Reihenfolge um den Faktor ca. 3.2 höher. Da auf der Straße aber Verkehrszeichen mit unterschiedlichsten Leuchtdichten vorhanden sind, ist die Präsentation der Testzeichen in systematischer Reihenfolge nicht geeignet, absolute Werte der optimalen (oder auch der minimalen und maximalen) Leuchtdichte von Verkehrszeichen zu ermitteln.

4.5.5.1 Präsentation in zufälliger Reihenfolge

In Bild 4.42 ist die Optimalleuchtdichte L_{opt} für Darbietung der Testzeichen in zufälliger Reihenfolge (ohne Blendung) markiert. Diese und die Optimalleuchtdichten der beiden anderen Leuchtdichtebewertungen wurden in Tabelle 4.15 denen gegenübergestellt, die von FRANK [17] ermittelt wurden. Die Optimalleuchtdichte $L_{opt} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$ ist die Weißleuchtdichte einer Leiteinrichtung für die Leuchtdichte-Bewertungsstufe $wL = 5$ (= optimal).

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Optimalleuchtdichten liegen, entsprechend den gewählten Umfeldleuchtdichten, zwischen den von Frank ermittelten Werten für Standard-Verkehrszeichen und können als gute Bestätigung dieser Werte angesehen werden. Allerdings muß angemerkt werden, daß die Werte bei Blendung wegen unterschiedlicher Blendbeleuchtungsstärken nicht direkt vergleichbar sind. Insgesamt ergibt sich, daß an Leiteinrichtungen der in der StVO vorgesehenen Form prinzipiell die gleichen Leuchtdichteanforderungen zu stellen sind wie an Standardverkehrszeichen. Dieses Ergebnis bedeutet auch, daß für Leiteinrichtungen und Standardverkehrszeichen die gleichen Verkehrszeichenmaterialien verwendet werden können, da sich aus diesen die gleichen Leuchtdichten ergeben.

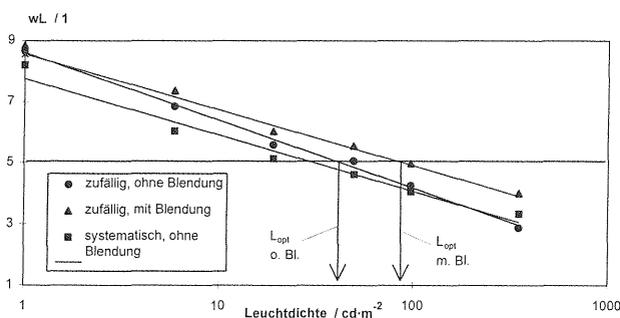


Bild 4.42: Leuchtdichtebewertung wL für den Mittelwert aller Leiteinrichtungen, Darbietung in zufälliger und systematischer Reihenfolge und Kennzeichnung der optimalen Leuchtdichten L_{opt} für zufällige Reihenfolge, mit und ohne Blendung

Optimalleuchtdichte $L_{opt} / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Umfeldleuchtdichte $L_U / \text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Blendbeleuchtungsstärke E_{Bl} / lx	
22	0,01	0	FRANK
42	0,1	0	Bild 4.42
100	10	0	FRANK
50	0,01	8	FRANK
93	0,1	3	Bild 4.42
180	10	8	FRANK

Tab. 4.15: Gegenüberstellung der Optimalleuchtdichten gemäß Bild 4.42 (Darbietung in zufälliger Reihenfolge) und den Untersuchungen von FRANK [17]

Bild 4.43 zeigt die Ergebnisse der Leuchtdichtebeurteilung für die verschiedenen getesteten Leiteinrichtungen sowie für die Mittelwerte aller Leiteinrichtungen, jeweils Standardvariante, mit einem Rotanteil $R = 65\%$ bzw. einer relativen Ortsfrequenz $O = 4$ (zufällige Reihenfolge, ohne Blendung). Die Bewertung für die einzelnen Leiteinrichtungen und die Regressionsgeraden liegen so dicht zusammen, daß in der Abbildung nur die Werte für einige ausgewählte Leiteinrichtungen wiedergegeben sind. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit wurde auf die Eintragung der dicht nebeneinander liegenden Datenpunkte verzichtet. Es ergeben sich weder für die Mittelwerte Standardvariante, Rotanteil $R = 65\%$ und relative Ortsfrequenz $O = 4$ aller Leiteinrichtungen noch für die einzelnen Leiteinrichtungen signifikante Unterschiede in der Leuchtdichtebeurteilung. Gleiches gilt für die Leuchtdichtebeurteilung bei Vorliegen von Blendung, deshalb wird auf die Wiedergabe entsprechender Regressionsgeraden verzichtet. Für dieses Ergebnis kommen zwei Gründe infrage: Entweder ist die Wirksamkeit von Leiteinrichtungen unabhängig von der Leuchtdichtebeurteilung oder die Methode der Leuchtdichtebeurteilung mit zufälliger Reihenfolge der Präsentation von Testzeichen ist nicht geeignet, um eventuelle Unterschiede in der Wirksamkeit der Leiteinrichtungen herauszufinden.

Man könnte annehmen, daß der Wert der Optimalleuchtdichte ein Kriterium für die Wirksamkeit der Leiteinrichtung ist: Wenn eine Leiteinrichtung bereits bei einer geringeren Leuchtdichte erkennbar ist als eine zweite Leiteinrichtung, bekommt sie eine Bewertung, die von der Bewertungsstufe 9 ausgehend näher an der Idealnote 5 liegt als die der zweiten Leiteinrichtung. In diesem Fall wird die erste Leiteinrichtung ein kleineres L_{opt} besitzen als die zweite. Andererseits bewerteten einige Versuchspersonen den Effekt der Überstrahlung (Irradiation) der weißen Teile der Leiteinrichtungen, der bei hohen Leuchtdichten insbesondere bei hohen relativen Ortsfrequenzen auftreten kann, sehr negativ und vergaben in diesen Fällen eher Noten, die bei $w = 1$ lagen. Diese Bewertung führt ebenfalls zur Erniedrigung der Optimalleuchtdichten, obwohl das Auftreten von Überstrahlung sicherlich kein wirksamkeitsfördernder Effekt ist. Ähnlich verhält es sich mit einem erhöhten Rotanteil. Aus der Optimalleuchtdichte läßt sich also nicht auf die Wirksamkeit einer Leiteinrichtung schließen.

In Tabelle 4.16 sind die sich aus Bild 4.43 ergebenden Optimalleuchtdichten den jeweils besten Be-

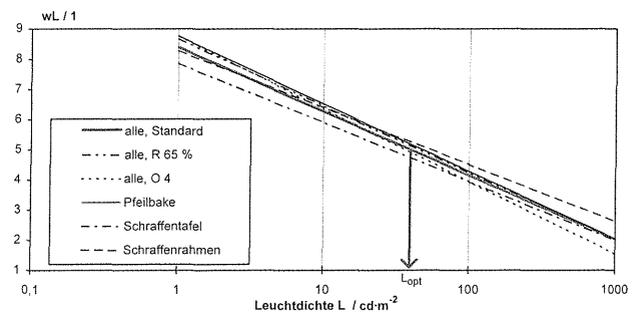


Bild 4.43: Leuchtdichtebeurteilung wL für ausgewählte Leiteinrichtungen und Mittelwerte verschiedener Varianten von Leiteinrichtungen. Darbietung in zufälliger Reihenfolge, ohne Blendung

Leiteinrichtung	Optimalleuchtdichte aus Bild 4.43 $L_{\text{opt}} / \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$	beste Bewertung in den Fahrsituationen $w / 1$
Schraffenbake	43,0	4,3
Pfeilbake	48,1	6,4
Schraffentafel	28,9	4,1
Doppelpfeil	39,6	6,2
Zaun	40,8	5,8
Schraffenrahmen	54,2	6,0

Tab. 4.16: Optimalleuchtdichten nach Bild 4.43 und beste Bewertung verschiedener Leiteinrichtungen in den untersuchten Fahrsituationen, jeweils Standardvariante

wertungen der gleichen Leiteinrichtungen in den Fahrsituationen 1 bis 5 (s. Abschnitt 4.5.2.1 bis 4.5.2.5) gegenübergestellt. Eine Korrelationsrechnung ergab für diese Werte das Bestimmtheitsmaß $r^2 = 0,39$, also einen nur schwachen Zusammenhang zwischen L_{opt} und der Bewertung in den Fahrsituationen. Auch dieser Vergleich zeigt, daß die Optimalleuchtdichte kein Kriterium für die Wirksamkeit einer Leiteinrichtung ist.

Bild 4.44 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Leuchtdichte-Bewertungsstufen. Man erkennt deutlich, daß die Kurvenform um so weiter von einer Gaußverteilung abweicht, je mehr man sich den Bewertungsgrenzen 1 und 9 nähert, wie bereits in Abschnitt 4.4.4.2 erläutert wurde. Die statistische Auswertung zeigt, daß die Beurteilung recht gleichmäßig erfolgte: Die Interquartilsabstände QA liegen bei 1,00 bis 1,51 (Ausnahme: Leuchtdichtestufe $350 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ mit $\text{QA} = 2,06$), die Bewertung der Leuchtdichten erfolgt damit viel gleichmäßiger als die Bewertung der Leiteinrichtungen in den Fahrsituationen der Experimente 1 bis 6, bei denen sich Werte $\text{QA} = 1,7$ bis $3,6$ ergaben. Das ist

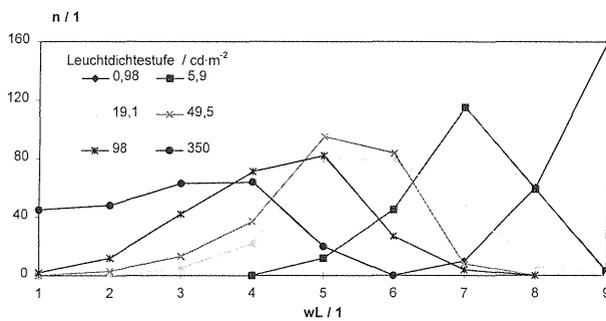


Bild 4.44: Häufigkeitsverteilung der Leuchtdichtebewertungsstufen wL , zufällige Reihenfolge der Darbietung

darauf zurückzuführen, daß bei der Leuchtdichtebewertung nur physiologische Einflußgrößen eine Rolle spielen, während die Bewertung der Qualität der Leiteinrichtungen vorwiegend von persönlichen Auffassungen, Vorurteilen und Erfahrungen beeinflusst werden, die individuell sehr viel verschiedener ausfallen als die physiologischen Einflußgrößen.

Vergleichbare Aussagen gelten auch für die Darbietung der Testzeichen in zufälliger Reihenfolge mit Blendung und systematischer Reihenfolge ohne Blendung.

4.5.5.2 Präsentation in systematischer Reihenfolge

Im vorangehenden Abschnitt wurde ausgeführt, daß

- die Methode der Testzeichendarbietung in zufälliger Reihenfolge zwar die Ermittlung optimaler Leuchtdichten von Leiteinrichtungen ermöglicht, aber keinen Hinweis auf ihre Wirksamkeit erlaubt,
- die Methode der Darbietung in systematischer Reihenfolge sich nicht dazu eignet, um die optimale Leuchtdichte für Verkehrszeichen herauszufinden.

Man kann jedoch vermuten, daß die Leuchtdichtebewertung empfindlicher ist, wenn man Versuchspersonen verschiedene Varianten der gleichen Leiteinrichtung nacheinander bei gleicher Leuchtdichte zeigt, verglichen mit der Darbietung in zufälliger Reihenfolge. Diese Methode könnte geeignet sein, relative Bewertungsunterschiede zu ermitteln. In Bild 4.45 sind die Regressionsgeraden für die Mittelwerte der sechs verschiedenen Leiteinrichtungen, jeweils in ihrer Standardvariante, eingetragen. Alle Bewertungen und demzufolge auch alle Regressionsgeraden liegen dicht beieinander;

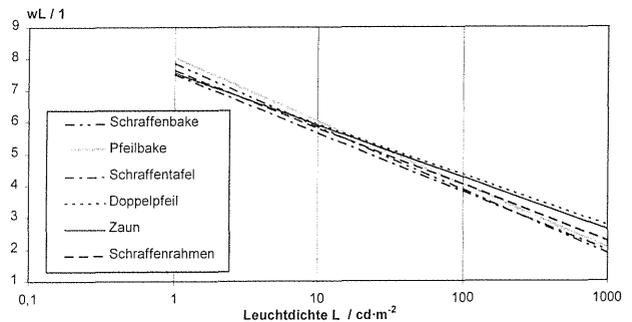


Bild 4.45: Leuchtdichtebewertung wL für 6 verschiedene Leiteinrichtungen, jeweils Standardvariante. Darbietung in systematischer Reihenfolge, ohne Blendung

ander; die Varianten mit größerem Rotanteil oder größerer relativer Ortsfrequenz liefern zu den Standardvarianten fast identische Regressionsgeraden und wurden deshalb nicht in die Abbildung aufgenommen. Auch in diesem Bild wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit auf die Eintragung der dicht nebeneinander liegenden Datenpunkte verzichtet. Es ist also auch bei systematischer Darbietung der Testzeichen nicht möglich, Unterschiede in der Leuchtdichtebewertung verschiedener Leiteinrichtungen oder unterschiedlicher Varianten einer Leiteinrichtung zu finden.

4.5.6 Bewertung des Leuchtdichtekontrastes

Untersuchte Testzeichen

6 Leiteinrichtungen, Standardvariante (s. Anhang 3, Tabelle A 3.2 und Bilder A 3.1, A 3.2, A 3.5 bis A 3.7, A 3.9).

Untersuchungsparameter

Bewertung des Leuchtdichtekontrastes der roten und weißen Teilflächen der Leiteinrichtungen bei Tag, Dämmerung und in der Nacht, jeweils ohne Blendung, zum Zweck der Ermittlung des optimalen Leuchtdichtekontrastes k_{opt} (Definition s. Abschnitt 4.4.1).

Ergebnisse

In Bild 4.46 sind die Ergebnisse für Tag, Dämmerung und Nacht dargestellt, jeweils ohne Blendung. Die Bewertung zeigt kaum eine Abhängigkeit von den Sichtbedingungen. Der optimale Leuchtdichtekontrast $k_{opt} / 1$, das ist der Leuchtdichtekontrast Rot : Weiß für die Bewertungsstufe $w = 5$ (optimal), beträgt bei Tageslicht $k_{opt} = 3,6$ sowie bei Dämmerung und Nacht $k_{opt} = \text{ca. } 3,9$.

In Tabelle 4.17 sind diese optimalen Leuchtdichtekontraste den gemessenen Leuchtdichtekontra-

sten für Reflexstoffe (s. Tabelle 4.5) gegenübergestellt. Der Leuchtdichtekontrast am Tage ist demnach bei allen drei Verkehrszeichenbauarten etwas zu groß. Die Leuchtdichtekontraste unter Anleuchtung mit dem bisher üblichen Glühlampenlicht, das der bei der Messung zu verwendenden Normlichtart A sehr nahe kommt, entsprechen dem optimalen Leuchtdichtekontrast recht gut. Bei Anleuchtung mit Gasentladungslampen werden viel höhere Leuchtdichtekontraste gemessen als bei Normlichtart A; gemessen am optimalen Leuchtdichtekontrast verschlechtert sich der Leuchtdichtekon-

trast rot-weißer Leiteinrichtungen deutlich. Gasentladungslampen geben im roten Spektralbereich viel weniger Licht ab als Glühlampen, daher rührt die hohe ähnlichste Farbtemperatur, die bei 4000 bis 5000 K liegt. Deshalb verringert sich auch die Rotleuchtdichte der Verkehrszeichen relativ zu ihrer Weißleuchtdichte, so daß die Leuchtdichtekontraste größer werden. Diese relative Verschlechterung der Helligkeit tritt nur bei der Farbe Rot auf und ist ein Grund für die Forderung, daß der Rotanteil von Gasentladungslampen ein bestimmtes Minimum nicht unterschreiten darf. Deshalb bestimmt der Entwurf einer ECE-Regelung [V 8], daß das Verhältnis der von einer Gasentladungslampe im roten Spektralbereich (610 bis 780 nm) und im gesamten sichtbaren Spektrum (380 bis 780 nm) ausgehenden Lichtströme mindestens 5 % betragen muß.

Die Häufigkeitsverteilungen (Bild 4.47) haben eine ähnliche Form wie die der Leuchtdichtebewertungen, wobei hier die Beurteilung noch einheitlicher erfolgt; die Interquartilsabstände liegen zwischen 1,00 und 1,39.

Verkehrszeichen-Bauart	Leuchtdichtekontrast $k / 1$				k_{opt}
	am Tag		bei Nacht		
	gemessen	k_{opt}	gemessen	k_{opt}	
	Normlichtart D 65		Normlichtart A	Gasentladungslampe	
Typ 1	1 : 5,7		1 : 3,3	1 : 4,2	
Typ 2	1 : 9,0	3,6	1 : 4,5	1 : 7,9	3,9
mikroprismatisch	1 : 10,2		1 : 4,1	1 : 6,3	

Tab. 4.17: Gemessene Leuchtdichtekontraste (aus Tabelle 4.5) und optimale Leuchtdichtekontraste k_{opt} (aus Bild 4.46) bei Tag und Nacht

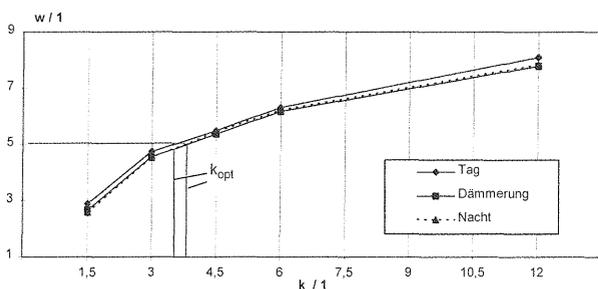


Bild 4.46: Bewertung w des Leuchtdichtekontrastes k von ausgewählten Leiteinrichtungen bei verschiedenen Sichtbedingungen

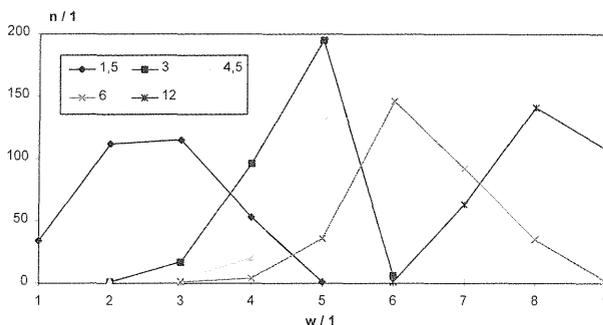


Bild 4.47: Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsstufen w für die verschiedenen Leuchtdichtekontraste k , Mittelwert alle Sichtbedingungen

4.5.7 Bewertung des Farbkontrastes

Untersuchte Testzeichen

6 Leiteinrichtungen, Standardvariante (s. Anhang 3, Tabelle A 3.2 und Bilder A 3.1, A 3.2, A 3.5 bis A 3.7, A 3.9), bei denen die Farbe Weiß durch die simulierten Fluoreszenzfarben Gelbgrün bis Orangegelb und Pastellweiß (s. Tabelle 4.8 und Bild 4.6) ersetzt wurde.

Untersuchungsparameter

Bewertung der von den Leiteinrichtungen ausgehenden Auffälligkeit und der Warnwirkung bei Tag, Dämmerung und Nacht zum Zweck der Ermittlung des optimalen Farbkontrastes zwischen den roten und „weißen“ Teilflächen der Leiteinrichtungen.

Ergebnisse

In Bild 4.48 sind die Ergebnisse für die Fluoreszenzfarben Gelbgrün bis Orangegelb denen für Pastellweiß und Standardweiß gegenübergestellt. Auch bei diesem Experiment zeigen sich kaum Unterschiede bei den verschiedenen Sichtbedingungen. Eine gute Auffälligkeit und Warnwirkung wird danach nur für die Farben Gelbgrün und Grün-gelb mit $w = \text{ca. } 6,4$ (es handelt sich hier um die unsymmetrische Bewertungsskala mit der besten Bewertung bei $w = 9$) erreicht, dem die Bewertung

von Standardweiß mit $w = 6,2$ allerdings kaum nachsteht. Je mehr sich der Farbton „Weiß“ in Richtung Rot verschiebt, um so geringer wird die Auffälligkeit und Warnwirkung eingeschätzt. Dieses Ergebnis ist mit dem immer kleiner werdenden Farbkontrast zwischen den roten und „weißen“ Teiflächen der Leiteinrichtungen zu erklären und entspricht völlig dem Ergebnis der Vorversuche (s. Abschnitt 4.3.2), bei denen der nächtliche Farbkontrast Rot-Gelb für Leiteinrichtungen ebenfalls als deutlich schlechter bewertet wurde als der Farbkontrast Rot-Weiß. Der noch relativ gute Farbkontrast von Pastellweiß-Rot ist auch der Grund dafür, daß Pastellweiß in der Bewertung nur um eine knappe Stufe niedriger als Standardweiß liegt, aber noch besser bewertet wird als die Farbkontraste Gelb-Rot bzw. Orangegelb-Rot.

Es ist jedoch in Zweifel zu ziehen, ob selbst diese nur geringfügige Auffälligkeitserhöhung bei Verwendung grünlicher Fluoreszenzfarben gegenüber Weiß überhaupt realistisch ist. Von einigen Versuchspersonen wurden die Fluoreszenzfarben beim zweiten und dritten Durchgang schlechter und die beiden weißen Farben besser beurteilt als beim ersten Durchgang. Dieser Gewöhnungseffekt zeigte sich bei mehreren Versuchspersonen und ist unabhängig davon, ob die erste Bewertung bei Tages- oder bei Nachtbedingungen durchgeführt wurde. Der Gewöhnungseffekt ist für einen Probanden beispielhaft in Bild 4.49 dargestellt: Liegt die Bewertung von Gelbgrün und Grüngelb beim ersten Durchgang um mehr als eine Stufe höher als die Bewertung von Standardweiß, kehrt sich diese Bewertung beim dritten Durchgang um. Im dritten Durchgang wird sogar Pastellweiß etwas besser beurteilt als Gelbgrün und Grüngelb. Nach diesen Ergebnissen ist zu vermuten, daß bei mehrmaliger Wiederholung des Experiments Leiteinrichtungen im Farbkontrast Rot gegen Fluoreszenzgelb oder Fluoreszenzgrün keine größere Warnwirkung zugebilligt wird als Leiteinrichtungen in herkömmlichem Farbkontrast Rot-Weiß.

Die in Bild 4.50 wiedergegebenen Häufigkeitsverteilungen für ausgewählte Farbkontraste machen deutlich, daß die Abweichungen von einer Gauß-Verteilung bzw. die individuellen Bewertungsunterschiede bei den „extremen“ Farbkontrasten am größten sind - bei Gelbgrün (auffälligster Farbkontrast) und Orangegelb (unauffälligster Farbkontrast). Dementsprechend ergeben sich bei diesen beiden Farbkontrasten auch größere Interquartilsabstände ($QA = 1,82$ bzw. $1,79$) als bei den

„gemäßigten“ Farbkontrasten Zitronengelb und Standardweiß ($QA = 1,50$ bzw. $1,68$).

Man kann das Ergebnis dieses Versuches dahingehend zusammenfassen, daß die Auffälligkeit und Warnwirkung einer Leiteinrichtung mit dem Farbkontrast, hier dargestellt durch den Rot-Weiß-Kontrast, ansteigt. Die Verwendung von Fluoreszenzfarben anstelle Standardweiß zieht jedoch keine

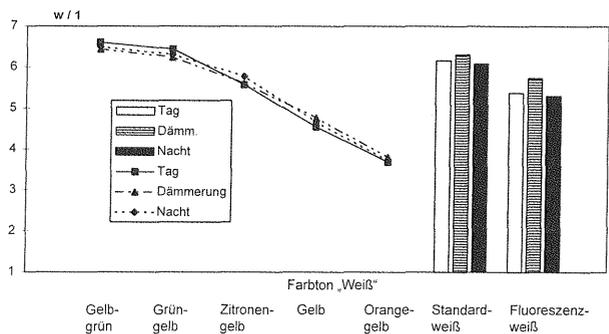


Bild 4.48: Bewertung w des Farbkontrastes von Leiteinrichtungen in Abhängigkeit der Farbe ihres „weißen“ Flächenanteiles bei verschiedenen Sichtbedingungen

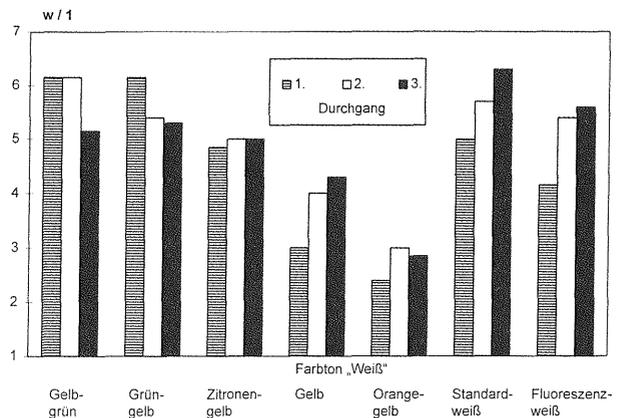


Bild 4.49: Veränderung der Bewertung w des Farbkontrastes von Leiteinrichtungen in Abhängigkeit der Farbe ihres „weißen“ Flächenanteiles vom 1. bis zum 3. Durchgang bei einer Versuchsperson

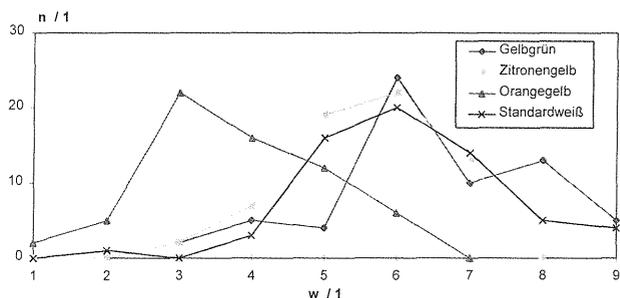


Bild 4.50: Häufigkeitsverteilung n der Bewertungsstufen w des Farbkontrastes von Leiteinrichtungen, Mittelwert alle Sichtbedingungen

generelle Verbesserung der Auffälligkeit nach sich und sollte deshalb nur in bestimmten Fällen erwogen werden, z.B. zur Kennzeichnung des Beginns von Verschwenkbereichen in Arbeitsstellen, wie von AULBACH [6] vorgeschlagen, oder bei auf baulichen Leitelementen (s. RSA [V 9]) angebrachten Sichtzeichen.

4.6 Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle der Leuchtdichte

Untersuchte Testzeichen

Experiment 10a: 5 Leiteinrichtungen jeweils in ihrer Standardversion, mit erhöhtem Rotanteil bzw. erhöhter relativer Ortsfrequenz mit insgesamt 15 Varianten (s. Tabelle A 3.2 und Bilder A 3.1, A 3.2, A 3.5, A 3.7, A 3.9). Experiment 10b: 12 einfarbig weiße Sehböbe (s. Anhang 4, Bild A 4.1)

Untersuchungsparameter

Bestimmung der Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle der Leuchtdichte L_{WS} und L_{ES} bei Nacht (Definition s. Abschnitt 4.5.2.5) im Experiment 10a für rot-weiße Leiteinrichtungen, im Experiment 10b für einfarbig weiße Sehböbe. Ziel des Experiments war nicht die Ermittlung der absoluten Schwellenwerte, die ja sehr stark von den Versuchsbedingungen abhängen; vielmehr sollte aus den Unterschieden der Schwellenwerte auf die unterschiedliche visuelle Qualität der Leiteinrichtungen geschlossen werden können.

Ergebnisse

Diese sind in den Abschnitten 4.6.1 und 4.6.2 wiedergegeben.

4.6.1 Rot-weiße Leiteinrichtungen

In Bild 4.51 sind die Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen für alle 15 gezeigten Varianten von Leiteinrichtungen dargestellt, in Bild 4.52 das Verhältnis Erkennbarkeits- zu Wahrnehmbarkeitsschwelle für alle Leiteinrichtungen. Da die an diesem Experiment beteiligten Versuchspersonen auch an den vorhergehenden Experimenten teilgenommen haben, waren ihnen diese Leiteinrichtungen bereits bekannt. Folgende Ergebnisse sind zu nennen:

- **Abhängigkeit der Leuchtdichteschwellen von der Größe der Leiteinrichtungen**

Die niedrigsten Schwellen haben naturgemäß die Leiteinrichtungen mit der größten Fläche,

d.h. die Leiteinrichtungen, die den Versuchspersonen unter dem größten Sehwinkel dargeboten werden; das sind die Schraffentafel und der Zaun (die Leiteinrichtungen in der Legende zu Bild 4.51 sind nicht maßstäblich gezeichnet). Die Wahrnehmbarkeitsschwellen dieser beiden Leiteinrichtungen liegen dicht beieinander, genauso wie die Wahrnehmbarkeitsschwellen der drei untereinander gleich großen Testzeichen Schraffenbake, Pfeilbake und Doppelpfeil.

- **Abhängigkeit der Leuchtdichteschwellen vom Rotanteil und der relativen Ortsfrequenz**

Bei allen getesteten Leiteinrichtungen ergeben sich für die Varianten mit erhöhtem Rotanteil oder erhöhter relativer Ortsfrequenz Wahrnehmbarkeitsschwellen, die 10 bis 20 % oberhalb der Schwellen der Standardvariante liegen. Bei der Erkennbarkeitsschwelle ist dieser Unterschied noch größer. Besonders auffällig ist die hohe Erkennbarkeitsschwelle des Doppelpfeils mit der relativen Ortsfrequenz $O = 8$; insbesondere ältere Versuchspersonen benötigten teilweise hohe Leuchtdichten, um dieses Testzeichen erkennen zu können.

Für den erhöhten Rotanteil ist dieses Ergebnis wie folgt zu erklären: Die mittlere Leuchtdichte des Testzeichens sinkt bei einem Rotanteil von 65 % gegenüber einem Rotanteil von 50 % auf ca. 75 %. Deshalb muß die Weißleuchtdichte erhöht werden, damit das Zeichen bei erhöhtem Rotanteil wieder sichtbar bzw. erkennbar wird.

Die relative Ortsfrequenz ist der Streifenbreite und damit dem kritischen Detail d_k (s. Abschnitt 4.2.1) umgekehrt proportional. Da das kritische Detail einer der wichtigsten die Wahrnehmbar-

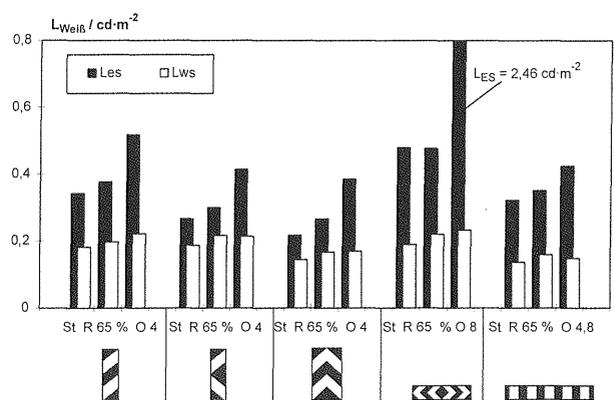


Bild 4.51: Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{WS} und Erkennbarkeitsschwelle L_{ES} für ausgewählte Leiteinrichtungen, bezogen auf ihre Weißleuchtdichte $L_{Weiß}$

keit und Erkennbarkeit beeinflussenden Parameter ist, werden Leiteinrichtungen um so schlechter wahrgenommen und erkannt, je kleiner die relative Ortsfrequenz des Testzeichens ist. Das ist auch die Erklärung dafür, daß beim Doppelpfeil mit der relativen Ortsfrequenz $O = 8$ vor allem bei älteren Versuchspersonen hohe Schwellenleuchtdichten ermittelt wurden.

- **Abhängigkeit der Leuchtdichteschwellen von der Form der Leiteinrichtungen**

Bei der Höhe der Erkennbarkeitsschwelle spielt neben der Fläche auch die Leuchtdichtestruktur der Testzeichen eine große Rolle. Die kleinsten Erkennbarkeitsschwellen ($0,22 - 0,39 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) werden bei der Schraffentafel ermittelt, aber dann folgt bereits die Pfeilbake ($0,27 - 0,41 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$) vor dem Zaun ($0,32 - 0,42 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$), obwohl dessen Fläche doppelt so groß ist wie die der Pfeilbake. Auch die Erkennbarkeitsschwellen der Schraffenbake liegen mit $L_{ES} = 0,34 - 0,52 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$ deutlich über denen der gleich großen Pfeilbake. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß Pfeilmuster erheblich schneller, d.h. bei geringerer Leuchtdichte, erkannt werden als Streifenmuster (Balken, Schraffen). Diese Vermutung kann natürlich nur für Muster mit gleichem kritischen Detail, hier der Streifenbreite, gelten. Da die Streifenbreite des Doppelpfeils nur halb so groß ist wie die der Baken oder der Schraffentafel, ergeben sich für diese Leiteinrichtung höhere Erkennbarkeitsschwellen.

- **Verhältnis Erkennbarkeits- zu Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{ES} / L_{WS}**

Die Überlegenheit der Pfeil- gegenüber den Streifenmustern zeigt sich besonders deutlich, wenn man das Verhältnis Erkennbarkeits- zu Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{ES} / L_{WS} bildet

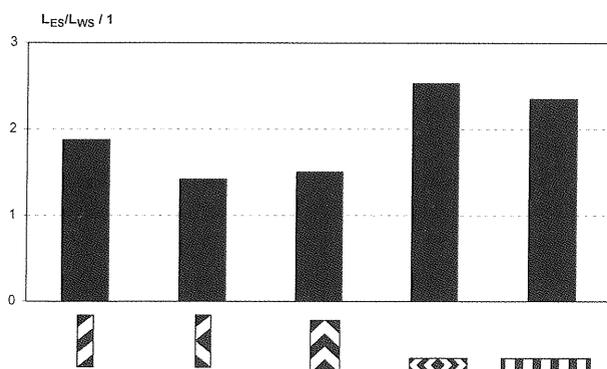


Bild 4.52: Verhältnis der Erkennbarkeitsschwelle L_{ES} zur Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{WS} der Leuchtdichte für ausgewählte Leiteinrichtungen, Standardversion

(s. Bild 4.52). Benötigten die Versuchspersonen nur eine gegenüber der Wahrnehmbarkeitsschwelle um 42 % bzw. 51 % erhöhte Leuchtdichte zum Erkennen der Pfeilbake und der Schraffentafel, brauchten sie zum Erkennen der Schraffenbake 88 % und des Zaunes 135 % mehr Leuchtdichte. Auch diese Betrachtungen gelten nur für Testzeichen mit gleicher Streifenbreite. Wegen der höheren Streifenbreite des Doppelpfeils ist hier auch das Verhältnis L_{ES} / L_{WS} höher als bei den anderen Pfeilmustern.

Die Ergebnisse dieses Experimentes legen es nahe, die „Schraffentafel“ in „Pfeiltafel“ umzubenennen. Die Bezeichnung Schraffentafel war gewählt worden, weil diese Tafel durch Spiegelung der Schraffenbake entsteht und die anzuzeigende Links-/Rechtsweisung durch die „zum Verkehr hin fallenden Schraffen“ signalisiert werden soll. Der durch die Spiegelung entstehende, nach oben weisende Pfeil ist eine ungewollte Wirkung der Schraffentafel, die einerseits zwar eine hohe Erkennbarkeit der Schraffentafel, aber andererseits auch eine gewisse Ambivalenz dieser Leiteinrichtung erzeugt: Beabsichtigte, aber nicht selbsterklärende Links/Rechtsweisung kontra ungewollte, aber selbsterklärende Richtungsweisung nach oben. Dieser Konflikt zwischen rechtlicher und wahrnehmungspsychologischer Bedeutung der Schraffentafel war ein Grund dafür, daß diese Leiteinrichtung in der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“ nur unbefriedigend abschnitt (s. Abschnitt 4.5.2.2).

4.6.2 Einfarbige Testzeichen

Um die Vermutung von der Überlegenheit von Pfeil- gegenüber Streifenmustern weiter zu untersuchen, wurde das Schwellenexperiment mit 12 einfarbig weißen Testzeichen wiederholt. In diesem Teil des Experimentes wurden die Leuchtdichteschwellen nach dem gleichen Verfahren wie bei den zweifarbigen Leiteinrichtungen ermittelt. Die Versuchspersonen wußten jedoch bei Beginn des Experiments nicht, welche Testzeichen sie sehen würden. Die in Abschnitt 4.2.1 gegebene Definition der relativen Ortsfrequenz soll sinngemäß auch bei den einfarbig weißen Testzeichen angewendet werden: Zahl der weißen Streifen je Längsausdehnung des Testzeichens Schraffenbake. Die relative Ortsfrequenz, die jedem Testzeichen zuzuordnen ist, ist aus Tabelle 4.18 ablesbar.

In Bild 4.54 sind die Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen L_{WS} und L_{ES} für alle Test-

relative Ortsfrequenz / 1	Testzeichen	
2	90°-Pfeil (breit) 2 Balken	Bakenpfeil 2 Bakenschraffen
3	60°-Pfeil 3 Balken	90°-Pfeil 3 Bakenschraffen
		120°-Pfeil Doppelwinkel
4	4 Balken	

Tab. 4.18: Relative Ortsfrequenzen der einfarbigen Testzeichen (s. auch Anhang 4)

zeichen dargestellt, in Bild 4.55 das Verhältnis beider Schwellen L_{ES}/L_{WS} . Da die weißen Testzeichen bei gleicher Einstellung der Bildschirmleuchtdichte eine höhere mittlere Leuchtdichte aufweisen als die zweifarbigen Leiteinrichtungen, aber die gleiche Fläche auf dem Bildschirm einnehmen wie diese, liegen alle Leuchtdichteschwellen der einfarbigen Testzeichen unter den Leuchtdichteschwellen der zweifarbigen Testzeichen (Vergleich Bild 4.52 mit Bild 4.54).

- **Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitschwelle**

Alle Leuchtdichteunterschiede sind bei der Erkennbarkeitsschwelle ausgeprägter als bei der Wahrnehmbarkeitsschwelle. Die kleinsten Schwellen haben die Pfeile mit 60°- und 90°-Spitze und der „Bakenpfeil“, dessen Form dem weißen Teil der Pfeilbake entspricht. Auch die übrigen Pfeile haben kleinere Schwellen als die Balken, die Schraffen und der Doppelwinkel.

- **Leuchtdichteschwellen von Testzeichen, deren Form als Basiselement für Baken verwendet werden kann**

(Bedingung hierfür ist laut Definition in Abschnitt 4.2.1 Breite x Höhe des Testzeichens = 4 : 1). Die Leuchtdichteschwellen steigen in der Reihenfolge Bakenpfeil - 120°-Pfeil - 2 Bakenschraffen - 3 Bakenschraffen an. Auch hier ist das Grundelement der Pfeilbake dem der Schraffenbake überlegen.

- **Abhängigkeit der Leuchtdichteschwellen von der relativen Ortsfrequenz**

Mit zunehmender Ortsfrequenz erhöhen sich die Leuchtdichteschwellen, und zwar wieder deutlicher ausgeprägt bei der Erkennbarkeitsschwelle als bei der Wahrnehmbarkeitsschwelle (Vergleich der Testzeichen 1 Balken bis 4 Balken; 2 Bakenschraffen und 3 Bakenschraffen).

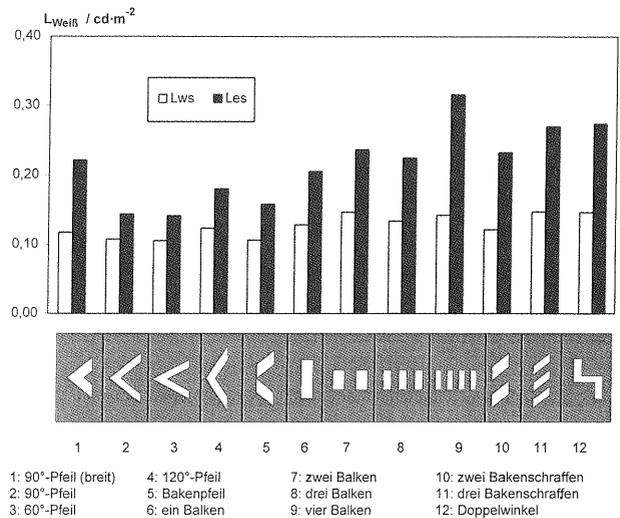


Bild 4.53: Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{WS} und Erkennbarkeitsschwelle L_{ES} für einfarbig weiße Testzeichen, bezogen auf ihre Leuchtdichte $L_{Weiß}$

- **Leuchtdichteschwellen von Testzeichen mit gleicher relativer Ortsfrequenz**

Relative Ortsfrequenz 2: Für den Bakenpfeil wurden deutlich geringere Leuchtdichteschwellen ermittelt als für die Testzeichen, gestaltet aus Streifenmustern (1 oder 2 Balken, 2 oder 3 Bakenschraffen). Auch der breite 90°-Pfeil zeigt noch geringere Leuchtdichteschwellen als die Testzeichen mit Streifenmustern.

Relative Ortsfrequenz 3: Die Pfeile sind bei deutlich geringerer Leuchtdichte wahrnehmbar und erkennbar als die Testzeichen mit Streifenmustern (3 Balken, 3 Bakenschraffen).

- **Verhältnis Erkennbarkeits- zu Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{ES}/L_{WS}**

Die besten (kleinsten) Werte dieses Verhältnisses ergeben sich für die 90°-, 60°- und 120°-Pfeile, gefolgt vom Bakenpfeil. Das Verhältnis L_{ES}/L_{WS} verschlechtert sich mit zunehmender relativer Ortsfrequenz der Testzeichen.

Ein unerwartetes Ergebnis zeigte sich für das Testzeichen „1 Balken“. Man sollte erwarten, daß für dieses Testzeichen wegen dessen regelmäßiger Gestalt die kleinsten Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen ermittelt werden, also auch noch kleinere Werte als für die verschiedenen Pfeilmuster. Wie die meisten Versuchspersonen auf Befragen nach Abschluß des Experiments sagten, hatten sie angesichts der bis dahin präsentierten Testzeichen nicht erwartet, daß nun ein solches einfaches Testzeichen folgte und hatten bei der Erhöhung der Leuchtdichte erst dann Halt gesagt, als sie sich völlig sicher waren, daß bei diesem Test-

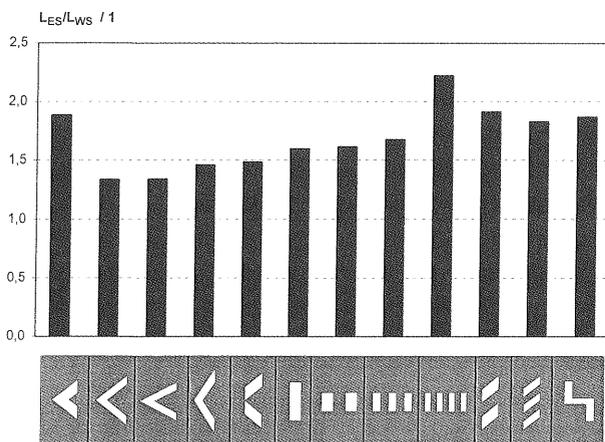


Bild 4.54: Verhältnis der Erkennbarkeitsschwelle L_{ES} zur Wahrnehmbarkeitsschwelle L_{WS} der Leuchtdichte für einfarbig weiße Testzeichen

zeichen tatsächlich keine weiteren Details auftauchen würden; im Gegensatz zu den anderen Testzeichen, bei denen das Halt vereinbarungsgemäß bereits dann erfolgte, wenn die Versuchspersonen glaubten, das Zeichen erkannt zu haben. Das heißt, daß die Leuchtdichten für dieses Testzeichen tatsächlich niedriger liegen als aus Bild 4.52 abzulesen ist. Ob der gleiche Effekt dafür verantwortlich ist, daß auch die Schwellen des Testzeichens mit 2 Balken höher liegen als die des Zeichens mit 3 Balken, kann nur vermutet werden. Für diese Vermutung spricht, daß bei einer stichprobenartigen Wiederholung des Experiments mit einigen Versuchspersonen - die jetzt ja die Testzeichen kannten - alle Schwellen, insbesondere aber die der Testzeichen mit 1 oder 2 Balken, niedriger lagen als beim ersten Durchlauf.

Bezogen auf die dynamischen Verhältnisse beim Autofahren besagen diese Ergebnisse, daß Leiteinrichtungen, die aus Pfeilelementen zusammengesetzt sind (z.B. die Pfeilbake), schneller bzw. aus größerer Entfernung erkannt werden als Leiteinrichtungen, die aus Streifenmustern bestehen (z.B. die Schraffenbake). Man hat also eine größere Vorhersehzeit zur Verfügung, um auf eine mittels der Pfeilbake gekennzeichnete kritische Stelle im Straßenraum zu reagieren als bei Verwendung der Schraffenbake. Die Pfeilbake besitzt demnach ein größeres Sicherheitspotential als die Schraffenbake.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Psychophysische Bewertung und Leuchtdichteschwellen

Die geringeren Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen von Pfeilmustern, verglichen mit den Schwellen der Streifenmuster, können wahrnehmungspsychologisch durch die Gesetze der Geschlossenheit und der Nähe erklärt werden, die besagen, daß Figuren um so besser wahrgenommen werden, je geschlossener ihre Form ist und je leichter sie sich zu Gruppen zusammenschließen lassen (METZGER [38]). Betrachtet man die Testzeichen des Experimentes 10b (Anhang 4 oder Legende zu den Bildern 4.53 oder 4.54), so sieht man sofort, daß ein Pfeil eine geschlossener Form darstellt als ein Streifenmuster, bei dem die figurbildenden Komponenten durch Abstände voneinander getrennt sind, die so groß sind wie die Streifen selbst.

Die beiden Figuren „2 Bakenschraffen“ und „Bakenpfeil“ unterscheiden sich geometrisch nicht allzu sehr voneinander. Dreht man eine der beiden Bakenschraffen in ihrer vertikalen Schwerpunktsachse um 180° , so erhält man die Pfeilbake. Aber wahrnehmungspsychologisch erhält man durch diese Drehung einen größeren Grad an Geschlossenheit und die beiden Komponenten lassen sich leichter zu einer Figur gruppieren. Aus diesen Gründen sind vermutlich Pfeilmuster leichter wahrzunehmen und zu erkennen als Streifenmuster.

In Bild 5.1 sind die Ergebnisse der für die Fahr Situationen durchgeführten psychophysischen Bewertung (jeweils beste Bewertung der Leiteinrichtung, Standardvariante, s. Bilder 4.19, 4.23, 4.25, 4.28 und 4.31) den für die gleichen Leiteinrichtungen ermittelten Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen gegenübergestellt. Offenbar besteht zwischen diesen Größen kein Zusammenhang. In Abschnitt 4.5.2.7 war bereits festgestellt worden, daß Leiteinrichtungen ihre Funktion dann erfüllen, wenn sie aus archetypischen Mustern - Pfeilen oder Zäunen - bestehen und die Pfeile darüber hinaus in die vorgegebene Richtung zeigen.

Die Höhe der Leuchtdichteschwellen hängt aber nicht vom archetypischen Charakter der Leiteinrichtung ab, sondern von

1. lichttechnischen Parametern (Leuchtdichte, Kontrast, Umfeldleuchtdichte, Sehwinkel, relative Ortsfrequenz),

2. wahrnehmungspsychologischen Gesetzmäßigkeiten, insbesondere von den eben genannten Gesetzen der Geschlossenheit und Nähe.

So ist es zu erklären, daß für die Pfeilbake sowohl hohe Bewertungsnoten als auch niedrige, also günstige Leuchtdichteschwellen ermittelt wurden, während sich für die Schraffentafel zwar ebenfalls niedrige Leuchtdichteschwellen, aber niedrige (= schlechte) Bewertungsnoten (der Pfeil zeigt in die falsche Richtung), ergaben. Die Schraffenbake erhält sowohl eine schlechte Bewertung (keine archetypische, eine Richtungsweisung erkennen lassende Form) als auch relativ hohe (ungünstige) Leuchtdichteschwellen. Der Zaun bekommt zwar wegen seiner archetypischen Form hohe Bewertungsnoten, aber wegen der fehlenden Geschlossenheit der Form und geringer Nähe der figurbildenden Komponenten nur deshalb relativ gute Leuchtdichteschwellen, weil das Zeichen in dem Experiment doppelt so groß dargeboten wurde wie die Baken.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich die Konsequenz ziehen, daß richtungsweisende Leiteinrichtungen, die aus Pfeilmustern bestehen, die in die vorgegebene Richtung zeigen, von Kraftfahrern am besten verstanden werden und am schnellsten wahrgenommen und erkannt werden. Leiteinrichtungen mit Absperrfunktion werden am besten verstanden, wenn sie aus Streifenmustern (Zäunen) bestehen. Die Wahrnehmung und Erkennung dieser Leiteinrichtung ist jedoch nur gewährleistet, wenn sie relativ großflächig dargeboten werden.

Die Standardversionen aller getesteten Leiteinrichtungen sind am schnellsten - d.h. bei den geringsten Leuchtdichten - wahrzunehmen und zu erken-

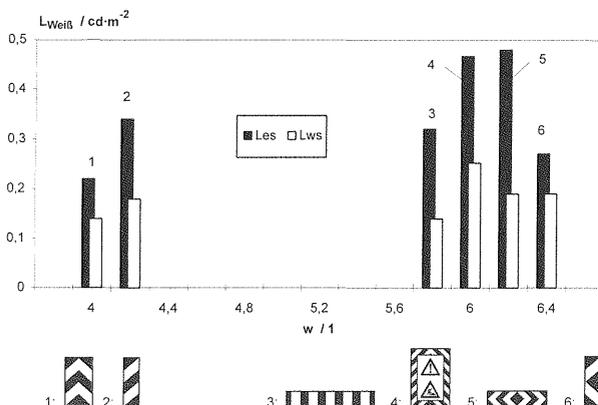


Bild 5.1: Vergleich der psychophysischen Bewertung w mit der Wahrnehmbarkeitsschwelle $L_{\text{W}s}$ und der Erkennbarkeitsschwelle $L_{\text{E}s}$ ausgewählter Leiteinrichtungen, Standardvariante

nen. Dieses Ergebnis stimmt völlig überein mit der psychophysischen Bewertung der Leiteinrichtungen in Abhängigkeit von Rotanteil und relativer Ortsfrequenz (s. Abschnitt 4.5.3, insbesondere Bild 4.34 und 4.35), bei der ebenfalls die Standardversionen am besten beurteilt wurden.

5.2 Vergleich der Ergebnisse mit der Literatur

Trotz der großen Bedeutung, die Leiteinrichtungen für die visuelle Führung auf Straßen haben, gibt es erstaunlicherweise kaum Untersuchungen, die sich mit der Gestaltung von Leiteinrichtungen befassen.

Nur in einer der bekannten Studien wurde der Farbkontrast von Leiteinrichtungen untersucht. PAIN und KNAPP [42] ermittelten in einem tachistoskopischen Experiment, daß die Wahrnehmungsschwelle von Leiteinrichtungen in der in den USA üblichen Farbkombination Weiß-Orange (s. Anhang 1) bei einem Flächenverhältnis Weiß-Orange von 2 : 1 geringfügig besser ist als bei den Verhältnissen 1 : 1 und 1 : 2. Sie führen dieses Ergebnis auf das Versuchsdesign zurück. ZWAHLEN und YU [70] ermittelten in einem Feldexperiment die Erkennbarkeitsentfernung retroreflektierender, einfarbiger Testzeichen verschiedener Form (Kreis, Quadrat, auf der Spitze stehendes Quadrat) und Farbe (Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot und Weiß) im Kfz-Abblendlicht. Sie stellten fest, daß bei Tageslicht die Farb-Erkennbarkeitsentfernung etwa doppelt so hoch ist wie die Form-Erkennbarkeitsentfernung.

Umfangreiche Studien über die Wirksamkeit von Leiteinrichtungen führten PAIN u.a. [42], [43], [44] durch. Sie untersuchten Leiteinrichtungen in Form von Baken, Tafeln, Schranken und Trapezen, die mit vertikalen, horizontalen oder diagonalen Streifenmustern, mit Pfeil- oder Rautenmustern ausgefüllt waren (Bild 5.2). Die Untersuchungen wurden als Labor- und Fahrversuche durchgeführt. Im ersten Experiment wurde eine deutliche Überlegenheit der Leiteinrichtungen mit einer Streifenbreite ermittelt, die einer relativen Ortsfrequenz $O = 2$ nach der in dieser Arbeit gewählten Definition entspricht, gegenüber Leiteinrichtungen mit $O = 3$ oder 4. Diese Ergebnisse stimmen mit den in Abschnitt 4.5.3 beschriebenen Resultaten überein.

Bei der Bewertung der Richtungsweisung stellte sich eine eindeutige Überlegenheit der Leiteinrichtungen heraus, die ein sogenanntes Chevronmu-

ster verwenden (Leiteinrichtungen Nr. 13, 15, 21 und 23 in Bild 5.2). Auch dieses Ergebnis deckt sich mit den unter Abschnitt 4.5.2.1 bis 4.5.2.6 beschriebenen Resultaten der Fahr-situationen. Allerdings wird den Chevronmustern im Gegensatz zu den Ergebnissen des Abschnittes 4.6 eine schlechte Entdeckungswahrscheinlichkeit (detectability) attestiert, ohne daß dafür Gründe diskutiert werden oder das Versuchsdesign näher beschrieben wird.

GODTHELP und RIEMERSMA [20] verglichen in einem Laborexperiment die richtungsanzeigende Wirkung von Schraffen- und Pfeilbaken in einer Arbeitsstellensituation, bei der die Konfiguration durch Weglassen einiger Baken zusätzlich gestört wurde. Bild 5.3 läßt erkennen, daß die Versuchspersonen bei der Beurteilung der Richtungsweisung bei der Pfeilbake deutlich weniger Fehler machen als bei der Schraffenbake. Die Ergebnisse von GODTHELP und RIEMERSMA waren der Anlaß, in Südafrika die Pfeilbake in Arbeitsstellen und als Hindernismarkierung einzuführen ([V 4], [V 10], SATOR [50], [51]). Wie SATOR berichtet, wird die Pfeilbake von Kraftfahrern und Behörden positiv beurteilt; quantifiziert wird diese Aussage nicht.

AULBACH [6] führte Fahrversuche in Arbeitsstellen durch, deren Verschwenkungsbereiche durch Schraffen- bzw. Pfeilbaken signalisiert waren. Er stellte fest, daß die Lenkbewegungen der Testfahrer bei der mit Pfeilbaken ausgestatteten Arbeits-

stelle viel geringer und gleichmäßiger ausfielen als bei der mit Schraffenbaken bestückten Arbeitsstelle (Bild 5.4).

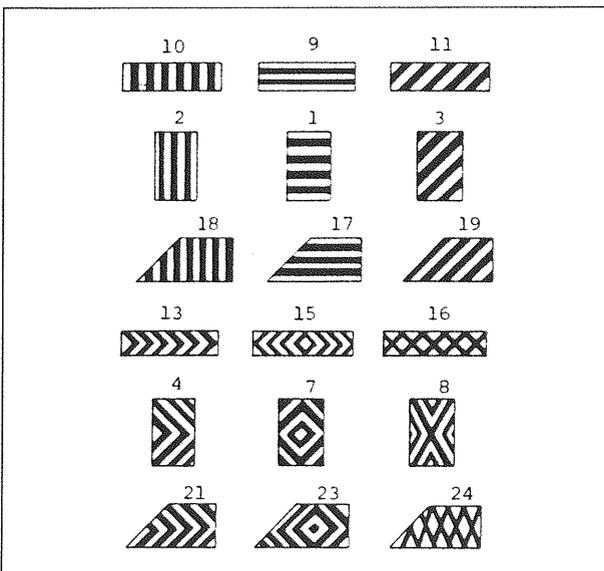


Bild 5.2: Von PAIN u.a. verwendete Formen von Leiteinrichtungen. (Entnommen [43])

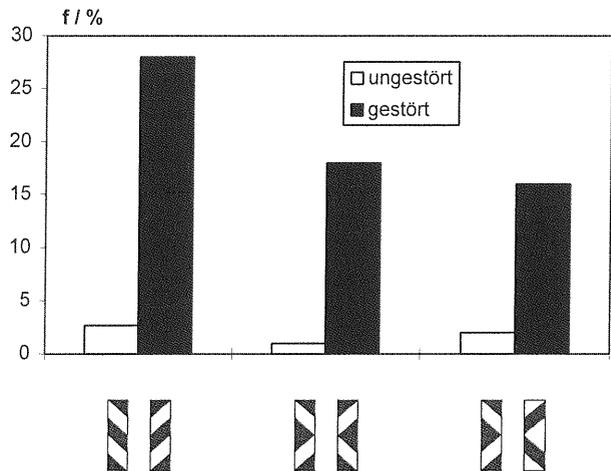


Bild 5.3: Fehlerhäufigkeit f bei der Einschätzung der Richtungsweisung verschiedener Bakenformen in Arbeitsstellen mit und ohne Störung der Bakenkonfiguration. Nach GODTHELP und RIEMERSMA [20]

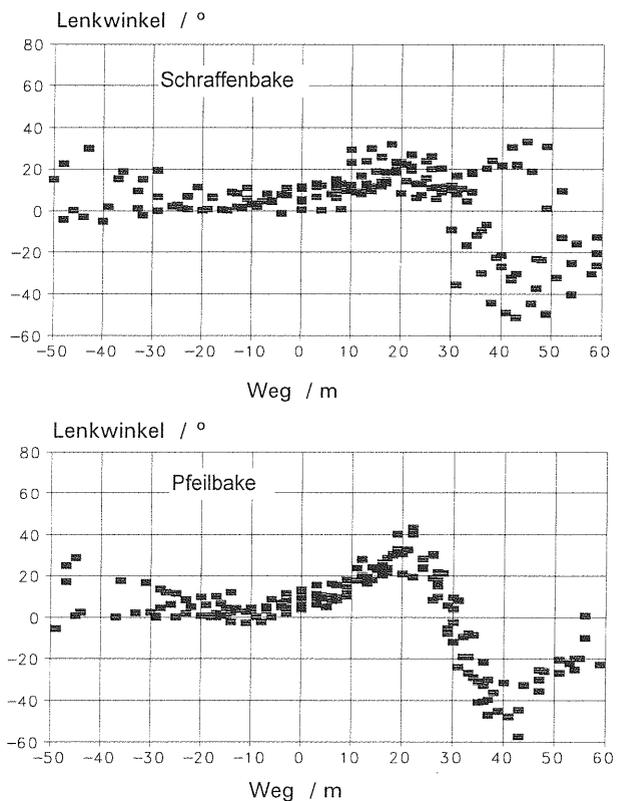


Bild 5.4: Lenkbewegungen, gemessen durch den Lenkwinkel, von Kraftfahrern bei Annäherung an eine Arbeitsstelle, deren Verschwenkungsbereich mit Schraffenbaken (oberes Bild) bzw. Pfeilbaken ausgestattet ist. Nach AULBACH [6]

Die Verwendung von Pfeilbaken ist als potentielle verkehrsunfallsenkende Maßnahme anzusehen:

1. Die Verbesserung der visuellen Führung erbringt auch eine Verbesserung des Fahrerverhaltens der Kraftfahrzeugführer.
2. Wegen der niedrigeren Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwellen steht dem Kraftfahrer mehr Zeit zur Verfügung, um eine von den Warnbaken vermittelte Information in ein Fahrmanöver umzusetzen (größere Vorausschauzeit).

Schraffenmuster als Gestaltungselement von Leiteinrichtungen wurden vermutlich erstmals in Deutschland in den zwanziger Jahren verwendet und sind bereits 1930 in das Vorschriftenwerk des Straßenverkehrs aufgenommen worden [V 1]. Von dort aus haben Schraffenmuster als absperrendes, vor allem aber als richtungsanzeigendes Gestaltungselement in das Vorschriftenwerk vieler Länder Einzug gehalten. Nichtsdestotrotz muß man sagen, daß Leiteinrichtungen mit Schraffenmustern die von ihnen verlangte Richtungsweisung nicht erfüllen können. PAIN, MCGEE und KNAPP [43] drücken diese Erkenntnis so aus: „Es gibt keinen Grund für die Verwendung von diagonalen Streifenmustern für die Links- und Rechtsweisung“.

Die „Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen“ [V 9] schreiben vor, daß bei Bakenreihen zur Signalisierung einer Verschwenkung in einer Arbeitsstelle die zweite Bake durch das Verkehrszeichen „links vorbei“ bzw. „rechts vorbei“ (weißer Pfeil auf blauem Grund, StVO-Zeichen 222) ersetzt werden muß; offenbar vertraut man der Richtungsweisung der Bakenreihe nicht allzu sehr.

5.3 Empfehlungen

Aus den Ergebnissen lassen sich einige Vorschläge zur Modifizierung der heutigen Leiteinrichtungen ableiten, die den eingangs genannten Prinzipien der visuellen Führung besser Rechnung tragen.

Formen von Leiteinrichtungen

Leiteinrichtungen, die eine Querabspernung anzeigen, sollten großflächig, d.h. langgestreckt, und aus senkrechten Streifenmustern aufgebaut sein. Die prinzipielle Form des entsprechenden StVO-Zeichens (Absperrschranke, StVO-Zeichen 600) braucht nicht verändert zu werden.

Zur Kennzeichnung einer Querabspernung mit gleichzeitiger Links-/Rechts-Weisung bzw. einer Straßeneinmündung, bei der ebenfalls nur links oder rechts abgebogen werden kann, sollte ein neues Verkehrszeichen in Form des Doppel-Pfeiles (gespiegelte Kurventafel in Kurven; StVO-Zeichen 625) eingeführt werden. Dieses Zeichen ist in den Vorschriftenwerken mehrerer Länder (Dänemark, Italien, Schweden, Südafrika, s. Anhang 1) bereits für diesen Verwendungszweck vorgesehen; in anderen Ländern wird es - obwohl nicht in der jeweiligen nationalen Vorschrift vorhanden - de facto eingesetzt, indem einfach je eine nach links und rechts weisende Kurventafel direkt nebeneinander gesetzt werden, so daß der Doppel-Pfeil entsteht. Auch in einigen deutschen Bundesländern ist dies gängige Praxis.

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung läßt sich in völliger Übereinstimmung mit der Literatur ableiten, daß bei der Gestaltung aller Leiteinrichtungen mit Richtungsbezug Pfeilmuster verwendet werden sollten. Der Richtungsbezug ist bei Pfeilmustern ohne weiteres verständlich (selbsterklärend) und richtig eingesetzte Pfeilmuster - der Pfeil muß in die vorgegebene Richtung weisen - zeigen keine Ambivalenz. Deshalb sollte die heutige Schraffenbake (Leit- oder Warnbake; StVO-Zeichen 630-10) bei allen Einsatzgebieten durch ein neues Verkehrszeichen ersetzt werden: die Pfeilbake, die bereits in Südafrika ([V 4], [V 10]) eingeführt ist. Ein Pfeilmuster sollte konsequenterweise auch bei anderen Verkehrszeichen verwendet werden, die heute mittels Schrägschraffen gestaltet werden. (z. B. Containermarkierung, Parkwarntafel).

Auch die zur Kennzeichnung von Trenninseln o.ä. Situationen verwendete Schraffentafel (Leitplatte, StVO-Zeichen 605-30) sollte konsequent durch Zeichen ersetzt werden, die auf Pfeilmustern beruhen. Wegen seiner hohen visuellen Wirksamkeit könnte der Doppel-Pfeil auch für diesen Zweck verwendet werden, wie dies in mehreren europäischen Ländern üblich ist (Frankreich, Großbritannien, Österreich, Spanien, s. Anhang 1). Wegen der in Abschnitt 4.5.2.2 beschriebenen Probleme der Verwendung dieses Zeichens zur Kennzeichnung von Trenninseln (Verletzung des Prinzips der Unifunktionalität; hoher Platzbedarf an den oft sehr schmalen Trenninseln) sollte hier jedoch besser die Kombination zweier nach außen weisender Pfeilbaken verwendet werden, die praktisch die gleiche visuelle Wirksamkeit besitzt wie der Doppel-Pfeil.

Zu untersuchen wäre in diesem Fall der optimale Abstand zwischen den beiden Pfeilbaken und die Frage, wie der Zwischenraum gestaltet werden sollte (freilassen, Verwendung eines weißen oder grauen, retroreflektierenden oder nicht retroreflektierenden Zwischenfeldes).

Beim Rahmen der fahrbaren Absperrtafel (StVO-Zeichen 615) wird durch den Ersatz der schrägen Schraffen durch waagerechte bzw. senkrechte Streifen keine Verbesserung der Erkennbarkeit bewirkt; man würde aber durch diese Maßnahme eine einheitliche Gestaltung aller Leiteinrichtungen erreichen.

Rot-Weiß-Flächenverhältnis, relative Ortsfrequenz

Das in der StVO gewählte Verhältnis des roten zum weißen Flächenanteil von 1 : 1 ist als optimal anzusehen. Die optimale relative Ortsfrequenz ist 2, das entspricht der StVO-Gestaltung von zwei Rot-Weiß-Wechseln bei einer Standardbake. Bei der Richtungstafel in Kurven (StVO-Zeichen 625) bzw. beim vorgeschlagenen Doppel-Pfeil empfiehlt es sich, die relative Ortsfrequenz ebenfalls auf 2 zu reduzieren, um die optimale Wahrnehmbarkeit und Erkennbarkeit zu erzielen.

Farben und Farbkombinationen

Die in Deutschland und vielen anderen Ländern für Leiteinrichtungen verwendete Farbkombination Rot-Weiß hat die größte Warnwirkung und Auffälligkeit, so daß hier kein Änderungsbedarf besteht. Allenfalls wäre zu überlegen, ob eine unterschiedliche Farbkodierung von Leiteinrichtungen für ständigen oder vorübergehenden Einsatz (Straßenarbeitsstellen) gewählt werden sollte, wie dies im Ausland zum Teil üblich ist. Rot-Gelb ist die einzige Farbkombination, deren Warnwirkung und Auffälligkeit derjenigen von Rot-Weiß nahekommt. Doch diese Farbkombination scheidet für eine Dauerbeschilderung aus, weil Rot-Gelb vermutlich eher als Arbeitsstellenbeschilderung assoziiert werden würde als Rot-Weiß - herrührend von der vorgeschriebenen gelben Farbe der Fahrbahnmarkierungen in Arbeitsstellen. Verzichtete man bei dauerhaft verwendeten Leiteinrichtungen auf die hohe Warnwirkung, unter Beibehaltung einer hohen Leuchtdichte und eines hohen Helligkeitskontraste der Leiteinrichtungen, käme Blau-Weiß oder das in dieser Arbeit nicht getestete Grün-Weiß infrage, nicht jedoch Farbkombinationen, in denen Schwarz auftaucht, weil diese bei Nacht nicht mehr als Leiteinrichtungen erkennbar sind.

Fluoreszenzfarben sind zwar auffälliger und haben generell eine höhere Warnwirkung als herkömmliche Farben. Sie sollten aber bei der Gestaltung von Verkehrszeichen aus zwei Gründen nur sehr sparsam eingesetzt werden: Einmal treten bei oftmaliger Verwendung Gewöhnungseffekte auf, so daß die Auffälligkeit wieder sinkt, und zweitens sollte eine Auffälligkeitskonkurrenz zu Personengruppen vermieden werden, deren Schutz die höchste Priorität zukommt, nämlich Kindern und in Arbeitsstellen Beschäftigten. Mit anderen Worten: Fluoreszenzfarben sollten bei der Kleidung und Ausstattung dieser Personengruppen ständig, aber bei Verkehrszeichen nur in Ausnahmefällen verwendet werden.

Bei den Verkehrszeichen „Überleitungstafeln“, „Zusammenführung von Verkehrsströmen“ und den Ankündigungstafeln von Arbeitsstellen (im folgenden werden diese Zeichen unter dem auch in der StVO benutzten Begriff „Verkehrslenkungstafel“ zusammengefaßt) sind wegen der anderen Sehaufgabe andere Farbkombinationen als empfehlenswert anzusehen als bei Leiteinrichtungen. Unter Beibehaltung der Farbkombinationen, die heute für die wegweisende Beschilderung und ständig verwendeten Verkehrslenkungstafeln vorgeschrieben sind, sollte für Verkehrslenkungstafeln, die nur für Arbeitsstellen gelten, die Farbkombination schwarze Schrift auf orangefarbenem Grund gewählt werden. Wollte man für Arbeitsstellen die Farbkombination Schwarz auf Gelb verwenden, die als die Farbkombination mit der höchsten Warnwirkung ermittelt wurde, müßte für die entsprechende Außerorts-Dauerbeschilderung eine andere Farbkombination eingeführt werden.

5.4 Vorschläge zur Änderung der Straßenverkehrs-Ordnung

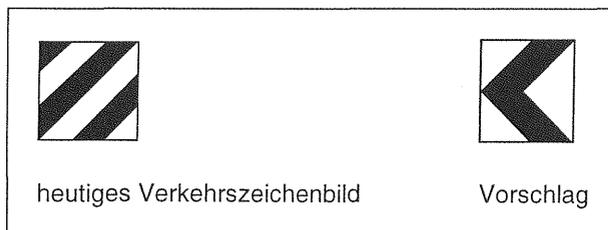
5.4.1 Leiteinrichtungen

In § 43 „Verkehrseinrichtungen“ der StVO sind unter Abs. 3, Satz 2 Absperrgeräte aufgeführt. Dazu gehört auch das Zeichen Nr. 605, die Leitbake (Warnbake). Das Bild der Leitbake sollte wie folgt geändert werden:

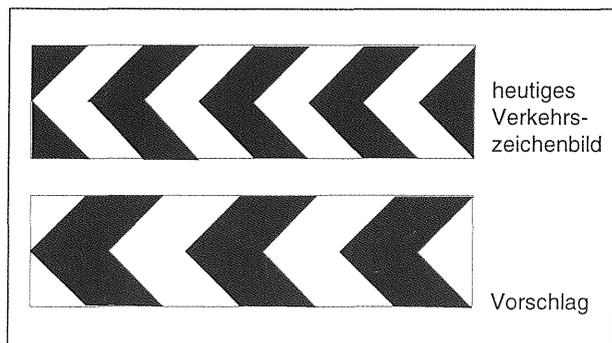


Im gleichen Sinne sollte auch das Bild der für Container und Wechselbehälter vorgesehenen Markierung geändert werden, die im öffentlichen Verkehrsraum abgestellt sind (§ 30 StVO).

Das Bild der Parkwarntafel (§ 43, Abs. 4 der StVO) sowie der Warntafel nach DIN 11 030 [V 17] zur Kenntlichmachung von landwirtschaftlichen Fahrzeugen sollte wie folgt geändert werden:



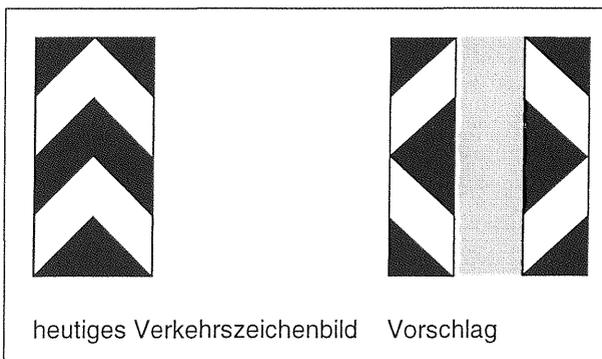
In § 43, Absatz 2; Satz 3 „Leiteinrichtungen“ ist unter Teilsatz b das Zeichen 625, die Richtungstafel in Kurven aufgeführt. Bei dieser sollte die relative Ortsfrequenz von $O = 4$ auf 3 verringert werden (Erhöhung der Streifenbreite):



Als neues Verkehrszeichen zur Kennzeichnung eines Gebotes, nach links oder rechts abzubiegen, sollte der „Doppel-Pfeil“ in § 43 der StVO aufgenommen werden. Dieses Zeichen sollte sowohl für die Dauerbeschilderung (hier als Verdeutlichung des Zeichens 209-31, vorgeschriebene Fahrtrichtung links oder rechts) als auch für eine Querabsperrung in Arbeitsstellen verwendet werden:



Die „Leitplatte“ zur Kennzeichnung z.B. von Trenninselspitzen erscheint in der StVO selbst gar nicht und wird in der „Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur StVO (VwV-StVO)“ zu § 43 der StVO nur verbal erwähnt. Das dazugehörige Verkehrszeichenbild findet sich nur im Katalog der Verkehrszeichen unter den Nummern 605-30 und 605-31. Diese Leitplatte sollte durch zwei nach außen weisende Pfeilbaken ersetzt werden:



Entsprechend den hier gemachten Vorschlägen zur Änderung der StVO wären auch die Teile der Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen (RSA) zu ändern, in denen die Leitbake und die Leitplatte aufgeführt sind (Abschnitt 3 „Verkehrslenkung“, Abschnitt 5 „Bauliche Leitelemente“ sowie die Regelpläne).

5.4.2 Farbkombinationen

In den Tabellen 5.1 bis 5.4 sind die heutige Situation und Vorschläge eines möglichen neuen Systems der für die wegweisende Beschilderung,

Verkehrslenkungstafeln und Leiteinrichtungen zu verwendenden Farbkombinationen zusammengestellt. Diese Vorschläge sind als eine Art zeitliches und/oder systematisches Stufenmodell zu verstehen; die erste Änderungsstufe bezieht sich nur auf die Farbkombination bei Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen, bei der zweiten Stufe wird auch eine neue Farbkombination für dauerhaft verwendete Leiteinrichtungen eingeführt, bei der dritten Stufe werden unterschiedliche Farbkombinationen für dauerhaft und in Arbeitsstellen verwendete Zeichen vorgeschlagen.

Man erkennt einmal den Widerspruch in der heutigen Systematik - auf Autobahnen werden weiß-blaue Wegweiser, aber schwarz-weiße Verkehrslenkungstafeln verwendet - und die fehlende Unterscheidbarkeit von Verkehrslenkungstafeln für dauerhaften und Arbeitsstelleneinsatz. Bei den Änderungsvorschlägen wurden bestimmte Farbkombinationen bestimmten Straßenkategorien vorbehalten und vor allem die Farbkombinationen mit der höchsten Warnwirkung (Schwarz-Gelb bzw. Rot-Weiß) für Verkehrslenkungstafeln und Leiteinrichtungen in Arbeitsstellen reserviert. Weiterhin wurden die in anderen Ländern gültigen Farbkombinationen berücksichtigt, so daß auch die Möglichkeit einer europäischen Harmonisierung dieser wichtigen Verkehrszeichengruppe gegeben ist.

Verkehrszeichen*	BAB	außerorts ohne BAB	innerorts
wegweisende Beschilderung	Weiß auf Blau	Schwarz auf Gelb	Schwarz auf Weiß
dauerhaft verwendete Verkehrslenkungstafeln	Schwarz auf Weiß		
Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen	Schwarz auf Weiß		
Leiteinrichtungen für Dauer- und Arbeitsstellen-Beschilderung	Rot-Weiß		

Tab. 5.1: Heute verwendete Farbkombinationen

* Die Funktion der Verkehrslenkungstafeln und der Leiteinrichtungen ist standort- bzw. querschnittsbezogen, während der Inhalt der wegweisenden Beschilderung - die Zielangaben - nicht standortbezogen sein muß.

+ Die Farbkombination Grün-Weiß bzw. Weiß-Grün wurde in dieser Arbeit zwar nicht untersucht; diese Farbkombination hat etwa die gleiche Leuchtdichte und auch die gleiche Auffälligkeit wie Blau-Weiß und kann daher alternativ zu Blau-Weiß verwendet werden.

Verkehrszeichen*	BAB	außerorts ohne BAB	innerorts
wegweisende Beschilderung	Weiß auf Blau	Schwarz auf Gelb	Schwarz auf Weiß
dauerhaft verwendete Verkehrslenkungstafeln	Schwarz auf Weiß		
Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen	Schwarz auf Orange		
Leiteinrichtungen für Dauer- und Arbeitsstellen-Beschilderung	Rot-Weiß		

Tab. 5.2: Änderung A: Verwendung von Schwarz auf Orange anstelle von Schwarz auf Weiß für Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen (Änderungen gegenüber der vorhergehenden Tabelle in Fettdruck)

Verkehrszeichen*	BAB	außerorts ohne BAB	innerorts
wegweisende Beschilderung	Weiß auf Blau	Schwarz auf Gelb	Schwarz auf Weiß
dauerhaft verwendete Verkehrslenkungstafeln	Schwarz auf Weiß	Schwarz auf Weiß	Schwarz auf Weiß
Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen	Schwarz auf Orange		
dauerhaft verwendete Leiteinrichtungen	Blau-Weiß oder Grün-Weiß ⁺		
Leiteinrichtungen für Arbeitsstellen	Rot-Weiß		

Tab. 5.3: Änderung B: Unterschiedliche Farbkombinationen sowohl für Verkehrslenkungstafeln als auch für Leiteinrichtungen für dauerhaften und Arbeitsstelleneinsatz (Änderungen gegenüber der vorhergehenden Tabelle in Fettdruck)

Verkehrszeichen*	BAB	außerorts ohne BAB	innerorts
wegweisende Beschilderung	Weiß auf Blau	Weiß auf Grün ⁺	Schwarz auf Weiß
dauerhaft verwendete Verkehrslenkungstafeln	Weiß auf Blau	Weiß auf Grün ⁺	Schwarz auf Weiß
Verkehrslenkungstafeln in Arbeitsstellen	Schwarz auf Gelb		
dauerhaft verwendete Leiteinrichtungen	Blau-Weiß	Grün-Weiß ⁺	Grün-Weiß ⁺
Leiteinrichtungen für Arbeitsstellen	Rot-Weiß		

Tab. 5.4: Änderung C: Unterschiedliche Farbkombinationen für dauerhafte und Arbeitsstellenbeschilderung, aber möglichst gleiche Farbkombination bei gleicher Straßenart (Änderungen gegenüber der vorhergehenden Tabelle in Fettdruck)

6 Zusammenfassung

Eine eindeutige visuelle Führung im Straßenraum, insbesondere in Arbeitsstellen, ist eine Grundvoraussetzung für einen sicheren und homogenen Verkehrsablauf. Die visuelle Führung wird bewirkt von horizontalen (z.B. Fahrbahnmarkierungen) und vertikalen Leiteinrichtungen (z. B. Leitbaken). Vor allem nachts kommt den vertikalen Leiteinrichtungen eine besondere Bedeutung zur Gewährleistung der visuellen Führung zu. Eine Verbesserung des visuellen Erscheinungsbildes von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen ermöglicht eine eindeutigere visuelle Führung der Verkehrsteilnehmer, als sie heute vorhanden ist. Dadurch kann das Verkehrsunfallrisiko verringert werden.

Durch Befragung von Versuchspersonen wurde ermittelt, daß bei Leiteinrichtungen die Farbkombination Rot-Weiß die höchste Auffälligkeit und Warnwirkung besitzt, während bei Überleitungs- oder anderen Verkehrslenkungstafeln von den Versuchspersonen Kombinationen mit schwarzer Schrift auf gelbem, orangefarbenem oder rotem Grund die höchste Warnwirkung attestiert wurde.

Die Grundprinzipien der visuellen Führung werden erläutert und typische Fahrsituationen beschrieben, in denen die visuelle Führung durch Leiteinrichtungen eine große Rolle spielt. Mittels einer Labormethode werden Testzeichen auf einem rechnergesteuerten Bildschirm dargeboten, um Aussagen von Versuchspersonen über die visuelle Wirksamkeit von Leiteinrichtungen gewinnen zu können. Mit dieser Methode wurden die Hauptversuche durchgeführt. Die wichtigsten untersuchten Parameter waren Form, Farbkombination, Leuchtdichte, Leuchtdichte- und Farbkontrast der Leiteinrichtungen sowie verschiedene Sichtbedingungen (Tag, Dämmerung, Nacht). Die Ergebnisse dieser psychophysischen Untersuchungen wurden durch ein weiteres Experiment vertieft, bei dem die Wahrnehmbarkeits- und die Erkennbarkeitsschwelle von Leiteinrichtungen bestimmt wurden.

Als wichtigstes Ergebnis ist zu nennen, daß bei richtungsanzeigenden Leiteinrichtungen Pfeilmuster eine deutlich höhere visuelle Wirksamkeit besitzen als diagonale Streifenmuster (sogenannte Schrägschraffen). Daher können die heute überwiegend verwendeten Leiteinrichtungen mit diagonalen Streifenmustern ihre richtungsanzeigende Funktion nur sehr bedingt erfüllen. Als wirksamstes Gestaltungselement für absperrende Leiteinrich-

tungen erwies sich ein vertikales Streifenmuster, das heute meist zur Gestaltung solcher Leiteinrichtungen verwendet wird.

Einige andere Gestaltungsmerkmale der heute verwendeten Leiteinrichtungen besitzen eine hohe visuelle Wirksamkeit: Das Flächenverhältnis Rot : Weiß von 1 : 1, der Leuchtdichtekontrast zwischen Rot und Weiß sowie bei den meisten Leiteinrichtungen auch die Zahl der Rot-Weiß-Wechsel je Länge der Leiteinrichtung. Es stellte sich als nicht sinnvoll heraus, die Farbe Weiß durch fluoreszierende grüne oder gelbe Farben zu ersetzen. Die Helligkeitsanforderungen an Leiteinrichtungen beim nächtlichen Fahren unterscheiden sich nicht von denen anderer Verkehrszeichen.

Im ganzen läßt sich aus den Ergebnissen ablesen, daß das visuelle Erscheinungsbild der in Deutschland verwendeten Leiteinrichtungen in vielen Fällen als gut zu bezeichnen, in anderen aber verbesserungsbedürftig ist.

In den abschließenden Empfehlungen wird vorgeschlagen, die StVO-Warnbake und verwandte Leiteinrichtungen völlig neu zu gestalten, indem die Schraffen- durch Pfeilmuster ersetzt werden. Genauso sinnvoll wäre es, die StVO-Leitplatte durch die Kombination entweder zweier Baken mit nach außen weisenden Pfeilmustern oder zweier nach außen weisender Richtungstafeln zu ersetzen. Die StVO-Absperrschranke kann dagegen in ihrer Gestaltung kaum noch verbessert werden.

Weitere Vorschläge zielen darauf hin, ein einheitliches System der Farbkodierung von Verkehrszeichen für die wegweisende Beschilderung, Leiteinrichtungen und Verkehrslenkungstafeln zu schaffen, bei dem auch die Erfordernisse einer künftigen europäischen Harmonisierung auf diesem Gebiet berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse beziehen sich überwiegend auf Leiteinrichtungen, die in Arbeitsstellen verwendet werden, aber auch für Leiteinrichtungen zur Dauerbeschilderung.

7 Ausblick

Untersuchungsziel der vorliegenden Arbeit war es, durch Optimierung des visuellen Erscheinungsbildes der auf unseren Straßen anzutreffenden Leiteinrichtungen eine verbesserte visuelle Führung für die Kraftfahrer zu ermöglichen. Die psychophysische Bewertung der visuellen Qualität in Verbindung mit der Ermittlung der Wahrnehmbarkeits- und Erkennbarkeitsschwelle von Leiteinrichtungen führt zu einem besseren Verständnis des dreistufigen Gesamtprozesses der visuellen Information - des Sehens, Wahrnehmens und Erkennens - dieser Leiteinrichtungen. Diese beiden Untersuchungsmethoden und noch mehr die Kombination beider Methoden ist gut geeignet, um auch die visuelle Wirksamkeit anderer vertikaler Verkehrszeichen und horizontaler Verkehrszeichen (Fahrbahnmarkierungen) zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern und stellen eine Ergänzung des Instrumentariums zur Untersuchung von Sehobjekten (z.B. Sehschärfe-/Adaptationstest, zeitlimitierter Erkennbarkeitstest/tachistoskopischer Test, Entdeckungstest) dar.

Der wichtigste Vorschlag, der aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit zu folgern ist, stellt die Veränderung der Gestaltung der StVO-Leitbake durch Einführung der Pfeilbake anstelle der Schraffenbake dar. Die sonst oft beklagte Kurzlebigkeit der in Arbeitsstellen verwendeten Verkehrszeichen eröffnet die Möglichkeit, die neugestaltete Warnbake ohne größeren finanziellen Mehraufwand in Verkehr zu bringen. Vor einer Einführung in das Regelwerk sollte die Wirksamkeit dieser wie auch der anderen vorgeschlagenen Änderungen in der Praxis durch weitere Fahrversuche getestet werden.

Die auf der Basis der gefundenen Ergebnisse vorgeschlagenen Änderungen der Gestaltung von Leiteinrichtungen tragen den Prinzipien der visuellen Führung besser Rechnung als bisher, stellen einen Schritt in Richtung einer europäischen Harmonisierung dieser wichtigen Verkehrszeichen-gruppe dar und können einen Beitrag zur Senkung des Verkehrsunfallgeschehens liefern.

8 Literatur

- [1] ADELEKE-SHEIDUN, P. O. und STONE, J. O.: The Determination of Minimum Retroreflectance Levels for Pavement Markings by Panel Experimentation. 61. Annual ITE Meeting, Milwaukee 1991
- [2] ANDERSON, R. W.: Safety in Highway Work Zones: A Matter of Ethics. Traffic Engineering, May 1997, S. 26
- [3] ANONYM: Die Farbdarstellung bei Monitoren. PC Professionell 1/1993, S. 168
- [4] ARMINGER, G.; KÜSTERS, U. und MÜLLER, F.: Statistik I und II. Vorlesungsumdruck Hochschule Wuppertal, 1991/1992
- [5] AULBACH, J.: Lichttechnische Gestaltung von Arbeitsstellen. Schlußbericht zum BMV-Forschungsvorhaben FE-03.213 G 89, Fachgebiet Lichttechnik der TH Darmstadt 1992
- [6] AULBACH, J.: Lichttechnische Gestaltung von Arbeitsstellen, Teil 2 Praxiserprobung. Schlußbericht zum BMV-Forschungsvorhaben FE 03.241 G 91F, Fachgebiet Lichttechnik der TH Darmstadt 1994
- [7] BAUER, H.: Farbe und Licht am Arbeitsplatz. Sicher ist sicher 12/1967, S. 325
- [8] BRÜHNING, E. und VÖLKER, R.: Unfallgeschehen auf Autobahnen. Straße und Autobahn 29 (1978), S. 248
- [9] BURNS, D. M. und PAVELKA, L. A.: Fluorescent Retroreflective Materials for Improved Roadway Safety. XII. IRF World Congress, Madrid 16. - 21. 5. 1993. Tagungsband 1, S. 881
- [10] DE BOER, J. B. und SCHREUDER, D. A.: Glare as a Criterion for Quality in Street Lighting. Lighting Research and Technology 2 (1970), S. 61
- [11] Der Elsner (Hrsg. Knoll, E.): Handbuch für Straßen- und Verkehrswesen. Otto Elsner Verlagsgesellschaft, Dieburg 1997, S. 1085
- [12] DREZNES, M.: Towards a Safer Battlefield. World Highways, Nov. 1991, S. 29
- [13] ELLIS KING, L. und GRAHAM, J. R.: Evaluation of Pavement Marking Materials for Wet Night Conditions. Report FHWA /NJ/ 89-003, Washington 1989

- [14] EMDE, W. und HAMESTER, H.: Unfallgeschehen an Arbeitsstellen. Informationen - Verkehrsplanung und Straßenwesen - H. 14 Hochschule der Bundeswehr, München 1983
- [15] ETHEN, J. L. und WOLTMAN, H. L.: Minimum Reflectance for Nighttime Visibility of Pavement Markings. Transportation Research Record 1093, Washington 1986
- [16] FORTUIN, G. J.: Visual Power and Visibility, Part I. Philips Research Reports 6, Reprint R 174. Eindhoven 1974, S. 347 ff.
- [17] FRANK, H.: Lichttechnische Anforderungen an vertikale Verkehrszeichen bei Dunkelheit. Darmstädter Dissertation D 17, Darmstadt 1994
- [18] FRANK, H.: Bewertungssystem für Farben von Reflexstoffen. Jubiläumsband Fachgebiet Lichttechnik der TH Darmstadt „40 Jahre Lichttechnik in Darmstadt“, Juni 1996
- [19] FRANK, H. und EWALD, J.: Bestimmung des Mindestrückstrahlwertes im Gebrauchszustand für retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung. Schlußbericht zum Forschungsauftrag Nr. FE 03.255.G92C des Bundesverkehrsministeriums, Darmstadt 1995
- [20] GODTHELP, J. und RIEMERSMA, J. B. J.: Werk in uitvoering op niet-autosnelwegen. II: De bebakening en markering van het werkvak. rapport no. IZF 1980-C20 des TNO, Soesterberg
- [21] HARTMANN, E.: Mehr Verkehrssicherheit durch retroreflektierende (rückstrahlende) Materialien. 3M Reflexe 1/1979, S. 7
- [22] HARTMANN, E.: Lichttechnik und Physiologie des Sehens. In: Gramberg-Danielsen (Hrsg.), Der Dunkelheitsunfall. F. Enke-Verlag, Stuttgart 1984
- [23] HAUBNER, P.: Zum Problem einer metrischen Skalierung der Helligkeit, Vortrag auf der Jahrestagung der LiTG 1972, Karlsruhe (zitiert nach SOMMER und LOEF, [62])
- [24] HAUBNER, P. und JOHANNI, H.: Untersuchung über die psychologische Blendung in Innenräumen, Lichttechnik 22(1970), S. 304 und 345
- [25] HOFFMANN, G.: Auswirkung von Reparatur-Baumaßnahmen auf der Bundesautobahn Stadtring Berlin auf den Verkehrsablauf und das Unfallgeschehen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, H. 329
- [26] JAINSKI, P. und GERDES, H.-R.: Über die Beleuchtung der Verkehrszeichen. Straßenverkehrstechnik 6/1980, S. 191
- [27] JEHU, V. J.: Emergency Warning Signs for Vehicles. Traffic Engineering and Control 1962, S. 92 (zitiert nach WILLING [68])
- [28] KOCKELKE, W. und ROSSBANDER, E.: Untersuchungen zum Verkehrsverhalten und zur Verkehrssicherheit auf Autobahnbaustellen. Schlußbericht zum Forschungsprojekt FP 8762 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 1988
- [29] KRUX, W. und DETERMANN, D.: Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen. Schlußbericht zum Forschungsprojekt FP 8930 der Bundesanstalt für Straßenwesen, RWTH Aachen 1995
- [30] KÜHNEN, M. A.: Verkehrssicherheit in Arbeitsstellen. Straßenverkehrstechnik 39 (1995), S. 313
- [31] KURAWA, K und INOUE, J.: Japan. Analysis on Expressway Work Zone Safety. PIARC Committee on Road Management, Paris 1996
- [32] MAAS, A.: Probleme der Dämmerungshelligkeit in Verbindung mit der Kraftfahrzeugbeleuchtungspflicht sowie Sonnenauf- und -untergangszeiten für das Gebiet von Westdeutschland. Verlag J. Maas, Illingen/Saar 1972
- [33] MARLOW, M. und COOMBE, R. D.: A Study of the Safety of Major Motorway Roadworks in 1987. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), Research Report 223, Crowthorne 1989
- [34] MESEBERG, H.-H.: Die Bewertung der von Flutlichtanlagen für Sportstätten ausgehenden physiologischen Blendung. Licht 42 (1990), S. 40
- [35] MESEBERG, H.-H.: BAST-Prüfbericht 0791 über die lichttechnischen Eigenschaften von Reflexfolien für Verkehrszeichen vom 22. 7. 1992 (unveröffentlicht)

- [36] MESEBERG, H.-H.: Hilfen zur besseren Erkennbarkeit von Kindern im Verkehr. Sozialpädiatrie und kinderärztliche Praxis, 16 (1994), S. 338
- [37] MESEBERG, H.-H.: Untersuchung der rückgestrahlten Farbe von Verkehrszeichen bei Nacht. Schlußbericht zu Projekt-Nr. 92 601 der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach, Mai 1996 (unveröffentlicht)
- [38] METZGER, W.: Gesetze des Sehens. Verlag W. Kramer, Frankfurt/M. 1975
- [39] MICHON, J. A; EERNST, J. TH. und KOUTSTAAL, G. A.: Onderzoek Veiligheidskleding op de Weg. Rapport No. IZF 1965-C7 des TNO, Soesterberg 1967
- [40] NADLER, F; HANKO, W. und SCHREFEL, J.: Verkehrssicherheit im Bereich von Baustellen auf Autobahnen. H. 372 des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien 1988
- [41] OLIVER, J.: United Kingdom, Safety at Roadworks. PIARC Committee on Road Management, Paris 1996
- [42] PAIN, R. F und KNAPP, B. G.: Experimental Evaluation of Markings for Barricades and Channelizing Devices. Transportation Research Record 703 (1979), S. 8
- [43] PAIN, R. F; McGEE, H. W. und KNAPP, B. G.: Evaluation of Traffic Controls for Highway Work Zones. NCHRP Report no. 236, TRB Washington 1981
- [44] PAIN, R. F; HANSCOM, F. R und McGEE, H. W.: Work-site traffic controls in the U.S.: Existing and new technologies. Traffic Engineering and Control Oct. 1983, S. 477
- [45] PETERSEN, G.: Sicherheitsfragen, Kriterien und Maßnahmen bei der Ausführung von Unterhaltungsarbeiten an Autobahnen und Fernverkehrsstraßen. FGSV-Kongreß „Straße und Verkehr 2000“, Berlin 6. - 9. 9. 1988, Tagungsband 2A - 13
- [46] POMAREDA, F. und ZACHARIAS, U.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Baustellen auf Betriebsstrecken der BAB. Schlußbericht zum BMV-Forschungsvorhaben FE 03.214 R 89 F. Studiengesellschaft Nahverkehr mbH, (SNV), Berlin 1991
- [47] REKER, K.: Fahrproben im Rahmen der Interaktionsforschung Straßenverkehr. Ein Methodenaufriß. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Mai 1994 (unveröffentlicht)
- [48] RICHTER, M.: Einführung in die Farbmatrik. Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1981
- [49] Sachs, L.: Statistische Auswertungsmethoden. Springer-Verlag, Berlin 1972
- [50] SATOR, W. H. J.: Road traffic signs for use at roadworks. CIE-Kongreß Venedig, 1987, Tagungsband S. 422
- [51] SATOR, W. H. J.: Comprehensibility of Overhead Direction Signs. Research Report DPVT 73 des CSIR, Pretoria May 1989
- [52] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Grundlagen der Lichttechnik. Vorlesungsumdruck TH Darmstadt 1993
- [53] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Über die Möglichkeit der Verbesserung der Verkehrsbeschilderung durch Optimierung der lichttechnischen Eigenschaften. Straßenverkehrstechnik 35 (1991), S. 129
- [54] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J.: Retroreflective Road Traffic Signs. International Road Federation, Geneva February 1991
- [55] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J. und BINDELS, J. Th. H.: Die Schwellenleuchtdichte als Bewertungskriterium. Lichttechnik 23 (1971), S. 547
- [56] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J. und BINDELS, J. Th. H.: Assessment of Discomfort Glare in Motor Vehicle Lighting. Lighting Research and Technology 6 (1974), S. 79
- [57] SCHMIDT-CLAUSEN, H. J. und DAMASKY, J.: On the Perceptibility of Targets in Complex Luminous Environments such as Street Scenes at Night. International Symposium on Visibility and Luminance in Road Lighting. Orlando/Florida, 1993
- [58] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J., DAMASKY, J. und WAMBSGANSS, H.: Einfluß der Helligkeit von Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen bei Nacht. H. 629 der Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“ des Bundesverkehrsministeriums, Bonn 1992

- [59] SCHMIDT-CLAUSEN, H.-J., DAMASKY, J. und WAMBSGANSS, H.: Bestimmung und meßtechnische Erfassung des Reflexionsverhaltens von Fahrbahnoberflächen bei Kfz-eigener Beleuchtung. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben 04.157 G 91 A des Bundesverkehrsministeriums. Fachgebiet Lichttechnik der TH Darmstadt 1994
- [60] SCHREIBER, G. und MESEBERG, H.-H.: Lichttechnischer und verkehrstechnischer Vergleich zwischen innenbeleuchteten und retroreflektierenden Verkehrszeichen an Schilderbrücken. Straßenverkehrstechnik 26 (1982), S. 147
- [61] SIEGEL, A. I. und FEDERMAN, Ph.: Development of a Paint Scheme for Increasing Aircraft Detectability and Visibility. Journal of Applied Psychology, 49 (1965), S. 93
- [62] SOMMER, J. und LOEF, C.: Subjektive Beleuchtungsstärke. Lichttechnik, 25 (1973), S. 305
- [63] TERSTIEGE, H.: Fluoreszierende Materialien im Straßenverkehr. Progress in Automobile Lighting. Darmstadt, 26./27. 9. 1995, Tagungsband 1 S. 202
- [64] TEWS, R.: Konstruktion einer Diaskopbeleuchtung für TV-Objektive. Diplomarbeit im Fachbereich Photoingenieurwesen, FH Köln, 1989
- [65] WAMBSGANSS, H.: Lichttechnische Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen bei Dunkelheit. Darmstädter Dissertation D 17, Darmstadt 1996
- [66] WEINSPACH, K.: Verkehrstechnische Maßnahmen für die Verkehrssicherheit. Straße und Autobahn 37 (1986) S. 410
- [67] WEINSPACH, K.: Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf im Bereich von Baustellen auf Betriebsstrecken der Bundesautobahnen. Straße und Autobahn 39 (1988), S. 257
- [68] WILLING, A.: Sicherung liegengeliebener Kraftfahrzeuge. Schlußbericht zu FP 8328 der BAST, H. 121 Bergisch Gladbach 1985
- [69] YOUNGBLOOD, W. P. und WOLTMAN, H. L.: A Brightness Inventory of Contemporary Signing Materials for Guide Signs. Annual Meeting of the Highway Research Board, January 1971
- [70] ZWAHLEN, H. T. und YU, J.: Color and Shape Recognition of Reflectorized Targets Under Automobile Low-Beam Illumination at Night. Transportation Research Record 1327, 1989

9 Richtlinien und Normen

- [V 1] Preußischer Minister des Innern: Vorschriften über Verkehrseinrichtungen. Erlaß II M 30 Nr. 119/30 vom 30. 6. 1930
- [V 2] Europäische Regeln auf dem Gebiet des Straßenverkehrs und der Straßenverkehrszeichen (Wiener Abkommen). CEMT (Europäische Konferenz der Verkehrsminister), Ausgabe 1974
- [V 3] Lichttechnische Gesellschaft - (LiTG): Methoden zur Bewertung der Blendung in der Straßenbeleuchtung. Karlsruhe 1981
- [V 4] Road Signs Note No. 13, Roadworks. CSRA-CUTA Road Traffic Signs Subcommittee. 3rd draft September 1988
- [V 5] Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW (Herausgeber): Planung, Bau und Betrieb der Straßenbeleuchtung. VDEW-Verlag Frankfurt am Main 1991
- [V 6] Straßenverkehrsordnung - StVO -, zuletzt geändert am 1. 5. 1992
- [V 7] Katalog der Verkehrszeichen - Vz Kat - Verkehrsblatt-Verlag Dortmund, Dokument Nr. S 2310
- [V 8] Economic Commission for Europe (ECE): ECE-Regelung R 99, Einheitliche Regelung für die Genehmigung von Gasentladungslichtquellen für genehmigte Gasentladungslichteneinheiten von Kraftfahrzeugen. August 1996
- [V 9] Richtlinien zur Sicherung von Arbeitsstellen - RSA 95 - Ausgabe 1995
- [V 10] South African Roads Traffic Signs Manual (SARTSM), vol. 2, chapter 13: Roadworks Signing. Final draft June 1996
- [V 11] DIN 5031 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik, Teil 2: Strahlungsbewertung durch Empfänger; Teil 3: Größen, Formelzeichen und Einheiten der Lichttechnik

[V 12] DIN 5033 Farbmessung, Teil 1 Begriffe der Farbmometrik	Symbol	Einheit	Größe
	L_{opt}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Optimalleuchtdichte
[V 13] DIN 5033 Farbmessung, Teil 3 Farbmaßzahlen	$L_{\text{Rot}}, L_{\text{Weiß}}$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Leuchtdichte des roten bzw. weißen Teils der Testzeichen
[V 14] DIN 5033 Farbmessung, Teil 7 Meßbedingungen für Körperfarben	L_{ES}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Erkennbarkeitsschwelle
[V 15] DIN 5044 Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung	L_{WS}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Wahrnehmbarkeitsschwelle
[V 16] DIN 6171 Aufsichtfarben für Verkehrszeichen	$L_{\text{säq}}$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Schleierleuchtdichte
[V 17] DIN 11 030 Landmaschinen und Traktoren - Kenntlichmachung von Anbaugeräten und angehängten Arbeitsgeräten - Warntafeln und Warnfolie	ΔL_{t}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	tolerabler Leuchtdichtebereich
	L_{U}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Umfeldleuchtdichte
[V 18] DIN 30 710 Sicherheitskennzeichnung von Fahrzeugen und Geräten	n	1	Häufigkeit der Bewertung
[V 19] DIN 67 520 Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung	O	1	relative Ortsfrequenz
	QA	1	Interquartilsabstand
	R	%	Rotanteil
	r^2	1	Bestimmtheitsmaß
	S	1	Schiefe der Häufigkeitsverteilung
	T_{n}	K	ähnlichste Farbtemperatur
	V	min^{-1}	Sehschärfe (Visus)
	v	1	Verkleinerungsfaktor
	w	1	Bewertung
	wL	1	Leuchtdichtebewertung
	$w_{0,5}$	1	Median der Bewertung
	$\bar{w}_{0,5}$	1	gewichteter Median der Bewertung
	$\bar{w}_{0,25}, \bar{w}_{0,75}$	1	gewichtetes unteres bzw. oberes Quartil der Bewertung
	x, y	1	Normfarbwertanteile des DIN-2°-Normvalenzsystems
	Y	1	Hellbezugswert
	Y_{rel}	1	relativer Hellbezugswert
	Y_{opt}	1	größtmöglicher Hellbezugswert bei gegebener Farbart
	α_{k}	min	Winkelgröße des kritischen Details
	Θ	°	Blendwinkel
	ΔL_{t}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	tolerabler Leuchtdichtebereich
	L_{U}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Umfeldleuchtdichte
	L_{ES}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Erkennbarkeitsschwelle
	L_{WS}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Wahrnehmbarkeitsschwelle
	$L_{\text{Rot}}, L_{\text{Weiß}}$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Leuchtdichte des roten bzw. weißen Teils der Testzeichen
	L_{opt}	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Optimalleuchtdichte
	$L_{\text{säq}}$	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Schleierleuchtdichte
	n	1	Häufigkeit der Bewertung
	O	1	relative Ortsfrequenz
	QA	1	Interquartilsabstand
	R	%	Rotanteil
	r^2	1	Bestimmtheitsmaß
	S	1	Schiefe der Häufigkeitsverteilung
	T_{n}	K	ähnlichste Farbtemperatur
	V	min^{-1}	Sehschärfe (Visus)
	v	1	Verkleinerungsfaktor
	w	1	Bewertung
	wL	1	Leuchtdichtebewertung
	$w_{0,5}$	1	Median der Bewertung
	$\bar{w}_{0,5}$	1	gewichteter Median der Bewertung
	$\bar{w}_{0,25}, \bar{w}_{0,75}$	1	gewichtetes unteres bzw. oberes Quartil der Bewertung
	x, y	1	Normfarbwertanteile des DIN-2°-Normvalenzsystems
	Y	1	Hellbezugswert
	Y_{rel}	1	relativer Hellbezugswert
	Y_{opt}	1	größtmöglicher Hellbezugswert bei gegebener Farbart
	α_{k}	min	Winkelgröße des kritischen Details
	Θ	°	Blendwinkel

10 Formelzeichen, Einheiten und Größen

Symbol	Einheit	Größe
D	m	virtuelle Beobachtungsentfernung
d	m	Modell-Beobachtungsentfernung (Abstand Testzeichen - Versuchsperson)
d_{k}	m	Größe des kritischen Details
E_{Bl}	lx	Blendbeleuchtungsstärke
F_{fl}	1	Fluoreszenzfaktor
H	m	Höhe der Testzeichen gemäß StVO
h	m	Höhe der Testzeichen auf dem Bildschirm
K	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	altersabhängiger Faktor zur Berechnung der Schleierleuchtdichte
k	1	Leuchtdichtekontrast Rot : Weiß
k_{opt}	1	optimaler Leuchtdichtekontrast
L	$\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$	Leuchtdichte

11 Formeln

Leuchtdichtekontrast $k / 1$:

$$k = L_{\text{Rot}} : L_{\text{weiß}} \text{ bzw. } k = 1 : \frac{L_{\text{weiß}}}{L_{\text{Rot}}} \quad (1)$$

relativer Hellbezugswert $Y_{\text{rel}} / 1$:

$$Y_{\text{rel}} = \frac{L_{\text{farb}}}{L_{\text{weiß}}} \quad (2)$$

Fluoreszenzfaktor $F_{\text{fl}} / 1$:

$$Y_{\text{fl}} = \frac{Y_{\text{rel}}}{Y_{\text{opt}}} \quad (3)$$

äquivalente Schleierleuchtdichte

$L_{\text{säq}} / \text{cd} \cdot \text{m}^{-2} / 1$:

$$L_{\text{säq}} = K \cdot \cos \Theta \cdot E_{\text{Bl}} \cdot \Theta^{-n} \quad (4)$$

gewichtetes unteres Quartil $\bar{w}_{0,25} / 1$:

$$\bar{w}_{0,25} = w_{0,25} - 1 + \frac{n/4 - \sum f(w_{0,25} - 1)}{f_{\text{unteres Quartil}}} \quad (5)$$

gewichteter Median $\bar{w}_{0,5} / 1$:

$$\bar{w}_{0,5} = w_{0,5} - 1 + \frac{n/2 - \sum f(w_{0,5} - 1)}{f_{\text{Median}}} \quad (6)$$

gewichtetes oberes Quartil $\bar{w}_{0,75} / 1$:

$$\bar{w}_{0,75} = w_{0,75} - 1 + \frac{3n/4 - \sum f(w_{0,75} - 1)}{f_{\text{oberes Quartil}}} \quad (7)$$

Interquartilsabstand QA / 1:

$$QA = \bar{w}_{0,75} - \bar{w}_{0,25} \quad (8)$$

Der Grad der Unsymmetrie

(die Schiefe) S / 1:

$$S = \frac{\bar{w}_{0,75} - \bar{w}_{0,5}}{\bar{w}_{0,5} - \bar{w}_{0,25}} \quad (9)$$

Anhang

Anhang 1

Im Ausland verwendete Leiteinrichtungen

Die im folgenden aufgeführten Leiteinrichtungen wurden entweder den jeweiligen nationalen Vorschriften bzw. der Literatur entnommen oder wurden in den betreffenden Ländern vorgefunden. Sie geben daher nicht notwendigerweise die vollständige Situation in diesen Ländern wieder. Es kann auch keine Garantie dafür übernommen werden, daß alle im Straßenraum vorgefundenen Leiteinrichtungen den nationalen Vorschriften entsprechen. Die gewählten Bezeichnungen für die Leiteinrichtungen entsprechen, soweit vergleichbar, den StVO-Bezeichnungen. Es wurden aufgenommen

- a. Leiteinrichtungen, die in Deutschland nicht gebräuchlich sind
- b. Leiteinrichtungen, die in Deutschland zwar verwendet werden, deren Farben und/oder Formen aber von der in der StVO vorgesehenen Gestaltung abweicht.

Tabelle A 1.1: Farbkombinationen für die Verkehrszeichen „Überleitungstafeln“ und „Zusammenführung von Verkehrsströmen“

Land	Farbe der Beschriftung und anderer Zeichen auf Farbe des Untergrundes
Belgien, Niederlande (außer Autobahn), Norwegen, Schweden, Schweiz, USA (auch frühere DDR)	Schwarz auf Orange
Dänemark, Frankreich, Österreich, Slowenien, Spanien, Tschechien (außer Autobahn), Ungarn	Schwarz auf Gelb
Finnland, Slowenien (nur fahrbare Absperrtafel)	Gelb auf Schwarz
Deutschland, Irland, Portugal	Schwarz auf Weiß
Niederlande (Autobahn) Tschechien (Autobahn)	Weiß auf Blau
Belgien, Italien, frühere DDR	Schwarz und Rot auf Weiß
Großbritannien	Schwarz auf Gelb und Rot

Tabelle A 1.2: Farbkombinationen von Leiteinrichtungen

Land	Farbkombination	verwendet in	
		Arbeitsstellen	zur Dauerkennzeichnung
Belgien Dänemark Griechenland Norwegen Österreich Tschechien Schweiz Ungarn frühere DDR	Rot-Weiß	X	X
Finnland	Rot-Gelb Blau-Weiß	X	X
Frankreich Spanien	Rot-Weiß Blau-Weiß Grün-Weiß	X	X X
Großbritannien Ungarn	Rot-Weiß Schwarz-Weiß	X	X
Irland	Schwarz-Rot	X	
Italien	Rot-Weiß Schwarz-Weiß	X	X
Niederlande	Rot-Weiß Schwarz-Weiß Grün-Weiß	X	X X X
Polen	Rot-Weiß Rot-Gelb	X	X X
Rußland	Rot-Weiß		X
Schweden	Rot-Gelb	X	
	Blau-Weiß		Autobahn
	Blau-Gelb		sonstige Straßen
Slowenien	Schwarz-Gelb Blau-Weiß	X	X X
Türkei	Rot-Weiß Schwarz- Gelb Schwarz-Weiß	X	X X
Australien	Schwarz-Weiß		X
Japan	Rot-Weiß	X	X
	Schwarz-Gelb	X	X
Neuseeland	Schwarz-Weiß		X
Südafrika	Schwarz-Gelb	X	
	Rot-Weiß		X
Kanada USA	Orange-Weiß Schwarz-Gelb Schwarz-Weiß	X	X X

Fortsetzung Tabelle A 1.3. Formen von Leiteinrichtungen

<p>noch Neusee- land</p>	<p>Hindernismarkierung: </p>
<p>Soth- afrika</p>	<p>Hindernismarkierung: </p> <p>Leitbake, Hindernismarkierung: </p> <p>Trenninsel: oder </p> <p>Querabsperzung: </p> <p>Querabsperzung mit Richtungsweisung: oder </p>
<p>USA</p>	<p>Leitbaken: relative Ortsfrequenz 3 </p> <p>Richtungstafeln: </p> <p>Trenninsel: oder </p> <p>Querabsperzung in Arbeitsstellen mit Richtungsweisung: </p> <p>Tonnen für Seiten- und Querabsperzung: </p> <p>Trenninsel bzw. Seitenabsperzung (Versicht): </p>

Tabelle A 1.3. Formen von Leiteinrichtungen

<p>Austra- lien</p>	<p>Hindernismarkierungen: </p>
<p>Japan</p>	<p>Trenninsel, Hindernismarkierung: </p> <p>Trenninsel z. T. mit: </p> <p>Leitkegel: </p> <p>Richtungstafeln: </p> <p>Richtungstafeln in Arbeitsstellen: relative Ortsfrequenz 3 </p>
<p>Kanada</p>	<p>Leitbake: relative Ortsfrequenz 3 </p> <p>Trenninsel: </p> <p>Arbeitsstellenbaken: </p> <p>links-rechts abbiegen: Richtungstafel: </p>
<p>Neusee- land</p>	<p>Richtungstafel: Schwarzanteil 67 % </p>

Fortsetzung Tabelle A 1.3. Formen von Leiteinrichtungen

Belgien	Baken, Leitplatte, relative Ortsfrequenz 3		teilweise mit Kegel	
Dänemark	Trennsinsel: Leitbaken: Links/Rechts-Weisung: Querabsperzung (zusätzlich zu Absperrschranke):	   	Rotanteil 55 %, relative Ortsfrequenz 4	
frühere DDR	Trennsinsel:			
Finnland	Trennsinsel: Autobahn sonstige Straßen	 		
Frankreich	Leitbaken, z. T. Rotanteil 67% und relative Ortsfrequenz 4 Absperrschranke, z. T. Rotanteil 58 % und relative Ortsfrequenz 1			
	seitliche Begrenzung von Hindernissen:	 	oder	 oder 
Griechenland	Trennsinsel: Absperrschranke:	 	oder	
Großbritannien	Richtungstafeln, Rot- bzw. Schwarzanteil 67 % Trennsinsel:	 		
Italien	Leitbaken: Leitbaken für Tunnel:	 	z. T. relative Ortsfrequenz 3,5	

Fortsetzung Tabelle A 1.3. Formen von Leiteinrichtungen

Niederlande	Absperrschranke als Höhenbegrenzung: Leitbake als Seitenbegrenzung: Trennsinsel: Ausfahrten Autobahn Hindernismarkierung, Straßenverengung: Fahrtstreifen-trennung Autobahn sonstige Straßen Absperrschranke:	      	Schwarzanteil 62,5 relative Ortsfrequenz 4
Norwegen	Leitbake: Richtungstafel, Leitplatte:	 	z. T. relative Ortsfrequenz 4 und Rotanteil 58 % Rotanteil 67 %
Osterreich	Baken, Richtungstafeln: Trennsinsel (neben Leitplatte):	 	Rotanteil ca. 55 % oder
Polen	Trennsinsel: Begrenzung zu Straßenbahngleisen:	 	Erbschenkennzeichnung:
Rußland	Richtungstafel: Absperrbaken: fahrbarer Absperrrahmen:	  	Rotanteil 70 % relative Ortsfrequenz 2,5
Schweden	Leiteinrichtungen: Richtungstafel Autobahn: Trennsinsel:	  	Rot- bzw. Blauanteil 55 %. Beispiele: Leitbake Trennsinsel sonstige Straßen links/rechts abbiegen
Slowenien	Trennsinsel:	  	oder Richtungstafel:

Fortsetzung Tabelle A.1.3: Formen von Leiteinrichtungen

Spanien	Leitbaken zur Hinderniskennzeichnung: relative Ortsfrequenz 4	
	Trenninsel: Es werden die gleichen blau-weißen und grün-weißen Leiteinrichtungen wie in Frankreich verwendet	
	Richtungstafel in Arbeitsstellen:	oder
	Trenninsel in Arbeitsstellen:	oder
		oder
	Leitbaken, teilweise in Arbeitsstellen verwendet:	
Tschechien	Richtungstafeln:	
	Leitbake:	
Türkei	Hinderniskennzeichnung:	Trenninsel:
Ungarn	Trenninsel:	Absperrschranke:

Anhang 2

Testzeichen für die Vorversuche zur Ermittlung der optimalen Farbkombinationen



Bild A.2.1: Absperrschranke (StVO-Zeichen 600, jeweils links) und aufgelöste Richtungstafel in Kurven (StVO-Zeichen 625)

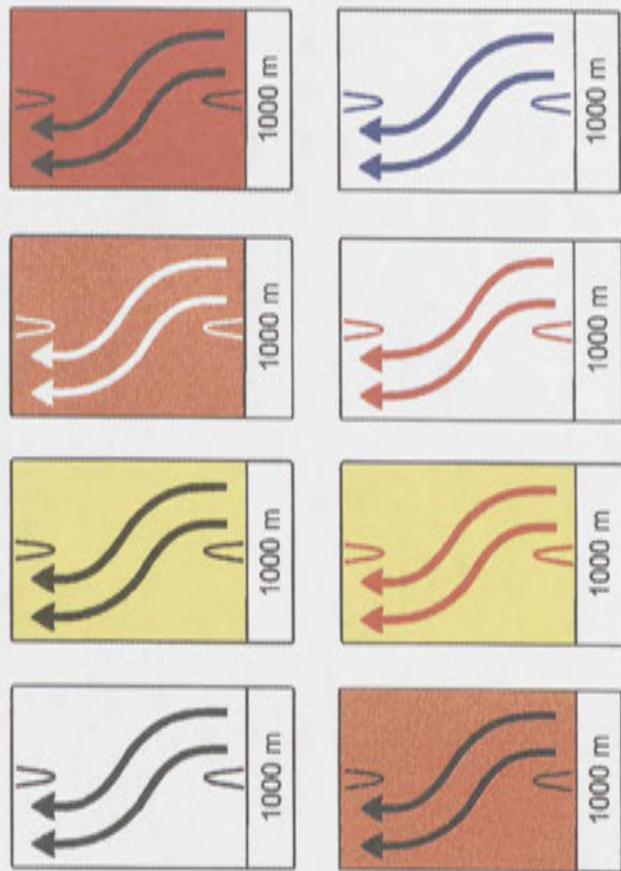


Bild A.2.2: Überleitungstafel (Spezialfall der Lenkungstafel, Zeichen 500 StVO)

Anhang 2

Testzeichen für die Vorversuche zur Ermittlung der in den Hauptversuchen zu verwendenden Testzeichen

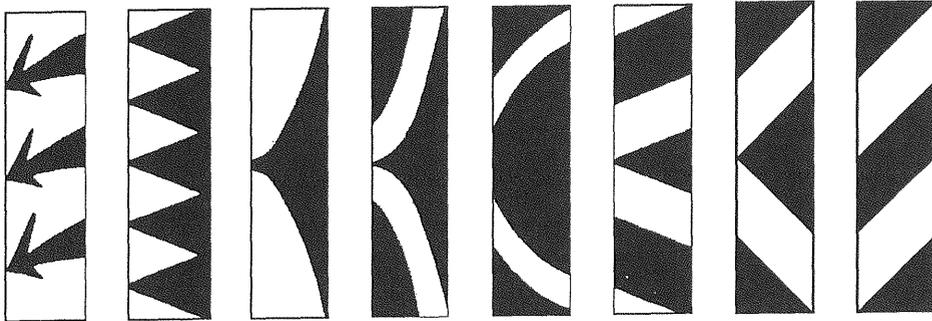


Bild A 2.3: Testzeichen für die Situation „links vorbei“

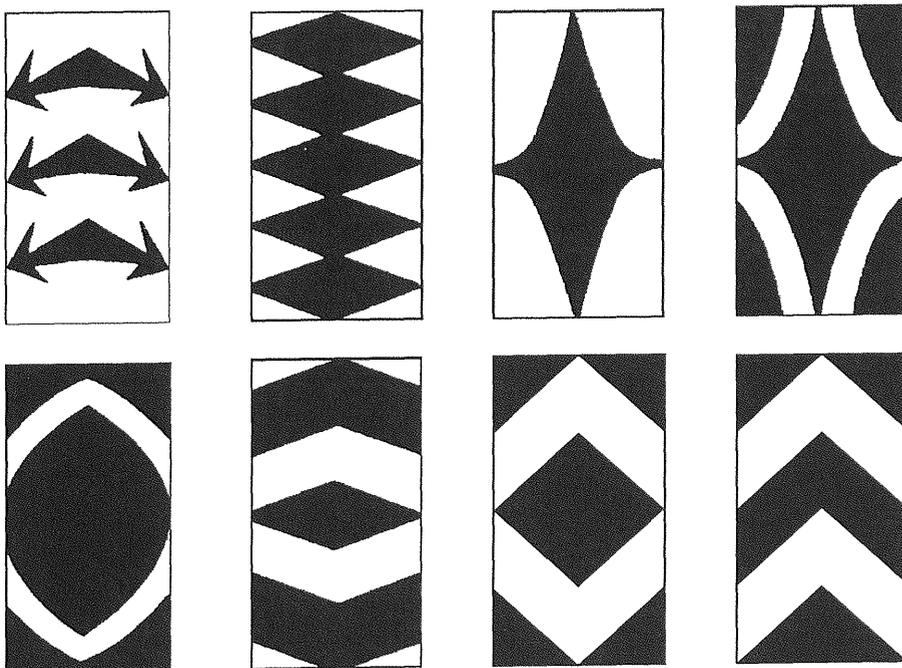


Bild A 2.4: Testzeichen für die Situation „links oder rechts vorbei“

Anhang 3

Die in den verschiedenen Sequenzen verwendeten Leiteinrichtungen und ihre Varianten

Tabelle A 3.1: Experimente 1 bis 6 (Erläuterung auf der nächsten Seite)

Experiment		1	2	3	4	5	6
Leitelement		Fahr- situation links vorbei	links oder rechts vorbei	Quer- absper- -rung	Querab- sperr./links/ rechts ab- biegen	Fahr- streifen- sperrung	Arbeits- stelle
Schraf- fen- bake	Standard	X					X
	R 55 %	X					
	R 60 %	X					
	R 65 %	X					
	O 3	X					
	O 4	X					
Pfeilbake	Standard	X					X
	R 55 %	X					
	R 60 %	X					
	R 65 %	X					
	O 3	X					
	O 4	X					
Schraf- fen- tafel	Standard		X		X		
	R 55 %		X				
	R 60 %		X				
	R 65 %		X				
	O 3		X				
	O 4		X				
	U		X				
Rauten- tafel	Standard		X		X		
	R 55 %		X				
	R 60 %		X				
	R 65 %		X				
	O 3		X				
	O 4		X				
Pfeilbake quer	Standard		X	X	X		
	R 55 %				X		
	R 60 %				X		
	R 65 %				X		
	O 3				X		
	O 4				X		
	U		X	X	X		
Schraf- fenbake quer	Standard			X	X		
	O 3			X			
	O 4			X			

Fortsetzung Tabelle A 3.1

Experiment		1	2	3	4	5	6
Leiteinrichtung							
Absperr- schranke (Zaun)	Standard (O 3)			X	X		
	R 55 %			X			
	R 60 %			X			
	R 65 %			X			
	O 1,5			X			
	O 2,4			X			
	O 4,8			X			
Absperr- schranke (Karo- Zaun)	Standard (O 3)			X			
	O 1,5			X			
	O 4,8			X			
Doppel- pfeil	Standard (O 4)		X	X	X		
	R 55 %				X		
	R 60 %				X		
	R 65 %				X		
	O 6				X		
	O 8				X		
Schraf- fen- rahmen	Standard (O 4)					X	
	R 60 %					X	
	R 70 %					X	
	O 2					X	
	U					X	
Karo- rahmen	Standard (O 4,8)					X	
	R 55 %					X	
	R 60 %					X	
	R 65 %					X	

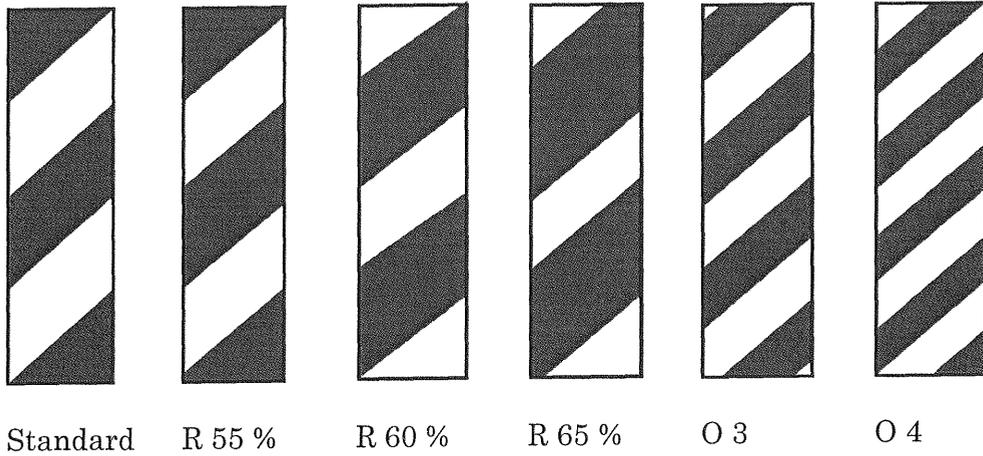
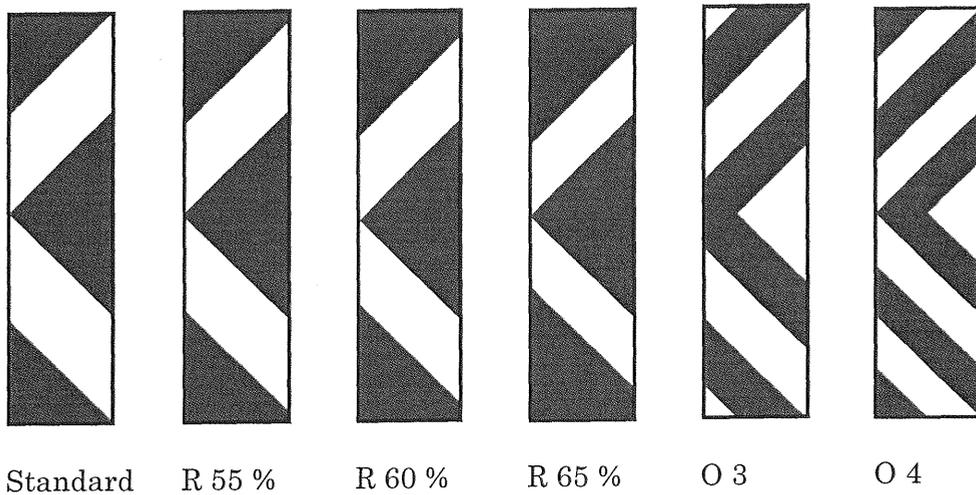
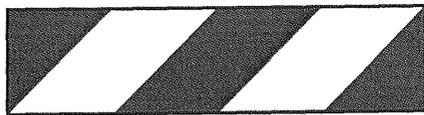
Erläuterungen:

Ein X in der Tabelle bedeutet, daß diese Variante der Leiteinrichtung in der entsprechenden Sequenz verwendet wurde.

Tabelle A 3.2: Experimente 7 bis 10a

	Experiment		
	7	8; 9	10a
Schraffenbake	jeweils Standard (O 2); R 65 %; O 4	jeweils Standard (O 2)	jeweils Standard (O 2)
Pfeilbake			
Schraffentafel		nicht verwendet	nicht verwendet
Rautentafel			
Zaun	Standard (O 3); R 65 %; O 6	Standard (O 3)	Standard (O 3)
Doppel-Pfeil	Standard (O 4); R 65 %; O 8	Standard (O 4)	Standard (O 4)
Schraffenrahmen	Standard (O 4)	Standard (O 4)	nicht verwendet

Testzeichen für die Hauptversuche

Bild A 3.1: Schraffenbake*Bild A 3.2: Pfeilbake**Bild A 3.3: Schraffenbake quer*

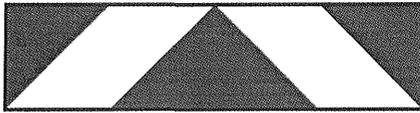
Standard

noch Bild A 3.3: Schraffenbake quer

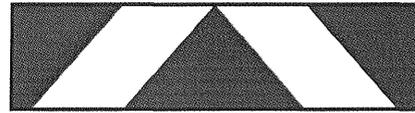
O 3



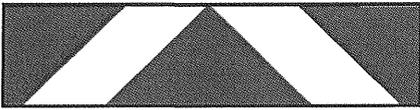
O 4

Bild A 3.4: Pfeilbake quer

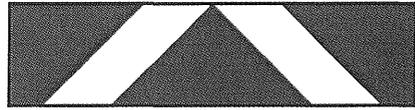
Standard



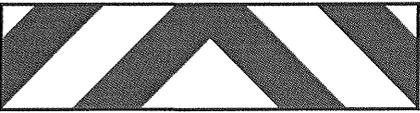
R 55 %



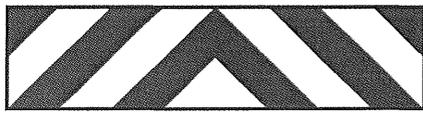
R 60 %



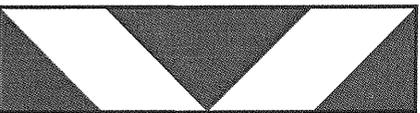
R 65 %



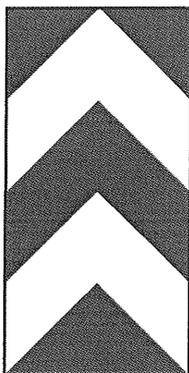
O 3



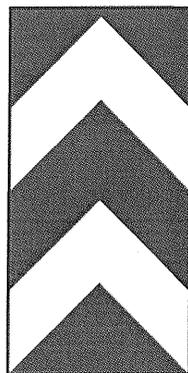
O 4



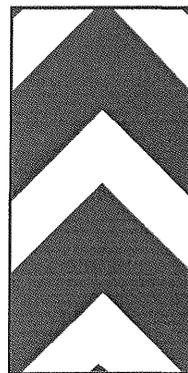
U

Bild A 3.5: Schraffentafel

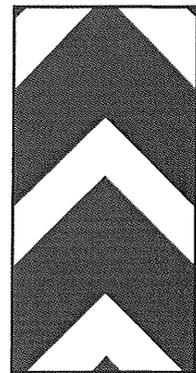
Standard



R 55 %



R 60 %



R 65 %

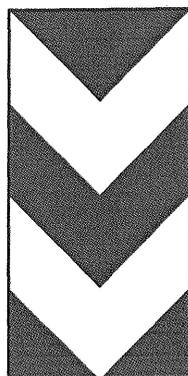
noch Bild A 3.5: Schraffentafel



O 3

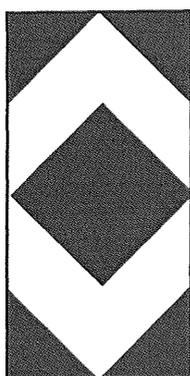


O 4

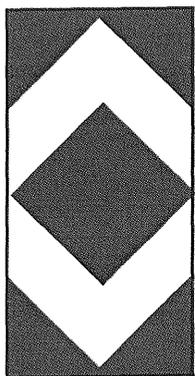


U

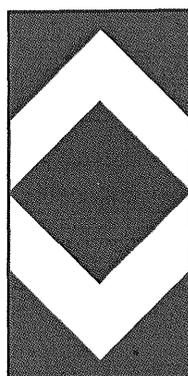
Bild A 3.6: Rautentafel



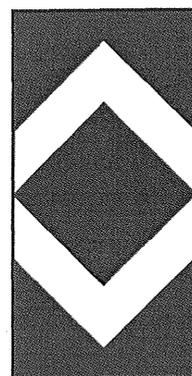
Standard



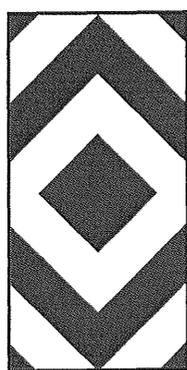
R 55 %



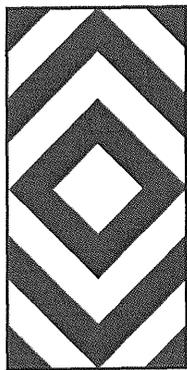
R 60 %



R 65 %



O 3

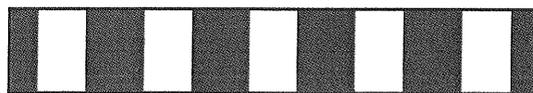


O 4

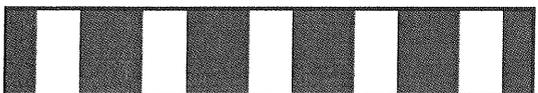
Bild A 3.7: Absperrschranke (Zaun)



Standard



R 55 %



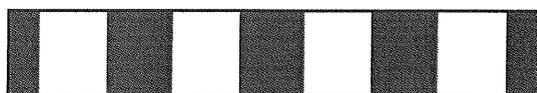
R 60 %



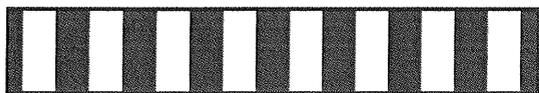
R 65 %



O 1,5

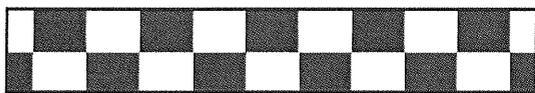


O 2,4

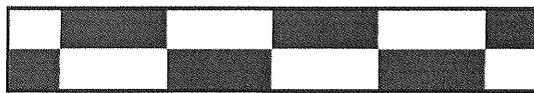


O 4,8

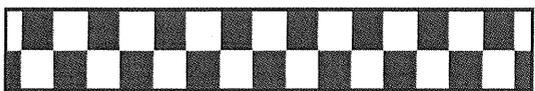
Bild A 3.8: Absperrschranke (Karozaun)



Standard

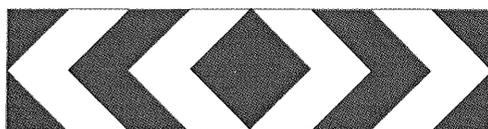


O 1,5



O 4,8

Bild A 3.9: Doppelpfeil



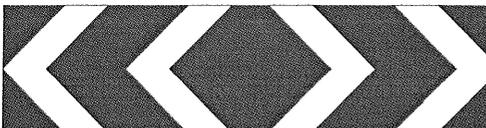
Standard



R 55 %



R 60 %



R 65 %



O 6



O 8

Bild A 3.10: Schraffenrahmen



Standard



R 60 %

noch Bild A 3.10: Schraffenrahmen



R 70 %

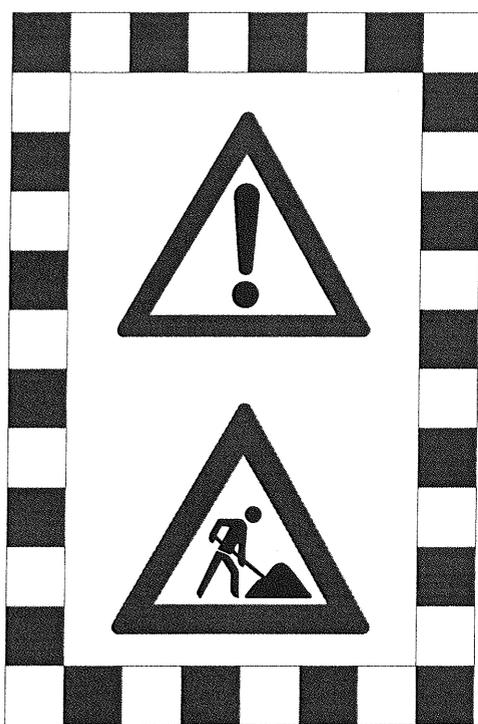


O 2

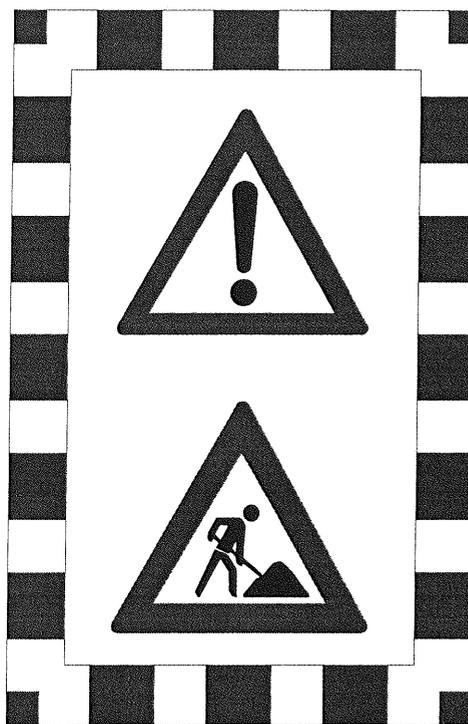


U

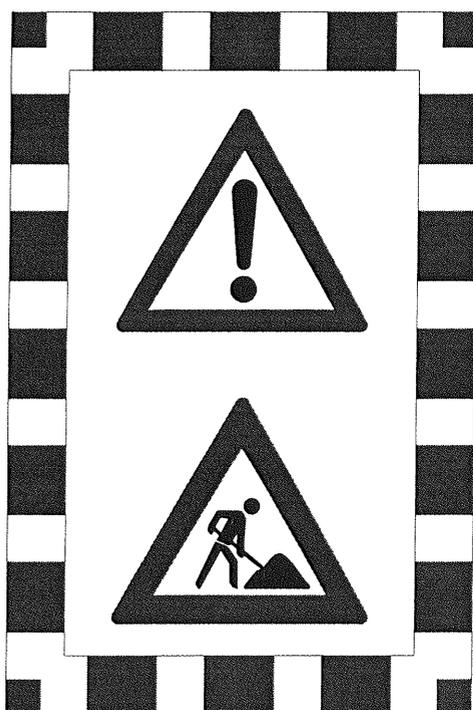
Bild A 3.11: Karorahmen



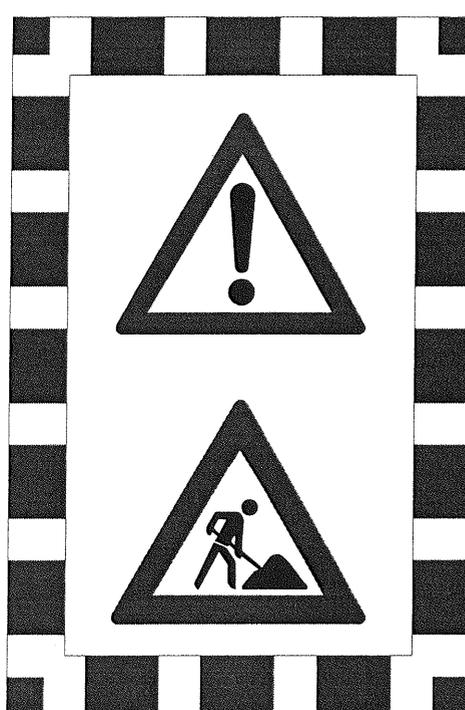
Standard



R 55 %

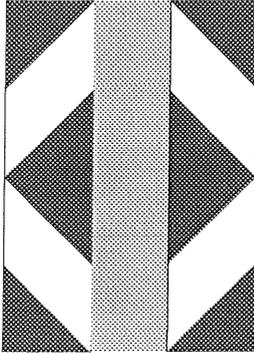


R 60 %

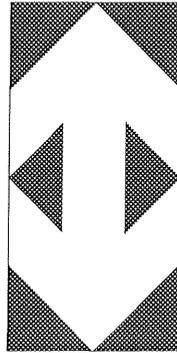


R 65 %

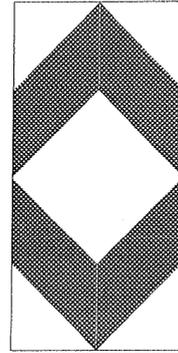
*Bild A 3.12:
doppelte Pfeilbake*



*Bild A 3.13:
modifizierte Rautentafel*



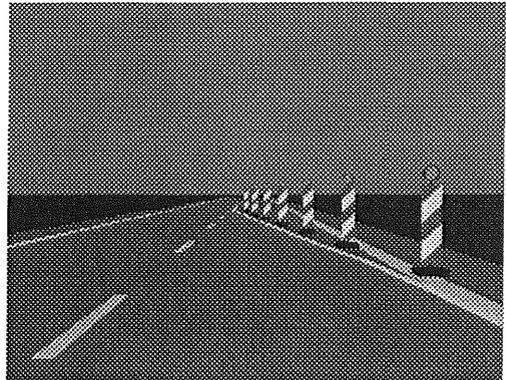
*Bild A 3.14
Rautentafel mit
Rot-Weiß-Umkehr*



(diese Testzeichen wurden nur im Zusatzexperiment in der Fahrsituation „links oder rechts vorbei“ untersucht)

Experiment 6, Simulation der Arbeitsstellensituationen

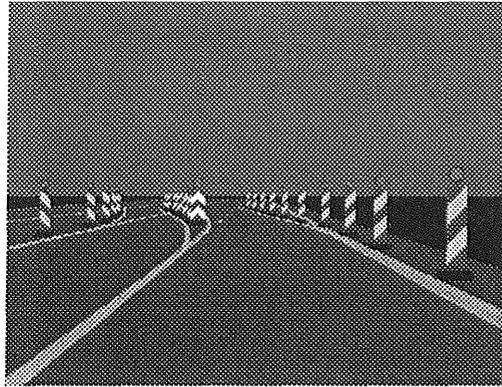
*Bild A 3.15:
Verschwenkung, gestaltet mit
Schraffenbaken*



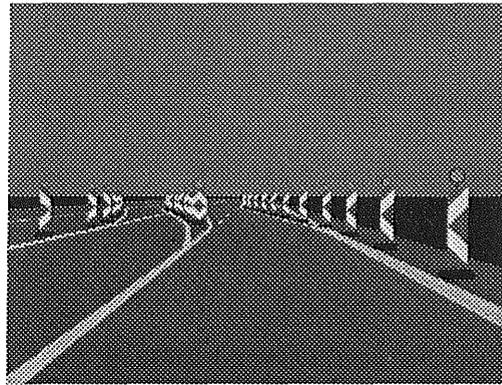
*Bild A 3.16:
Verschwenkung, gestaltet mit
Pfeilbaken*



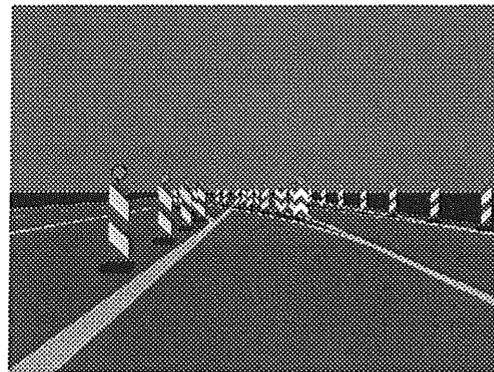
*Bild A 3.17:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Schraffenbaken, gesehen vom
rechten Fahrstreifen*



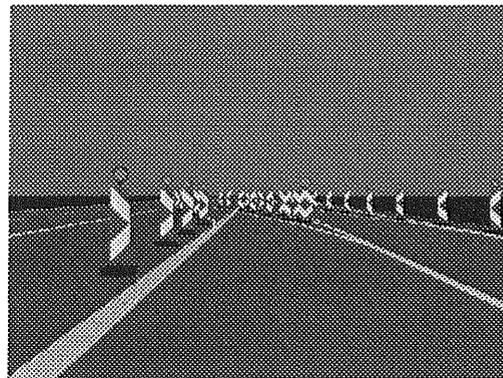
*Bild A 3.18:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Pfeilbaken, gesehen vom
rechten Fahrstreifen*



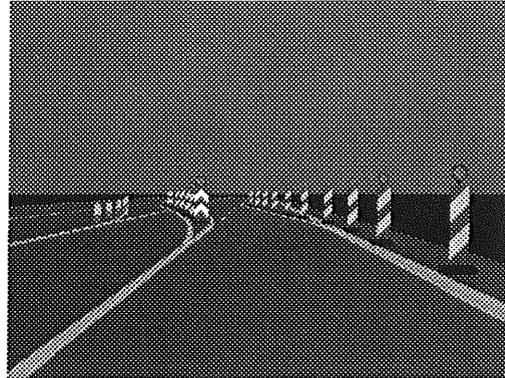
*Bild A 3.19:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Schraffenbaken, gesehen vom
linken Fahrstreifen*



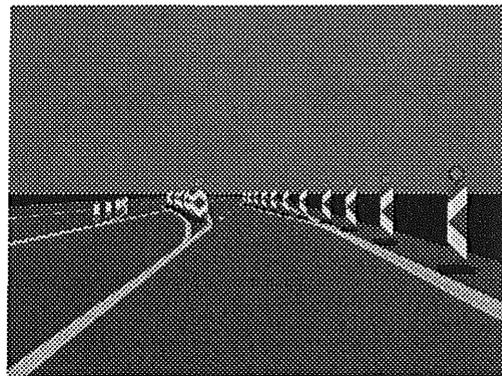
*Bild A 3.20:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Pfeilbaken, gesehen vom
linken Fahrstreifen*



*Bild A 3.21:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Schraffenbaken und kleinen
Sichtzeichen, gesehen vom rechten
Fahrstreifen*



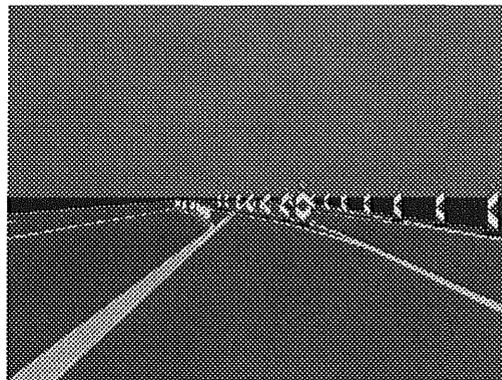
*Bild A 3.22:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Pfeilbaken und kleinen
Sichtzeichen,, gesehen vom
rechten Fahrstreifen*



*Bild A 3.23:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Schraffenbaken und kleinen
Sichtzeichen, gesehen vom
rechten Fahrstreifen*



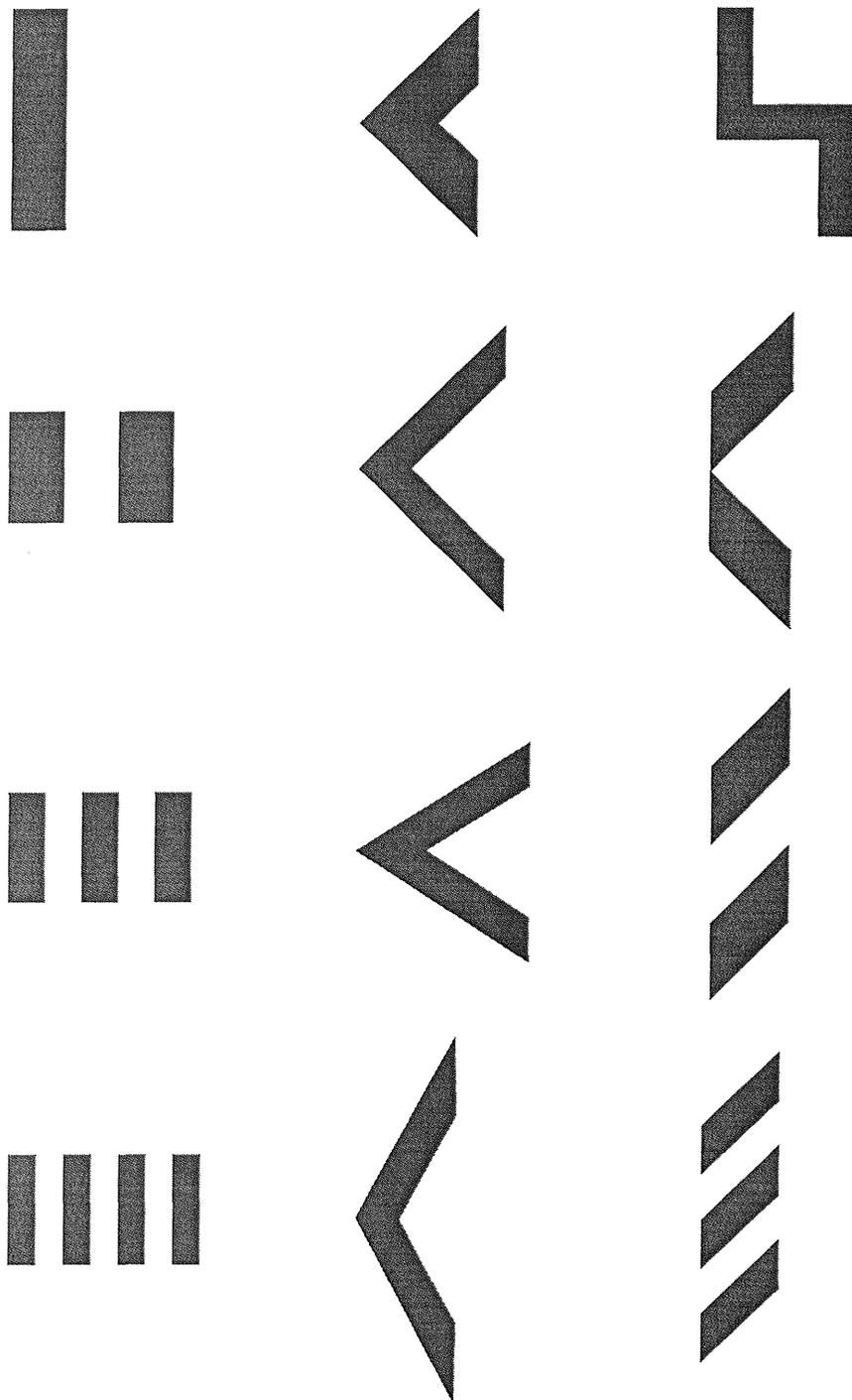
*Bild A 3.24:
Verkehrsführung 3 + 1, gestaltet
mit Pfeilbaken und kleinen
Sichtzeichen, gesehen vom
rechten Fahrstreifen*



Anhang 4

Einfarbige Testzeichen für die Ermittlung der Leuchtdichte- und Wahrnehmbarkeitsschwelle

Bild A 4.1



(Darstellung in Schwarz-Weiß-Umkehr)

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe "Verkehrstechnik"

- V 1: **Leitfaden Parkraumkonzepte**
von H. P. Appel, R. Baier und A. Wagener
132 Seiten, 2. Auflage, 1993 kostenlos
- V 2: **Langzeitwirkung von Streusalz auf die Umwelt**
von H.-G. Brod
168 Seiten, 1993 DM 37,00
- V 3: **Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen**
von H. Wirtz und K. Moritz
36 Seiten, 1993 DM 20,00
- V 4: **Sicherheitsbewertung von Querungshilfen für den Fußgängerverkehr**
von K. Füsser, A. Jacobs und J. Steinbrecher
240 Seiten, 1993 DM 46,00
- V 5: **Sicherheitsbewertung von Querschnitten außerörtlicher Straßen**
von U. Brannolte, H.-B. Barth, R. Schwarzmann, W. Junkers, Y. Liu, H. Sigthorsson und J. Stein
148 Seiten, 1993 DM 34,00
- V 6: **Schutzeinrichtungen an Bundesfernstraßen**
von R. Schnüll, N. Handke, F. Gause, B. Göcke, P. Patzschke, U. Prenzlów, Th. Schröder, St. Wiesiek und W. Engel
112 Seiten, 1993 DM 30,00
- V 7: **Ortsdurchfahrt Much**
von A. Moritz, E. Rossbander, W. Brilon und H. Blanke
136 Seiten, 1993 DM 32,50
- V 8: **Verkehrssicherheit und modernes Verkehrsmanagement**
Symposium der Deutschen Verkehrswacht am 29. Oktober 1992 in Stuttgart
52 Seiten, 1993 kostenlos
- V 9: **Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen**
von W. Angenendt, J. Bader, Th. Butz, B. Cieslik, W. Draeger, H. Friese, D. Klöckner, M. Lenssen und M. Wilken
96 Seiten, 1993 DM 28,00
- V 10: **Linienbusse im Stadtverkehr**
von I. Birk, O. Kampschulte, H. Luda, M. Schünnemann, A. Strauß, B. Wewers und D. Winkler-Hübsch
52 Seiten, 1993 DM 22,50
- V 11: **Digitale Bildverarbeitung zur Verkehrsanalyse**
von H. H. Topp, Th. Horstmann und Chr. Hupfer
36 Seiten, 1993 DM 20,00
- V 12: **Haltestellenformen an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
von H. H. Topp, M. Haag, Chr. Hupfer und K. Ackermann
144 Seiten, 1993 DM 33,50
- V 13: **Parkleitsysteme - Wirksamkeitsuntersuchung und Konzeptentwicklung**
von H. H. Topp, S. Körntgen, U. Gevatter, A. Theiß und S. Vincenzi
128 Seiten, 1994 DM 31,50
- V 14: **Straßenbeleuchtung und Verkehrssicherheit**
von G. Uschkamp, R. Hecker, H.-U. Thäsler und D. Breuer
196 Seiten, 1994 DM 40,00
- V 15: **Grundlagen für Beschilderung**
von H. Erke, M. Latzel, D. Ellinghaus und K. Seidenstecher
184 Seiten, 1994 DM 38,50
- V 16: **Abwicklung des Lieferverkehrs an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen**
von A. Hamed
132 Seiten, 1994 DM 32,00
- V 17: **Auswirkungen der Umweltgesetzgebung auf den Straßenbetriebsdienst**
von B. Gallenkemper, M. Fritsche und G. Walter
88 Seiten, 1995 DM 27,00
- V 18: **Entwicklung einer Kenngröße der Winterlichkeit zur Bewertung des Tausalzverbrauchs**
von J. Breitenstein
32 Seiten, 1995 DM 21,50
- V 19: **Straßenverkehrszählung 1990**
Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
500 Seiten, 1995 DM 74,50
- V 20: **Verkehrssicherheit an städtischen Knotenpunkten in den neuen Bundesländern**
von R. Schnüll, N. Handke, U. Ebcinoglu, M. Adler, F. Engelman, B. Pott, U. Prenzlów, Th. Schröder, H. Münch, A. Dittmar, C. Graf, F. Wich-Heiter, F. Wellendorf, N. Breyer, G. Geisler, P. Patzschke, R. Rudolph und W. Trinius
20 Seiten, 1995 kostenlos

- V 21: **Risiko-Abschätzung für den Einsatz von Tausalzen**
von H.-G. Brod
64 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 22: **Straßenverkehrszählung 1990**
- Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
Teil 1: Alte Bundesländer
von N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
von Verkehrsanlagen Consult GmbH
104 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 23: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1992 und 1993**
- Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
von G. Ionescu und B. Paatz
312 Seiten, 1995 DM 50,50
- V 24: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Ergebnisse für die Bundesfernstraßen
540 Seiten, 1995 DM 79,00
- V 25: **Straßenverkehrszählung 1990**
- Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
Teil 1: Alte Bundesländer
von N. Lensing
Teil 2: Neue Bundesländer
von Verkehrsanlagen Consult GmbH
64 Seiten, 1995 DM 25,50
- V 26: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik
von N. Lensing
54 Seiten, 1995 DM 22,50
- V 27: **Straßenverkehrszählung 1993**
- Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
von N. Lensing
56 Seiten, 1995 DM 23,00
- V 28: **Sicherheitsbezogene Beurteilung von Autobahnbaustellen**
von W. Krux und D. Determann
144 Seiten, 1995 DM 35,00
- V 29: **Untersuchungen zur Schnittgutverwertung**
Teil III: Erhebung und Bewertung der anorganischen Schadstoffbelastung
von B. Krieger und J. Breitenstein
128 Seiten, 1996 DM 33,00
- V 30: **Dokumentation Parken**
Materialsammlung zum "Parken in der Stadt"
von R. Huber-Erler, K.-H. Schäfer, A. Wagener, R. Baier und M. Wacker
120 Seiten, 1996 DM 32,00
- V 31: **German-Japanese Workshop on Intelligent Transport Systems, Highway Traffic Safety and Tunnel Safety**
Reports of the 1994 Workshop December 05-07, 1994 in the Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
204 Seiten, 1996 DM 42,00
- V 32: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1994**
- Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
von G. Ionescu
356 Seiten, 1996 DM 56,00
- V 33: **Entwicklung eines Wirtschaftsverkehrsmodells für Städte**
von H. Sonntag, B. Meimbresse und U. Castendiek
96 Seiten, 1996 DM 29,50
- V 34: **Eignung von Bankettschälgut für Erdbauten**
von B. Gallenkemper, M. Fritsche, A. Sowa und G. Walter
66 Seiten, 1996 DM 25,00
- V 35: **Photovoltaik in der Straßenausstattung**
von D. Heuzeroth
68 Seiten, 1996 DM 25,00
- V 36: **Glättebildung durch Überfrieren**
von J.-P. Nicolas
28 Seiten, 1996 DM 20,50
- V 37: **Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen**
von D. Alrutz und J. Stellmacher-Hein
160 Seiten, 1997 DM 36,50
- V 38: **Pflegewirkungen auf Tiere und Pflanzen am Straßenrand**
von U. Tegethof
44 Seiten, 1997 DM 22,50
- V 39: **Auswirkungen des Anwohnerparkens**
von R. Baier, W. Braun, Chr. Peter und A. Wagner
104 Seiten, 1997 DM 30,00
- V 40: **Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 1995**
- Jahresauswertung der Langzeitzählstellen
von G. Ionescu
384 Seiten, 1997 DM 56,00
- V 41: **Straßenverkehrszählung 1995**
- Jahresfahrleistungen und mittlere DTV-Werte
von N. Lensing
60 Seiten, 1997 DM 20,00

**V 42: Kooperationen von Speditionen im Güter-
nahverkehr**von H.-J. Ewers, P. Wittenbrink, C. Lehmann und
St. Gerwens

208 Seiten, 1997 DM 43,00

V 43: Notwendiger Autoverkehr

von H. Topp und M. Haag

60 Seiten, 1997 DM 25,50

V 44: Sicherheitsrisiken an LichtsignalanlagenUntersuchung zu Sicherheitsrisiken an LSA durch
den Zeit- und/oder verkehrsabhängigen Einsatz
von mehr als einem Steuerungsverfahrenvon M.F. Brenner, H. Ziegler, K. Seeling und
D. Kopperschläger

96 Seiten, 1997 DM 29,00

V 45: Straßenverkehrszählung 1995**- Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik**

von N. Lensing

56 Seiten, 1997 DM 19,50

**V 46: Ausstattung und Beleuchtung von
Straßenräumen**

von H. Erke und F. Keunecke

172 Seiten, 1997 DM 38,00

V 47: Straßenverkehrszählung 1995**- Ergebnisse für die Bundesfernstraßen**

540 Seiten, 1997 DM 79,00

**V 48: Verkehrssicherheitsprogramm Branden-
burg - Straßenbauliche Maßnahmen**

von E. Buss

74 Seiten, 1997 DM 26,50

**V 49: Wirksamkeit vertikaler Leitelemente für
Straßenarbeitsstellen**

von H.-H. Meseberg

96 Seiten, 1997 DM 30,00

Zu beziehen durch:

Wirtschaftsverlag NW

Verlag für neue Wissenschaft GmbH

Postfach 10 11 10

D-27511 Bremerhaven

Telefon (0471) 9 45 44 - 0, Telefax (0471) 9 45 44 88