

Irene Lohaus, Sören Meyer, Stefanie Kreiser, Christoph Schulze  
Katharina Rehberg, Nadine Glasow, Sárka Vorisková

## **Visuelle Barrierefreiheit durch die Gestaltung von Kontrasten**

F 3063

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0110-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00

Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)



## **VISUELLE BARRIEREFREIHEIT DURCH DIE GESTALTUNG VON KONTRASTEN**

**Förderung:** Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung (BBSR)  
  
Im Bundesamt für Bauwesen und  
Raumordnung (BBR)  
  
Referat II3 – Forschung im Bauwesen,  
Gebäudemanagement



Forschungsprogramm:        Forschungsinitiative „Zukunft Bau“  
Forschungsprojekt:        Visuelle Barrierefreiheit durch die Gestaltung von Kontrasten  
Aktenzeichen:              SWD-10.08.18.7-15.23

Förderung:  
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
Im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Referat II 3 – Forschung im Bauwesen, Gebäudemanagement  
Fachliche Betreuung: Dr. -Ing. Michael Brüggemann

Forschungsinstitutionen:  
Technische Universität Dresden  
Bereich Bau und Umwelt | Fakultät Architektur  
Institut für Landschaftsarchitektur  
Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau

Arbeitsgruppe Visuelle Kontraste:  
Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau  
    Prof. Dipl.-Ing. Irene Lohaus  
    Dipl.-Ing. Sören Meyer  
    Dipl.-Ing. Stefanie Kreiser

Professur für Verkehrspsychologie  
    Dipl.-Ing. Dipl.-Psych. Christoph Schulze  
    M.Sc. Dipl.-Ing. (FH) Katharina Rehberg

universalRAUM – Institut für evidenzbasierte Architektur im Gesundheitswesen GmbH  
    Dr.-Ing. Arch. Nadine Glasow  
    Ing.-Arch. Šárka Voříšková

Endbericht, Stand: 15. Dezember 2017  
Berichtszeitraum von Beginn der Bearbeitung 01.10.2015 bis 15.07.2017  
Zeitraum der Projektförderung 01.08.2015 bis 15.05.2017

Das Forschungsprojekt wird mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.  
(Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-15.23)  
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.



## Inhalt

1. Einleitung und Problemstellung .....	11
2. Ziele und Methodik des Forschungsprojektes .....	14
3. Begriffe und Definitionen .....	19
3.1 Sehfähigkeit .....	19
3.2 Physikalische Größen .....	22
3.2.1 Leuchtdichte $L$ .....	22
3.2.2 Reflexionsgrad $\rho$ .....	24
3.2.3 Hellbezugswert $Y$ .....	25
3.2.4 Leuchtdichtekontrast $K$ .....	26
3.2.5 Farbkontrast .....	28
3.2.6 Beleuchtungsstärke $E$ .....	29
3.2.7 Lichtfarbe .....	30
4. Derzeitiger Stand erreichter visueller Barrierefreiheit .....	31
4.1 Stand der Normung .....	31
4.2 Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit gem. DIN 18040 - Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung .....	32
4.2.1 Wegeketten .....	33
4.2.2 Zwei-Sinne-Prinzip .....	34
4.2.3 Visuelle Informationen .....	34
4.2.4 Beeinträchtigung visueller Informationen .....	36
4.2.5 Warn-, Orientierungs- und Leitelemente .....	36
4.2.6 Gehwege .....	37
4.2.7 Fußgängerbereiche und gemischt genutzte Verkehrsflächen .....	39
4.3 Bodenindikatoren nach DIN 32984:2011-10 - Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung .....	39
4.4 Sonstige Leitelemente - Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen .....	42
4.4.1 Sonstige Leitelemente außen .....	42
4.4.2 Sonstige Leitelemente innen .....	46
4.4.3 Diskussion der Anforderungen an „sonstige Leitelemente“ nach DIN 32984 .....	47
4.5 Vergleich Inland und Ausland .....	52

4.5.1 Bodenindikatoren .....	53
4.5.2 Sonstige Leitelemente .....	55
4.5.2.1 Kontrast .....	56
4.5.2.2 Reflexionsgrad .....	58
4.5.2.3 Breite .....	59
4.5.2.4 Abstände .....	60
4.5.2.5 Linienführung .....	61
4.5.2.6 Beleuchtung .....	62
4.6 Verfahren lichttechnischer Messungen .....	63
4.6.1 Definition des Messgegenstandes .....	63
4.6.2 Definition der Messungen .....	65
4.6.3 Fazit lichttechnische Definitionen .....	72
4.7 Verfahren der Kontrastbewertung – Stand der Forschung .....	73
4.7.1 Leuchtdichtekontraste (hell/dunkel) .....	75
4.7.2 Größe des Sehobjektes .....	83
4.7.3 Form .....	86
4.7.4 Räumliche Anordnung .....	87
4.7.5 Betrachtungsabstand .....	89
4.7.6 Ausreichende und blendfreie Belichtung bzw. Beleuchtung .....	91
4.8 Fazit - Ableitungen für das vorliegende Forschungsvorhaben .....	94
5. Qualifizierung von Bewertungskriterien durch Evaluation realisierter Projekte ....	95
5.1 Untersuchung realisierter Projekte .....	95
5.2 Nutzerbefragung zu realisierten Projekten .....	100
6. Qualifizierung der Bewertungskriterien durch Tests .....	103
6.1 Analyse des Seh- und Kontrastsehvermögens von sehbehinderten Menschen .....	104
6.2 Labortechnische Untersuchungen .....	108
6.2.1 Leuchtdichte- und Reflexionsmessungen an gängigen Belagsmaterialien .....	108
6.2.2 Einfluss der inneren Materialstruktur .....	108
6.2.3 Einfluss der Lichtfarbe .....	108
6.2.4 Ergebnisse .....	109
6.2.4.1 Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung praktischer Bodenmaterialien .....	109
6.2.4.1.1 Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung im Außenbereich .....	111
6.2.4.1.2 Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung im Innenbereich .....	113
6.2.4.1.3 Zwischenfazit zu Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung .....	116



6.2.4.2	Beobachtungsspektrum und Kontrastwirkung praktischer Bodenmaterialien .....	116
6.2.4.3	Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie als Einfluss auf die Kontrastwirkung	119
6.2.4.3.1	Exemplarische Situationen für den Außenraum.....	121
6.2.4.3.2	Exemplarische Situationen für den Innenraum .....	129
6.2.4.3.3	Zwischenfazit zu Kontrastwirkung bei variierender Beleuchtung und Beobachtung.....	135
6.2.4.4	Innere Materialstruktur von Bodenmaterialien als Einfluss auf die Kontrastwirkung .....	137
6.2.4.4.1	Begründung eines Maßes zur Charakterisierung der Inhomogenität einer inneren Materialstruktur.....	139
6.2.4.4.2	Inhomogenitätscharakterisierung der untersuchten Oberflächen .....	142
6.2.4.5	Beispielhafter Einfluss unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung .....	143
6.3	Probantentests unter Laborbedingungen .....	146
6.3.1	Einfluss von Fugenbildern (LA).....	155
6.3.1.1	Einfluss des Fugenteils (LA1) .....	156
6.3.1.1.1	Testaufbau.....	156
6.3.1.1.2	Ergebnisse Test Einfluss des Fugenteils.....	159
6.3.1.2	Einfluss des Fugenverbands (LA2) .....	163
6.3.1.2.1	Testaufbau.....	163
6.3.1.2.2	Ergebnisse Test Einfluss der Fugenverband .....	166
6.3.1.3	Fugenkombination (LA3) .....	170
6.3.1.3.1	Testaufbau.....	170
6.3.1.3.2	Ergebnisse Test Fugenkombination.....	172
6.3.1.4	Fazit.....	176
6.3.2	Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB).....	177
6.3.2.1	Testaufbau.....	177
6.3.2.2	Ergebnisse Test Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen .....	181
6.3.3	Einfluss der inneren Materialstruktur (LC) .....	190
6.3.3.1	Testaufbau.....	190
6.3.3.2	Ergebnisse Test Einfluss der inneren Materialstruktur .....	196
6.4	Probantentests auf Teststrecken .....	208
6.4.1	Ziele und Versuchsaufbau Innenraum .....	212
6.4.2	Ziele und Versuchsaufbau Außenraum.....	216
6.4.3	Testablauf Teststrecken Innen- und Außenraum.....	222
6.4.3.1	Test Erkennen der Teststreifen nach Reaktionszeiten .....	222
6.4.3.2	Test Bewerten der Teststreifen nach Schulnoten .....	223
6.4.3.3	Test Erkennen der Teststreifen in der Bewegung.....	223

6.4.3.4	Test Materialvergleiche .....	224
6.4.3.5	Test Materialvergleiche hell-dunkel .....	225
6.4.4	Ergebnisse Teststrecke im Innenraum (TA) .....	228
6.4.4.1	Hypothesen .....	228
6.4.4.1.1	Ergebnisse Test Erkennen des Teststreifens nach Reaktionszeiten – Innenraum .....	229
6.4.4.1.2	Ergebnisse Test Bewerten mit Schulnoten - Innenraum .....	239
6.4.4.1.3	Ergebnisse Test Erkennen in der Bewegung - Innenraum .....	243
6.4.4.1.4	Ergebnisse Test Materialvergleiche - Innenraum .....	246
6.4.4.1.5	Ergebnisse Test Materialvergleiche hell-dunkel - Innenraum .....	253
6.4.5	Ergebnisse Teststrecke im Außenraum (TB) .....	254
6.4.5.1	Hypothesen .....	254
6.4.5.1.1	Ergebnisse Test Erkennen des Teststreifens nach Reaktionszeiten – Außenraum .....	256
6.4.5.1.2	Ergebnisse Test Bewerten mit Schulnoten - Außenraum .....	263
6.4.5.1.3	Ergebnisse Test Erkennen in der Bewegung – Außenraum .....	265
6.4.5.1.4	Ergebnisse Test Materialvergleiche - Außenraum .....	267
6.5	Grenzen der Studien – Probandenuntersuchungen im Labor und auf Teststrecken ..	274
7.	Zusammenschau der Ergebnisse .....	277
8.	Empfehlungen für die Planungspraxis .....	286
9.	Literaturverzeichnis .....	295
10.	Abbildungsverzeichnis .....	301
11.	Tabellenverzeichnis .....	311
12.	Anhang .....	315
12.1	Expertenworkshops .....	315
12.1.1	Expertenworkshop I .....	315
12.1.2	Expertenworkshop II .....	321
12.2	Probandenbeschreibung .....	326
12.2.1	Probandentests unter Laborbedingungen .....	326
12.2.2	Probandentests auf Teststrecken .....	329
12.3	Probandeninformationen und Fragebogen .....	333
12.4	Untersuchung realisierter Projekte .....	341
12.4.1	Limburg a.d. Lahn .....	341
12.4.2	Bergisch-Gladbach – Stadtmitte West .....	342

12.4.3	Flensburg .....	344
12.4.4	Wesel.....	345
12.4.5	Herford.....	347
12.4.6	Minden.....	349
12.4.7	Emsdetten .....	351
12.4.8	Meppen .....	352
12.4.9	Warburg .....	354
12.4.10	Verden – Reeperbahn.....	356
12.4.11	Nutzerbefragung .....	358
12.4.11.1	Meppen .....	358
12.4.11.2	Emsdetten.....	359
12.4.11.3	Minden .....	360
12.4.11.4	Herford .....	361
12.5	Übersicht aller gezeigten Bilder für Labortests.....	364
12.5.1	Labortest Einfluss des Fugenanteils (LA1) .....	364
12.5.2	Labortest Fugenkombination (LA2) .....	370
12.5.3	Labortest Einfluss der Fugenausrichtung (LA3) .....	376
12.5.4	Labortest Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB).....	382
12.6	Standardabweichungen für Tests unter Laborbedingungen .....	385
12.6.1	Tests Einfluss von Fugenbildern.....	385
12.6.2	Test Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen .....	388
12.7	Übersicht der Testfelder auf der Teststrecke im Innenraum .....	389
12.7.1	Erkennen des sich vom Grundmaterial abhebenden Materialstreifens - Durchgang 1 und 2.....	389
12.7.2	Materialvergleiche 1 .....	393
12.7.3	Materialvergleiche 2 .....	399
12.7.4	Erkennen in der Bewegung – Durchgang 1 und 2 .....	403
12.8	Übersicht der Testfelder auf der Teststrecke im Außenraum.....	411
12.8.1	Erkennen des sich vom Grundmaterial abhebenden Materialstreifens - Durchgang 1 und 2.....	411
12.8.2	Materialvergleiche 1 .....	415
12.8.3	Erkennen in der Bewegung – Durchgang 1 und 2 .....	421
12.9	Messergebnisse an den Teststrecken .....	427
12.9.1	Messergebnisse im Innenraum.....	427

12.9.2	Messergebnisse im Außenraum .....	430
12.10	Ergebnisse der Teststrecken .....	434
12.10.1	Innenraum.....	434
12.10.1.1	Standardabweichungen.....	434
12.10.1.2	Auswertung Erkennen in der Bewegung.....	435
12.10.2	Außenraum .....	436
12.10.2.1	Standardabweichungen.....	436
12.10.2.2	Auswertung Erkennen in der Bewegung.....	437
12.11	Probenbeschreibung .....	438
12.11.1	Probenübersicht zu Inhomogenitätsklassen .....	441
12.12	Probenkatalog für die Praxis.....	445
12.12.1	Innenraum.....	445
12.12.2	Außenraum .....	447

# 1. Einleitung und Problemstellung

## *Demographischer Wandel - Zunehmende Relevanz barrierefreier Gestaltung*

Die altersbedingten Veränderungen der sensorischen Fähigkeiten beginnen in relativ jungem Alter und nehmen sukzessiv zu. Die visuelle Barrierefreiheit ist eine wesentliche Voraussetzung mit einer visuellen Einschränkung selbstständig zu leben. Die gezielte Gestaltung visueller Kontraste der Oberflächen im Inneren von Gebäuden, in der Gebäudeerschließung und in der Gestaltung des Außenraums, ist ein wesentliches Mittel zur Orientierungsunterstützung, zur Informationsvermittlung und Kennzeichnung von Gefahren. Auch wenn verschiedene Navigationssysteme die Orientierung in der Zukunft unterstützen könnten, bleiben baulich Lösungen für eine eindeutige Erkennbarkeit für alle unerlässlich. Nach WHO lebten 2002 in Deutschland um die 1,2 Millionen Menschen mit einer Einschränkung der visuellen Wahrnehmung. Die Zahl steigt nachweislich rasant mit der steigenden Lebenserwartung und könnte hochgerechnet für 2014 über 2 Millionen liegen.

Entsprechend wurden 2010 in die DIN 18040-1 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude bzw. 2014 in die DIN 18040-3 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum, ausdrücklich auch Anforderungen und Bedürfnisse von Menschen mit motorischen, visuellen und auditiven sowie kognitiven Einschränkungen aufgenommen. Die Auseinandersetzung mit den Anforderungen an motorische Einschränkungen ist für die meisten Planer/innen inzwischen selbstverständlich, in der Praxis besteht jedoch große Unsicherheit über die Auswirkungen der bestehenden normativen Vorgaben zur Gestaltung visueller Kontraste und wie notwendige Leitsysteme entsprechend dem Zwei-Sinne-Prinzip ausgebildet werden müssen. Die Einführung des Begriffs „Schutzziel“ in die Normengruppe DIN 18040 bietet zwar die Chance, kreative, maßgeschneiderte Lösungen zu entwickeln. Gerade im Hinblick auf neu zu berücksichtigende Einschränkungen der Sehfähigkeit, sind die baulich-gestalterischen Optionen auf dem (Bau-)Markt derzeit jedoch sowohl in der Außenraumgestaltung als auch im Gebäude gering. In Ermangelung von Erkenntnissen, ob mit anderen als in der Normung angebotenen Lösungen das Schutzziel zu erreichen wäre, ist zu erwarten, dass überwiegend auf die in der DIN beispielhaft aufgeführten Lösungen zurückgegriffen wird. Die dort dargestellten Anforderungen an die Gestaltung von Kontrasten (Leuchtdichtekontrast von  $K \geq 0,4$  und Mindestreflexionsgrad von  $R \geq 0,5$ ) sind bautechnisch nur bedingt umsetzbar und können baukulturell nicht immer befriedigen.

Belastbare Informationen über die praktische Kontrast-/Orientierungswirkung von Bodenmaterialien oder den Einfluss veränderlicher Lichtverhältnisse, von Glanz und Reflexion und von Dauerhaftigkeit nach Nutzungs-/Witterungseinwirkungen existieren nicht. Die in den Normen dargestellten Verfahren zur Kontrastmessung sind aufwändig. Über die Art, Beschaffenheit und Anwendungsrandbedingungen von Kontrastgestaltungen bestehen bislang keine systematischen Erkenntnisse. Die Untersuchung praxisorientierter Beschreibungsverfahren, die für den Planungsprozess und das Gebäudemanagement geeignet sind, stellt die Voraussetzung für eine breitere Erreichung visueller Barrierefreiheit dar.

Das Projekt untersucht visuelle Kontraste mit lichttechnischen Mitteln als auch in Einschätzung durch Probanden an einer Vielzahl von praxisrelevanten Materialien und ihre Wahrnehmung in unterschiedlichen räumlichen Situationen.

#### *Erschwerte Anwendung durch Mangel an praxistauglichen Methoden und Geräten*

Der Transfer normbasiert geforderter Kontrastgestaltungen in die Planungs- und Baupraxis ist auch stark erschwert, da die in den Normen angegebenen lichttechnischen Messverfahren zur Bestimmung von visuellen Kontrasten derzeit praktisch nur in lichttechnischen Laboratorien abzubilden sind. Die dabei zu verwendenden Geräte und Messaufbauten sind mit erheblichen Anschaffungs- und Unterhaltskosten verbunden. Präzise mobile Messgeräte (z.B. Handmessgeräte) existieren nicht.

#### *Fehlende Informationen zur Kontrastwirkung gängiger Bodenbeläge*

Werden Bodenindikatoren eingesetzt, liegen für diese in der Regel im Labor geprüfte und gezielt gemessene Kontrast- und Reflexionswerte vor. Da der Einsatz von Bodenindikatoren im Innen- und im Außenraum vielfach gestalterisch und baukulturell zu unbefriedigenden oder sogar irritierenden Ergebnissen führt, ist zu untersuchen, welche Alternativen wie beispielsweise eine Zonierung durch verschiedene Oberflächen oder sonstige Leitelemente nach DIN 32984 Bodenindikatoren im öffentlichen Raum anzuwenden sind. Dabei kann die bestehende Bandbreite an Materialien sowohl für den Innen- als auch für den Außenraum zum Einsatz kommen. Für diese gestalterischen Möglichkeiten liegen Planer/innen bislang kaum belastbare Informationen hinsichtlich Kontrastwirkung und Orientierungsfunktion vor.

Es ist daher derzeit eine geringe Akzeptanz der Planer/innen im Umgang mit Leit- und Orientierungssystemen festzustellen.

*Gestalterisch und baukulturell unbefriedigende Anwendbarkeit*

Insbesondere im denkmalgeschützten Bestand sind derzeit die Nachrüstungen der in den einschlägigen Normen hinterlegten Kontrastkriterien nur mit großen gestalterischen Herausforderungen realisierbar. Hinzu kommt, dass der beschriebene Leuchtdichtekontrast beziehungsweise Mindestreflexionsgrad der helleren Fläche derzeit nur mit einer sehr begrenzten Zahl an Materialien herzustellen ist. Um den Belangen der Barrierefreiheit, der Baukultur und der Denkmalpflege, gerecht zu werden, müssen hier neue Lösungen entwickelt werden. Durch die Präzisierung bislang nicht systematisch herausgearbeiteten Merkmalen der Situation (z.B. Gebäude, Wege- und Umgebungsgestaltung, Nutzung) und durch eine vertiefende Beschreibung der weiteren Einflussfaktoren auf das Sehen/Erkennen von Kontrasten wie Struktur und Größe des Sehobjektes, Betrachtungsabstand sowie Beleuchtung können die Schutzziele visuell barrierefreier Gestaltung voraussichtlich künftig auch mit anderen gestalterischen Mitteln oder durch den Einsatz unterstützender Lichttechnik sicher und nachvollziehbar erreicht werden.

*Mangel an belastbaren Kriterien für visuelle Barrierefreiheit in der Normgebung*

Die in den derzeit geltenden Normen erarbeiteten Ansätze, beispielsweise der Einführung von Schutzziele, ist zweifelsohne eine richtige Entwicklung im Sinne einer flächendeckenden barrierefreien Gestaltung. Dennoch ist zu konstatieren, dass die Ausführungen zur planerischen und bautechnischen Erarbeitung von Kontrastsituationen nur als mangelhaft einzustufen sind. So werden bezüglich der Wahrnehmungsfaktoren von Kontrasten zwar richtigerweise sechs Einflussfaktoren angeboten (DIN 18040 -3:2014-12; DIN 18040-1:2010-10), eine für den Anwender valide verwertbare Information findet sich aber nur für einen Einflussfaktor, den Leuchtdichtekontrast. Diese lückenhafte Darstellung führt zu einer Einschränkung der konkreten Umsetzung der visuellen Barrierefreiheit.

## 2. Ziele und Methodik des Forschungsprojektes

Projektgegenstand sind bodengebundene Merkmale „visueller Barrierefreiheit“ für öffentliche Innen- und Außenräume gemäß DIN 18040 Teil 1 bzw. Teil 3, wie sie primär durch die Wahl von Bodenmaterialien sowie sonstige geeignete material- und bautechnische Gestaltungen entstehen. Dabei werden Gefahrenstellen entlang des/im Gehbereich, und Treppen nicht mit berücksichtigt.

Für den Bereich der Bodengestaltung weist DIN 18040-3 (Kapitel 4.7, S. 13) ausdrücklich auf die sparsame Verwendung von Bodenindikatoren (nach DIN 32984) hin. Diese sollen nur dann eingesetzt werden, wenn keine sonstigen klar erkennbaren Leitelemente oder Leitlinien vorhanden sind. Der Umstand ‚klarer Erkennbarkeit‘ ist derzeit aus Nutzersicht über die dafür stellvertretende Anforderung kontrastreicher Gestaltung für Planung und Betrieb gefasst. Belastbare Informationen über die praktische Kontrast-/Orientierungswirkung von Bodenmaterialien oder den Einfluss veränderlicher Lichtverhältnisse, von Glanz und Reflexion und von Dauerhaftigkeit nach Nutzungs-/Witterungseinwirkungen existieren derzeit nicht. Über die Art, Beschaffenheit und Anwendungsrandbedingungen von Kontrastgestaltungen bestehen bislang keine systematischen Erkenntnisse.

Ausgehend von den Schutzzielen barrierefreier visueller Gestaltung umfasst daher das Forschungsprojekt auf dem Weg zu praxisorientierten Planungs- und Bewertungsinstrumenten insgesamt gemäß Antragstellung drei Arbeitsbereiche, die wie folgt ausdifferenziert wurden:

*1. Planungs- und bauorientierte Forschungen zur praxisgerechten Beschreibung des in den einschlägigen Normen formulierten Schutzziels visueller Barrierefreiheit.* Die Untersuchungen orientieren sich an den durch die Verwendung von Bodenindikatoren gemäß DIN 32984 erreichbaren Formen visueller Barrierefreiheit und beforschen den Transfer dieser Wirkungen auf andere, typische Orientierungs- und Leitelemente für fußläufig zu bewältigende Bereiche in Innen- und Außenräumen.

Nach einer Übersicht der Begriffe und Definitionen der Sehfähigkeit und der physikalischen Einflussgrößen der Wahrnehmung von Kontrasten (siehe Kapitel 3) werden die Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit und der aktuelle Stand erreichter visueller Barrierefreiheit auf der Basis der aktuellen DIN-Normen dargestellt und diskutiert (siehe Kapitel 4). Dazu wurden die Anwendungsrandbedingungen, Kriterien, Messgrößen und Ausprägungsanforderungen für Bodenindikatoren und „Sonstigen Leitelementen“ systematisch herausgearbeitet und dar-



gestellt (siehe Kapitel 4.1). Allerdings ist festzustellen, dass die Mehrzahl der Anwendungsrandbedingungen in den einschlägigen Normen nicht ausreichend definiert sind, um unmittelbar mit weiteren Testfragestellungen daran anknüpfen zu können. (siehe Kapitel 4.2).

Daher gilt es zunächst, die aktuellen Kriterien visueller Barrierefreiheit, wie z.B. die messtechnische Kontrastdefinition, Anforderungen an Größe, Form, räumliche Anordnung des Sehobjektes, an den Betrachtungsabstand und an eine ausreichende und blendfreie Belichtung bzw. Beleuchtung zu konkretisieren und zu systematisieren, da hierzu z.T. nicht eindeutige Definitionen und Anforderungen festzustellen sind, die widersprüchliche Interpretationen zulassen können (siehe Kapitel 4.3 und Kapitel 4.4)

Um Konsistenz der in den DIN-Normen dargelegten Anforderungen und Messverfahren zu klären und zu verifizieren wurde ein Vergleich mit einer Auswahl vergleichbarer Normen aus Norwegen, Österreich und der Schweiz durchgeführt. Es ist eine große Ähnlichkeit in den Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit festzustellen, doch finden sich gerade im Hinblick auf die Anforderungen an die visuellen Kontraste teilweise erhebliche Unterschiede. Aus den untersuchten Normen geht nicht hervor, auf welcher Basis (beispielsweise Forschungsvorhaben), die jeweils dargelegten Anforderungen beruhen (siehe Kapitel 4.5)

Vor diesem Hintergrund wurden Verfahren lichttechnischer Messungen untersucht (siehe Kapitel 4.6) sowie Forschungen zu den in den DIN-Normen hinterlegten Kriterien visueller Barrierefreiheit recherchiert. Soweit vorhanden, wurden die Methoden der vorliegenden Forschungen analysiert, bewertet und der aktuelle Forschungsbedarf herausgestellt. Demnach wird deutlich, dass insbesondere die Kriterien der Wahrnehmbarkeit von Kontrasten erst in Ansätzen erforscht sind und beispielsweise das Verhältnis zwischen Größe von Leitelementen und Kontrast, die Beeinflussung der Kontrastwahrnehmung durch die innere Struktur von Belägen oder durch den Fugenanteil von Oberflächen, die Auswirkung von Beleuchtungsintensitäten und Lichtfarbe bzw. Beleuchtungsarten auf die Kontrastwahrnehmung nicht belastbar untersucht wurden (siehe Kapitel 4.6). Die Spezifizierung dieser Kriterien ist für die gezielte Planung von „Sonstigen Leitelementen“ immanent wichtig, um eine visuelle Barrierefreiheit tatsächlich realisieren zu können. Denn nach DIN 32984 sollen Bodenindikatoren nur dort eingebaut werden, „[...] wo keine andere Markierung von Gehbahnen und Gehflächen durch sonstige taktil und visuell klar erkennbare Leitelemente oder Leitlinien gegeben ist.“ (DIN 32984, S. 6) Entgegen der Annahme zur Antragstellung ist daher zunächst eine Untersuchung einiger Bewertungskriterien durch vorgeschaltete Labor- und Probandentests durchzuführen.

*2. Untersuchungen zu Bewertungskriterien für geeignete Instrumente, die die planungs- und baupraktische Umsetzbarkeit visueller Barrierefreiheit sichern können sowie für praxisorientierte messtechnische Beschreibungsgrößen, die eine Planung und Überprüfbarkeit entsprechender Gestaltungen ermöglichen.*

Aus der Auswertung der DIN-Normen sowie den Recherchen zum Stand der Forschung geht hervor, dass für den Einfluss u.a. der Größe (im Falle von Bodenbelägen der Breite) von Leitelementen und der Form (Fugenbild, Fugenanteil), räumliche Anordnung (beispielsweise Unterbrechungen, Fugenverband), Betrachtungsabstand (Einfluss Beobachtungsgeometrie, Einfluss innere Materialstruktur und Oberflächenstruktur/-rauigkeit) und Beleuchtung (Einfluss Lichtfarbe / Beleuchtungsgeometrie) auf die Kontrastwirkung von Bodengestaltungen aktuell keine validen Untersuchungen vorliegen, aus denen praxisorientierten Beschreibungsgrößen abgeleitet werden könnten. Demnach können diese Kriterien, wie im Antragsstand angenommen, auch nicht ausschließlich durch örtliche Probandenbegehungen verifiziert werden. Daher wurden Labor- und Probandentests entwickelt, um grundlegende Anhaltspunkte für den Einfluss dieser Kriterien zu gewinnen (siehe Kapitel 6). Als Grundlage für die Tests dienen nach dem Messverfahren der DIN 32984 systematisch durchgeführte Messungen der Leuchtdichtekontraste an einer gängigen Auswahl typischer Innen- und Außenraumbeläge im Lichtlabor der TU Dresden. Der Einfluss der Lichtfarbe auf die Entstehung von Leuchtdichtekontrasten wird ebenfalls untersucht (siehe Kapitel 6.2).

Die in Kapitel 6.3 beschriebenen Tests sind auf der Basis der Methode experimenteller Variation entwickelt. Unter Verwendung der bei den Labormessungen gewonnen praxisrelevanten Materialdarstellungen werden den Probanden Präsentationen in abgedunkelten Räumen dargeboten, deren Ergebnisse nach der Methode der Varianzanalyse ausgewertet werden

Die Auswertung der Tests wird der Spezifizierung und Qualifizierung der Einflusskriterien auf die Wirkung von Materialkontrasten dienen und wird Anhaltspunkte für eine gezielte Auswahl der Materialien für die Teststrecken liefern.

*3. Exemplarische Anwendung des erarbeiteten Beschreibungs- und Bewertungsvorgehens durch Sichtung und Messung von Gestaltungen im Bestand sowie in Planungen, die dem Anspruch visueller Barrierefreiheit genügen können oder sollen. Abschließende Dokumentation, die die gewonnenen Ergebnisse einer breiten Anwendung in Planung, Praxis sowie Normungs- und Richtlinienarbeit zugänglich macht.*

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Projektphasen 1 und 2 werden ausgewählte Außenraumprojekte, die in den letzten 10 Jahren realisiert wurden und die zumindest teilweise bereits die Anforderungen zur visuellen Barrierefreiheit der 2010 bzw. 2014 veröffentlichten

Normen DIN 18040-1 bzw. DIN 18040-3 berücksichtigen, im Hinblick auf den Stand der erreichten visuellen Barrierefreiheit analysiert. Da alle Projekte bereits mindestens zwei Jahre in Benutzung sein sollen, kann hier durch eine Befragung örtlicher Probanden Aufschluss über die Wahrnehmung und Nutzbarkeit der realisierten visuellen Kontraste erzielt werden (siehe Kapitel 0).

Die Ergebnisse der Auswertung der Probandentests unter Laborbedingungen und die Auswertung der Befragung örtlicher Nutzer realisierter Projekte soll als Basis für eine erste messtechnische oder qualitative Spezifizierung der Kriterien visueller Barrierefreiheit dienen. Die Ergebnisse der Labortests dienen schließlich als Grundlage für die Realisierung von Teststrecken, die mit Probanden begangen werden. Die Teststrecken dienen der Validierung der unter Laborbedingungen erzielten Ergebnisse. Auch die Auswahl der Materialien, Dimensionen von Leitelementen und die dafür zu Grunde gelegten Kontraste erfolgt auf der Basis der Ergebnisse der vorangestellten Labortests.

Nach dieser praxisorientierten Rückkopplung werden praxisorientierte Hinweise zur Umsetzung der spezifizierten Kriterien geleistet (siehe Kapitel 7 Zusammenschau ).



Abbildung 1: Projektablaufplan

## 3. Begriffe und Definitionen

### 3.1 Sehfähigkeit

#### *Definition und Prävalenz von Sehbehinderung*

Nach deutschem Recht, dessen Kriterien strenger als die der WHO ausgelegt sind, ist

- ein Mensch sehbehindert, wenn er auf dem besser sehenden Auge selbst mit Brille oder Kontaktlinsen nicht mehr als 30 % von dem sieht, was ein Mensch mit normaler Sehkraft erkennt, einen Visus  $V \leq 0,3$ , Störungen der Sehfunktion von entsprechendem Schweregrad hat
- ein Mensch hochgradig sehbehindert, wenn er auf dem besser sehenden Auge selbst mit Brille oder Kontaktlinsen nicht mehr als 5 % von dem sieht, was ein Mensch mit normaler Sehkraft erkennt (d.h. Sehrest  $\leq 5$  %)
- ein Mensch blind, wenn er auf dem besser sehenden Auge selbst mit Brille oder Kontaktlinsen nicht mehr als 2 % von dem sieht, was ein Mensch mit normaler Sehkraft erkennt (d.h. Sehrest  $\leq 2$  %). (<http://www.dbsv.org/infothek/zahlen-und-fakten/>. Zugriff am 19.10.2015)

DIN 32975:2009-12 Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung legt zur Gestaltung von visuellen Informationen für Menschen mit Sehbehinderungen eine Sehschärfe (Visus) von 0,1 zu Grunde.

Neben der Strukturgröße und der Beleuchtung ist die Physiologie des Sehapparates ein weiterer Einflussfaktor auf das Kontrastsehen (Schmidt, Buser 2014). Viele Augenerkrankungen sind altersbedingt, wie beispielsweise die altersbedingte Makuladegeneration AMD oder der Katarakt („grauer Star“) (DBSV 2012). Die Bedeutung altersbedingter Augenerkrankungen für die Gesundheit der Bevölkerung wächst im Gegensatz zu anderen Volkskrankheiten. Der demografische Wandel hat zur Folge, dass 2060 geschätzt jeder Dritte älter als 65 Jahre ist. Besonders die Zahl der hochbetagten Menschen wird steigen. In 50 Jahren wird jeder Achte, das entspricht ca. 13% der Bevölkerung mindestens 80 Jahre alt sein (STBA 2015). Die demographische Verschiebung in der Altersstruktur hebt die eigentlich rückläufige Anzahl an Erblindungen und Sehbehinderungen weitgehend auf, denn eine höhere Lebenserwartung führt zu einem steigenden Risiko, eine schwerwiegende Augenkrankheit und damit eine erhebliche Einschränkung in der Lebensqualität zu erleiden. Im Vergleich zu heute werden zukünftig 20 bis 30% mehr Menschen von altersbedingten Augenkrankheiten betroffen sein (Wolfram, Pfeiffer 2012). Weiterhin verschlechtert sich im höheren Lebensalter die Sehschärfe (Visus).

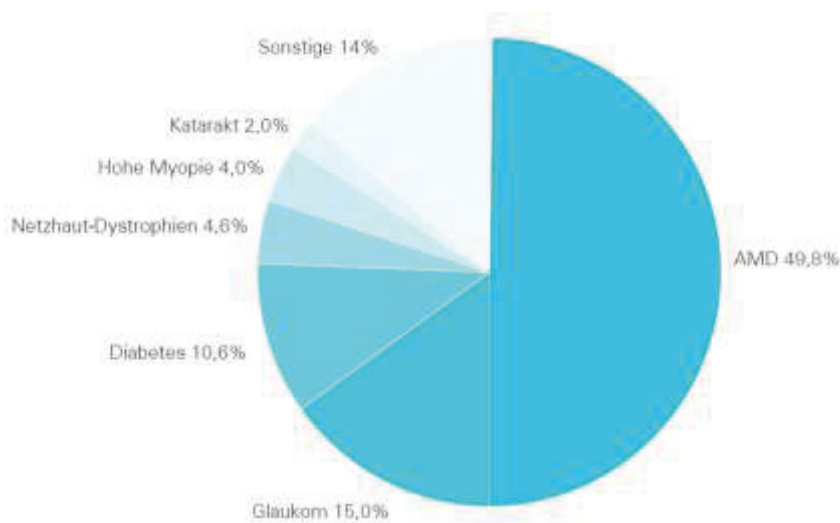


Abbildung 2: Ursachen für Erblindung in Deutschland nach Finger (2011)

Die Abbildung 2 zeigt, dass die drei chronischen Augenerkrankungen: Altersbedingte Makuladegeneration (AMD), Glaukom und diabetische Retinopathie 75 Prozent der Fälle aller Erblindungen ausmachen (Wolfram, Pfeiffer 2012).

In Deutschland gibt es bislang nur wenige Studien, welche die Zahl der an häufigen Augenerkrankungen leidenden Menschen erfassen. Projizierte Schätzungen, die sich aus Daten ophthalmologischer Studien in anderen Ländern über die Prävalenz (Häufigkeit) ableiten, ergeben für die Prävalenz von Blindheit bzw. Sehbehinderung in Deutschland eine Zahl von 353.000 Menschen. Die Zahlen für die Häufigkeit weichen aufgrund der unterschiedlichen Definitionen für Sehbehinderung und Blindheit stark voneinander ab. Nach Schätzungen der WHO beträgt die Zahl der in Deutschland an einer Sehbehinderung leidenden Menschen beispielsweise sogar über eine Million (Wolfram, Pfeiffer 2012).

### *Sehschärfe (Visus) und Kontrastempfindlichkeit*

Nach DIN 32975:2009-12: „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ wird Sehschärfe als Schwellenwert der Fähigkeit beschrieben, feine Details eines Objekts wahrzunehmen, deren Erkennbarkeit vom Sehwinkel abhängt. Sie legt für die Forderungen einen Visus von 0,1 nach WHO Definition für Sehbehinderung Stufe 2 zugrunde. (DIN 32975:2009-12).

Eine Person mit einem Visus von 0,1 kann einen Text, den eine normalsichtige Person aus 20m Entfernung lesen kann, erst in 2m erkennen (Buser 2008).

Die Kontrastempfindlichkeit hingegen gibt an, bei welchem Mindestkontrast Objekte unterschiedlicher Größe noch wahrnehmbar sind (Echterhoff et al. 1994).

Bach et al. definieren die Kontrastempfindlichkeit als Fähigkeit des visuellen Systems, örtliche und/oder zeitliche Helligkeitsunterschiede zu erkennen. Die Sehleistung ist jedoch nicht gleichzusetzen mit der Sehschärfe (Visus). Die Sehleistung hängt wiederum von der Sehschärfe und der Verteilung der Leuchtdichte ab. Nach Bach et al. ist „die Kontrastempfindlichkeit der Kehrwert des Schwellenkontrastes im Michelson-Maß“ (Bach et al. 2008, S. 47). Je höher der Wert für die Kontrastempfindlichkeit, desto besser ist die Sehleistung (Bach et al. 2008).

Ein schlechtes Sehvermögen geht oftmals mit Einschränkungen im Kontrastsehvermögen einher. Bei annähernd normalsichtigen Personen gibt es keinen Zusammenhang zwischen der Sehschärfe und dem Kontrastsehvermögen (Darius et al. 2010, Lüder; Böckelmann 2011).

Einige Augenerkrankungen führen zu einem verminderten Kontrastsehen bzw. einer herabgesetzten Kontrastempfindlichkeit, wie Trübungen der brechenden Medien (z. B. Katarakt, Erkrankungen der Hornhaut), Erkrankungen und Veränderungen der Makula (z. B. altersbedingte Makuladegeneration AMD) oder dystrophische Erkrankungen der Netz- und Aderhaut (z. B. diabetische Retinopathie DR, Retinopathia pigmentosa RP) (Echterhoff et al. 1994; Lang 2004; Methling 2013).

Die Untersuchungen von Echterhoff et al. zeigten eine herabgesetzte Kontrastempfindlichkeit der Probanden je nach Sehbehinderung. Die Kontrastempfindlichkeit von Testpersonen mit Makulopathien war am stärksten eingeschränkt, gefolgt von Patienten mit Glaukom, dystrophischen Erkrankungen der Netz- und Aderhaut und zuletzt Probanden mit einer Trübung der brechenden Medien (Echterhoff et al. 1995; Lindner et al. 1999). Im Reaktionszeitexperiment von Hagen reagierten Probanden mit dystrophischen Erkrankungen der Netz- und Aderhaut am langsamsten, gefolgt von Personen mit Makuladegeneration Personen, danach die Gruppe mit einer Trübung der brechenden Medien (Hagen 2009).

Das praktische Auflösungsvermögen für kleine Objektdetails nimmt, ausgehend von nächtlichen Helligkeiten, mit zunehmender Leuchtdichte (und zunehmendem Kontrast) zu (nach Busser 2008). Eine schweizer Studie stellte fest, dass die Sehleistung von seheingeschränkten Personen vor allem bei Kontrasten kleiner als 0,4 immer deutlicher abfiel (Joos et al. 2012). Wobei die hier gemeinten Kontraste keinen Bezug zu den oberhalb beschriebenen absoluten Leuchtdichten haben.

## 3.2 Physikalische Größen

Im Folgenden werden die Physikalischen Größen beschrieben, die bei der Wahrnehmung von Kontrasten eine Rolle spielen. Da die unten aufgeführten Begriffe regelmäßig Verwendung finden, werden sie an dieser Stelle zusammenfassend erläutert.

### 3.2.1 Leuchtdichte $L$

Die Einheit der auf einer Fläche vorliegenden Beleuchtungsstärke ist Lux (lx). Von den meisten praktischen Oberflächen werden Teile eines auftreffenden Lichtstromes absorbiert und reflektiert, von einigen auch transmittiert. Der durch das reflektierte Licht entstehende Helligkeitseindruck einer Fläche von einer bestimmten Beobachtungsposition aus wird über die Leuchtdichte beschrieben. Ihre Einheit lautet Candela pro Quadratmeter ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Die Leuchtdichte ist die einzige lichttechnische Größe mit direktem Bezug zu Sichtbarkeitsmerkmalen einer Situation und ist maßgebend für den wahrgenommenen Helligkeitseindruck einer beleuchteten Fläche. Die Leuchtdichte eines Objekts ist umso größer, je mehr Licht auf dieses fällt und zu je höheren Anteilen auftreffendes Licht von der Oberfläche reflektiert wird.

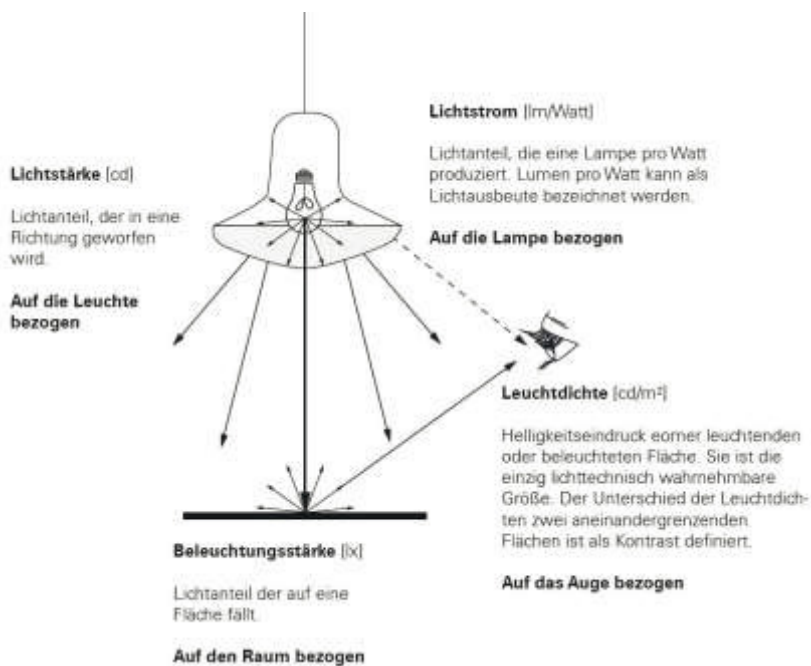


Abbildung 3: Vereinfachtes Modell lichttechnischer Größen nach Buser (2013)

DIN 32975:2009-12: „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ definiert Leuchtdichte ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) als eine lichttechnische Größe, die der Hellig-



keit einer selbst leuchtenden oder einer angeleuchteten Fläche annähernd entspricht. Sie beschreibt also den Helligkeitseindruck, den wir über das Auge empfinden. (zur Messung siehe auch Kapitel 4.6)

Die Leuchtdichte und damit die Ausbildung von Kontrasten sind u.a. von der Oberfläche eines Materials abhängig (BMG 1996). Weitere Einflussfaktoren der Leuchtdichte sind die Beleuchtungsintensität und der Reflexionsanteil. Das Kontrastsehen hängt u. a. von der Adaptionsleuchtdichte ab, auf die das Auge adaptiert. Je höher diese Adaptionsleuchtdichte ist, desto besser können Kontraste erkannt werden. In diesem Zusammenhang können sich dabei aber auch Einschränkungen durch Blendung ergeben. Eine gleichmäßige Leuchtdichte im Gesichtsfeld führt zu einer besseren Adaption des Auges und damit zu einer besseren Empfindlichkeit für schwache Kontraste. Unterschiedliche Leuchtdichten im Gesichtsfeld können beispielsweise durch ungeschützte Lichtquellen, den hellen Himmel oder starkes Licht bzw. Schattenspiel zustande kommen (Joos et al. 2012).

Weißes Papier in Büroraum mit normaler Beleuchtung	125 cd/m <sup>2</sup>
Blauer Himmel	2.500 cd/m <sup>2</sup>
Leicht bedeckter Himmel	10.000 cd/m <sup>2</sup>

Tabelle 1: Beispiele für Leuchtdichten (Joos et al. 2012)

Für licht- und beleuchtungstechnische Planungen im Innenraum werden die Raumbegrenzungsflächen typischerweise als diffus reflektierende Oberflächen modelliert. In diesem Fall kann die Leuchtdichte aus der Beleuchtungsstärke E und dem Reflexionsgrad  $\rho$  berechnet werden.

Es gilt:

$$L = \frac{\rho * E}{\pi \Omega_0}$$

(Loeschke, Marx, Pourat 2011).

### 3.2.2 Reflexionsgrad $\rho$

Der Reflexionsgrad  $\rho$  beschreibt den Anteil des auf eine Oberfläche einfallenden Lichts, der reflektiert wird. Der Reflexionsgrad kann als Quotient aus einfallendem und reflektiertem Lichtstrom dargestellt werden.

Um auch bei geringen Beleuchtungsniveaus wie beispielsweise in Dämmerungssituationen ausreichende Leuchtdichten und damit gut wahrnehmbare Leuchtdichtekontraste zu garantieren, muss der Reflexionsgrad der helleren Fläche groß genug sein (Schmidt, Buser 2014). Alle Normen, die visuelle Kontraste behandeln, sollten nach Auffassung der Autoren aus diesem Grund die Angabe einer Mindestleuchtdichte bzw. bei Markierungen die eines minimalen Reflexionsgrads vorgehalten (Joos et al. 2012).

DIN 32975 legt daher in Kapitel 4.2.2 für Orientierungs- und Leitsysteme ohne Schrift- und Bildzeichen einen Mindestreflexionsgrad der helleren Fläche von mindestens  $R=0,5$  fest (DIN 32975:2009-12).

Bei matten, diffus reflektierenden Oberflächen kann anstelle der Leuchtdichte auch der Reflexionsgrad zur Berechnung des Leuchtdichtekontrasts genutzt werden (Schmidt, Buser 2014) (siehe auch Kapitel 3).

$$K = \frac{\rho_{hF} - \rho_{dF}}{\rho_{hF} + \rho_{dF}}$$

Mit:

$K$  = Kontrast

$\rho_{hF}$  = Reflexionsgrad der helleren Fläche

$\rho_{dF}$  = Reflexionsgrad der dunkleren Fläche

Große Unterschiede im Reflexionsgrad führen zu hohen Kontrasten zwischen den verwendeten Materialien (BMG 1996).

Abbildung 4 zeigt den Leuchtdichteunterschied anhand fünf rechteckiger Flächen. Jede dieser Flächen besitzt einen bestimmten Reflexionsgrad (angegeben in %) und zu den angrenzenden einen bestimmten Leuchtdichtekontrast, z.B.  $K=0,9$  (Schmidt, Buser 2014).

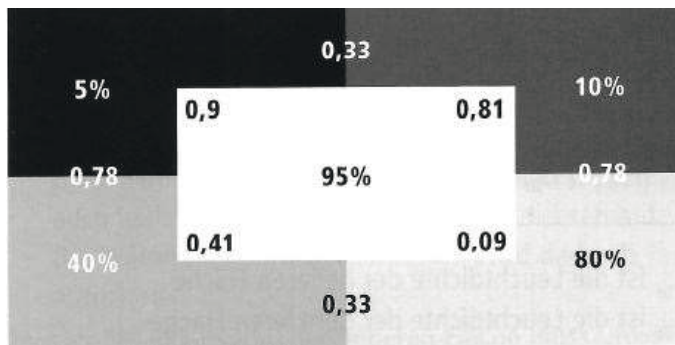


Abbildung 4. Leuchtdichtekontrast und Reflexionsgrad (Schmidt, Buser 2014) (Anmerkung: Weder in der gedruckten noch in der digitalen Ausfertigung können diese Werte richtig wiedergegeben werden)

Für Werkstoffe und Naturmaterialien sind jedoch die Reflexionsgrade in der Regel nicht bekannt und müssen messtechnisch anhand eines Materialmusters bestimmt werden (Schmidt, Buser 2014). Das vorliegende Forschungsprojekt ermittelt die Reflexionsgrade für einige in der Planungspraxis relevante Natursteine und Bodenmaterialien, die (Landschafts-) Architektinnen und Architekten die Planung von barrierefreien Kontrasten erleichtern.

### 3.2.3 Hellbezugswert $Y$

Der Hellbezugswert  $Y$  gibt für eine bestimmte Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie das Verhältnis der Leuchtdichte einer Oberfläche zur Leuchtdichte einer idealen mattweißen Oberfläche unter identischen Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen an. Schwarz besitzt einen Hellbezugswert von  $Y=0$ , es wird kein Licht reflektiert. Weiß hat einen Hellbezugswert von  $Y=100$ , da alles Licht reflektiert wird. Anzumerken ist dabei, dass z.B. eine weiße Fläche aus dem RAL-System nie das gesamte auftreffende Licht reflektiert. Bei matten, diffus reflektierenden Oberflächen kann anstelle der Leuchtdichte auch der Hellbezugswert eingesetzt werden, um den Kontrast zu berechnen (Schmidt, Buser 2014). Hellbezugswerte oder Reflexionsgrade dürfen nur zur Berechnung von Kontrasten verwendet werden, wenn diese Größen bei beiden aneinanderstoßende Kontrastflächen unter gleichen messtechnischen Bedingungen (möglichst nach in DIN 32975:2009-12 gefordertem Messaufbau) bestimmt wurden (Böhringer 2012) (siehe auch Kapitel 4.6).

Eine von Böhringer entwickelte Methode (Farb-Vergleichs-Verfahren) nutzt Farbfächer, um Leuchtdichtekontraste zu planen, überschlägig zu messen und zu kontrollieren. Er verweist dazu neben der Berechnung des Leuchtdichtekontrastes durch die Michelson-Formel auf die Berechnung aus Reflexionsgraden  $\rho$  sowie aus Hellbezugswerten  $Y^*$ . Hellbezugswerte wer-

den von Herstellern in Farbtafelwerken bzw. Farbfächern angegeben und können daher Planer/innen zur Kontrastmessung und Kontrolle dienen. Die Abweichungen dieser Berechnungsart des Leuchtdichtekontrasts über Hellbezugswerte sind laut Böhringer vertretbar. Um den Kontrast zwischen zwei Bauteilen/Farbflächen auf diese Weise zu ermitteln, müssen zuerst die im RAL-Farbfächer ähnlichsten Farbtöne zu denen der Bauteile/Farbflächen bestimmt werden. Sind diese bereits mit RAL-Farbtönen gestaltet, entfällt dieser Schritt. Es wurden diesbezüglich Tabellenwerke entwickelt, die bei bekannten Hellwerten  $L^*$  (0=tiefstes schwarz, 1000=grellstes weiß) bzw. Hellbezugswerten  $Y^*$  ein einfaches Ablesen des Kontrastes ermöglichen. Sind nur die Hellwerte  $L^*$  bekannt, müssen diese zunächst mithilfe einer Formel in Hellbezugswerte  $Y^*$  umgerechnet werden. Der Hellwert  $L^*$  ist nicht identisch mit dem Hellbezugswert  $Y^*$ . Nach dem Ablesen des Kontrastes aus den Tabellenwerken ist eine Fehlergröße von 0,1 einzukalkulieren. Auch dieses Farb-Vergleichs-Verfahren stößt jedoch an dieser Stelle an seine Grenze, da sich bei Hellwerten  $L^*$  zwischen 67 und 75 bzw. Hellbezugswerten  $Y^*$  zwischen 36,6 und 50 des Ausgangsmaterials keine Farbe finden lässt, die beide Normanforderungen ( $K \geq 0,4$  und  $\rho$  der helleren Fläche  $\geq 0,5$ ) erfüllt (Böhringer 2012).

Im Innen- und Außenraum kommen differenziert gestaltete, inhomogene Materialien zum Einsatz, was zu einem fehlerhaften bzw. problematischen Abgleich mit Farbkarten führen kann. Eine Berechnung bzw. der Farbkartenabgleich eignet sich daher eher für homogene, unifarbene Oberflächenmaterialien. Hinzu kommt, dass Farbkarten glänzen können und so je nach Beleuchtungsrichtung und Beobachtungswinkel unterschiedliche Farbeindrücke entstehen. Der Farbkartenabgleich ist zudem immer ein subjektiver Eindruck (Biaśtoch 2014).

Einige der diskutierten Einflüsse (Spektrum, praktische Beleuchtungsgeometrie, innere Materialstruktur) werden bei den lichttechnischen Labormessungen an Materialien thematisiert (vgl. Kapitel 4.6)

### **3.2.4 Leuchtdichtekontrast $K$**

Das Verhältnis der Leuchtdichten von zwei nebeneinander liegenden Flächen wird als Leuchtdichte- oder Helligkeitskontrast bezeichnet. Der Leuchtdichtekontrast kann, wie in Kapitel 3.2.1 und Kapitel 3.2.2 erläutert, auf verschiedene Arten berechnet werden. Um Kontraste in der gebauten Umwelt zu bestimmen wird üblicherweise die Formel nach Michelson angewandt. Diese lautet:

$$K = \frac{L_o - L_u}{L_o + L_u}$$

Mit:

K= Kontrast (üblicherweise als Michelson-Kontrast bezeichnet)

L<sub>o</sub>= Leuchtdichte des Sehobjektes

L<sub>u</sub>= Leuchtdichte des Umfeldes

Es ergeben sich Werte zwischen -1 und +1. Das negative Vorzeichen bedeutet, dass es sich um einen Negativkontrast handelt. Dieser ergibt sich bei einem dunklen Sehobjekt mit geringerer Leuchtdichte vor einem helleren Umfeld mit höherer Leuchtdichte. Positive Kontrastwerte beschreiben ein helles Sehobjekt mit größerer Leuchtdichte vor einem dunkleren Umfeld mit geringerer Leuchtdichte. DIN 32975:2009-12: „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ verwendet nur den Betrag des Kontrasts (DIN 32975:2009-12).

DIN 32975:2009-12: „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ fordert Leuchtdichtekontraste von mindestens 0,4 für Leit- und Orientierungssysteme ohne Schrift- und Bildzeichen (z.B. Bodenmarkierungen oder Kennzeichnungen im Bodenbereich) bzw. von mindestens 0,7 zur Kennzeichnung von Bedienelementen an Hilfs- und Notrufeinrichtungen, zur Markierung von Hindernissen und Absperrungen sowie für die Darstellung von Informationen bestehend aus Schrift- und Bildzeichen.

Der Leuchtdichtekontrast und dessen Wahrnehmung werden durch unterschiedliche Einflüsse beeinflusst. Zu diesen Einflüssen zählen

- Reflexionen und Reflexe auf Chromstahl,
- Spiegelungen,
- Schattenbildung,
- Verschmutzung,
- Witterung,
- störende Kontraste im Umfeld (Schmidt, Buser 2014).

Die Beleuchtungsintensität hat keinen Einfluss auf den wie oben definierten Leuchtdichtekontrast einer Materialkombination, sofern die Definition nach Michelson zu Grunde gelegt wird. Für die Definition nach Michelson gilt: Ändert sich die Beleuchtungsstärke – bei gleichbleibender Oberflächenbeschaffenheit des Materials und Einstrahlwinkel des Lichts – ändern sich die Leuchtdichten zweier Flächen im gleichen Verhältnis zueinander. Das bedeutet, dass der

Leuchtdichtekontrast immer konstant bleibt, egal welche Beleuchtungsstärke angesetzt ist. Daher besteht keine Abhängigkeit zwischen dem messtechnisch bestimmten Kontrast und der Beleuchtung, die Wahrnehmung von Kontrasten hingegen ist sehr wohl beleuchtungsabhängig (ProRetina 2012; Schmidt, Buser 2014).

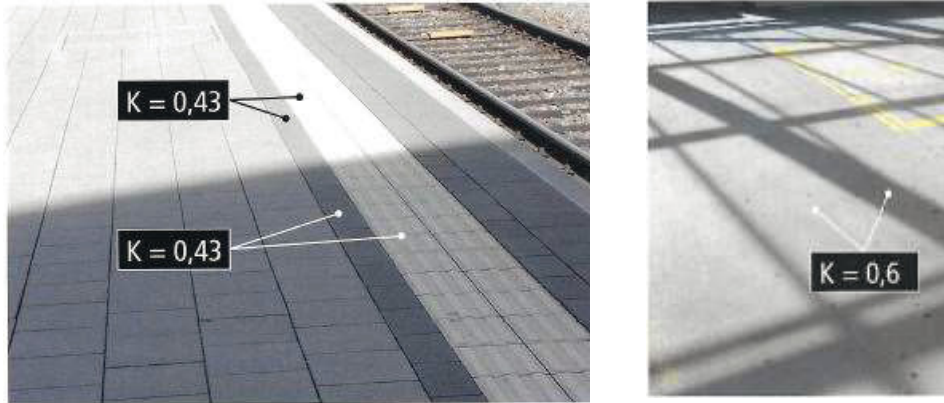


Abbildung 5. Links: Unabhängigkeit von lichttechnisch bestimmtem Kontrast und Beleuchtung. Rechts: Leuchtdichteunterschiede eines Materials durch Schattenwurf bei gleichzeitiger Überblendung des Leitelementes (Schmidt, Buser 2014)

Der Leuchtdichtekontrast muss unabhängig vom Farbton erfüllt werden, um Informationen auch für Menschen mit Farbfehlsichtigkeit erkennbar zu gestalten (Schmidt, Buser 2014).

### 3.2.5 Farbkontrast

Betrachtet man den Kontrastbegriff, muss man zwischen Leuchtdichte- bzw. Helligkeitskontrast und Farbkontrast unterscheiden.

„Der Farbkontrast beschreibt den Abstand des Farbortes eines Objekts zum Farbort des Hintergrunds“ (Echterhoff et al. 1994, S.317).

Barrierefreie Kontraste sind nahezu immer als Leuchtdichtekontraste definiert, da bei Menschen mit einer Farbsehstörung die Wahrnehmung von Farbkontraste gestört sein kann. Die unterschiedliche Helligkeit zwei benachbarter Flächen kann hingegen von Menschen mit Sehbehinderungen in der Regel noch gut wahrgenommen werden (Böhringer 2012). Liegen unbunte Objekte bzw. Hintergründe vor oder sind Objekt und Hintergrund gleichfarbig, ist kein Farbkontrast mehr vorhanden. In diesem Falle ist allein der Leuchtdichtekontrast ausschlaggebend für das Wahrnehmen von Objekten und Situationen. Visuelle Informationen über die Umwelt werden von farbfehlsichtigen Menschen überwiegend aufgrund des Leuchtdichtekontrasts gewonnen (Echterhoff et al. 1994). Farbgebung kann die Wahrnehmung von

Leuchtdichtekontrasten zwar unterstützen, jedoch nicht ersetzen (DIN 32975:2009-12, Kapitel 4.2.4).

Das vorliegende Forschungsprojekt beschäftigt sich daher ausschließlich mit Untersuchungen zu Leuchtdichtekontrasten.

### 3.2.6 Beleuchtungsstärke $E$

Die Beleuchtungsstärke hängt nicht davon ab, ob die Fläche auf die das Licht fällt stärker oder schwächer reflektiert (Buser 2008). Um den gleichen Helligkeitseindruck zu erreichen, sind für dunkle Flächen höhere, für helle Flächen geringere Beleuchtungsstärken anzusetzen (Loeschke, Marx, Pourat 2011).

DIN 32975 definiert die Beleuchtungsstärke als Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Lichtstrom und der Größe dieser Fläche. Ihre Maßeinheit lautet Lux ( $lx = lm/m^2$ ) (DIN 32975:2009-12).

Vorgaben zu Beleuchtungsstärken für den Innenraum finden sich in DIN EN 12464-1:2011-08: „Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen“. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über typische Beleuchtungsstärken.

Klarer Himmel und Sonne im Zenit	130.000 lx
Klarer Himmel, Sonnenhöhe 60° (mittags im Sommer)	90.000 lx
Klarer Himmel, Sonnenhöhe 16° (mittags im Winter)	20.000 lx
Bedeckter Himmel, Sonnenhöhe 60° (mittags im Sommer)	19.000 lx
Bedeckter Himmel, Sonnenhöhe 16° (mittags im Winter)	6.000 lx
Dämmerung (Sonne knapp unter Horizont)	750 lx
Dämmerung (Sonne 6° unter Horizont)	3 lx
Straßenbeleuchtung	10 lx
Kerze in ca. 1m Entfernung	1 lx

Tabelle 2: Übersicht über typische Beleuchtungsstärken durch natürliche und künstliche Lichtquellen

### 3.2.7 Lichtfarbe

Der Farbeindruck von Licht, welches direkt von einer selbst leuchtenden Fläche stammt wird als Lichtfarbe bezeichnet. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über typische Lichtfarben natürlicher und künstlicher Lichtquellen.

Warmweiß	unter 3300Kelvin
Neutralweiß	3300-5300 Kelvin
Tageslicht	5800 Kelvin
Kaltweiß	12000 Kelvin

Tabelle 3: Einteilung der Lichtfarben nach Farbtemperatur

Sonnenlicht	5500K
Morgen-/Abendsonne	5000 K
Sonnenlicht mittags, Bewölkung	5500–5800 K
Bedeckter Himmel	6500–7500 K
Halogenleuchtstofflampen	2700 – 3000K
Leuchtstofflampen (Neutralweiß)	3300 – 4500K

Tabelle 4: Übersicht über typische Lichtfarben natürlicher und künstlicher Lichtquellen



## **4. Derzeitiger Stand erreichter visueller Barrierefreiheit**

### **4.1 Stand der Normung**

Die Normungslandschaft europäischer Staaten unterliegt den Rechtsrahmen der jeweiligen Länder. So gilt in Deutschland das Grundgesetz als Rahmen des staatlichen Handelns. Die Normungsarbeit selbst ist dabei explizit kein staatliches Handeln. Als Mitglied der Vereinten Nationen werden aber auch unterzeichnete Übereinkommen bindend. Ausgehend von der Verabschiedung der UN-Behindertenrechtskonvention im Jahr 2008 erklärten sich die Vertragsstaaten zur Umsetzung von Maßnahmen zur Sicherung der Gleichberechtigung aller Menschen. Hierzu gehören unter anderem die Barrierefreiheit, die persönliche Mobilität und die unabhängige Lebensführung (Behindertenrechtskonvention 2008).

Ebendiese Anforderungen werden in Deutschland auf unterschiedlichen Ebenen geregelt. So gilt in Deutschland seit 2002 das Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (kurz: Behindertengleichstellungsgesetz – BGG, zuletzt geändert 2007). Dieses, vorrangig für Träger öffentlicher Gewalt auf Bundesebene geltende Gesetz, fordert u.a. die Herstellung von Barrierefreiheit in den Bereichen Bau und Verkehr (§8 BGG). Die Anforderungen dieses auf Bundesebene geltenden Gesetzes werden in gleicher Weise in Landesgleichstellungsgesetze überführt. Für den Bereich Bau werden die Belange der Barrierefreiheit zusätzlich auf Länderebene in Länderbauordnungen rechtskräftig festgesetzt. Diesen Verordnungen treten bundesweit geltende Normen hinzu.

Wesentlich für die Regelung der gebauten barrierefreien Umwelt sind in Deutschland die Normengruppe der DIN 18040 - Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen in den Teilen 1 bis 3, die einerseits für den öffentlichen Raum und andererseits für Öffentlichen Bauten, die Anforderungen an das Barrierefreie Bauen definieren und auch erstmalig seit dem Erscheinen im Jahr 2010 (Teil 1) bzw. 2014 (Teil 3) auch Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit enthalten.

Die dort neu eingeführten Schutzziele werden im folgenden Kapitel 4.2 Anforderungen an visuelle Barrierefreiheit gem. DIN 18040 – Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung unter besonderer Berücksichtigung der dort dargelegten Anforderungen an die Barrierefreiheit für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit diskutiert.

Weiterhin sind die DIN 32975: „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Außenraum zur barrierefreien Nutzung“ sowie die DIN 32984 „Bodenindikatoren im öffentlichen Außenraum“ relevant, die gezieltere Anforderungen an die Gestaltung von Leitelementen für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit und an die Gestaltung visueller Kontraste enthalten.

Abgeleitet aus diesen Normen lassen sich zwei wesentliche Typen der bodengebundenen visuellen Unterstützung ableiten. Zum einen die Leitstreifen aus Bodenindikatoren inklusive Aufmerksamkeitsfelder zur Richtungs- und Gefahrenanzeige sowie die in der DIN 32984 sogenannten „Sonstigen Leitelemente“ wie Hauswände, Bordsteine, Leitlinien aus Belagswechsel u.ä., die ebenfalls Leitfunktionen übernehmen können. Nach DIN 32984 sind Bodenindikatoren nur dort einzusetzen, „[...] wo keine andere Markierung von Gehbahnen und Gehflächen durch sonstige taktil und visuell klar erkennbare Leitelemente oder Leitlinien gegeben ist.“ (DIN 32984, S. 6).

Beide Typen bodengebundener Gestaltung von Leitelementen werden in den folgenden Kapiteln in der Übersicht dargestellt und erläutert. Da insbesondere die gezielte Planung der sonstigen Leitelemente in der Praxis Schwierigkeiten in der Umsetzung bereitet, werden die hierzu in der DIN dargelegten Anforderungen in Kapitel 4.2 kritisch diskutiert.

## **4.2 Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit gem. DIN 18040 - Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung**

Im Folgenden sind die in der DIN 18040-3 formulierten Schutzziele dargestellt, die mit Bezug zur Bodengestaltung für sehbehinderte Nutzer folgende Anforderungen benennen:

- 1) Wegeketten im öffentlichen Verkehrs- und Freiraum sollten durchgängig und über Zuständigkeitsgrenzen hinweg barrierefrei nutzbar sein. (Kapitel 4.1)
- 2) Die für die barrierefreie Nutzung des Verkehrs- und Freiraums erforderlichen Informationen sind so zu übermitteln, dass sie auch von Menschen mit sensorischen Einschränkungen wahrgenommen werden können. (Kap. 4.5)
- 3) Visuelle Informationen müssen auch für sehbehinderte Menschen sichtbar und erkennbar sein. (Kap. 4.6.1)
- 4) Beeinträchtigungen von visuellen Informationen durch Blendungen, Spiegelungen und Schattenbildungen sollten vermieden werden. (Kap. 4.6.1)
- 5) Warn-, Orientierungs- und Leitelemente müssen auch für Menschen mit sensorischen Einschränkungen zugänglich und nutzbar sein. (Kap. 4.7)

- 6) Absturzkanten, die nicht anderweitig, z. B. durch ein Geländer mit Tastleiste oder eine Hecke, gesichert sind, z. B. an Kaimauern, auf Podesten oder Terrassen, müssen für sehbehinderte und blinde Menschen rechtzeitig wahrnehmbar sein. (Kap. 4.7)
- 7) Der öffentlich zugängliche Verkehrs- und Freiraum sollte mit einem durchgängigen und vernetzten Leitsystem für blinde und sehbehinderte Menschen ausgestattet sein. (Kap. 4.7)
- 8) Gehwege müssen barrierefrei nutzbar sein. (Kap. 5.1)
- 9) Gehwege müssen sich taktil und visuell von niveaugleich angrenzenden Funktionsbereichen abgrenzen. (Kap. 5.1)
- 10) Nicht vermeidbare Einbauten in nutzbaren Gehwegbreiten müssen für sehbehinderte Menschen rechtzeitig erkennbar sein. (Kap. 5.1.1)
- 11) Fußgängerbereiche und verkehrsberuhigte Bereiche, z. B. Fußgängerzonen, Plätze, Spielstraßen, müssen sowohl für blinde und sehbehinderte Menschen als auch für Rollstuhl- und Rollatornutzer barrierefrei zugänglich und nutzbar sein. (Kap. 5.2)
- 12) Gemeinschaftsstraßen, die z. B. nach dem „Shared Space“-Gedanken geplant sind, müssen sowohl für blinde und sehbehinderte Menschen als auch für Rollstuhl- und Rollatornutzer barrierefrei zugänglich und nutzbar sein. (Kap. 5.2)
- 13) Anforderungen zu Überquerungsstellen, Anlagen zur Überwindung von Höhenunterschieden sowie öffentlich zugängliche Anlagen des Personenverkehrs werden hier nicht betrachtet (Ausführung in Kap. 5.3, 5.4 und 5.6)

Nachfolgend werden die aufgeführten Schutzziele unter Berücksichtigung der jeweils dazu formulierten Erfüllungsanforderungen diskutiert.

#### **4.2.1 Wegeketten**

*Ergänzend zu Punkt 1 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Die benannte Norm spricht von „Wegeketten im öffentlichen Verkehrs- und Freiraum“ nur in Kapitel 4.1 (Grundprinzipien). Der Begriff einer „Wegekette“ wird innerhalb der Norm jedoch nicht definiert. Er wird oft im Bereich der Verkehrsplanung genutzt und bezeichnet dort die räumlich-zeitliche Abfolge mehrerer Wege (z.B. Erledigungen), wobei ein einzelner Weg durch einen Ausgangspunkt (z.B. Wohnung) und einen Zielort (z.B. Einkaufsmarkt) charakterisiert wird. Ob und wenn ja von wem in welcher Absicht jedoch ein bestimmtes Infrastrukturelement, wie etwa ein Gehwegabschnitt oder eine bestimmte Zuwegung zu einem öffentlichen Gebäude tatsächlich genutzt wird, kann im Rahmen der Errichtung der Infrastruktur nur sehr

eingeschränkt berücksichtigt werden. Genauso wenig kann für den allgemeinen Fall berücksichtigt werden, welche Wege (z.B. Erledigungen) eine bestimmte Person vor oder nach der Nutzung einer bestimmten Infrastruktur realisiert oder beabsichtigt.

Gemäß Ausführungen in Kapitel 4.1 der DIN 18040-3 werden barrierefreie Wegeketten durch die sichere, taktil und visuell gut wahrnehmbare Abgrenzung verschiedener Funktionsbereiche (z. B. niveaugleicher Flächen für den Rad- und Fußgängerverkehr) erreicht. Weiterhin sollen Hindernisse und Gefahrenstellen „...eine taktil wahrnehmbare und visuell stark kontrastierende Gestaltung...“ erhalten und das „Zwei-Sinne-Prinzip“ angewendet werden. Schließlich sollen Leitsysteme „einheitlich“ gestaltet werden.

Abgesehen davon, dass die beschriebenen Maßnahmen selbst zu diskutieren sind, ist ein direkter Bezug zu „Wegeketten“ nicht erkennbar. Was unter einem „Leitsystem“ zu verstehen ist, wird innerhalb von DIN 18040-3 nicht definiert. Insofern kann dessen Grad der „Einheitlichkeit“ auch nicht bewertet werden. Genauso wenig aufschlussreich sind die Ausführungen zum „Zwei-Sinne-Prinzip“. Siehe dazu nachfolgend.

#### **4.2.2 Zwei-Sinne-Prinzip**

*Ergänzend zu Punkt 2 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Es wird gefordert, dass die für die barrierefreie Nutzung notwendigen Informationen wahrnehmbar übermittelt werden. Das ist immer dann erfüllt, wenn mindestens zwei der drei Sinne Sehen, Hören und Fühlen (Tasten) angesprochen sind. Hieraus folgen erhebliche Unsicherheiten. Es wird nicht definiert, worin die Nutzung besteht. Ebenfalls werden keine Informationen spezifiziert. Es wird auch nicht ausgeführt, in welcher Art und Weise ein jeweiliger Sinn angesprochen werden soll und welche Gestaltungen dafür notwendig sind. Schließlich wird nicht spezifiziert, unter welchen Bedingungen welche beiden Sinne barrierefrei eingesetzt werden können. Eine vollständige Redundanz der drei benannten Sinne bezüglich beliebiger Informationen besteht ganz unstrittig nicht. Insofern kann diese Forderung darauf reduziert werden, dass sich die zu ihrer Anwendung notwendigen Spezifizierungen aus dem Inhalt von anderen Kapiteln der DIN 18040-3 ergeben müssen.

#### **4.2.3 Visuelle Informationen**

*Ergänzend zu Punkt 3 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Diese sollen für Sehbehinderte sichtbar und erkennbar sein. Erreicht werden soll dies durch einen „visuellen Kontrast hinsichtlich der Leuchtdichte der visuellen Informationen zu ihrem Umfeld“ (DIN 18040-3:2014-12, S. 10). Worin eine „visuelle Information“ besteht, wird jedoch nicht spezifiziert. In der Anmerkung 1 wird auf DIN 32975 verwiesen. Dort wird im Kapitel 1

(Anwendungsbereich) ausgeführt, dass Informationen im öffentlichen Raum drei Bereiche umfassen:

Verkehrs- und Wegeleitungsinformationen (Fahrplan, Linien-, Tarif-, Standort- und Wegbeschreibungen als statische oder dynamische Anzeigen, Beschilderung, Wegeleitsystem, Bodenmarkierungen), Kennzeichnung von Absperrungen, Hindernissen, Gefahrenstellen, einschließlich Niveauwechseln und Bedienelemente technischer Anlagen (Automaten, Türöffner, WC-Anlagen, Aufzüge usw.). Die weitere Ausführung in DIN 18040-3 (Kapitel 4.6.1) umfasst den Verweis auf DIN 32975 für „Orientierungs- und Leitfunktionen sowie für Warnung und schriftliche Informationen“. Was als „Orientierungsfunktion“ zu bewerten ist, wird an dieser Stelle nicht und auch keiner anderen Stelle in DIN 18040-3 ausgeführt. In Kapitel 4.7 werden als Beispiele für „Leit- und Orientierungselemente“ Borde, Häuserkanten, Oberflächenstrukturen, Rasenflächen („Sonstige Leitelemente“ nach DIN 32984); Bodenindikatoren nach DIN 32984 und akustische Elemente aufgeführt.

Dazu etwas im Widerspruch stehen die Ausführungen zu „Orientierungsfunktionen“ in DIN 32975, auf die in Kapitel 4.6.1 von DIN 18040-3 verwiesen wird. In DIN 32975 erfolgt ebenfalls keine formale Definition von „Orientierung“ als Funktion. Als konkrete Beispiele für „Orientierungshilfen“ werden jedoch in Kapitel 4.4.4 von DIN 32975 „Wegweiser und Hinweisschilder [zum] Auffinden der Ziele“ (S. 11) benannt. In Kapitel 4.4.6 von DIN 32975 werden „Aushanginformationen, die der Entscheidung und Orientierung dienen [...]“ (S. 12) behandelt. Hieraus folgt ein etwas engeres Verständnis von „Orientierung“ im Sinne der Wegefindung.

Sehr viel weiter gefasst versteht die Begriffsdefinition „Orientierungshilfe“ in DIN 18040-1 die Frage der Orientierung. Demnach handelt es sich um „Information, die [...] bei der Nutzung der gebauten Umwelt unterstützt“ (S. 5). Folgt man diesem Gedanken, so sind damit einerseits alle Gedächtnisinhalte sowie sämtliche auch von der konkreten Situation und Funktion unabhängigen externen Informationen (Karten, elektronische Hilfsmittel usw.) inbegriffen.

Im Fazit lässt sich hierzu festhalten, dass der Umstand, bei welchem Details einer Oberfläche für den Fußgängerverkehr es sich um eine „visuelle Information“ im Sinne des Kapitel 4.6.1 der DIN 18040-3 handelt, auf Basis der Ausführungen bis hier her nicht geklärt werden kann.

#### **4.2.4 Beeinträchtigung visueller Informationen**

*Ergänzend zu Punkt 4 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Als mögliche Beeinträchtigungen der Wahrnehmbarkeit werden Blendung, Spiegelungen und Schattenbildung benannt. Zur Abhilfe sollen geeignete Materialien und Oberflächen (entspiegeltes Glas, matte Oberfläche) sowie eine geeignete Anordnung (z.B. geneigte Sichtflächen) gewählt werden. Ein Bezug zur Bodengestaltung ist hier nicht erkennbar. Sowohl entspiegeltes Glas als auch geneigte Sichtflächen kommen hier als Maßnahme nicht in Betracht. Die Eigenschaft „matte Oberfläche“ ist im Kontext der Norm DIN 18040-3 einschließlich sämtlicher Verweise nicht definiert und kann somit nicht als Anforderung fungieren.

#### **4.2.5 Warn-, Orientierungs- und Leitelemente**

*Ergänzend zu den Punkten 5 bis 7 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Es erfolgt keine Definition, welche Objekte oder Objektmerkmale Warn-, Orientierungs- und Leitelemente im Sinne dieses Normabschnitts sind. Zur Erreichung des Schutzzieles werden die Maßnahmen benannt:

- keine Überlagerung durch Hinweise anderer Art (z. B. Werbung)
- Lichtsignalanlagen mit Zusatzeinrichtungen
- Informationsträger von nur aus kurzer Distanz lesbaren Informationen (z.B. Fahrplan) müssen frei zugänglich sein (DIN 18040-1:2010-10, S. 19)

Ein expliziter Bezug zur Bodengestaltung ist somit bezüglich des ersten Schutzzieles zu „Warn-, Orientierungs- und Leitelementen“ nicht erkennbar.

Die zweite Anforderung betrifft Absturzkanten. Für den Fall, dass diese nicht durch Geländer oder eine Hecke gesichert sind, sollen sie visuell kontrastierend gekennzeichnet und mit Bodenindikatoren oder sonstigen Leitelementen nach DIN 32984 ausgestattet werden.

Darüber hinaus wird die „kontrastreiche“ Sicherung von ungesicherten Absturzkanten bereits in DIN 32975 (Kapitel 4.8, S. 14) und ebenso in DIN 32984 (Kapitel 5.8.3, S. 55) mittels Aufmerksamkeitsstreifen gefordert. Diesbezüglich trifft DIN 18040-3 eine Aufweichung der Forderung in DIN 32984. Dort sind für den geschilderten Anwendungsfall zwingend Aufmerksamkeitsfelder aus Bodenindikatoren vorgesehen und der Ersatz durch „sonstige Leitelemente“ ist nicht zulässig.

Als drittes Schutzziel ist das Vorhandensein eines Leitsystems zu betrachten. Um ein solches zu begründen, werden Beispiele für Leit- und Orientierungselemente aufgeführt. Es handelt

sich um Borde, Häuserkanten, Oberflächenstrukturen, Rasenflächen („Sonstige Leitelemente“ nach DIN 32984); Bodenindikatoren nach DIN 32984 und akustische Elemente. Durch die Benennung möglicher Elemente kann jedoch kein System beschrieben werden. Für die beiden geforderten Systemmerkmale „Durchgängigkeit“ und „Vernetztheit“ werden weder Merkmale noch zulässige oder unzulässige Ausprägungen benannt. Insofern kann dem Schutzziel auf Grundlage dieser Norm nicht entsprochen werden.

Ein vergleichender Blick in DIN 32984 zeigt, dass dort „Komplexe Leitsysteme“ wie folgt beschrieben werden: „In Fußgängerbereichen mit unzureichenden natürlichen Orientierungsmerkmalen können komplexe Leitsysteme erforderlich sein. Leitstreifen übernehmen dann die Führung zu verschiedenen Zielen, die durch die entsprechenden Felder anzuzeigen sind (z. B. Einstiegsfelder, Aufmerksamkeitsfelder, Richtungsfelder). An Abknickungen > 45° und Verzweigungen sind Abzweigefelder anzuordnen.“ (DIN 32984, S. 20).

Der damit behandelte Anwendungsbereich ist nicht deckungsgleich. „Komplexe Leitsysteme“ nach DIN 32984 können sich von „vernetzten Leitsystemen“ gemäß DIN 18040-3 unterscheiden, aber auch identisch sein. Möglicherweise kann ein „Komplexes Leitsystem“ Teil eines „vernetzten Leitsystems“ sein. In jedem Fall können sich die Elemente unterscheiden. Eine für die Umsetzung notwendige Präzisierung der Anforderung in DIN 18040-3 ergibt sich jedoch nicht.

#### **4.2.6 Gehwege**

*Ergänzend zu den Punkten 8 bis 10 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Das Erreichen barrierefreier Gehwege ist nach DIN 18040-3 Kapitel 5.1 nicht in jedem Anwendungsfall an optische Merkmale gebunden. Ausschließlich für den Fall niveaugleich angrenzender Funktionsbereiche wird eine taktile und visuelle Abgrenzung gefordert. Erreicht werden kann dies jedenfalls entweder durch einen unterscheidbaren Oberflächenbelag als „Sonstiges Leitelement“ nach DIN 32984 oder einen Trennstreifen nach DIN 32984.

Hierzu ist zunächst anzumerken, dass in DIN 32984 ein „unterscheidbarer Oberflächenbelag“ weder erwähnt noch beschrieben wird. Als Mutmaßung könnte angenommen werden, dass damit eventuell auf Kapitel 5.9.5 in DIN 32984 („Leitlinien aus Bodenbelägen“) verwiesen werden soll. Dieses Kapitel betrachtet Leitlinien aus Bodenmaterialien, die im Straßenbau verwendet werden. Die Leitwirkung wird in der Trennlinie der Materialien verortet. Die verwendeten Elemente sollen einen hohen taktilen und visuellen Kontrast aufweisen. Der Bezug zu den Anforderungen im Kapitel 4.3 der DIN 32984 wird damit hergestellt. Allerdings wird dort

der Kontrast von Bodenindikatoren beschrieben. Die Übertragung auf „sonstige Leitelemente“ muss an gesonderter Stelle diskutiert werden.

Zur Spezifizierung der taktilen Kontrastwirkung von Leitlinien aus Bodenbelägen werden Strukturunterschiede beschrieben. So sollen „grobe“ und „glatte“ Oberflächen aneinander anstoßen. „Glatte“ Oberflächen werden beschrieben als „ungefaste, großflächige, engfugig verlegte Platten oder glatter Asphalt“ (DIN 32984, S. 58). „Grobe“ Oberflächen werden beschrieben als „Pflastersteine mit auffälligen Fugen verlegt [...], z. B. Kleinpflaster mit einer durchschnittlichen Fugenbreite von 10 mm bis 15 mm und einer Tiefe von 3 mm bis 5 mm.“ (DIN 32984, S. 58).

Im Kapitel 5.9.3 der DIN 32984 „Trennung niveaugleicher Verkehrsflächen“ werden als einzige Lösung „Trennstreifen“ angeführt. Als relevante Verkehrsflächen werden „Busspuren, Gleiskörper, Radwege oder andere Fahrstreifen“ (DIN 32984, S. 56) aufgeführt. Niveaugleiche Verkehrsflächen dürfen visuell und taktil nicht mit Bodenindikatoren getrennt werden. Die Trennstreifen sollen 50 cm und müssen mindestens 30 cm breit sein. Sie sollen sich in der Oberflächenstruktur und der Leuchtdichte deutlich von angrenzenden Belägen abheben. Als positive Ausführungsbeispiele werden Kleinpflaster, Profilsteine und Grünstreifen (Rasen o.ä.) angeführt. Eine explizite Anforderung im Sinne des taktilen oder visuellen Kontrastes wird damit nicht verbunden. Eine technische Operationalisierung der Formulierung „deutlich von angrenzenden Belägen unterscheiden“ besteht nicht.

Abschließend sind nicht vermeidbare Einbauten in nutzbaren Gehwegbreiten zu betrachten. Um die rechtzeitige Erkennbarkeit herzustellen, sollen diese entweder zu ihrer Umgebung visuell stark kontrastieren oder mit einer visuell stark kontrastierenden Sicherheitsmarkierung am Objekt selbst versehen werden. Bezüglich letzterem Punkt wird auf Kapitel 6.1 der DIN 18040-3 verwiesen. Zum ersten Punkt muss auf die Diskussion der Kontrastdefinition (Stichwort „äußere Kontraste“) verwiesen werden. Wenn die Einbauten keinen definierten oder definierbaren äußeren Kontrast aufweisen, ist diese Möglichkeit der Kennzeichnung nicht gegeben. Bezüglich des zweiten Punktes: Als einzige Sicherheitsmarkierung wird in Kapitel 6.1 der Norm die Kennzeichnung von Glasflächen beschrieben. Diesbezügliche Sicherheitsmarkierungen können ohne weiteres sinngemäß auf Einbauten in Gehwegen übertragen werden. Da sie den Kontrast als inneren Kontrast herstellen, bestehen dadurch auch keine Materialanforderungen an Einbauten oder Bodenmaterialien.

Poller, die in der nutzbaren Gehwegbreite angeordnet sind, müssen eine Höhe von mindestens 90 cm aufweisen. Die Markierung bei Pollern soll mindestens im oberen Drittel angeordnet werden.



#### **4.2.7 Fußgängerbereiche und gemischt genutzte Verkehrsflächen**

*Ergänzend zu den Punkten 11 und 12 aus Kapitel 4.2 dieses Berichtes*

Fußgängerbereiche und gemischt genutzte Verkehrsflächen sollen für den Fußgängerlängsverkehr taktile und visuelle Führungen durch Bodenindikatoren oder „sonstige Leitelemente“ nach DIN 32984 bekommen. Hierzu ist es zunächst erforderlich, eine Richtung des „Fußgängerlängsverkehrs“ zu definieren. Davon abhängig ist die Definition von „Querungen“. Ist beides nicht möglich, beispielsweise aufgrund mehrerer, gleichrangig aufeinandertreffender Zuwegungen oder, wie im Falle großer Plätze aufgrund fehlender „Längsachse“, können die für die Erfüllung des Schutzzieles notwendigen Merkmale nicht eindeutig begründet werden.

Die Bewertung baulicher Lösungen dürfte hierbei zentral davon abhängen, ob es eine gemischte Nutzung von Verkehrsflächen gibt oder ob eine bauliche Trennung existiert. Ist eine typische Straßenstruktur mit Gehweg vorhanden, sind die Anforderungen der Barrierefreiheit automatisch dadurch erfüllt (siehe vorhergehenden Diskussionspunkt „Gehwege“) beziehungsweise bezogen darauf erfüllbar. Für den Fall fehlender baulicher Trennung kommen Bodenindikatoren in Betracht. Da diese gemäß DIN 32984 jedoch nicht als Trennung zwischen niveaugleichen Verkehrsflächen eingesetzt werden dürfen, dürften sie für viele solche Fälle nicht geeignet sein. Sollen keine Borde oder bordähnliche Trennstreifen verbaut werden (Grünstreifen mit Rasenkantensteinen o.ä.), verbleiben als mögliche Lösungen „sonstiger Leitelemente“ nach DIN 32984 Trennstreifen aus Kleinpflaster, die Nutzung der „inneren Leitlinie“ (äußere Grenzen der Verkehrsanlage), Leitlinien aus Bodenbelägen sowie die Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen.

### **4.3 Bodenindikatoren nach DIN 32984:2011-10 - Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung**

Die DIN 32984 ist in der aktuellen Ausgabe seit Oktober 2011 gültig. Sie beschreibt Anforderungen und Anwendungssituationen von Bodenindikatoren sowie sonstige Leitelemente als ein Mittel der Orientierung für Blinde und sehbehinderte Menschen. Es werden die Form, Maße und Leuchtdichtekontraste für Bodenindikatoren festgelegt.

*Bodenindikatoren im Außenbereich (DIN 32984:2011-10)*

Bodenindikatoren sind genormte Abfolgen baulicher Bodenelemente mit einem hohen taktilen, visuellen und gegebenenfalls akustischen Kontrast zum angrenzenden Bodenbelag.

Bodenindikatoren werden dort eingebaut, wo keine andere Markierung von Bewegungsflächen durch Sonstige Leitelemente gegeben ist (DIN 32984, Kapitel 1). Erforderlich sind sie bei Gefahren oder unübersichtlichen Situationen.

Bodenindikatoren vermitteln eindeutige Informationen über wenige, klar definierte und mit dem Langstock ertastbare Strukturen. Es werden zwei Typen von Bodenprofilen unterschieden, die drei verkehrsrelevante Funktionen haben:

- Rippenplatten in Gehrichtung als Leitelement beziehungsweise Leitstreifen auf Wegen und Plätzen respektive als Richtungsanzeiger;
- Noppenplatten zur Anzeige von Gefahrensituationen, als Aufmerksamkeitsfelder, beziehungsweise zur Anzeige von Entscheidungssituationen;
- Rippenplatten quer zur Gehrichtung dienen der Markierung einer nullabgesenkten Fahrbahnquerung.

Auf Fahrbahnen und Radwegen dürfen Bodenindikatoren aus Sicherheitsgründen nicht verlegt werden.

#### *Leitstreifen im Außenbereich*

Leitstreifen gemäß DIN 32984 bestehen aus in Gehrichtung verlegten Rippenplatten und dienen der Leitung entlang einer Wegeführung. Die Leitstreifen sollten eine Breite von mindestens 30 cm aufweisen. Bei einem komplexen, hierarchisch gegliederten Leitsystem ist es sinnvoll, die Leitstreifen in Hauptwegen in einer Breite von 60 cm herzustellen. Beidseitig des Leitstreifens ist ein Abstand von 60 cm zu Fahrbahnbegrenzungen oder Einbauten, wie Lichtmasten, Skulpturen, zu wahren.

Der Abstand des Leitstreifens zu Ausstattungselementen (wie Sitzelementen) sollte 120 cm betragen, da diese Nutzungen raumgreifender sind. Bei Fahrradbügeln ist von der möglichen Parkposition des Fahrrades ein Abstand von mindestens 60 cm einzuhalten.

Die lichte Höhe über dem Bewegungsbereich (Leitstreifen mit beidseitigem Bewegungsraum von mindestens 60 cm) muss durchgehend mindestens 230 cm betragen (DIN 32984, Kapitel 5.2.1).

#### *Aufmerksamkeitsfelder*

Bodenindikatoren in Noppenstruktur sind entweder Auffindestreifen, die zu gesicherten Querungen führen, oder dienen als Aufmerksamkeitsfelder zur Warnung vor Gefahren oder zeigen als Abzweigfelder Richtungswechsel in einem Leitsystem an. Sie bestehen aus Noppenplatten und werden immer dort verlegt, wo besondere Aufmerksamkeit gefordert ist (DIN 32984 Berichtigung 1:2012-10, Kapitel 4.2).

### *Bodenindikatoren im Innenbereich*

Der Einsatz von Bodenindikatoren im Innenbereich ist auf den notwendigen Umfang zu beschränken; zur Kennzeichnung von Gefahrenstellen, wie Markierungen von Absturzkanten oder Treppenantritten, sind sie jedoch unerlässlich.

Im Innenraum kann bei glatten Belägen auf die für Außenräume bestimmten Bodenindikatoren mit entsprechenden Noppen- und Rippenhöhen verzichtet werden. Bei glatten Bodenbelägen sind Leit- und Orientierungselemente im Innenraum schon mit einer Höhendifferenz von 2 bis 3 mm gut mit dem Langstock ertastbar. Das nachträgliche Aufbringen von Rippen oder das Einfräsen von Rillen kann beispielsweise auch in Bestandsgebäuden eingesetzt werden. Die Breite der Leitstreifen kann im Innenraum wesentlich reduziert werden, oft reichen drei bis vier Rippen, um eine Leitfunktion herzustellen. Leitsysteme aus Bodenindikatoren können in Durchgängen bis 150 cm Breite durchgeführt werden. Bei Durchgängen in einer Breite unter 150 cm ist das Leitsystem zu unterbrechen, da der seitliche Abstand nicht eingehalten werden kann. Auf solche Engstellen muss mit Aufmerksamkeitsfeldern hingewiesen werden (DIN 32984, Kapitel 6.1).

Der visuelle Kontrast in Kombination mit der visuellen Erkennbarkeit wird sowohl im Innen- als auch im Außenraum hier über einen Helligkeitskontrast benachbarter Flächen und seiner visuellen Wahrnehmbarkeit in Korrelation mit dem Leuchtdichtekontrast gem. Michelson definiert (DIN 32984, Kapitel 3.4.2. mit Verweis auf Kapitel 4.3.3.1). Schwellenwert ist ein Kontrast zweier benachbarter Flächen mit  $K \geq 0,4$  (an dieser Stelle wird auch verwiesen auf DIN 32975, Kapitel 4.2.2.). Hinzu kommt die Erfüllung des Kriteriums eines Reflexionsgrades der helleren Fläche von mindestens  $R=0,5$ .

Bodenindikatoren in Gebäuden sind dann weitgehend entbehrlich, wenn die bauliche und kontrastreiche Gestaltung eine leichte Orientierung für blinde und sehbehinderte Menschen ermöglicht. Hierzu können eine orthogonale Innengestaltung sowie eine sinnfällige Anordnung oder Abfolge von Fluren, Treppen und Raumfolgen beitragen. Die Orientierung für blinde und sehbehinderte Menschen wird dadurch erleichtert, dass z. B.:

- Flure mit glatten, durchgehenden Wänden ohne Vorsprünge und Einbuchtungen gestaltet sind;
- Wände oder zumindest breite Sockelleisten sich kontrastreich vom Fußboden abheben;
- in den Fluren eine hindernisfreie Durchgangszone begrenzt wird von Begleitzone, deren Bodenbeläge taktil und visuell unterscheidbar sind.

Der Einsatz von Bodenindikatoren ist in Innenbereichen demnach überwiegend zur Kennzeichnung von Gefahrenstellen notwendig (BMUB 2016).

Große Hallen und Foyers, breiter als 8 m, von denen zentrale Treppen, Aufzüge, Seitengänge zu wichtigen Anlaufpunkten abgehen, bedürfen in der Regel eines auf die Halle oder das Foyer beschränkten Leitsystems z. B. aus Bodenindikatoren.

Auf ein in sich geschlossenes Leitsystem aus Bodenindikatoren kann in relativ abgeschlossenen Gebäuden wie Verwaltungsgebäuden, Hotels usw. verzichtet werden, wenn engere Gänge eine Wegführung zwangsläufig vorgeben.

#### **4.4 Sonstige Leitelemente - Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen**

Wenn das Orientierungs- und Leitsystem in einer frühen Planungsphase entwickelt wird, ist eine gestalterisch anspruchsvolle, sich in die Gestaltungsidee einfügende Lösung möglich. Bei diesen Lösungen kann oftmals auf den umfangreichen Einsatz von Bodenindikatoren, zum Beispiel zugunsten von Sonstigen Leitelementen, verzichtet werden. (BMUB 2016) Zumal laut DIN 18040-3 Bodenindikatoren generell sparsam zu verwenden sind. Umgekehrt bedeutet dies, dass der Einsatz ‚Sonstiger Leitelemente‘ sehr erwünscht ist.

##### **4.4.1 Sonstige Leitelemente außen**

Leitsysteme im Außenbereich können aus sogenannten Sonstigen Leitelementen und/oder Bodenindikatoren entwickelt werden. Sie werden als Leitlinien verwendet, die Menschen mit Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung Orientierung ermöglichen und eine durchgängige Er tastbarkeit von Wegen gewährleisten.

Im Außenbereich können beispielsweise Sonstige Leitelemente wie durchgehende Häuserkanten, Mauern und Sitzmauern, Rasenkantensteine, Sockel/Absätze, Borde, Geländer/Handläufe, Hecken, Pflasterstrukturen, Rasenflächen, Gehwege mit Ober- und Unterstreifen und Metallabdeckungen wie Entwässerungselemente als Sonstige Leitelemente dienen.

Mithilfe Sonstiger Leitelemente gestaltete Leitlinien müssen in ihrer Funktion dem Nutzer kommuniziert werden, da sie im Gegensatz zu Bodenindikatoren nicht selbsterklärend sind. In einem geschlossenem System sollte eine Leitlinie einheitlich und nur in gleichartiger Funktion verwendet werden. Die Durchgängigkeit von Leitlinien darf nicht durch Einbauten oder temporäre Nutzungen, etwa eine temporäre Möblierung oder Beschilderung, beeinträchtigt werden.

*Wand / Mauer / Zaun / Handlauf*

Fußwegbegleitende durchgehende bauliche Strukturen und aufgehende Bauteile wie Hauswände, Mauern, Sitzmauern, Sockel, Zäune, Geländer und Handläufe sind zur Längsorientierung blinder und sehbehinderter Menschen geeignet. Unregelmäßige Strukturen, wie in den Weg hineinragende Treppenstufen, eine fehlende durchgängige Aufkantung oder unterbrochene Zaunelemente, Außengastronomie oder Aufsteller bzw. Auslagen lassen die Nutzung als Leitlinie nicht zu, da sie eine Verletzungsgefahr darstellen und/oder zum Verfangen der Langstöcke führen können. Entlang einer einseitig räumlich begrenzten Leitlinie ist mindestens ein 120 cm breiter Bewegungsraum freizuhalten. Im Weiteren sind die erforderlichen Wegebreiten zu beachten (DIN 18040-1:2011-10, Kapitel 4.3.2; DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9) (BMUB 2016).

*Materialwechsel und Bodenstrukturen*

Bei Verwendung taktil kontrastreicher Bodenstrukturen als Sonstiges Leitelement muss der Wechsel zwischen den Materialien als durchgängige Leitlinie sicher erkannt werden können. Die Erkennbarkeit wird zum Beispiel durch die Verwendung unterschiedlicher Materialien und Oberflächenbearbeitungen erreicht (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9). Die Oberflächen von Bewegungs- und Aufenthaltsbereichen sind taktil, visuell und gegebenenfalls auffällig akustisch kontrastierend zueinander auszubilden, um die Funktion der Leitung und Warnung zu gewährleisten. (BMUB 2016)

*Zonierung von Platzflächen und Gehwegen*

Großflächige Außenbereiche, wie Plätze und Wege über 8 m Breite, können für die Orientierung sensorisch eingeschränkter Menschen zu weiträumig sein. Eine Gliederung solcher Flächen in Bereiche für die Fortbewegung (Bewegungsbereiche) und Aufenthaltsbereiche beziehungsweise Bereiche für Ausstattungselemente ist vorteilhaft für die Orientierung und Sicherheit von allen Menschen, insbesondere jedoch für Menschen mit Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung.

Bewegungsbereiche sollten frei von Einbauten und Hindernissen sein. Möblierung und Ausstattungselemente sind ausschließlich in den Aufenthaltsbereichen vorzusehen. Der Materialwechsel zwischen Bewegungs- und Aufenthaltsbereich ist jeweils als Leitlinie erkennbar beziehungsweise ertastbar, wenn diese visuell und taktil kontrastierend ausgebildet wird. Beidseitig der Bewegungsbereiche ist jeweils eine Zone von 60 cm von Einbauten freizuhal-

ten. Bei Bänken und Fahrradabstellern sind größere Abstände von mindestens 120 cm freizuhalten. In beengten Bestandssituationen können die Mindestabstände möglicherweise nicht überall eingehalten werden.

Die visuell kontrastreiche Ausgestaltung von Ausstattungselementen und wichtigen Orientierungspunkten sowie von Aufenthaltsbereichen verbessert ihre Auffindbarkeit erheblich. Entlang eines Weges können diese punktuellen Elemente die Orientierung unterstützen und in besonderen Fällen visuell kontrastreich gestaltete Bodenbeläge erübrigen (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.1) (BMUB 2016).

#### *Zonierung von Verkehrsflächen*

Fußgängerbereiche, die ohne erkennbaren Bord niveaugleich an Fahrstreifen für PKW-, Anlieferverkehr oder Fahrräder angrenzen, sind durch visuell und taktil erfassbare Trennstreifen, nicht jedoch durch Bodenindikatoren, abzugrenzen. Für diese mindestens 30 cm breiten Trennstreifen sind beispielsweise Kleinpflasterstrukturen geeignet (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.2.1).

Bei größeren Geschwindigkeiten (beispielsweise als Schrittempo und bei größerem Verkehrsaufkommen) sind wegen der höheren Gefährdung, zusätzlich zu einem Sicherheitsraum von mindestens 50 cm zur Fahrbahn, Borde notwendig.

Sinnvoll ist eine Gliederung der an den Bord anschließenden Gehwege in Ober- und Unterstreifen mit mittiger Gehbahn. Ober- und Unterstreifen sind visuell und taktil kontrastierend zur Gehbahn auszubilden. Damit können Aufenthaltsbereiche, beziehungsweise der Sicherheitsraum zu angrenzenden Nutzungen wie der Fahrbahn, eindeutig festgelegt und gleichzeitig durchgängig nachvollziehbare Leitelemente angeboten werden. Eine asymmetrische Ausbildung der Streifen ist für die eindeutige Erkennbarkeit der Fahrbahnanordnung von Vorteil (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.2.1) (BMUB 2016).

#### *Borde*

Borde grenzen sichere Erschließungsflächen der Fußgänger von Gefahrenbereichen wie Fahrbahnen ab. Menschen, die sich mit dem Langstock bewegen, nutzen den ertastbaren Bord zur orthogonalen Ausrichtung ihrer Laufrichtung. Als Leitlinie ist der Bord geeignet, wenn in Längsrichtung parallel zum Bord keine Einbauten vorhanden sind und das Verkehrsaufkommen keinen Sicherheitsraum erfordert. Als äußeres Abgrenzungselement sind Borde mit einer Regelhöhe von 10 bis 12 cm, aber mindestens 6 cm hoch, mit einer deutlich wahrnehmbaren Kante, visuell kontrastierend zum Belag und ohne starke Abrundung auszubilden, um für Langstocknutzer optimal erkennbar zu sein (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9.2).

Für Rollstuhlfahrer stellen Kanten über 3 cm ein Hindernis dar. Daher sind bei der Verwendung von 6 cm hohen Borden stufenlose Übergänge in Form von getrennten Querungsstellen nach DIN 18040-3 vorzusehen. Bordhöhen an gemeinsamen Querungsstellen sind deshalb auf genau 3 cm abzusenken (abgesenkter Bord). Hiermit kann sowohl die Nutzbarkeit für Rollstuhl- und Rollatornutzer als auch die Sicherheit von Langstockgängern und Führhundhaltern gewährleistet werden (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9.2; DIN 18040-3:2014-12, Kapitel 5.3.2). Die Verwendung von Borden bei der Gestaltung von Plätzen, Wegen und Straßen auf Grundstücken von Bauten des Bundes sind vor diesem Hintergrund sorgfältig abzuwägen. (BMUB 2016).

#### *Entwässerungsrinnen*

Entwässerungsrinnen mit Metallabdeckungen und offene Entwässerungsrinnen sind als Leitlinien in unstrukturierten Fußgängerbereichen oder auf Platzflächen geeignet, wenn sie in ein durchgängiges Leitsystem eingebunden sind und sich taktil und visuell eindeutig vom umgebenden Belag unterscheiden. Des Weiteren ist begleitend auf ausreichend dimensionierte, von Einbauten freizuhaltenen Bewegungsbereiche zu achten (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9.7) (BMUB 2016).

#### *Vegetationsflächen*

Der Wechsel zwischen Belag und Vegetation kann als Leitlinie von Menschen mit Einschränkungen der visuellen Wahrnehmung erkannt und somit als Sonstiges Leitelement genutzt werden, wenn die Wegeflächen taktil und visuell kontrastierend zur angrenzenden Vegetation gestaltet werden. Wenn eine eindeutige Abgrenzung im Übergang zu Vegetationsflächen notwendig ist, ist eine 3 cm hohe Aufkantung als taktil erfassbare Leitlinie geeignet (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.9.4.3) (BMUB 2016).

#### *Zonierung von Wegen in Grünflächen*

Weitere Ausstattungselemente wie Beleuchtung werden außerhalb der Wege in den Grünflächen oder auf einem taktil und visuell erfassbaren Seitenstreifen platziert. Barrierefrei gestaltete Ausstattungselemente können in platzartigen Aufweitungen bei ausreichend kontrastierender Gestaltung nach dem Prinzip der markanten Punkte eingesetzt werden. Angegliederte Aufenthaltsbereiche sollten sich entsprechend dem Zonierungsprinzip für Platzflächen ebenfalls taktil und visuell unterscheiden. (BMUB 2016).

#### **4.4.2 Sonstige Leitelemente innen**

Die Entwicklung der Orientierungs- und Leitsysteme ist ein komplexer Prozess, der an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden muss. Im Gebäudeinneren können Sonstige Leitelemente wie Wände, Raumproportionen, Begrenzungen wie Fußleisten, Geländer oder taktile erfassbare Materialwechsel die Leitungsfunktion übernehmen. Auch akustische Bedingungen, Lichtführungen oder markante, durchgängige Ausstattungs- und Möblierungselemente sind hilfreich, können im Regelfall jedoch nicht die alleinige Führung übernehmen.

Das Orientieren und Leiten entsteht in der Regel aus einem Zusammenspiel räumlicher Gegebenheiten und mehrerer Sonstiger Leitelemente (Wandgestaltung, Materialwechsel im Fußboden und markante Lichtführung). Wert ist auf einfache Verständlichkeit und eindeutige Erkennbarkeit zu legen.

Bodenindikatoren werden im Innenraum sehr sparsam an den Stellen eingesetzt, wo eine Gefahrensituation zu kennzeichnen ist. Um eine nachträgliche Anbringung zu vermeiden, ist es wichtig, im Rahmen des Material- und Gestaltungskonzeptes zu überprüfen, welche Möglichkeiten durch die konsequente Anwendung von Sonstigen Leitelementen bestehen.

##### *Zonierung im Innenbereich*

Die Zonierung von Erschließungsflächen in Gebäuden kann wie im Außenraum durch verschiedene, sich taktile und visuell unterscheidende Bodenmaterialien erfolgen. Dadurch können beispielsweise Bewegungsbereiche abgegrenzt werden, die neben den Flächen für Möblierung oder öffnende Türflügel hindernisfrei nutzbar sind (DIN 32984, Kapitel 6; BMUB 2016).

##### *Visuell kontrastreiche Gestaltung*

Eine der Voraussetzungen für die Orientierung im Innenbereich ist eine klare Erkennbarkeit der Raumgrenzen. Dies kann beispielsweise durch die kontrastreiche Gestaltung der Fußböden und Wände oder durch eine markante Gestaltung der Fußleisten oder Türzargen erreicht werden (DIN 32975, Kapitel 4.2.2; BMUB 2016).

##### *Materialwechsel Bodenstrukturen*

Bei Verwendung taktile kontrastreicher Bodenstrukturen als Sonstige Leitelemente muss der Wechsel zwischen den Materialien als durchgängige Leitlinie sicher erkannt werden können. Im Innenraum können beispielsweise breite Teppichläufer die Funktion des Leitstreifens übernehmen. Visuelle Kontraste in den Bodenbelägen sind dann zusätzlich notwendig, wenn keine



anderen Sonstigen Leitelemente, wie beispielsweise Wände, die Leitfunktion übernehmen (DIN 32984, Kapitel 6; BMUB 2016).

#### **4.4.3 Diskussion der Anforderungen an „sonstige Leitelemente“ nach DIN 32984**

Im Kapitel 5.9 der benannten Norm werden „sonstige Leitelemente“ behandelt. Dort wird ausgeführt (S. 55f.):

„...bauliche und gestalterische Strukturen und Elemente können an Stelle von Bodenindikatoren als „Sonstige Leitelemente“ eingesetzt werden, wenn

- a) sie sich visuell ausreichend deutlich von ihrer jeweiligen Umgebung unterscheiden (4.3.3);
- b) sie den taktilen Anforderungen an Bodenindikatoren entsprechen (4.3.2);
- c) sie in wiederkehrender, gleicher Funktion im Anwendungsbereich verwendet werden und in ihrer Orientierungsfunktion eindeutig interpretierbar sind;
- d) sie sich in ein übergreifendes Leit- und Orientierungskonzept für den betreffenden Gehbereich einordnen lassen.

Sonstige Leitelemente in diesem Sinne können z. B. sein: Borde, bauliche Elemente wie z.B. Sockel und Absätze, Häuserkanten, Rasenkantensteine, Geländer/Handläufe, Metallabdeckungen, Rasenflächen, Hecken, Pflasterstrukturen, Gehwegstrukturen mit Ober- und Unterstreifen.“ (DIN 32975:2009-12, S. 55f.).

Die o.g. Bedingungen des Einsatzes von Sonstigen Leitelementen sind in ihrer einzelnen oder gemeinsamen Erfüllbarkeit durchaus interpretierbar. Der Leitfaden Barrierefreies Bauen sieht die Bedingungen bspw. als Summe zu erfüllender Bedingungen an. Unabhängig jeglicher möglicher Interpretation ist zu konstatieren, dass für „Sonstige Leitelemente“ ohne weitere Ausführung in einem nachfolgenden Unterkapitel weder ein Leuchtdichtekontrast noch ein taktiler Kontrast in der für Bodenindikatoren benannten Spezifikation geplant bzw. realisiert werden kann. Vielmehr wird die ausreichende visuelle und taktile Unterscheidbarkeit anhand vergleichsweise unspezifischer Anforderungen beschrieben, wie die Darstellungen in den Unterkapiteln 5.9.2 – 5.9.10 von DIN 32984 zeigen, die im Folgenden auszugsweise näher diskutiert werden:

Niveaugleiche Verkehrsflächen dürfen visuell und taktil nicht mit Bodenindikatoren getrennt werden. Die Trennstreifen sollen 50 cm und müssen mindestens 30 cm breit sein. Sie sollen sich in der Oberflächenstruktur und der Leuchtdichte deutlich von angrenzenden Belägen abheben. Als positive Ausführungsbeispiele werden Kleinpflaster, Profilsteine und Grünstreifen

(Rasen o.ä.) angeführt. Eine explizite Anforderung im Sinne des taktilen oder visuellen Kontrastes wird damit nicht verbunden. Eine technische Operationalisierung der Formulierung „deutlich von angrenzenden Belägen unterscheiden“ besteht nicht.

Kapitel 5.9.4 behandelt die „innere Leitlinie“. Eine „klare Gestaltung“ der baulichen Gehweggrenzen sowie „unterschiedliche Bodenmaterialien“ ermöglichen eine taktil und visuell eindeutig wahrnehmbare Längsorientierung. Eine explizite Anforderung im Sinne des taktilen oder visuellen Kontrastes wird damit wiederum nicht verbunden. Häuserwände, Gartenmauern, Grünflächen mit oder ohne Einfassungen sowie Hecken oder Sandstreifen können als „innere Leitlinie“ vorgesehen werden, insofern sie durchgängig und frei von Gefahrenstellen (z.B. hineinragenden Objekten) sind. Baulich festen Kanten (Einfassung, Mauer) wird eine bessere Orientierungswirkung zugeschrieben als weniger definierten Übergängen (lose Rasenkante, Hecke).

Kapitel 5.9.5 betrachtet Leitlinien aus Bodenmaterialien, die im Straßenbau verwendet werden. Die Leitwirkung wird in der Trennlinie der Materialien verortet. Die verwendeten Elemente sollen einen hohen taktilen und visuellen Kontrast aufweisen. Zur Spezifizierung der taktilen Kontrastwirkung werden Strukturunterschiede beschrieben. So sollen „grobe“ und „glatte“ Oberflächen aneinander anstoßen. „Glatte“ Oberflächen werden beschrieben als „ungefaste, großflächige, engfugig verlegte Platten oder glatter Asphalt“ (S. 58). „Grobe“ Oberflächen werden beschrieben als „...Pflastersteine mit auffälligen Fugen verlegt [...], z. B. Kleinpflaster mit einer durchschnittlichen Fugenbreite von 10 mm bis 15 mm und einer Tiefe von 3 mm bis 5 mm.“ (S. 58).

Die in der Norm für Bodenindikatoren hinterlegte Definition des visuellen Kontrastes ist für die visuelle Kontrastwirkung dieser Anordnung prinzipiell anwendbar. Der Anteil der Fugen als Flächenmerkmal in der Anwendungssituation sollte jedoch berücksichtigt werden, der Reflexionsgradunterschied zwischen z.B. Platten/Asphalt und den Pflastersteinen dürfte nicht ausreichend sein zur Beschreibung.

Auch die weiteren Merkmale bedürfen einer Spezifizierung um als definierend eingesetzt werden zu können. Welche geometrischen Maße haben „großflächige“ Platten? Welche Fugenbreite kann als genügend „engfugig“ gelten? Spielt die Plattengröße bei engfugiger Verlegung überhaupt eine bedeutsame Rolle? Was kennzeichnet die „Auffälligkeit“ von Fugen in Pflasterverlegungen und ab welcher Ausprägung liegt genügend „Auffälligkeit“ der Fugen vor?

Ein gesondertes Unterkapitel beschäftigt sich mit der Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen (Kapitel 5.9.6). Der mittlere Bereich aus „engfugigen [...] Kunststein- oder Granitplatten“, die heller als die anderen Bereiche sein müssen, wird in Kombination mit visuell und

taktil kontrastierenden Ober- und Unterstreifen als besonders gute barrierefreie Lösung beschrieben. Der taktile Kontrast soll durch grobes und fugenreiches Pflastermaterial mit „auffälligen Fugen“ erreicht werden. Der visuelle Kontrast soll zwischen der „helleren Oberfläche des Gehbereichs“ und der „unterschiedlichen Farbe“ der Unter- und Oberstreifen entstehen. „Abwandlungen“ im Ober- und Unterstreifen, z.B. durch „Grünflächen“ sind möglich.

Hierzu ist eine Vielzahl von Anmerkungen zu formulieren. Es finden keinerlei geometrische Spezifikationen statt. Die möglichen oder unmöglichen Breiten von Ober-, Mittel- und Unterstreifen sind nicht beschrieben. Die Verwendung eines anderen Natursteinmaterials als Granit im mittleren Gehwegbereich führt zwingend dazu, dass es sich nicht um eine barrierefreie „Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen“ handelt. Auch wenn der mittlere Gehwegbereich dunkler als die umgebenden Streifen ausgeführt wird, kann es sich nicht um eine barrierefreie „Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen“ handeln. Bezüglich der taktilen Kontrastwirkung sind die Anmerkungen wie zu Kapitel 5.9.5 formuliert zu wiederholen. Bezüglich der visuellen Kontrastwirkung bestehen erhebliche Ungenauigkeiten in den gewählten Formulierungen. Die Qualität „Farbe“ wird im Kontext der Norm DIN 32984 nicht spezifiziert. Der normative Verweis in Kapitel 2 auf DIN 5033-7 spezifiziert geometrische und spektrale Messbedingungen, nicht jedoch Farbmesszahlen. Dem entsprechenden Weiterverweis in DIN 5033-7 auf DIN 5033-3 folgend stehen der letztgenannten Norm nach mehrere Systeme von Farbmesszahlen zur Beschreibung von Farben zur Verfügung. Da in DIN 32984 jedoch keine Spezifizierung erfolgt, kann somit keine Beschreibung von Farben aus der Norm DIN 32984 hergeleitet werden. Wird das Merkmal „Farbe“ daher beiseitegelassen, verbleibt als Anforderung die indirekte Spezifizierung als „hellere“ und „dunklere“ Bereiche, die sich „eindeutig unterscheiden“. Eine mit dem Normtext zu vereinbarende Auffassung kann somit sein, dass der Reflexionsgrad der Ober- und Unterstreifen geringer sein muss als der Reflexionsgrad der Platten in Gehwegmitte.

Kapitel 5.9.7 beschreibt die Bedingungen, unter denen Entwässerungsrinnen als Leitlinie in Gehflächen eingesetzt werden können. Es wird dazu zwischen „mit Metallabdeckung versehenen“ und „offenen“ Entwässerungsrinnen unterschieden. Ersteren wird die Eignung für „unstrukturierte“ Gehflächen zugeschrieben. Für Letzteres erfolgt keine Beschreibung von geeigneten oder ungeeigneten Anwendungsbereichen außer der Forderung einer mindestens 60 cm breiten Bewegungsfläche neben der Rinne. Für beide gemeinsam wird gefordert, dass sie sich visuell und taktil eindeutig von der Umgebung unterscheiden müssen.

Die Ausführungen lassen mehrere Interpretationen über den Einsatz abgedeckter Entwässerungsrinnen zu. Anders als mit Metallabdeckungen versehene Entwässerungsrinnen werden nicht benannt. Das könnte bedeuten, dass Sie nicht als Leitlinie eingesetzt werden können.

Es kann aber auch bedeuten, dass sie sehr wohl dazu eingesetzt werden können. Weiterhin werden keinerlei geometrische Anforderungen gestellt. Da auch an keiner anderen Stelle in der Norm DIN 32984 Breitenanforderungen an Leitlinien gestellt werden, sind keine Aussagen dazu verfügbar. Anhaltspunkte können die Beispiele Borde, Trennung niveaugleicher Verkehrsflächen, innere Leitlinien, Leitlinien aus Bodenbelägen sowie Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen bieten. Eine Spezifikation im engeren Sinne erfolgt dadurch jedoch nicht. Insgesamt erscheint die begriffliche Benennung nicht sehr glücklich. Insbesondere der Terminus „Leitlinie“ wird sehr heterogen verwendet. Einerseits wird der Kontrast aus zwei aneinander stoßenden unterschiedlichen Materialien größerer Ausdehnung als Leitlinie bezeichnet. Eine solche Linie hat eine praktisch vernachlässigbare Eigenbreite und lässt sich durch einen einzigen Kontrastwert (den der aneinander anstoßenden Materialien) charakterisieren. Andererseits werden aber auch Elemente mit erheblicher Breitenausdehnung als Leitlinie bezeichnet, wie etwa Entwässerungsrinnen und Pflasterstreifen. Die kontrastierende Wirkung dieser Objekte bedarf unter Umständen nicht nur der Berücksichtigung der Materialien zu beiden Seiten sondern ist insbesondere auch durch die Gestaltung der Oberfläche der „Linie“ selbst beeinflusst während je nach tatsächlicher Breite der objekthaften „Linie“ der Kontrast der benachbarten Flächen eine unterschiedliche Bedeutsamkeit für die Leitwirkung haben kann.

Weiterhin sind die immer wiederkehrenden Formulierungen der deutlichen taktilen und visuellen Unterscheidbarkeit benachbarter Flächen für den Bereich „Sonstige Leitelemente“ nicht ausreichend spezifiziert. Die Merkmalsdefinitionen für taktilen und visuellen Kontrast können in vielen Fällen nicht herangezogen werden (weil geometrisch unzutreffend o.ä.).

Um somit „Sonstige Leitelemente“ gezielt gestalten und bewerten zu können, können nur die Beschreibungen aus den Unterkapiteln 5.9.2 – 5.9.10 von DIN 32984 herangezogen werden. Nachfolgende Tabelle enthält die Zusammenstellung, getrennt nach taktilen und visuellen Eigenschaften:

**Taktile Unterscheidbarkeit gegeben, wenn:**

- Bordsteinkante mit
  - ausreichender Höhe (Standard mindestens 6cm, im Einzelfall auch 3cm),
  - senkrechter Orientierung (aufrecht stehende Kante),
  - Abrundung wenn vorhanden mit kleinem Radius bezogen zur Höhe
- Trennstreifen mit Mindestbreite 30cm, einen deutlichen Unterschied in der Oberflächenstruktur aufweisend (ohne Spezifizierung von Höhe, technischem Merkmal oder Bedingungen)
  - z.B. Kleinpflaster, Profilsteine oder Grünstreifen (ohne Spezifizierung des umgebenden Belags)
- Innere Leitlinie:
  - geschlossene Häuserfront durchgängig frei von Hindernissen
  - durchgehende Gartenmauern, Grünflächen, Hecken oder Sandstreifen ohne Verletzungsgefahr

**Visuelle Unterscheidbarkeit gegeben, wenn:**

- Bordsteinkante vorhanden (keine weitere zwingende Anforderung formuliert)
- Trennstreifen mit Mindestbreite 30cm, einen deutlichen Unterschied in der Leuchtdichte zum angrenzenden Belag aufweisend (ohne Spezifizierung von Höhe oder Bedingungen)
  - z.B. Kleinpflaster, Profilsteine oder Grünstreifen (ohne Spezifizierung des umgebenden Belags)
- Innere Leitlinie:
  - geschlossene Häuserfront durchgängig frei von Hindernissen
  - durchgehende Gartenmauern, Grünflächen, Hecken oder Sandstreifen ohne Verletzungsgefahr
- Leitlinie zwischen zwei visuell kontrastierenden Bodenmaterialien (Kontrast analog Kontrastdefinition für Bodenindikatoren)
- Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen,
  - wenn Gehbahn aus Kunststein- oder Granitplatten und
  - wenn die Gehbahn heller als die Nachbarstreifen ist und
  - wenn die Ober- und Unterstreifen aus Kleinpflaster mit Fugenbreite 10-15mm bei Fugentiefe 3-5mm oder aus einer anderen Oberflächen (z.B. Grünfläche) bestehen

- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitlinie als Kontrast zwischen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ungefast, großflächig, engfugig verlegte Platten oder glattem Asphalt mit</li> <li>○ Kleinpflaster mit Fugenbreite 10-15mm bei Fugentiefe 3-5mm</li> </ul> </li> <li>• Gehwegstruktur mit Ober- und Unterstreifen,             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ wenn Gehbahn aus Kunststein- oder Granitplatten und</li> <li>○ wenn die Ober- und Unterstreifen aus Kleinpflaster mit Fugenbreite 10-15mm bei Fugentiefe 3-5mm bestehen</li> </ul> </li> <li>• Leitlinie über Fahrbahnen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Leitlinie aus Pflastersteinen in einem Asphaltbelag</li> </ul> </li> <li>• Geländer oder Absperrgitter zur Längsführung             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tastleiste, die höchstens 15 cm über dem Boden endet</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitlinie über Fahrbahnen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Leitlinie aus Pflastersteinen in einem Asphaltbelag</li> </ul> </li> <li>• Geländer oder Absperrgitter zur Längsführung (ohne weitere Merkmale)</li> </ul> |
|--|---|

Tabelle 5: Zusammenstellung visueller und taktiler Eigenschaften von Bodenindikatoren nach DIN 32984:2011-10

## 4.5 Vergleich Inland und Ausland

Eine Gegenüberstellung der gültigen deutschen Normen mit denen aus Norwegen, Österreich und der Schweiz soll Aufschluss darüber geben, ob eine ähnliche Anforderungsstruktur von Leitelementen für Menschen mit visuellen Einschränkungen im europäischen Ausland vorhanden ist und welche beispielsweise technischen oder geometrischen Kriterien gelten, um durch den Einsatz von Elementen zur Orientierung und Leitung Sehbehinderten die eigenständige Nutzung von Außenräumen und Gebäuden zu ermöglichen.

Hierbei ist zunächst die vergleichende Sichtung der einzelnen Elemente eines Leitsystems ausgehend von der DIN 32984: „Bodenindikatoren im öffentlichen Raum“ relevant. In Deutschland dienen nach ebendieser Norm Leitstreifen aus Bodenindikatoren sowie Indikatoren für Aufmerksamkeitsfelder und Gefahrenanzeigen als Leitsysteme. Anstelle dieser Bodenindikatoren können gemäß DIN 32984 zusätzlich „Sonstige Leitelemente“ eingesetzt werden (DIN 32984, S.55) (siehe hierzu auch 4.4.1 und 4.4.2 dieses Berichts).

Auch in den beispielhaft vergleichend betrachteten Normen aus Norwegen, Österreich und der Schweiz ist eine ähnliche Grundstruktur der Leitsystem-Elemente zu finden. In allen drei Ländern ist ein System der Kenntlichmachung analog zu den Bodenindikatoren vorgesehen und gleichermaßen werden bauliche Elemente als „Sonstige Leitelemente“ verwendet. Die verwendeten Begrifflichkeiten und die Anforderungen an die Ausprägungen weichen jedoch im Detail teilweise deutlich voneinander ab.

Im Folgenden wird daher sowohl ein kurzer Überblick über die vergleichbaren Leitsysteme aus Bodenindikatoren gegeben als auch zu Sonstigen Leitelementen.

#### **4.5.1 Bodenindikatoren**

##### *Deutschland*

Die deutsche Norm „DIN 32984 - Bodenindikatoren im öffentlichen Raum“ in der Ausgabe vom Oktober 2011 regelt in Deutschland gemäß der Definition ihres Anwendungsbereiches Anforderungen für Bodenindikatoren. Dabei werden „...Form und Maße der Profile und der erforderliche Leuchtdichtekontrast...“ (DIN 32984, S. 6) von Bodenindikatoren festgelegt. Zudem werden „...Aussagen zu den Anforderungen an die ... visuelle Erkennbarkeit getroffen.“ (DIN 32984, S. 6) sowie die Anordnung der Elemente festgelegt. Bodenindikatoren im Sinne der Norm sind in Deutschland Bodenelemente „... zur Information, Orientierung, Leitung und Warnung für blinde und Sehbehinderte Menschen mit einem hohen taktilen, visuellen und gegebenenfalls akustischen Kontrast zum angrenzenden Bodenbelag.“ (DIN 32984, S. 7). Derartige Bodenelemente können sowohl Oberflächen mit Rippenstrukturen als auch Noppenstrukturen besitzen. Je nach Anwendungsfall werden durch ihren nach Norm festgesetzten Einsatzbereich Leitstreifen, Richtungsfelder, Abzweigfelder, Auffindestreifen, Auffindestreifen für Querungsstellen, Auffindestreifen für allgemeine Ziele, Einstiegsfelder, Aufmerksamkeitsfelder und Sperrfelder angelegt. Grundsätzlich gilt dabei, dass Rippen in erster Linie für die Funktionen Orientierung und Leitung eingesetzt werden sollen. Noppen sind gemäß Norm „...immer mit der Aufforderung zu erhöhter Aufmerksamkeit und zum Suchen verbunden.“ (DIN 32984, S. 18)

*Norwegen*

Die Normung der Barrierefreiheit in Norwegen erfolgt u.a. über die ‚NS 11005:2011 – Universal design of developed outdoor areas-requirements and recommendations‘. Hier werden unter anderem Aussagen zum Leitsystem getroffen. So heißt es: „A guiding line system consists of a guiding line, attention indicators and detectable warning indicators.“ (NS11005.E:2011)

Somit zählen die Leitlinie, Aufmerksamkeitsfelder und die Warnfelder zu einem Leitliniensystem nach norwegischer Norm. Leitstreifen nach deutschem Normungsverständnis, sprich genormte bauliche Bodenelemente mit einem hohen taktilen, visuellen und gegebenenfalls akustischen Kontrast zum angrenzenden Bodenbelag, werden in Norwegen als ‚man-made guiding lines‘ tituiert. Für diese gelten die Regelungen der ‚CEN/TS 15209 - Tactile paving surface indicators produced from concrete, clay and stone‘. Die NS 11005.E:2011 nimmt für die Beschreibung der technischen Kriterien von Bodenindikatoren Bezug auf diese Norm, in der u.a. die Oberflächenstruktur definiert wird.

*Österreich*

Auch in Österreich besteht das Leitsystem aus mehreren Elementen. Hierzu gehören Bodenindikatoren (im Sinne von Bodenleitstreifen), Aufmerksamkeitsfelder, Warnleitstreifen und Auffangstreifen. Ihre Ausformulierung ist in der ÖNORM V 2101 geregelt. Eine Nutzungseinschränkung der genormten baulichen Leitelemente ist ebenfalls zu finden. So sollen Leitsysteme auch nur dort angelegt werden, wo eine Orientierung an natürlichen Leitlinien, z.B. Hausmauern oder Rasenkanten, nicht möglich ist. Eine materielle Ausgestaltung ist wie in der Schweiz auch als Markierung zugelassen, allerdings können die Elemente auch aus Stein, Fliese, Metall, Hartgummi oder Kunststoff gefertigt sein. (vgl. ÖNORM V 2102/1)

*Schweiz*

In der Schweiz werden Anwendung von und Anforderungen an bodengebundene Elemente zur Informationsübermittlung für Fußgänger durch die Norm SN 640 852: „Markierungen-Taktil-visuelle Markierungen für blinde und sehbehinderte Fußgänger“ geregelt. Durch diese Norm sind „... die Sicherheit und die Orientierung blinder und sehbehinderter Fußgänger zu verbessern.“ (SN 640 852, S. 2) Wesentlicher Unterschied zur deutschen Normung ist die Ausführung gem. dem Titel der Norm als „... reliefartige und kontrastreiche Markierung...“ (SN 640 852, S.2). Auch dieses Leitsystem besteht aus den sogenannten Sicherheitslinien, den Abzweigungs- und Abschlussfeldern und Aufmerksamkeitsfeldern. Die Anwendung der Markierungen ist in der Norm mit der Einschränkung bedacht, dass sie nur dort einzusetzen



sind, „... wo bauliche Elemente die Sicherheit und Orientierung blinder und sehbehinderter Fußgänger nicht gewährleisten oder wo ein besonderes Bedürfnis besteht.“ (SN 640 852, S.3) Insofern gibt es hier durchaus Parallelen zur deutschen Normung. Die Markierungen nach SN 640 852 sind zwingend weiß, bzw. auf Fahrbahnen gelb, vorzusehen.

Es lassen sich also auch hier trotz abweichender Begrifflichkeiten konkrete Parallelen in den Elementen eines Leitsystems und ihren Funktionen ausmachen.

#### **4.5.2 Sonstige Leitelemente**

##### *Deutschland*

Die Anforderungen an Sonstige Leitelemente sind in Deutschland, wie auch für die Bodenindikatoren, durch die DIN 32984 geregelt. Gemäß ihres Anwendungsbereiches beschreibt sie „... die Nutzbarkeit sonstiger Leitelemente für blinde und sehbehinderte Menschen z.B. in öffentlich zugänglichen Einrichtungen, Gebäuden, Verkehrsanlagen sowie Straßenräumen und zwar in den Bereichen, die für die Nutzung durch die Öffentlichkeit zugänglich sind.“ (DIN 32984, S. 6) Sonstige Leitelemente nach Norm werden immer an Stelle von Bodenindikatoren eingesetzt. Hierzu zählen bauliche und gestalterische Elemente und Strukturen, welche im öffentlichen Raum vorhanden oder geplant sind. Ihr Einsatz ist dabei an bestimmte Bedingungen gebunden. (siehe dazu auch Kapitel 4.4.1 dieses Berichtes) Als Beispiele für sonstige Leitelemente werden z.B. Borde, Häuserkanten, Rasenflächen oder Gehwegstrukturen mit Ober- und Unterstreifen genannt (siehe Tabelle 6: Länderspezifische Übersicht für Beispiele 'Sonstiger Leitelemente').

##### *Norwegen*

Mit der ‚guiding line‘ werden Elemente wie beispielsweise Oberflächengestaltung, Baumreihen und bauliche Einrichtungen angesprochen (siehe Tabelle 6), die in Deutschland über den Abschnitt ‚5.9 Sonstige Leitelemente‘ der DIN 32984 geregelt sind. Die ‚guiding-line‘ ist hier nicht gleichzustellen mit dem deutschen ‚Leitstreifen‘ aus Bodenindikatoren. Hierfür enthält die norwegische Normung den Begriff ‚man-made guiding line‘ (NS 11005, S. 20). Auch werden an dieser Stelle die Beispiele von „guide-lines“ lediglich in einer Anmerkung beschrieben und nicht wie in Deutschland in separaten Unterpunkten behandelt, welche zudem in der Beschreibung der Anforderungen wesentlich konkreter werden als in Norwegen. Anders als in den deutschen Normen dargestellt, können bzw. sollen Leitsysteme in Norwegen offenbar aus guide-lines im Sinne „Sonstiger Leitelemente“ und Aufmerksamkeitsfeldern bzw. Warnfeldern aus Bodenindikatoren kombiniert werden.

*Schweiz*

In der Schweizer Norm SN 640 075. werden Bodenindikatoren und ‚Sonstige Leitelemente‘ in Ergänzung zur o.g. SN 640 852 als ‚Führungselemente‘ und ‚Trennelemente‘ bezeichnet. Diese Schweizer Norm bietet beispielsweise Elemente wie Fassaden, Mauern, Zäune, Stellplatten und Grünflächen als Alternativen zu den in der Schweiz üblichen Markierungen an (siehe Tabelle 6). Gemäß Punkt 20.4 ebendieser Norm sind in der Schweiz markierte Längsstreifen zu vermeiden. Sollte dennoch die Notwendigkeit der Anwendung bestehen, sind diese zwingend durch eine taktil-visuelle Leitlinie gemäß SN 640 852 zu ergänzen. Dies ist vergleichbar mit einem in Deutschland gebräuchlichen Bodenindikator.

Die folgende vergleichende Darstellung der Anforderungen an Charakteristika von Elementen eines Leitsystems soll hier nicht bezogen auf die Elemente selbst sondern auf ihre Charakteristika vorgenommen werden, um Kriterien spezifische Differenzen zwischen der deutschen Normung und den im hier zum Vergleich herangezogenen Ausland ausmachen zu können.

Deutschland	Norwegen	Österreich	Schweiz
Borde, Trennung niveaugleicher Flächen, Häuserwände, innere Leitlinien, Leitlinien aus Bodenbelägen, Gehwegstrukturen aus Ober- und unterstreifen, Entwässerungsrinnen, Geländer und Absperrgitter	Bauliche Elemente, Elemente der Bodengestaltung, Zäune, Handläufe und/oder Geländer, Borde, Bordsteine, offene oder geschlossene Rinnen, Ränder von Grünflächen, Baumreihen, Schneewehen	Hausmauern, Rasenkantenstein, unterschiedliche Oberflächen-gestaltung (bspw. aus Stein, Fliese, Metall, Hartgummi oder Kunststoff	Randabschlüsse, Muldenrinnen, Belagsbänder, Belagswechsel, Fassaden, Mauern, Zäune, Stellplatten, Grünflächen

Tabelle 6: Länderspezifische Übersicht für Beispiele 'Sonstiger Leitelemente'

*4.5.2.1 Kontrast*

Als ein zentrales technisches Maß wird in der Normung aller hier betrachteten Länder die visuelle Erkennbarkeit der Informationsträger erfasst. Fast allen verglichenen Normen gleich ist die Definition des sogenannten Kontrastes über den physikalischen Leuchtdichtekontrast mit der rechnerischen Ermittlung über die Michelson-Formel. Lediglich Österreich definiert den Kontrast mithilfe des Lichtreflexionsgrades (LRV-Wert) zweier Oberflächen. Da die Ermittlung des Lichtreflexionsgrades methodisch anders erfolgt (u.a. andere spektrale Bewertung (10°-Normalbeobachter anstatt 2°-Normalbeobachter), abweichende Messgeometrie) sind im Ergebnis auch andere Kontrastwertermittlungen zu erwarten. Entsprechend sind die in Tabelle 6 dargelegten Kontrastanforderungen nicht unmittelbar mit den Werten der anderen Normen vergleichbar.

### *Deutschland*

Die DIN 32984 definiert die visuelle Erkennbarkeit für Bodenindikatoren über den Leuchtdichtekontrast mit einem Schwellenwert von 0,4 für einen „...ausreichend großen Leuchtdichtekontrast...“ (DIN 32984, S.14). Als ergänzendes Kriterium hierzu tritt der Reflexionsgrad der helleren Fläche (siehe 4.2.2.2 Reflexionsgrad). Beide Kriterien müssen für einen normgerechten Um- bzw. Ausbau erfüllt sein. Die DIN 18040-3 definiert ergänzend hierzu, dass für alle Bodenmarkierungen und Elemente zum Leiten und Orientieren ein Kontrast von mindestens 0,4 und für Elemente mit Warnfunktion sowie für schriftliche Information ein Kontrast von mindestens 0,7 „geeignet“ ist. Auch in der DIN 18040-3 wird die Erfüllung eines Mindest-Reflexionsgrades von  $R = 0,5$  verlangt.

### *Norwegen*

Die norwegische Norm fordert ebenfalls einen Leuchtdichtekontrast für Leitelemente von mindestens 0,4 zur Umgebung. Die Definition der ‚Umgebung‘ bleibt in der NS 11005 dabei jedoch offen. Hier kann sowohl das angrenzende Material als auch der Hintergrund gemeint sein, wobei sich gerade bei letzterem die Frage nach einer korrekten messtechnischen Ermittlung stellt. Auch die norwegische Norm unterscheidet im Leitsystem zwischen zwei zu erfüllenden Kontrasten in Abhängigkeit von der Funktion des Elementes. So sind Warnfelder zwingend mit einem Leuchtdichtekontrast von mindestens 0,8 auszuführen. Hierzu heißt es:

*„Detectable Warning indicators shall have a luminance contrast of their background of at least 0,8.“* (NS 11005.E:2011, S. 21)

Die gleiche Kontrastanforderung gilt im Übrigen für visuelle Informationen. (NS 1005, S.65)

### *Österreich*

In Österreich gelten bezogen auf den Innenraum die Vorgaben der ÖNORM B 1600. Die Norm verlangt die Einordnung der Situation je nach Funktion in eine von zwei Kontraststufen. Diese Kontraststufen sind dem deutschen wie auch norwegischen System in ihrem Prinzip der Situationsunterscheidung ähnlich. So werden als Stufe I Situationen der Kategorie Warnung, Sicherheit; Beschriftung oder Information eingeordnet. Für diese gilt ein Lichtreflexionsgrad-Kontrast von  $K \geq 50$ . Der Kontrast wird dabei wie folgt errechnet:

$K = LRV1 - LRV2$  (ÖNORM B 1600:2012, S.30) Für die Stufe II gilt ein Mindestwert von  $K \geq 30$ . Dieser Wert ist anzuwenden für Situationen bzw. Elemente der Orientierung und Führung. (ÖNORM B 1600, Anhang 13.5, Tab.1)

### *Schweiz*

Als einziges Land in diesem Vergleich arbeitet die Schweiz mit einer noch feineren Unterteilung der Funktionen von Elementen des Leitsystems. Der deutschen Normung gleich ist nach SN 640 075 die zusätzliche Forderung nach einem Mindest-Reflexionsgrad der helleren Fläche (siehe 4.2.2.2 Reflexionsgrad). Setzt man, trotz unterschiedlicher bautechnischer Ausführung, den Standard deutscher ‚Leitstreifen‘ gleich mit den in der Schweiz definierten ‚Markierungen mit Führungsfunktion‘ wird ein Kontrast der nebeneinander liegenden Flächen von 0,3 gefordert. Auch für ‚Bauliche Führungselemente‘, die hier gleichgesetzt werden mit den ‚Sonstigen Leitelementen‘ der DIN 32984, gilt ein notwendiger Kontrast von mindestens 0,3 (Tab.4: Anforderungen an Helligkeitskontraste je nach Funktion, SN 640 075 Anhang 13.5). Der Unterschied dieser zwei Elemente ergibt sich erst über die Anforderungen an den Reflexionsgrad. Denn herauszustellen ist hier, dass für letztere Elemente keine zusätzlichen Anforderungen im Reflexionsgrad gelten (siehe Tab.7).

#### *4.5.2.2 Reflexionsgrad*

Der Reflexionsgrad dient in verschiedenen Ländern als zusätzliches zu erfüllendes Kriterium neben dem Leuchtdichtekontrast oder als Berechnungsgrundlage für den Kontrast.

In Deutschland ist, wie bereits erwähnt, z.Zt. die Erfüllung eines Reflexionsgrades der helleren Fläche neben der Erfüllung des Kontrastes und unabhängig von der Situationsanforderung von mindestens  $R=0,5$  sowohl in der DIN 18040-3, als auch in der DIN 32975 und der DIN 32984 verankert.

In der Schweiz werden im Gegensatz dazu in gleichem Maße wie bei den Kontrasten auch die Anforderungen an die Reflexionsgrade nach Funktion unterschieden. Besonders deutlich wird dies in der Ergänzung zur o.g. Kontrastanforderung von 0,3 für ‚Markierungen mit Führungsfunktion‘ und ‚Bauliche Führungselemente‘ (SN 640 075, ANHANG 13.5, Tabelle 1). Durch den Reflexionsgrad wird hier eine zusätzliche Differenzierung vorgenommen. Für Markierungen (Bodenindikatoren) wird ein Reflexionsgrad der helleren Fläche von  $R \geq 0,4$  vorgegeben. Für ‚Bauliche Führungselemente‘ werden dagegen eindeutig keine Anforderungen an den Reflexionsgrad formuliert.

### *Zwischenfazit*

Die Forderungen nach Kontrast und Reflexionsgrad gehören unweigerlich zusammen, auch wenn sie aus Gründen der Übersichtlichkeit hier getrennt dargestellt wurden. Die Betrachtungen zeigen, dass die Anforderungen an die Leuchtdichtekontraste trotz gleicher Auffassungen über die Wichtigkeit von Funktionen, die innerhalb eines Leitsystems erfüllt werden müssen,

in den verglichenen Ländern teilweise erheblich voneinander abweichen. Diese vergleichende Untersuchung zeigt, dass beispielsweise gemäß der SN 640 075, Elemente der Außenraumgestaltung wie beispielsweise Rinnen oder Belagswechsel in ihrer Funktion als bauliche Führungselemente trotz einer Abweichung im Kontrast zur deutschen Norm von 0,1 nach unten und der Null-Anforderung an den Reflexionsgrad in ihrer Leitfunktion uneingeschränkt als funktionstüchtig erachtet werden.

Anforderung	Deutschland	Norwegen	Schweiz	Österreich Achtung: Kontrastbestimmung über LRV-Werte
Schweiz: Beschriftung Deutschland: schriftliche Information gem. DIN 18040-3 Norwegen: visual information	$K \geq 0,7$ $r \geq 0,5$	$K \geq 0,8$ Für ,r' keine Anforderungen	$K \geq 0,6$ $r \geq 0,6$	
Schweiz: Markierungen mit Warnfunktion Deutschland: Warnungen gem. DIN 18040-3 Norwegen: warning indicators etc.	$K \geq 0,7$ $r \geq 0,5$	$K \geq 0,8$ Für ,r' keine Anforderungen	$K \geq 0,6$ $r \geq 0,6$	$K \geq 50$
Schweiz: Sicherheitsrelevante Elemente			$K \geq 0,6$ $r \geq 0,6$	
Schweiz: Markierungen mit Führungsfunktion Deutschland: Elemente zum Orientieren und Leiten gem. DIN 18040-3 Norwegen: attention indicators, kerb lines etc.	$K \geq 0,4$ $r \geq 0,5$	$K \geq 0,4$ Für ,r' keine Anforderungen	$K \geq 0,3$ $r \geq 0,4$	$K \geq 30$
Schweiz: Bauliche Führungselemente Deutschland: Sonstige Leitelemente gem. DIN 32984 und Elemente zum Orientieren und Leiten gem. DIN 18040-3	$K \geq 0,4$ $r \geq 0,5$		$K \geq 0,3$ Für ,r' keine Anforderungen	$K \geq 30$

Tabelle 7: Länderspezifischer Vergleich der Anforderungen zur Planung von Kontrasten

#### 4.5.2.3 Breite

Die geometrische Anforderung der Breite von Elementen mit leitender Funktion wird in den hier verglichenen Normen sehr unterschiedlich festgesetzt. Beginnend bei der deutschen Normung ist gemäß DIN 32984 eine Breite der ‚Leitstreifen‘ von mindestens 30cm erforderlich. Bei einem komplexen Leitsystem kann eine Breite von 60cm auf den Hauptwegen sinnvoll sein (siehe 4.2). Bei der Trennung niveaugleicher Verkehrsflächen im Sinne der ‚Sonstigen

Leitelemente (DIN 32984, Kapitel 5.9.3) soll der Trennstreifen 50cm breit ausgebaut werden, zwingend jedoch ist die Mindestbreite von 30cm.

Als Orientierungsmaß für Elemente von Leitsysteme im Innenraum gem. DIN 32984 sind gleiche breiten wie o.g. für den Außenraum anzusetzen. Es gilt die Ergänzung, dass die Mindestbreite „...nicht in jedem Fall eingehalten werden.“ muss (DIN 32984, S. 59). Als Hinweis für Leitstreifen werden 3 bis 4 Rippen genannt was umgesetzt in ein Maß eine Mindestbreite von 10cm bedeutet. Für „Sonstige Leitelemente“ werden keine weitergehenden Mindest- oder Maximalbreiten definiert.

In Norwegen gelten für alle Elemente des Leitsystems in der Qualität der CEN ebendiese Anforderungen. Für alle weiteren Elemente der ‚guiding lines‘ gilt eine Breite von mindestens 21cm maximal jedoch 60cm.

Die Schweiz normt ebenfalls die Breite bestimmter Elemente des Leitsystems, beispielsweise linienhafte Elemente wie ‚Trennelemente‘, die zur Führung geeignet sind. Trennelemente (z.B. Borde, schräge Randabschlüsse oder Abschränkungen) werden in Abhängigkeit ihrer Höhe in Breiten von 25cm bis 30cm und in Breiten von 13cm bis 16cm zugelassen. Für Belagsbänder als Führungselemente gilt eine Mindestbreite von 60cm und eine Regelbreite von 90cm (SN 640 075, Anhang 7.2). Sofern offene Rinnen (z.B. Muldenrinnen) als Führungselemente eingesetzt werden und weitere Kriterien erfüllt sind, werden Breiten von 40cm bis 45cm zugelassen. Erhöhte Bänder mit gewölbten oder trapezförmigen Querschnitten müssen eine Breite von 30cm bis 40 cm haben.

#### 4.5.2.4 Abstände

Ebenso wie für Breiten gelten für das geometrische Maß der Abstände beispielsweise zu Sitzbänken und weiteren Einbauten sehr unterschiedliche länderspezifische Vorgaben. Gemäß deutscher Normung muss ein Abstand zu Trennstreifen und/oder Einrichtungsgegenständen beidseitig eines Leitstreifens bzw. einer Leitlinie von 60 cm eingehalten werden. Zu Fahrradständern und/oder Sitzbänken ist der doppelte Abstand von 120 cm als Anforderung definiert. Werden ‚Sonstige Leitelemente‘ gemäß der DIN 32984 eingesetzt gelten gleiche Abstände. Hier heißt es: *„Daher ist mindestens ein Abstand von 60 cm von jeglichen Einbauten, beziehungsweise 120 cm an der Sitzseite von Sitzgelegenheiten freizuhalten.“*

In Norwegen spricht die NS 11005 von der Gehbreite. Zusätzlich zu der Anforderung an die Breite des leitenden Elementes ist ein 90 cm breiter Gehbereich gemessen von der Mitte der ‚guiding line‘ vorzusehen.

Auch in Österreich wird ein hindernisfreier Durchgangsraum nach Norm verlangt. Hier heißt es in der ÖNORM B 1600:

*„Die nutzbare Breite (Durchgangslichte) von Gehsteigen bzw. Gehwegen muss mindestens 150 cm betragen. Hindernisse, wie Poller, Abfallkörbe, Fahnenmasten u. a. m., müssen so angeordnet werden, dass die Durchgangslichte von 90 cm nicht unterschritten wird.“*

#### 4.5.2.5 Linienführung

Zusätzliche Anforderungen gelten zum Verlauf bzw. der Anordnung der Leitstreifen. So soll eine möglichst geradlinige knick- bzw. verschwenkfreie Führung angestrebt werden. Sollte es die Situation erfordern, sind Richtungsänderungen zulässig. Eine Richtungsänderung sollte nach Möglichkeit rechtwinklig ausgebaut werden (DIN 32984, S.21). Bei Richtungsänderungen unter 90° sind ab einer Änderung über 45° Abzweigefelder vorzusehen.

In Norwegen sind die Anforderungen an die Anordnung etwas schwächer ausgeprägt, so heißt es:

*„[...] The guiding line system shall be planned and logical, and it shall be possible to follow a continuous chain of natural and/or constructed guiding elements [...]“*  
(NS 11005.E:2011, S.20)

Es ist in diesem Sinne also notwendig, ein logisches Leitsystem zu entwickeln. Welches Maß für die Beschreibung von Logik im Sinne der Norm als relevant anzusehen ist, bleibt jedoch offen.

Eine Forderung an die Verlaufsgeometrie findet sich auch in anderen europäischen Normen. So fordert z.B. die Schweizer Norm „SN 640 075:2014-01 – Fussgängerverkehr-Hindernisfreier Verkehrsraum“ eine linienhafte Ausbildung der sogenannten „Führungselemente“.

Der Anforderung der Linienführung ist hinzuzufügen, dass ausschließlich die Schweizer Norm SN 640 075 eine Nutzung von punktuellen Elementen als leitendes/führendes Infrastrukturelement ausdrücklich untersagt. Hier heißt es in Bezug auf Trennelemente:

*„Als Trennelemente sind Randabschlüsse, Abschränkungen oder Trennstreifen einsetzbar. Punktuelle Elemente wie Poller und Pfosten sind nicht ausreichend.“* (SN 640 075, S.11)

In Norwegen ist der entsprechende Abschnitt durchaus interpretierbar, indem es heißt: *„... and it shall be possible to follow a continuous chain of natural and/or constructed guiding elements without obstacles ...“*(NS 11005.E:2011, S. 20)

Demnach und entsprechend der gegebenen Beispiele wie Baumreihen ist eine Durchgängigkeit nicht durch das Kriterium der Lückenlosigkeit beschrieben. Eine ähnliche Unklarheit enthält auch die deutsche Normung. Auch hier wird eine Durchgängigkeit und Verständlichkeit für den Nutzer gefordert. Wodurch aber ‚Durchgängigkeit‘ im normativen Sinne charakterisiert ist, bleibt ebenfalls offen. Dies spiegelt auch die Fragestellung aus der Betrachtung des Forschungsstandes wieder. Nur wenige Veröffentlichungen äußern sich zu punktuellen Elementen mit leitender Funktion.

In der Literatur taucht in diesem Zusammenhang öfter der Begriff ‚Bojenprinzip‘ auf. In Rau 2013 heißt es dazu: *„Durch die Aneinanderreihung von markanten Punkten können Weggestrecken zielgerichtet alleine bewältigt werden.“* (Rau 2013, S.35)

Im evidenzbasierten Planungshandbuch Barrierefreiheit wird dieses Prinzip etwas ausführlicher beschrieben. Dort heißt es: *„Dieses sequenzielle Leitprinzip führt den Nutzer punktuell von einer sogenannten Boje zur anderen. Die Bojen müssen kontrastreich und sicher taktil erfassbar sein.“* (universalRAUM 2012, S. 67)

Dieses Prinzip ist aber, bis auf den Ausschluss in der Schweiz, in keiner Norm explizit als Mittel zur Förderung visueller Barrierefreiheit erfasst bzw. konkret ausgeschlossen.

#### 4.5.2.6 Beleuchtung

Weiterhin treffen alle hier vergleichend betrachteten Normen Aussagen zur notwendigen Beleuchtung der mit Leitstreifen ausgestatteten Flächen. Gemäß der DIN 32984 gilt es: *„[...] eine der Sehaufgabe angemessene Beleuchtung [...]“* (DIN 32984:2011; S.13) sicherzustellen, sodass unter den situativen Bedingungen eine sichere Erkennbarkeit der Bodenindikatoren erreicht wird. Eine ähnliche Beschreibung leistet auch die SN 640 075. Sie fordert eine gute, gleichmäßige Beleuchtung, die die Wahrnehmung relevanter Objekte gewährleistet. Welches in der Planungs- und Baupraxis technisch prüf- bzw. messbare Maß die Beleuchtung annehmen soll, um eine entsprechende Anforderung nach Norm sicherzustellen ist unklar. Die norwegische Norm wird in diesem Teilaspekt präziser. Grundlegend wird auch hier eine ausreichende Beleuchtung verlangt, allerdings werden für Fußgängerbereiche konkret mindestens 30 lx und für Treppen und Schilder 50 lx gefordert. Aus Sicht der typischen Außenbeleuchtung sind für Fußgängerflächen gemäß europäischer Normung (EN 13201-2) in aller Regel erheblich niedrigere Werte im Bereich  $E=3-15lx$  etabliert. Die Vermeidung von Blendung und spiegelnder Reflexion ist allen Normen gleich.



## 4.6 Verfahren lichttechnischer Messungen

### 4.6.1 Definition des Messgegenstandes

Konkrete lichttechnische Anforderungen (zahlenmäßige Ausdrücke in Größe, Ausprägung und Einheit) über barrierefreie Gestaltungen optischer Merkmale der Bodengestaltung werden direkt oder indirekt in den Normen DIN 18040-3 (zuzüglich durch direkten Verweis auch in DIN 18040-1), DIN 32975 sowie DIN 32984 behandelt.

In allen diesen Normen werden jeweils im Kapitel 3 „Begriffe“ lichttechnisch relevante Begriffe definiert. Das Ausmaß explizit definierter Begriffe unterscheidet sich zwischen den Normen. Hinsichtlich des Begriffes „Leuchtdichtekontrast“ (bzw. „visueller Kontrast“) können zwischen den Begriffsdefinitionen in den benannten Normen keine bedeutsamen Unterschiede identifiziert werden. In allen Fällen wird auf „benachbarte Flächen“ und den Leuchtdichteunterschied zwischen diesen referenziert. In der Normengruppe DIN 18040 erfolgt keine eigenständige Begriffsbestimmung „Leuchtdichtekontrast“, die Begriffsdefinition wird aus DIN 32975 zitiert. Aus diesem Grund erübrigt sich ein Vergleich des Begriffes „Reflexionsgrad“.

DIN 18040-1 und DIN 18040-3	DIN 32984	DIN 32975
Leuchtdichtekontrast (in Teil 1)	visueller Kontrast	Sehobjekt
Orientierungshilfe		Leuchtdichte
Sehbehinderung		Leuchtdichtekontrast
sensorische Einschränkung		Reflexionsgrad
Leuchtdichtekontrast (in Teil 3)		Beleuchtungsstärke
Reflexionsgrad		Umfeld
visuell kontrastierend		visuelle Wahrnehmung
visuell stark kontrastierend		Sehschärfe
		Farbkombination

Tabelle 8: Lichttechnische Begriffe im Vergleich der DIN-Normen DIN 18040-1 und -3, DIN 32984 und DIN 32975

In allen Normen bezieht sich die Definition des Leuchtdichtekontrastes auf benachbarte Flächen. Wodurch das Merkmal „benachbart“ erfüllt wird, wird innerhalb der Begriffsdefinitionen in keiner Norm ausgeführt. Zwei Anhaltspunkte als Interpretationshilfe sind in den Normen

gegeben. In DIN 32984 wird in Kapitel 4.3.3.1 ausgeführt „...Leuchtdichtekontrast zwischen Bodenindikatoren und dem angrenzenden Bodenbelag...“ (S. 13). In DIN 32975 wird Sehobjekt begrifflich definiert als (S. 5): „visuell zu erfassender Gegenstand oder visuell zu erfassendes Zeichen, wahrzunehmen aufgrund seines Kontrastes zu seinem unmittelbaren Umfeld...“, wobei Umfeld als „Umgebung eines Sehobjektes“ (S. 6) definiert wird. Der damit verbundene Verweis auf DIN 5340:1998-05, 3.428 liefert zwei Erkenntnisse. Einerseits ist die Definition für „Umfeld“ in DIN 32975 ein wörtliches Zitat der Definition in DIN 5340. Andererseits ist die in DIN 5340 der Definition beigefügte Anmerkung nicht übernommen. Diese besagt, dass die Begriffe „Infeld“ und „Umfeld“ im Einzelfall einer näheren Festlegung bedürfen. Eine solche Festlegung erfolgt innerhalb der Begriffsdefinition in DIN 32975 nicht.

Zusammenfassend werden in den einschlägigen Normen Leuchtdichtekontraste nur zwischen Flächen definiert, die an einander anstoßen und so eine gemeinsame Kante bilden. Die gewählte Definition umfasst somit sogenannte „innere Kontraste“ von Flächen oder Teilflächen, die geometrisch eine gemeinsame Kante bilden. Für mehrere Anwendungsbereiche mit Bezug zu Bodenmaterialien werden aus Nutzersicht jedoch sogenannte „äußere Kontraste“ wirksam. Dies umfasst alle Fälle, in denen eine Fläche zu einem Umfeld kontrastiert, das zwar aus Nutzerperspektive optisch benachbart erscheint, geometrisch jedoch keine gemeinsame Kante aufweist. Diese Fälle werden von der in allen einschlägigen Normen gewählten Begriffsdefinition nicht erfasst. Beispielhaft hierfür ist etwa die kontrastierende Wirkung von Einbauten oder Möblierung in Gehwegbereichen bezogen auf den Gehweg und die Markierung von Glasflächen bezogen auf den durchscheinenden Hintergrund. Aber auch die Kontrastwirkung von Absturzkanten und Bordsteinen bezogen auf den Gefahrenbereich oder auch die Kontrastwirkung von Handläufen und sonstigen Absperrungen (z.B. Absperrketten, Baustellensicherungen u.ä.) bezogen auf den Bodenbereich, wenn der optisch aus Nutzersicht die Kontrastfläche bildet, fallen unter diese Definition.

Für einige dieser Anwendungsbereiche können die undefinierten äußeren Kontraste durch definierte innere Kontraste ersetzt werden. Dies ist beispielsweise für Glasmarkierungen oder die Markierung von sonstigen Objektkanten (Einbauten, Absturzkanten usw.) möglich, wenn in sich kontrastierende Markierungsstreifen (z.B. hellgelb-schwarz oder rot-weiß wechselnde Warnbänder oder Beklebungen) zur Kennzeichnung genutzt werden. In anderen Fällen, wie etwa bei der Stadtmöblierung oder bei Handläufen erscheint eine solche Form der in sich kontrastreichen Gestaltung aus baukulturellen und funktionellen Gründen (z.B. kein Unterschied zur Markierung von akuten Gefahrenbereichen) nicht praktikabel.

Im Fazit ist festzuhalten, dass die in den einschlägigen Normen enthaltenen begrifflichen Definitionen der visuellen Merkmale barrierefreier Gestaltung nicht uneingeschränkt planbare

oder messbare Konstellationen begründen oder solchen widersprechen zu können. Einige der zur Barrierefreiheit zugehörigen Merkmale gebauter Infrastruktur mit Bezug zur Bodengestaltung sind von den gewählten Begriffsdefinitionen nicht erfasst („äußere Kontraste“). Der Definition der Messbedingungen kommt somit ein erhebliches Gewicht zu, da ohne diese die formulierten Anforderungen visueller Barrierefreiheit nicht tragfähig sind.

#### **4.6.2 Definition der Messungen**

In DIN 32984 wird der Leuchtdichtekontrast als ein Merkmal der Erkennbarkeit von Bodenindikatoren spezifiziert. Die Kontrastdefinition erfolgt innerhalb des Kapitels 4 der DIN 32984. Dieses Kapitel beschäftigt sich ausschließlich mit Bodenindikatoren. Ein zentrales Merkmal der Bodenindikatoren ist, dass sie mit dem Begleitstreifen beziehungsweise dem umgebenden Bodenmaterial geometrisch eine gemeinsame Kante aufweisen und in aller Regel fugenfrei ausgeführt sind.

Als Berechnungsvorschrift für die zahlenmäßige Beschreibung des Leuchtdichtekontrastes wird der Leuchtdichtekontrast nach Michelson herangezogen. Die Leuchtdichtedifferenz wird an der Summe der Leuchtdichten der beteiligten Flächen relativiert. Durch diese Berechnungsvorschrift sind die beteiligten Absolutwerte der Flächenleuchtdichten belanglos. Es wird ausschließlich das relative Verhältnis charakterisiert.

Für die erforderliche Ausprägung des Leuchtdichtekontrastes von Bodenindikatoren trifft DIN 32984 die eindeutige Regelung, dass dieser Wert größer als 0,4 sein muss. Für die Ausprägung des Leuchtdichtekontrastes von anderen kontrastierenden Oberflächen (z.B. „Sonstige Leitelemente“ nach Kapitel 5.9 in DIN 32984) wird keine explizite Angabe formuliert. Dort wird beispielsweise gefordert, dass sich relevante Elemente „visuell ausreichend deutlich von ihrer jeweiligen Umgebung unterscheiden“ (S.55) oder „einen hohen taktilen und visuellen Kontrast zueinander aufweisen“ (S.58). In beiden Fällen wird direkt (S.55) oder indirekt (S.58: Begriff „visueller Kontrast“ verweist über die Begriffsdefinition in Kap. 3 der DIN 32984, die auf Kapitel 4.3.3.1 verweist) auf Kapitel 4.3.3 verwiesen. Im gesamten Kapitel 4.3.3 finden sich ausschließlich Kontrastanforderungen, die für Bodenindikatoren und dazugehörige Begleitmaterialien formuliert sind. Eine sinngemäße Anwendung dieser Anforderung ist dennoch für andere „innere Kontraste“, bestehend aus direkt benachbarten Flächen möglich.

Über die messtechnische Definition zur Bestimmung der Leuchtdichtekontraste trifft DIN 32984 jedoch keine eindeutige Regelung. In Kapitel 4.3.3.1 wird sowohl gefordert, dass „...der absolute Wert des Leuchtdichtekontrastes nach DIN 32975, 4.2.2, größer als 0,4 ist“

(S.14) als auch dass die Bestimmung des Leuchtdichtekontrastes nach Kapitel 4.3.3.3 in DIN 32984 erfolgen soll. Da die geometrischen und lichttechnischen Vorgaben zur Bestimmung des Leuchtdichtekontrastes in DIN 32975 und DIN 32984 nicht identisch sind (siehe unten), bleibt die Frage offen, ob der Kontrast nach einer der beiden Normen (wenn dann, nach welcher) oder nach beiden Normen erfüllt werden muss.

Innerhalb der Kapitel 4.3.3.1 bis 4.3.3.3 in DIN 32984 erfolgen umfangreiche weitere Spezifizierungen der lichttechnischen Messbedingungen zur Bestimmung des Leuchtdichtekontrastes. Es wird eine für beide Proben während der Messung beleuchtungsstärkegleiche diffuse Beleuchtung mit Normlichtart A oder D65 nach DIN 5033-7 gefordert. Die Messung soll unter  $\gamma = 45^\circ$  bezogen zur Probennormalen erfolgen und eine Fläche von mindestens  $4 \times 4$  cm abbilden. Die Messung kann entweder durch Messung der Leuchtdichten nach Kapitel 4.3.3.3.1 oder durch indirekte Messung anhand Bestimmung der diffusen Reflexionsgrade nach Kapitel 4.3.3.3.2 erfolgen. Bei den Messungen soll DIN 5036-3 berücksichtigt werden. Der Leuchtdichtekontrast soll für mindestens zwei senkrecht zu einander stehende Beobachtungsrichtungen ermittelt werden, im Falle von Rippenstrukturen längs und quer zu dieser. Die Anforderung  $K > 0,4$  soll auch in der ungünstigeren Beobachtungsrichtung erfüllt sein. Zu diesen Spezifizierungen sind Erörterungen möglich.

Im entsprechenden Kapitel 4.3.3.3.2 der DIN 32984 erfolgt keine Erläuterung, wie dieser Reflexionsgrad definiert oder ermittelt wird. Es ist eine diffuse Beleuchtung und Beobachtung unter  $45^\circ$  zur Probennormalen spezifiziert. Eine grundlegende Definition könnte durch den Verweis auf DIN 5036-3 in Kapitel 4.3.3.2 gegeben sein. In dieser Norm wiederum erfolgt zwar eine umfassende Definition eines Reflexionsgrades für diffuse Beleuchtung, allerdings nicht für einen bestimmten Beobachtungswinkel. Ein diffuser Reflexionsgrad wird in DIN 5036-3 ausschließlich für den Fall diffuser Beleuchtung und halbräumlicher (ungerichteter) Abstrahlung definiert. Das Reflexionsverhalten einer Oberfläche für halbräumliche (diffuse) Beleuchtung bei gerichteter Beobachtung (z.B.  $\gamma = 45^\circ$  wie in DIN 32984 gefordert) wird in DIN 5036-3 als „diffuser Strahldichtefaktor“ definiert (entsprechend „Leuchtdichtefaktor“ in anderen lichttechnischen Normen). Insofern setzt der Verweis auf diese Norm nicht in die Möglichkeit, einen „Reflexionsgrad  $\rho(\text{dif}, 45)$ “ wie in Kapitel 4.3.3 der DIN 32984 gefordert zu bestimmen. Weitere Verweise oder Spezifizierungen sind in DIN 32984 nicht enthalten. Aus messtechnischer Sicht kann somit unter Nutzung der DIN 32984 sowie aller direkten und indirekten Verweise keine umsetzbare Definition der Anforderung „Reflexionsgrad“ herbeigeführt werden.

Eine Möglichkeit zur Lösung hierzu wäre die Spezifizierung des „Reflexionsgrades“ als Leuchtdichtefaktor  $\beta$  (dif/45) und ein Verweis auf Kapitel 7 der Norm DIN 5036-3. Das dort beschriebene Vorgehen wäre anhand der in Kapitel 4.3.3.3.2 der DIN 32984 beschriebenen Messanordnung realisierbar, wenn ein diffuses Reflexionsnormal als zusätzliche Ausstattung verwendet wird. Dieser Ansatz führt zur Definition eines praktikablen Messansatzes für den möglicherweise gemeinten Kennwert. Dazu schließt sich ein letzter Aspekt bezüglich des diffusen Reflexionsgrades/Strahldichtefaktors an. Eine Äquivalenz zwischen dem direkt gemessenen Leuchtdichtekontrast und dem indirekt über einen Reflexionskennwert bezogen auf ein diffus reflektierendes Reflexionsnormal bestimmten Kontrast kann nur für tatsächlich annähernd diffus (stark streuend, ohne Glanz durch gerichtete Reflexion) reflektierende Oberflächen erwartet werden. Handelt es sich um Oberflächen, die (auch) gerichtet reflektieren (z.B. glatte Oberfläche, Kunststoff- oder Metalloberfläche, polierte Bodenmaterialien, lackierte Oberflächen usw.), ist die in DIN 32984 behauptete Äquivalenz der Kontrastbestimmung keineswegs gegeben. In welchem Ausmaß dieser Umstand für typische Bodenindikatoren und sonstige Bodenmaterialien sowie eventuell dazu kontrastierend zu bemessene Oberflächen zutrifft, wurde bislang nicht systematisch untersucht.

Ein weiterer Diskussionspunkt betrifft die Anforderung hinsichtlich der zu verwendenden Beleuchtungsart. Normlichtart A und D65 gemäß DIN 5033-7 unterscheiden sich erheblich in ihrer spektralen Zusammensetzung. Während Normlichtart A etwa dem Spektrum eines Temperaturstrahlers vergleichbar einer Glühlampe entspricht, bildet D65 eine bestimmte Phase des natürlichen Tageslichtes ab. Das Glühlampenlicht wird durch einen erheblich größeren Anteil langwelliges Lichts (dominant rot-orange-gelb-Anteile) verglichen zum kurzwelliges Licht (geringer blau-grün-Anteil) charakterisiert. Das natürliche Tageslicht hingegen verfügt über eine erheblich ausgeglicheneres spektrale Zusammensetzung mit leichtem Übergewicht der kurzwelliges Anteile (blau-grün-Dominanz). Werden spektral selektiv reflektierende Oberflächen (Oberflächen die unter Tageslicht in einer bestimmten Farbe erscheinen, z.B. blau, gelb oder rot) mit beleuchtungsstärkegleicher diffuser Beleuchtung bestrahlt, so ergeben sich rein in Abhängigkeit von der Lichtart unterschiedliche Leuchtdichten. Insofern ist der entstehende Leuchtdichtekontrast nur dann nahezu unabhängig von der gewählten Lichtart, wenn unbunte Oberflächen (schwarz, weiß, grau) verwendet werden. In allen anderen Fällen treten Unterschiede auf. Das Ausmaß dieses Effektes ist für typische Bodenmaterialien nicht systematisch untersucht. Da DIN 32984 jedoch implizit Äquivalenz behauptet (zumindest beide gleichwertig nennt), sollte dieser Effekt untersucht werden.

Weiterhin ist die geometrische Definition zu diskutieren. Die Spezifizierung diffuser Beleuchtung und unter  $45^\circ$  gerichteter Beobachtung ist eine spezielle Konstellation. Bodenmaterialien werden in der Praxis unter  $45^\circ$  auf recht geringe Beobachtungsentfernung (in Entfernung entsprechend der Augpunkthöhe, also ca. 1,5m für mittelgroße, stehende Personen) betrachtet. Betrachtungen in kurzer Distanz erfolgen unter  $0$  bis  $10^\circ$  zur Oberflächennormalen (z.B. direkt davor stehend), während weiterführende Orientierungen von beispielsweise 10m entfernten Bereichen unter ca.  $80^\circ$  erfolgen. Auch stellt die diffuse Beleuchtung einen lichttechnischen Laborfall dar, der unter Praxisgesichtspunkten relativ selten auftreten dürfte. Diffuse Beleuchtung zeichnet sich dadurch aus, dass die Leuchtdichte der beleuchtungsverursachenden Fläche aus allen Richtungen des oberen Halbraumes homogen ist. Eine solche Beleuchtungsbedingung lässt sich für Labormessungen anhand entsprechend präparierter Ulbrichtscher Kugeln reproduzierbar herstellen. In der Praxis stellen solche Bedingungen jedoch die Ausnahme dar. In grober Näherung können etwa diffuse Beleuchtungsverhältnisse im Freien bei unbebauter Umgebung und vollständig bedecktem Himmel zur Mittagszeit oder in ausgedehnten Innenräumen unter großflächig leuchtendem „künstlichem Himmel“ („leuchtende Decken“) bei gleichzeitig hellen und diffus reflektierenden Wänden erwartet werden. Beide Konstellationen stellen eher die Ausnahme als die Regel der Anwendungsfälle barrierefreier Bodengestaltung dar. Daher steht zumindest für die Übertragung der definierten Labormessergebnisse in typische Anwendungssituationen die Frage des Einflusses der beleuchtungs- und Beobachtungskonstellation auf die optisch kontrastierende Wirkung. Systematische Untersuchungen hierzu liegen bislang nicht vor.

Abschließend ist die notwendige Ausprägung hinsichtlich von Reflexionsgraden bestimmter Oberflächen in kontrastierender Anordnung zu analysieren. DIN 32984 fordert an einer Stelle, in Kapitel 4.3.3.1, dass das hellere Material einer Kombination aus Bodenindikator und Begleitstreifen einen Reflexionsgrad größer oder gleich 0,5 aufweisen soll. Über die messtechnisch unzulängliche Definition der Anforderungsgröße „Reflexionsgrad“ erfolgte bereits eine Diskussion weiter oben. Da in den Abschnitten, die sich mit „sonstigen Leitelementen“ beschäftigen, lediglich „unterscheiden“ und „visueller Kontrast“ gefordert werden, verbleibt es unklar, ob für die Kombination anderer Materialien als „Bodenindikator“ und „Begleitstreifen“ (z.B. auch schon Bodenindikatoren in „angrenzendem Bodenbelag“ mit „ausreichendem Leuchtdichtekontrast“) die Anforderung eines bestimmten Reflexionsgrades zwingend erfüllt sein muss oder nicht. Untersuchungen zum Einfluss des Reflexionsgrades der helleren Fläche auf die Wahrnehmungswirkung kontrastierender Flächen könnten ein Argument in diesem Zusammenhang liefern.

Davon abgesehen ist hinsichtlich der Reflexionsgradanforderung potentiell der Inhalt von DIN 32975 innerhalb der Anforderung in DIN 32984 zu berücksichtigen. In Kapitel 4.3.3.1 der DIN 32984 wird gefordert, dass „...der absolute Wert des Leuchtdichtekontrastes nach DIN 32975, 4.2.2, größer als 0,4 ist“ (S.14). Die aus dem entsprechenden Verweis entsprechenden Unklarheiten wurden oben bereits angesprochen. Folgt man jedoch diesem Verweis, so findet sich im entsprechenden Kapitel die Anforderung, dass für alle Kontrastforderungen immer für die hellere Fläche ein Reflexionsgrad größer 0,5 realisiert werden soll. Die messtechnische Diskussion der Anforderungen aus DIN 32975 erfolgt nachfolgend.

In DIN 32975 wird der Kontrast als relativer Leuchtdichteunterschied zwischen Sehobjekt und Umfeld definiert. Die Berechnungsvorschrift (Michelson-Kontrast) entspricht derjenigen in DIN 32984. Absolute Leuchtdichtewerte bestimmter Flächen (wie in Kapitel 4.2.1: Gestaltungsanforderungen – Allgemeines angekündigt) werden in DIN 32975 an keiner Stelle gefordert.

Anforderungen hinsichtlich des Leuchtdichtekontrastes für Bodenmarkierungen werden in Kapitel 4.2.2 der DIN 32975 formuliert. Wie bereits diskutiert erfolgt keine explizite Definition, welche konkreten Gestaltungen unter die Bezeichnung „Orientierungs- und Leitsysteme ohne Schrift- und Bildzeichen wie z. B. Bodenmarkierungen... [und] ...Kennzeichnungen im Bodenbereich“ (S.8) fallen. In den diesbezüglich verwiesenen Unterkapiteln 4.7 bis 4.9 werden Niveauwechsel, ungesicherte Absturzkanten und Übergangsbereiche behandelt. Gehwegbereiche für den Längsverkehr werden dabei nur als Abschnitte mit Schienenverkehr in Fußgängerbereichen sowie „Wenn unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern gewidmete Verkehrsflächen, wie Geh- und Radweg, auf gleichem Niveau nebeneinander liegen...“ (S.14) erwähnt. Ob DIN 32975 daher für Elemente der Längsführung außerhalb der benannten „besonderen“ Bereiche einschlägig ist, kann anhand der Inhalte der Norm nicht belegt werden. Daher verbleibt unklar, für welche Gestaltungsaspekte von Bodenoberflächen außerhalb des expliziten Verweises durch DIN 32984 die Norm DIN 32975 heranzuziehen ist. Diese Unklarheit beiseitegelassen, wird in Kapitel 4.2.2 der DIN 32975 ein Kontrast von mindestens 0,4 gefordert. Hier zeigt sich ein erster inhaltlicher Unterschied zu DIN 32984, in der der Kontrast größer als 0,4 sein soll.

Die messtechnische Definition zur Bestimmung des Leuchtdichtekontrastes ist in DIN 32975 deutlich weniger umfangreich verglichen mit DIN 32984. Es wird gefordert, den Kontrast

anhand von Leuchtdichtefaktoren nach DIN 5036-3 zu bestimmen. Die Messung von Leuchtdichten soll dabei bei diffuser Beleuchtung senkrecht zur Oberfläche ( $0^\circ$ ) erfolgen. „Gegebenenfalls“ sollen weitere praxisrelevante Beobachtungswinkel berücksichtigt werden. Bedingungen oder Beispiele hierzu werden jedoch nicht angegeben. Schließlich wird als beleuchtende Lichtart diejenige gefordert, „die in der Anwendung vorgesehen ist“ (S.7). Hierzu sind einige Punkte zu diskutieren.

Die Forderung, den Kontrast anhand „Leuchtdichtefaktoren nach DIN 5036-3“ zu ermitteln, ist auf Basis der in DIN 32975 sowie aller darin enthaltenen Verweise nicht zu erfüllen. DIN 5036-3 benennt in Kapitel 7 einen Leuchtdichtefaktor für diffuse Beleuchtung und senkrechte Beobachtung ( $\beta d/0$ ). Der so ermittelte Leuchtdichtefaktor weist jedoch keinen Bezug zur Berechnungsformel für den Kontrast nach Michelson auf. Dies stellt zudem einen Widerspruch zur ebenfalls in Kapitel 4.2.2 von DIN 32975 formulierten Forderung „Der Nachweis der Kontraste erfolgt durch Messung.“ (S.8) dar. In wohlwollender Auslegung kann angenommen werden, dass die für die Kontrastberechnung nach angegebener Formel notwendigen Leuchtdichten unter den für die Ermittlung der Leuchtdichtefaktoren angegebenen Bedingungen erfolgen sollen. Explizit ist dies jedoch nicht gefordert. Darüber hinaus können dann nur belastbare Ergebnisse erwartet werden, wenn Leuchtdichten von Sehobjekt und Umfeld bei identischer Messanordnung und identischer Beleuchtungsstärke ermittelt werden. Letztere unumgängliche Voraussetzung wird in DIN 32975 nicht gestellt.

Ebenso erfolgt in DIN 32975 keine messtechnische Definition der Anforderung „Reflexionsgrad“. In der Definition dieses Begriffs (S.5) wird auf DIN 5036-1 verwiesen. In dieser Norm erfolgt eine anwendungsunabhängige, allgemeine Definition der Materialkenngröße Reflexionsgrad. Diese Definition kann ohne Spezifizierung jedoch in keine konkrete lichttechnische Messung umgesetzt werden. Es fehlen Angaben sowohl zu Art und Geometrie der Beleuchtung als auch Beobachtung. Solche Angaben in Verbindung zur Kenngröße „Reflexionsgrad“ sind in DIN 32975 an keiner Stelle enthalten. Die Messung eines „Reflexionsgrades“ nach DIN 32975 kann somit wahlweise als unmöglich oder messtechnisch beliebig betrachtet werden. Beide Interpretationsvarianten stellen keine belastbare Grundlage für Planungen oder Bewertungen von relevanten Eigenschaften der visuellen Barrierefreiheit öffentlicher Infrastruktur dar. In wohlwollender Annahme könnte vermutet werden, dass mit dem Terminus „Reflexionsgrad“ innerhalb DIN 32975 die in Kapitel 4.2.2 erwähnten „Leuchtdichtefaktoren“  $\beta d/0$  gemeint sein könnten. Einen Beleg für diese Vermutung liefert DIN 32975 nicht.



Weiterhin ist die geometrische Definition der Kontrastpartner „Sehobjekt“ und „Umfeld“ völlig unzureichend bezogen auf den Anwendungsfall der Bodengestaltung. Da beispielsweise eine Gehwegoberfläche nicht als ganzes Objekt gesehen oder messtechnisch abgebildet werden kann, ergibt sich die Notwendigkeit charakteristische Ausschnitte zu definieren. Angaben hierzu sind in DIN 32975 nicht enthalten.

Schließlich wirft die Anforderung der Lichtart erhebliche Unsicherheiten auf. Zunächst finden sich in DIN 32975 keinerlei explizite Verweise auf Normen oder ähnliche Literaturstellen, in denen „Lichtarten“ definiert werden. Durch den unspezifischen normativen Verweis auf DIN 32984 ist ein Bezug auf die dort benannten Lichtarten sowie den diesbezüglichen Weiterverweis auf DIN 5033-7 möglich. Letztgenannte Norm enthält Angaben über spektrale Verteilungen von drei verschiedenen „Normlichtarten“ und insgesamt 10 verschiedene „Lichtarten“. Neben dem Umstand, dass dadurch erheblicher Spielraum in der Auswahl der Lichtart und damit praktisch keine Vergleichbarkeit der Messergebnisse herrscht, ergibt sich die Problematik der Auswahl. Sehr viele öffentliche Bereiche der Infrastruktur für Fußgänger werden im Tagesgang sowohl durch unterschiedliche spektrale Verteilungen des Tageslichts als auch durch künstliche Beleuchtung beleuchtet. Eine messtechnische Realisierung all dieser Varianten für die Beurteilung der visuellen Kontrastwirkung ist unter erheblichem Aufwand für eine beschränkte Auswahl im lichttechnischen Labor möglich, für Praxisanforderungen erheblicher Breitenwirkung „barrierefreier Gestaltung“ jedoch absolut unrealistisch. Schließlich sind spektrale Verteilungen neuerer typischer Außenbeleuchtung, wie einige Gasentladungslampen und vor allem LED unter den in der benannten Norm aufgeführten „Lichtarten“ nicht vertreten.

Bei den Begriffsdefinitionen (Leuchtdichtekontrast, Reflexionsgrad) sowie in Kap. 4.6.1 der DIN 18040-3 erfolgt mehrfach der Verweis auf DIN 32975. In der „Anmerkung 2“ wird ausgeführt, dass Kontrastwerte und Reflexionsgrade durch Anwendung von DIN 5036-3, DIN 32975 und DIN 32984 ermittelt werden können. Eine Definition von messtechnischen Bedingungen hinsichtlich der Art und Geometrie von Beleuchtung und Beobachtung oder auch nur einer Berechnungsvorschrift für den „relativen Leuchtdichteunterschied benachbarter Flächen“ erfolgt in DIN 18040-3 nicht.

Der Verweis auf DIN 5036-3 liefert keine belastbare Definition. In der benannten Norm werden allein drei verschiedene Grundarten der Messgeometrie für die Messgröße „Reflexionsgrad“ aufgeführt. Da für zwei von drei dieser Grundarten wiederum mehrere konkrete

Messanordnungen existieren, ist der Verweis prinzipiell nicht falsch, aber auch nicht konkret genug, um daraus einen eindeutigen Kennwert zu begründen. Ähnlich ist es mit den Verweisen auf DIN 32984 und DIN 32975. In beiden Normen werden Leuchtdichtekontraste und Reflexionsgrade genutzt. Da sie in den benannten Normen jedoch nicht deckungsgleich und überwiegend nicht schlüssig operationalisiert werden (s. oben), ist der Verweis aus DIN 18040-3 heraus wiederum als prinzipiell nicht ungültig, aber dennoch nicht umsetzbar, weil uneindeutig zu bewerten.

DIN 18040-3 trifft somit keinerlei eigenständige Definition von lichttechnischen Eigenschaften für Oberflächen oder Elemente im öffentlichen Raum. Die Ausführungen sind entweder durch Verweis oder durch wörtliche identische Wiederholung textgleicher Passagen aus DIN 32975 oder DIN 32984 mit diesen gleichwertig. Ein unabhängiger oder über die beiden benannten Normen hinaus gehender Regulierungsanspruch für lichttechnische Messungen kann durch den Inhalt der DIN 18040-3 nicht begründet werden.

In DIN 18040-3 erfolgen keine umsetzbaren technischen Definitionen der aufgeführten Kriterien Leuchtdichtekontrast und Reflexionsgrad. Die lediglich in einer Anmerkung enthaltenen Verweise auf DIN 32984, DIN 32975 und DIN 5036-3 spezifizieren die in DIN 18040-3 möglicherweise beabsichtigten Anforderungen nicht.

#### **4.6.3 Fazit lichttechnische Definitionen**

Die Definition des Merkmales „Leuchtdichtekontrast“ in den einschlägigen Normen beschränkt sich auf innere Kontraste benachbarter Flächen. Damit werden einige, aber nicht alle beabsichtigten Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit von öffentlichen Wegen erfasst. Weiterhin zeigen die Betrachtungen, dass die in den Normen aufgeführten Begriffsdefinitionen von Merkmalen visueller Barrierefreiheit in allen Fällen ohne weitere messtechnische Spezifizierungen nicht aussagekräftig sind.

Hinsichtlich dieser Spezifizierungen unterscheiden sich DIN 32984 und DIN 32975. In DIN 18040-3 erfolgen keine solchen Spezifizierungen, wodurch die darin formulierten Anforderungen als solche nicht anwendbar sind. Die umfangreichsten Angaben über die Bestimmung von visuellen Kontrasten und außerdem die einzige weitestgehend interpretationsfrei praktisch anwendbare Messvorschrift stellt DIN 32984 dar. Die Übertragbarkeit der darin primär für Bodenindikatoren spezifizierten Kontrastmessungen sowohl auf andere Gestaltungsmittel für Fußgängerbereiche (Materialien, Merkmale usw.) als auch der Laborkennwerte in Praxisumgebungen ist bislang ungeprüft. Dennoch gibt es auch

in DIN 32984 Definitionslücken. So kann beispielsweise das Merkmal „Reflexionsgrad des helleren Materials“ unter Nutzung der Norm und ihrer Verweise nicht ohne weitere Annahmen bestimmt werden. Aber auch zur Äquivalenz von als alternativ angegebenen Messbedingungen bestehen bislang keine Erkenntnisse, gleichwohl bedeutsame Vorbehalte aus theoretischer Betrachtung.

Die messtechnischen Spezifizierungen in DIN 32975 reichen hingegen nicht aus, um die darin formulierten Anforderungen hinsichtlich visueller Barrierefreiheit überhaupt schlüssig definieren oder auch planen und prüfen zu können. Die Ermittlung von Leuchtdichtekontrasten ist im angegebenen Sinne unter Berücksichtigung der Beschreibungen nicht möglich. Das Merkmal „Reflexionsgrad“ verbleibt sogar messtechnisch völlig undefiniert. Unter Hinzunahme weiterführender Vermutungen und nicht enthaltener Spezifizierungen sind Messungen in Anlehnung an DIN 32975 denkbar. Es ist jedoch nicht möglich, die visuelle Barrierefreiheit von Gestaltungen des öffentlichen Raumes gemäß DIN 32975 ohne solche mehr oder weniger willkürlichen Zusatzannahmen zu beschreiben.

Für viele der in den einschlägigen Normen als unter Praxis Gesichtspunkten relevant erwähnten Eigenschaften visuell barrierefreier Gestaltung erfolgen an keiner Stelle überprüfbare Definitionen. So wird beispielsweise von „ausreichender“ oder „blendfreier“ Beleuchtung gesprochen. Es werden „nicht glänzende“ Oberflächen gefordert. Es wird auf Bedingungen verwiesen, die nicht spezifiziert werden (z.B. „Oberflächenbeschaffenheit“ als Einflussgröße auf die Kontrastwirkung). Bestimmte Gestaltungen sollen „verständlich“ oder „auffällig“ sein. Für diese und viele weitere, oftmals primär nutzerzentriert-funktionale Anforderungen erfolgen weder einschlägige Definitionen noch Angaben, anhand welcher Gestaltungsmerkmale in welcher Ausprägung günstige und damit potentiell visuell barrierefreie Lösungen beschrieben werden können.

#### **4.7 Verfahren der Kontrastbewertung – Stand der Forschung**

Visuelle Informationen müssen auch für sehbehinderte Menschen sichtbar und erkennbar sein. DIN 18040-1:2010-10 Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude und DIN 18040-3:2014-12. Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum benennen die wichtigsten Einflussfaktoren auf das Sehen/Erkennen und damit auch auf das Wahrnehmen von Kontrasten.

Diese sind

- Leuchtdichtekontraste (hell/dunkel);
- Größe des Sehobjektes;
- Form (z. B. Schrift);
- räumliche Anordnung (Position) des Sehobjektes;
- Betrachtungsabstand;
- ausreichende und blendfreie Belichtung bzw. Beleuchtung.

Die einzig in diesen Normen vergleichsweise klar definierte Größe, die bei der Planung visueller Barrierefreiheit eingehalten werden muss, ist der Leuchtdichtekontrast und damit einhergehend der Reflexionsgrad der helleren Fläche. Beide sind in den DIN-Normen ausschließlich messtechnisch definiert. In der Praxis ist jedoch der wahrgenommene Kontrast entscheidend für die Orientierung. Wie die weiteren Einflussfaktoren eingehalten und umgesetzt werden sollen, bleibt für Planer/innen und Architekt/innen im Unklaren. Hinzu kommt, wie in *Kapitel 3.1.4 Leuchtdichtekontrast K* erwähnt, dass der Leuchtdichtekontrast durch zahlreiche (Umwelt-)Einflüsse beeinflusst wird und sich in Folge dessen auch die Wahrnehmbarkeit von gebauten Materialkontrasten verschlechtern kann.

Zu Untersuchungen der visuellen Barrierefreiheit, insbesondere zu Kontrastanforderungen finden sich nur wenige Forschungsarbeiten bzw. Veröffentlichungen. Eine Stichwortsuche (Barrierefreiheit und Kontraste, Architektur und Kontraste, Design und Kontraste, contrast design, contrast accessibility, etc.) in Fachdatenbanken (z. B. EBSCOhost, OLC Architektur, Springer Link, etc.) brachte keine Ergebnisse. Dies ist ein erstes Indiz dafür, dass dieses Forschungsfeld bislang wenig untersucht wurde.

Die erste Arbeit, die sich in Deutschland mit der Wahrnehmung von Kontrasten in Bezug auf gebaute Umwelt beschäftigte und die zudem Grundlage einiger weiterer Veröffentlichungen und Arbeiten wurde (z.B. BMG (Hrsg.) (1996) Verbesserung von visuellen Informationen im öffentlichen Raum: Handbuch für Planer und Praktiker zur bürgerfreundlichen und behindertengerechten Gestaltung des Kontrasts, der Helligkeit, der Farbe und der Form von optischen Zeichen und Markierungen in Verkehrsräumen und Gebäuden. Bonn: BMG), ist eine 1994 erschienene Gemeinschaftsarbeit unter der Leitung von Professor Dr. rer. nat. W. Echterhoff mit dem Titel „Orientierungshilfen für Sehbehinderte im öffentlichen Bereich durch Verbesserung der visuellen Kontraste“. Die Besonderheit der Arbeit liegt neben der statistischen Gesamterhebung zur Prävalenz von Sehbehinderungen und Kontrastsehen in Deutschland in der Grundlagenforschung zur Wahrnehmung von Kontrasten. Gleichwohl wurden die Einschätzungen

durch Betroffene überwiegend als subjektive Kontrastbewertungen abstrakter Sehzeichendarstellungen ohne primären Bezug zu sehphysiologischen Schwellenwerten oder praktischen Situationen durchgeführt. Eine direkte Übertragbarkeit der diesbezüglichen Befunde in bauliche Mindestanforderungen ist somit nicht gegeben. Dieser Forschungsverbund Kontrastoptimierung um Echterhoff setzte sich aus den Disziplinen Wahrnehmungspsychologie, Lichttechnik, Biometrie und Medizinische Informatik sowie Psychophysik und physiologischer Optik zusammen. Die Arbeit zeigt jedoch vor dem Hintergrund des aktuellen Stands der Forschung methodische Schwächen (z.B. subjektive Einzeleinschätzung der Kontraste durch Probanden in teilweise sehr geringer Anzahl). Auch vor dem Hintergrund der inzwischen mehr als 10 Jahre zurückliegenden Forschungszeitraums können die Ergebnisse nicht mehr vollumfänglich herangezogen werden.

Zwischen dem 1994 veröffentlichten Abschlussbericht des Forschungsverbunds Kontrastoptimierung um Echterhoff und der Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung haben sich nur wenige Forschungsvorhaben dieser Thematik gewidmet.

Nachfolgend werden die Ergebnisse verschiedener Forschungsarbeiten den in DIN 18040-1:2014-12 und DIN 18040-3:2014-12 benannten Einflussfaktoren dargelegt und ausgewertet. Die Ergebnisse fließen in die Präzisierung von Kriterien für die visuelle Wahrnehmung von Kontrasten ein.

#### **4.7.1 Leuchtdichtekontraste (hell/dunkel)**

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit von Echterhoff et al. basieren auf einer subjektiven Helligkeits- und Farbkontrastbewertung von 231 sehbehinderten und 43 normalsichtigen Menschen. Diese subjektiv als „optimal“ bewerteten Kontraste ähneln den in der 2009 erschienenen DIN 32975:2009-12 „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ geforderten Mindestkontraste. Die Prioritäteneinteilung des Handbuchs für Planer und Praktiker des Bundesministerium für Gesundheit (BMG), welche sich auch im Entwurf der E-DIN 32975: 2004 „Optische Kontraste im öffentlich zugänglichen Bereich“ wiederfindet, geht auf die Untersuchungen um Echterhoff von 1994 zurück. Die Einstufung der Kontrastforderungen in

- Priorität 1: Warnungen, Notfälle ( $0,83 < K \leq 0,99$ )
- Priorität 2: Entscheidungsfunktionen ( $0,50 < K \leq 0,83$ )
- Priorität 3: Leitfunktionen ( $0,28 < K \leq 0,50$ )

schlüsselt sich nach den Sicherheitsbedürfnissen befragter Sehbehinderter auf. Auch die empfohlenen Werte für Sehwinkel und Leuchtdichten werden in diese Stufen eingeteilt. (Echterhoff et al. 1994; Lindner et al., 1996; Lindner et al., 1999; BMG 1996)

Priorität	Werte für Kontraste	Werte für Leuchtdichten Vorschläge für Innenräume und für Bereiche mit künstlicher Beleuchtung	Werte für Sehwinkel
Priorität 1: Warnungen, Notfälle	$0,83 < K \leq 0,99$ Begründung: Einschätzung des optimalen Kontrastes	300 cd/m <sup>2</sup> bis max. 500 cd/m <sup>2</sup> auf der Oberfläche von Zeichen Hinweisschilder für Notausgänge und Markierungen z. B. vorzufinden in Räumen mit heller Beleuchtung (Lichtblitze im Außenbereich für Notfälle liegen deutlich oberhalb 500 cd/m <sup>2</sup> )	2° für Bildzeichen und Schrift
Priorität 2: Entscheidungsfunktionen	$0,50 < K \leq 0,83$ Begründung: $K < 0,50$ wird für die Entscheidungsfunktionen „Schriften“ und „Piktogramme“ benötigt	30 cd/m <sup>2</sup> bis 299 cd/m <sup>2</sup> auf der Oberfläche von Zeichen und Markierungen z. B. vorzufinden im Bereich schwacher Raumbelichtung bis hin zur Helligkeit von Flächen vor gut beleuchteten Schaufenstern	1,5° für Bildzeichen 1° für Schrift
Priorität 3: Leitfunktionen	$0,28 < K \leq 0,50$ Begründung: Der mindestens erforderliche Kontrast beträgt $K = 0,28$ . $K < 0,50$ wird bereits für Entscheidungsfunktion benötigt	3 cd/m <sup>2</sup> bis 29 cd/m <sup>2</sup> auf der Oberfläche von Zeichen und Markierungen z. B. vorzufinden im Bereich mit schwacher Straßenbeleuchtung	1° für Bildzeichen 0,8° für Schrift

Tabelle 9. Übersicht des "Drei-Prioritäten-Modells" mit empfohlenen Werten für Kontraste, Leuchtdichten und Sehwinkeln nach BMG (1996).

In der 2009 veröffentlichten DIN 32975 „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ ist dieses „Drei-Prioritäten-Modell“ nicht übernommen worden, da eine sichere Berechnung, Realisierung und Überprüfung von Kontrasten durch Planer/innen in dieser geringfügigen Differenzierung nicht sichergestellt werden kann und sich somit als nicht praxistauglich erweist. In kleinen, differenzierten Räumen kann eine Anwendung aller drei Prioritätsstufen zu einer hohen Komplexität an Kontrasten führen. Ein Herausfiltern der wesentlichen Parameter Leiten, Orientieren oder Warnen kann sich dann als schwierig erweisen. Es sollte daher eine entwurfs- und kontextbezogene Planung visueller Kontraste stattfinden. Hinzu kommt, dass Oberflächen durch Nutzung, Witterung, etc. Veränderungen unterliegen und die geplanten Kontraste nicht dauerhaft erhalten bleiben (Loeschke, Marx, Pourat 2011). Im Umkehrschluss könnte eine Abstufung der Kontraste nach Prioritäten

in komplexen, großräumigen Situationen sinnvoll sein und sehbehinderten Menschen das Zurechtfinden in ihrer Umgebung erleichtern.

Im Forschungsvorhaben Kontrastoptimierung um Echterhoff von 1994 sollte eine erste Untersuchung Aufschluss über das subjektive Kontrasturteil, genauer ein Präferenzurteil, sowohl für farbige als auch für unbunte Kontraste experimentell geben. Die Aufgabe der Testpersonen (43 Normalsichtige, 231 mit Sehbehinderung) lag in der Beurteilung von 79 in einem Hartmann-Sehzeichen abgebildeten Kontrasten (unterschiedlicher Unbunt- und Farbkombinationen) aus 2m Entfernung.



Abbildung 6. Hartmann-Sehzeichen. Eigene Darstellung.

Als optimal bewerteten 80% der Sehbehinderten Kontraste größer 0,91 bzw. -0,97. Es ließ sich ein aussagekräftiger linearer Zusammenhang von bewerteter Kontrastintensität und dem Kontrast aufzeigen. Größere Kontraste erhielten also auch ein besseres Bewertungsurteil. Zudem wurden Positivkontraste (helles Zeichen auf dunklem Untergrund) durchweg bevorzugt. Die Kontrastwerte größer 0,7 (0,65 bis 0,99) bilden den optimalen Bereich der Sehbehindertengruppe. Aber auch ein Kontrast von 0,31 wurde beispielsweise als sehr gut eingestuft. Der Mittelwert von 0,83 aller als „optimal“ angegebenen Kontrasturteile bildet im Handbuch für Planer und Praktiker des BMG von 1996 die Obergrenze der Prioritätsstufe 2, Entscheidungsfunktionen. Kontraste der Prioritätsstufe 1, Leiten müssen mindestens 0,28 betragen. Dieser Wert resultiert aus dem in Untersuchungen zu Farb- und Helligkeitskontrasten (ebenfalls mittels Hartmann-Sehzeichen) von Echterhoff et al. ermittelten Schwellenbereich von 0,28 - 0,45. Kontraste von 0,28 konnten 50% der Sehbehinderten noch erkennen. Bei sehbehinderten Probanden mit Farbsehstörungen lag dieser Wert deutlich höher.

Der letzte Teil der Forschungsarbeit von Echterhoff et al. beschäftigt sich u. a. mit Felduntersuchungen zu Kontrastverhältnissen im Außenraum, Blickzuwendungen und Orientierungsstrategien von sehbehinderten Personen. Feldtests zur räumlichen Orientierung, bei denen 6 sehbehinderte Probanden und zwei Normalsichtige mit einem System zur Blickerfassung ausgestattet verschiedene Situationen begingen haben ergeben, dass sehbehinderte Menschen sich in ihrer Umgebung durch ein Abscannen, sprich ein Hin- und Herschauen zwischen Ob-

jekten orientieren. Die Testgruppe musste sich selbstständig zwischen den Situationen bewegen, lediglich die Richtung zur nächsten Situation war ihnen durch die Aufgabenstellung bekannt. Zusätzlich zu den Situationsbegehungen erfolgte eine Befragung zu Problemen und Orientierungsstrategien. Die Probanden mit Sehbehinderung wurden in drei Gruppen eingeteilt:

- Gruppe 1: Retinitis pigmentosa (RP)
- Gruppe 2: Trübung der brechenden Medien
- Gruppe 3: beginnende Makuladegeneration und Glaukom

Alle nutzten vor allem lineare Elemente, sogenannte Fluchtpunktgeraden zur Orientierung, wenn diese mit einem ausreichend großen Kontrast auftauchten. Die Fluchtpunktgeraden boten den Probanden dann eine relativ sichere Orientierung. Der Testabschnitt „Wege und Bürgersteige“ zeigte, dass in Wegsituationen Objekte mit einem Kontrast von 0,5 am häufigsten Blickzuwendungen erfuhren. Insgesamt liegt der mittlere Objektkontrast, der die häufigsten Blickzuwendungen hervorrief für alle Situationen bei 0,45. In der überwiegenden Anzahl der Fälle dienten Objekte mit diesem Kontrast, der für die meisten Situationen ausreichend groß war, zur Orientierung. Es wird jedoch auf die Abhängigkeit des notwendigen Kontrasts von Sehwinkel und Objekt hingewiesen. In die Zusammenfassung der Ergebnisse für Orientierungselemente flossen alle in den Tests zu Blickzuwendungen erfassten Elemente wie Handläufe, Türgriffe, Treppenstufen, etc. mit ein.

- *Gruppe 1: Retinitis pigmentosa (RP)* verwendete zu 70% Kontraste zwischen 0,2 und 0,55 zur Orientierung. Der Mittelwert liegt bei  $K = 0,360$ . Kontraste kleiner als 0,2 dienten in weniger als 15% der Fälle zur Orientierung, da sie nicht erkannt wurden. Der mittlere Sehwinkel beträgt  $0,74^\circ$ .
- *Gruppe 2: Trübung der brechenden Medien* verwendet ebenso zu 70% Kontraste zwischen 0,2 und 0,55 zur Orientierung. Der Mittelwert liegt bei  $K = 0,355$ . Der mittlere Sehwinkel beträgt  $0,86^\circ$ .
- *Gruppe 3: beginnende Makuladegeneration und Glaukom* verwendete zu 70% Kontraste zwischen 0,34 und 0,6 zur Orientierung. Der Mittelwert liegt bei  $K = 0,440$ . Der mittlere Sehwinkel beträgt  $0,66^\circ$ .

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Größe der Probandengruppe in diesen Untersuchungen aus nur sechs Personen bestand und daher lediglich erste Aufschlüsse zum Orientierungsverhalten von Menschen mit Sehbehinderungen liefern.



Unter Laborbedingungen wurden anschließend zur Bestimmung von Kontrastschwellen verschiedene kontrastierende Objekte (Poller, Pfosten und Leitlinien unterschiedlicher Breite) in eine Projektion bestehend aus 80 Testbildern realer Straßensituationen eingeblendet und den Probanden präsentiert. Die Mindestkontraste geben Werte an, die 95% der sehbehinderten Testpersonen erkannt wurden. Im Bildvordergrund entsprach die Entfernung der eingeblendeten Objekte 5m, die Objekte im Hintergrund sollten 10m Realentfernung entsprechen. Bilder ohne eingeblendete Objekte verhindern ein Raten der Probanden. Durch das Wechseln der Objekte auf dem fest eingeblendeten Bild der Einkaufsstraße entsteht eine Bewegung. Dies erleichtert die Detektion der Objekte und führte zu einem Testaufbau mit einer Abdeckung des Monitors zwischen den Bildwechseln durch einen weißen Schirm. Die dargebotenen, ausgemessenen Kontraste für Leitlinien konnten nur als mittlere Werte angegeben werden, da der Untergrund der Straßensituation nicht homogen beschaffen war. Es kam zu einer breiteren Streuung der Messdaten, da für den einen Teil der Probanden sich die Leitlinie eher im vorderen Bildausschnitt, für den anderen Teil eher im hinteren Bildausschnitt, in dem der Kontrastwert ein anderer war, befand.

Objekt	Hor. Sehwinkel $\alpha_v/^\circ$	Kontrast K/1
Leitlinie schmal	0,12	+0,04 bis +0,4 -0,02 bis -0,25
Leitlinie breit	0,8	+0,04 bis +0,4 -0,02 bis -0,25

Tabelle 10. Größe und Kontraste der eingeblendeten Leitlinien im Labortest von 1994 (Echterhoff et al. 1994).

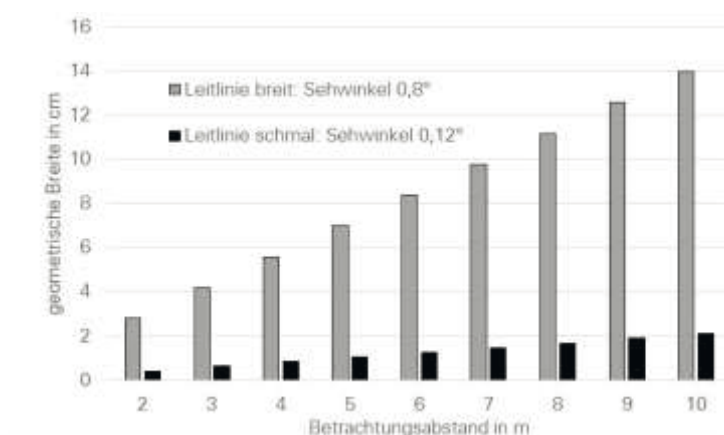


Abbildung 7: Diagramm zur Korrelation zwischen Betrachtungsabstand und geometrischer Breite für zwei Sehwinkel

Es ließ sich in diesem Test ein Zusammenhang zwischen der Größe und dem Kontrast eines Objekts nachweisen. Diese Ergebnisse werden im nächsten *Kapitel 3.2.4 Größe des Sehobjekts* näher beschrieben.

Der letzte Berichtsteil von Echterhoff et al. enthält außerdem die Auswertung der Befragung zur Problemen und Techniken der Orientierung, die wie bereits oben erwähnt, im Rahmen der Feldtests zur Blickzuwendungen durchgeführt wurde. Fragen im Testabschnitt „Wege und Bürgersteige“ lauteten beispielsweise: An was orientieren Sie sich primär beim Laufen auf Bürgersteigen? oder Sind die Orientierungsmöglichkeiten ausreichend? Die Ergebnisse gliedern sich in die Schwerpunktthemen „Probleme“ und „Orientierungshilfen“. Im Wesentlichen orientieren sich die befragten Probanden mit Sehbehinderung dieser Studie nach u. a. am größten Kontrast, Markierungen (wie beispielsweise am Randbereich von Radwegen), Abgrenzungen von Wegführungen, am Verlauf und der Oberflächenbeschaffenheit des Weges.

Echterhoff et al. nahmen auch Messungen an Gehwegmaterialien vor und bestimmten deren Leuchtdichtekoeffizienten. Dabei wurde bereits festgestellt, dass nur mit einer begrenzten Materialauswahl ein überschwelliger, positiver Kontrast hergestellt werden kann. Die Messungen berücksichtigten den trockenen und nassen Zustand der Oberflächen. Die Autoren empfehlen an dieser Stelle eine untersuchte Leitlinie aus weißem Kleinsteinpflaster mit einem Kontrast von 0,56 zum roten Kleinsteinpflaster des Gehbereichs breiter als die vorliegenden 10cm auszuführen. So könnte die Erkennbarkeit für alle Fußgänger mit einer Sehbehinderung verbessert werden. Eine gute Erkennbarkeit trotz geringem Leuchtdichtekontrast von  $K = 0,04$  bei beispielsweise der betrachteten Kombination von Asphalt zum Fahrradweg war dem Farbkontrast der Beläge geschuldet.

In keinem Berichtsteil des Forschungsverbundes Kontrastoptimierung um Echterhoff wird der Einfluss des Reflexionsgrads näher beleuchtet oder untersucht (Echterhoff et al. 1994).

Sehbehinderte Menschen sind in der Lage, geringe Kontraste noch gut wahrzunehmen. 95% der Sehbehinderten in Untersuchungen des Schweizerischen Zentralvereins für das Blindenwesen (SZB) waren in der Lage aneinandergrenzende Flächen mit einem Kontrast von 0,1 zu unterscheiden (Buser 2008). Nach Methling sind Beeinträchtigungen der Kontrastwahrnehmung erst bei Kontrastwerten von 0,3 zu verzeichnen (Methling, 2006). Dies bestätigt auch eine Diplomarbeit von 2009, nach welcher bei ausreichender Objektgröße auch Kontraste von 0,05 noch erkannt wurden (Hagen, 2009).

Eine Diplomarbeit von 2007 untersuchte visuelle Kontraste an Treppenmarkierungen. Zielstellung der Arbeit von Stiebich war, herauszufinden, welche Treppenmarkierungen die beste Erkennbarkeit für Sehbehinderte aufweisen. Es sollte aufgezeigt werden, ob sich weiß oder gelb besser zur Kennzeichnung eignet und ob mit schwarzen zusätzlichen Streifen die Erkennbarkeit der Markierungen auf hellen Materialien erhöht werden kann. Bei 15 Sehbehinderten wurde die Distanz bis zum Erkennen der Treppenmarkierungen im Innenraum gemessen. Die Probanden bevorzugten eindeutig die gelbe Markierung. Als Grenzwert konnte ein Kontrast von 0,5 ermittelt werden, der als Ergebnis der Arbeit für die Markierung von Treppenstufen empfohlen wird. Hagen dokumentierte in ihrer 2009 im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführten Untersuchung zur Bewertung der Kontrastforderung an Haltestellen des ÖPNV, dass über die Hälfte der sehbehinderten Probanden (77 von 135) Kontraste von 0,05 noch erkennen können. Hier wurden Reaktionszeiten als objektives Messkriterium aufgezeichnet, da bisherige Forderungen zu Kontrasten auf subjektiven Probandenurteilen basierten. Für die Untersuchungen des vorliegenden Forschungsvorhabens ist daher die Reaktionszeit ein wichtiges Messkriterium, um festzustellen, ob auf bestimmte Testbilder z. B. sehr schnell reagiert wird und sich daraus eine gute Erkennbarkeit der Kontraste ableiten lässt.

Eine an der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden 2014 durchgeführte Studienarbeit zielte darauf ab, zu ermitteln, ob durch Variation von Messgerät, Beobachtungswinkel, Beleuchtungsbedingungen und Probenmaterial zuverlässige Ergebnisse bei der Messung von Leuchtdichtekontrasten erzielt werden können. Es wurde ein Einfluss erkannt, welcher nicht dem Messverfahren geschuldet ist, sondern durch die innere Struktur (Farbgebung) von Materialproben und deren Oberflächenrauheit zustande kommt. Der Autor sieht weiteren Forschungsbedarf zum Einfluss der Beschaffenheit von Materialproben (Biastoch 2014). Bereits Echterhoff et al. hielten fest, dass sich Menschen mit Sehbehinderung u. a. an der Oberflächenbeschaffenheit eines Weges orientieren (Echterhoff et al. 1994). Auch Buser und Schmidt beschreiben, dass die Höhe einer Struktur (z.B. bei taktilen Markierungen), durch ihre Schattenbildung die Erkennbarkeit eines Elements unterstützen kann (Schmidt, Buser 2014). DIN 32975:299-12 hält fest, dass „[...] die Oberflächenbeschaffenheit der Materialien von Seheobjekt und Umfeld Einfluss auf den Kontrast hat“ (DIN 32975:299-12, Kapitel 4.2.1 Allgemeines). Dieser muss bei der Planung von Kontrasten beachtet werden (DIN 32975:299-12). Wissenschaftliche Untersuchungen, die diesen Einfluss von Oberflächenrauheit (Höhe einer Struktur) und innerer Materialstruktur auf das Wahrnehmen von Leuchtdichtekontrasten präzisieren, gibt es derzeit jedoch nicht. Dies soll daher Inhalt des in 6.2.2 Einfluss der inneren Materialstruktur beschriebenen Untersuchung unter labortechnischen Bedingungen sein.

Zu beachten ist weiterhin, dass bei einigen Oberflächenmaterialien im Außenraum bei Witterungseinflüssen wie Feuchtigkeit eine Veränderung in Farbe und Helligkeit zu beobachten ist. Leuchtdichtekontraste sollten möglichst bei jeder Witterung gewährleistet sein. (BMUB 2016; Schmidt, Buser 2014). Ebenso verursacht Verschmutzung vor allem bei Leitelementen im Boden eine Verminderung der Kontraste. Es empfiehlt sich Verschmutzung und Reinigungszyklen bereits im Planungsprozess zu berücksichtigen. Mindestkontraste sind daher in der Schweiz als Wartungswerte zu verstehen. (Schmidt, Buser 2014). Die deutsche Norm zu Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum fordert, dass die Funktion von Kennzeichnungen dauerhaft erfüllt sein muss. Eine Minderung durch beispielsweise Witterungseinflüsse oder Verschmutzung ist durch regelmäßige Inspektionen zu beheben. (DIN 32975:2009-12). Daraus lässt sich ableiten, dass auch die in Deutschland geforderten Kontrastwerte von 0,4 für Bodenmarkierungen und Kennzeichnungen im Bodenbereich als Wartungswerte zu verstehen sind. Um dieser Kontrastminderung vorzubeugen empfiehlt PRO RETINA Deutschland e. V. die Verwendung von Materialkombinationen, welche die geforderten Kontraste deutlich, jedoch mindestens um 0,1 überschreiten (ProRetina 2012). Dieser Widerspruch zur DIN 32975:2009-12 „Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung“ untermauert die Zielsetzung des vorliegenden Forschungsvorhabens, die Wahrnehmung visueller Kontraste im Hinblick auf Materialeigenschaften und unterschiedliche Materialkombinationen detaillierter zu untersuchen. Eine weitere Maßnahme wäre es, klar definierte Kennwerte für die Ausschreibung von Materialien festzulegen und Hinweise zur Pflege und Reinigung von Oberflächen im Bodenbereich zu geben, die so einen Beitrag zur Vermeidung der Kontrastminderung bzw. –beeinflussung durch beispielsweise auftretende Spiegelungen bei falscher Pflege von Linoleum im Innenraum leisten.

Im 2012 für das schweizerische Bundesamt für Verkehr erstellten veröffentlichten Bericht „Eruierung des für Seheingeschränkte relevanten Blickwinkels auf Objekte im öffentlichen Verkehr bezüglich Kontrolle des gesetzlich geforderten Kontrastes“ werden Erkenntnisse

- zur Darstellung der Sehleistung und des relativen Vergrößerungsbedarfes für Menschen mit einer Seheinschränkung,
- zur *Messung und Darstellung der Sehwinkel*, unter denen optische Indikatoren im öffentlichen Verkehr von Personen mit mäßig starken und starken Seheinschränkungen wahrgenommen werden sowie
- zu *Methoden zur Kontrastbestimmung* an optischen Indikatoren im Öffentlichen Verkehr bereitgestellt.

Für eine gute Erkennbarkeit von optischen Indikatoren wird u.a. die Bedingung genannt, im Umfeld von Informationsträgern und damit im Gesichtsfeld der Beobachter keine zu großen Unterschiede in der Leuchtdichte vorzuhalten, um eine Einstellung der Adaptationsleuchtdichte nicht zu erschweren. „Bei der Adaptationsleuchtdichte handelt es sich um diejenige Leuchtdichte, auf die das Auge adaptiert. Je höher die Adaptationsleuchtdichte, desto besser ist auch das Kontrastsehen um sich bei zunehmender Blendung wieder zu reduzieren.“ (Joos et al. 2012, S.14f). Je größer die Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte im Gesichtsfeld ist, desto besser ist die Adaptationsfähigkeit des Auges, was wiederum zu einer verbesserten Empfindlichkeit für schwache Kontraste führt (Joos et al. 2012).

Für Kontrastmessungen von Bodenmarkierungen geben die Autoren aufgrund der Inhomogenität von Flächen die Empfehlung, sechs nah benachbarte Flächenpaare (d.h. zwölf Messbereiche) möglichst gleichmäßig über die Struktur zu definieren. Die Kontrastwerte der zwölf Messbereiche wurden über den mittleren Kontrast abzüglich einer Standardabweichung berechnet. Kontrastmanipulationen durch geeignete Auswahl des Messbereichs sollen so verhindert werden (Joos et al. 2012).

Bei dieser Forderung ist dringend darauf aufmerksam zu machen, dass einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Kontrast als Produkt- bzw. Materialmerkmal und dem Kontrast in der Anwendungssituation gibt. Die Verfahren der Kontrastermittlung unterschieden sich dabei deutlich.

#### **4.7.2 Größe des Sehobjektes**

Die Wahrnehmung von Kontrasten muss in Abhängigkeit der Objektgröße bestimmt werden. Feine oder schmale Objekte benötigen größere Kontraste als breite oder großflächige bzw. grobe Objekte. (Schmidt, Buser 2014; Echterhoff et al. 1994)

Der Forschungsverbund von 1994 um Echterhoff gibt abschließend Mindestanforderungen und Praxisempfehlungen u.a. zur Planung von Leitlinien. Der in Kapitel 3.2.3 Leuchtdichtekontraste (hell/dunkel) erläuterte Test zur Bestimmung von Kontrastschwellen des Forschungsverbundes Kontrastoptimierung um Echterhoff von 1994 hat lediglich zwei unterschiedliche Dimensionen von Leitlinien („breit“ und „schmal“) untersucht. Leitlinien sollen nach Echterhoff et al. mindestens 10 cm (mit Positivkontrast  $K > 0,35$  bzw. Negativkontrast  $K > -0,5$ ) und maximal 30 cm (mit Positivkontrast  $K > 0,35$  bzw. Negativkontrast  $K > -0,5$ ) breit sein. Der für

die Erkennbarkeit erforderliche Kontrast kann mit zunehmender Breite der Leitlinie geringer angelegt werden. Derselbe Kontrast ist bei einer breiteren Linie besser zu erkennen. Die Höchstbreite wird festgelegt, um zu vermeiden, dass sehbehinderte Personen mit eingeschränktem Gesichtsfeld die Linie bei breiterer Ausführung nicht mehr als Linie, sondern als Fläche wahrnehmen. Zudem enthält der Bericht Empfehlungen zur Farbwahl von Leitlinien, die bei Positivkontrasten weiß bzw. gelb und bei Negativkontrasten schwarz geplant werden sollen. Es gibt keine weiteren Anhaltspunkte für Planer/innen, da die Begriffe „breiter“ bzw. „schmäler“ in Abhängigkeit des Kontrasts ohne konkrete Maßangaben bleiben. Die empfohlenen Mindest- bzw. Maximalbreiten korrelieren nicht mit der aktuell nach DIN 32984:2011-10 „Bodenindikatoren im öffentlichen Raum“ geltenden Vorschrift, Leitstreifen mindestens 30cm und maximal 60cm breit auszubilden. Bei Leitstreifen könne auch Leitlinien geplant werden (Kapitel 5.2.1 Leitstreifen und Kapitel 6.1 Orientierung in Gebäuden - Allgemeines). Diese Diskrepanz bzw. die große Bandbreite an Empfehlungen zur Breite von Leitlinien – auch im internationalen Vergleich – soll daher einerseits Ausgangspunkt für eine im Rahmen dieses Projekts durchgeführte Befragung zur Orientierung von sehbehinderten Menschen in gebauten Beispielsituationen sein. Weitere Erläuterungen zu diesem Vorgehen finden sich in ,0 Die Diskussion der in Deutschland gültigen Normen und der Vergleich mit dem europäischen Ausland zeigen, dass es für verschiedene Kriterien der barrierefreien Gestaltung beispielsweise die Kontrastanforderung unterschiedliche inhaltliche Auffassungen gibt. Diese münden dann entsprechend in unterschiedlichen Kennwerten oder funktionalen Beschreibungen in den entsprechenden Normen.

Diese Unterschiede sowie die damit verbundene Sicherstellung von visueller Barrierefreiheit gilt es, immer im Hinblick auf die deutsche Normung, zu hinterfragen und ihre Funktionalität und Sinnhaftigkeit zu prüfen. Somit können Argumente gewonnen werden, die es möglich machen, die Einflussfaktoren für die positive Unterstützung der eigenständigen Mobilität sehbehinderter Menschen zu beschreiben und damit Fragen, welche die deutsche Normung aufwirft, möglicherweise zu beantworten und Sicherheit sowohl in die Planung als auch die Umsetzung visueller Barrierefreiheit zu schaffen.

Vor allem die Untersuchung Sonstiger Leitelemente sowie der aus den Recherchearbeiten identifizierten Kriterien der visuellen Wahrnehmung mit der zentralen Frage ihrer Ausgestaltung und in der Folge Funktionalität unter bestimmte Randbedingungen und der damit verbesserten Wahrnehmung ist Gegenstand weiterer Schritte des Projektes. Ausgehend von den aufgeworfenen Fragen aus der Normendiskussion sowie dem Vergleich zum Ausland haben sich bestimmte Einflussfaktoren erhärtet, deren Dimension der Beeinflussung und technische

Kriterien unklar sind. Das in den folgenden Abschnitten erläuterte Vorgehen soll der Qualifizierung o.g. Kriterien dienen.

Qualifizierung von Bewertungskriterien durch Evaluation realisierter Projekte'. Andererseits wird in diesen unterschiedlichen Aussagen weiterer Forschungsbedarf zur Abhängigkeit von Größe und Kontrast bei Leitlinien gesehen und ist daher Gegenstand eines Tests, der in 6.3.2 beschrieben ist.

Neben der Arbeit von Echterhoff et al. sind die zahlreichen Arbeiten von Dietmar Böhringer in Deutschland und Fritz Buser in der Schweiz zu erwähnen. Dort sind vor allem Anlagen des ÖPNV, die Gestaltung von Schrift und Beschilderung sowie Treppenmarkierungen im Zusammenhang mit Erkennbarkeit von Gefahren und Unfallverhütung bearbeitet.

Als einer der wenigen im deutschsprachigen Raum beschäftigt sich Böhringer mit den Methoden zur Bestimmung und Überprüfung von barrierefreien Kontrasten. Die 2012 erschienene Veröffentlichung „Barrierefreie Gestaltung von Kontrasten und Beschriftungen“ versucht die Lücke zwischen den in DIN 32975-2009 geforderten Kontrasten und der in der Praxis nur sehr schwierigen, zeit- und kostenintensiven Umsetzung dieser Normvorgaben zu schließen. Er untersucht Kontraste bei (hinterleuchteten) Schriftzeichen sowie bei Treppenmarkierungen. Der Autor benennt eine Forschungslücke in Bezug auf die Variabilität der Breite dieser Markierung in Abhängigkeit vom Kontrastwert. Ziel der in dieser Publikation vom Autor entwickelten Methode (Farb-Vergleichs-Verfahren), welche Farbfächer nutzt, um Kontraste zu planen, überschlägig zu messen und zu kontrollieren, soll es sein, konkrete Fragestellungen von Architekt/innen und Planer/innen besser zu beantworten. Böhringer verweist dazu neben der Berechnung des Leuchtdichtekontrastes durch die Michelson-Formel auf die Berechnung aus Reflexionsgraden  $\rho$  sowie aus Hellbezugswerten  $Y^*$ . Hellbezugswerte werden in Farbtafelwerken bzw. Farbfächern mit angegeben und können daher Architekten zur Kontrastmessung und Kontrolle dienen. Auch diese Methode stößt jedoch an ihre Grenze, da bei Hellwerten  $L^*$  zwischen 67 und 75 bzw. Hellbezugswerten  $Y^*$  zwischen 36,6 und 50 des Ausgangsmaterials sich keine Farbe finden lässt, die beide Normanforderungen ( $K \geq 0,4$  und  $\rho$  der helleren Fläche  $\geq 0,5$ ) erfüllt. Als Ergebnis wird ein deutlich größerer Kontrastwert bei Treppenmarkierungen in Neubauten gefordert.

In einem Bericht zu Untersuchungen des für Seheingeschränkte relevanten Blickwinkels auf Objekte im öffentlichen Verkehr für das schweizerische Bundesamt für Verkehr sind prozentuale Vergrößerungswerte in tabellarischer Form aufgetragen, die für das Lesen von normaler

Schrift bei gegebener Leuchtdichte sowie Leuchtdichtekontrast nötig sind (Joos et al. 2012). Diese Übersicht geht aus der Arbeit von Buser hervor, der die Lesbarkeit von Bildschirminformationen für Sehbehinderte im ÖPNV untersucht hat. In vier Kontraststufen (0,63 / 0,4 / 0,25 / 0,125) wurden Probanden auf Bildschirmen unter Laborbedingungen neben Sehzeichen, Buchstaben, Zahlen und Stationsnamen vor allem Logatome (Kunstworte ohne Sinnhaftigkeit) präsentiert (Buser 2008).

#### **4.7.3 Form**

Wegeführungen sollen rechtwinklig ausgebildet werden, da dies die taktile Orientierung und Raumerfassung unterstützt (DIN 180401:2014-12, Kapitel 4.4.4).

Sonstige Leitelemente müssen im Außenraum durchgehend gestaltet sein (DIN 32984:2011-10, Kapitel 5.2.1, Kapitel 5.9). Größeren gestalterischen Freiraum könnten Unterbrechungen in Leitsystemen bzw. Leitlinien bieten, zumal besonders im Außenraum die Wegeführung nicht selten geschwungen verläuft. Zur Erkennbarkeit von Leitlinien mit Unterbrechungen bzw. zum Zusammenhang zwischen der Größe/Breite dieser Aussparungen und dem notwendigen Kontrast gibt es keine wissenschaftlichen Untersuchungen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

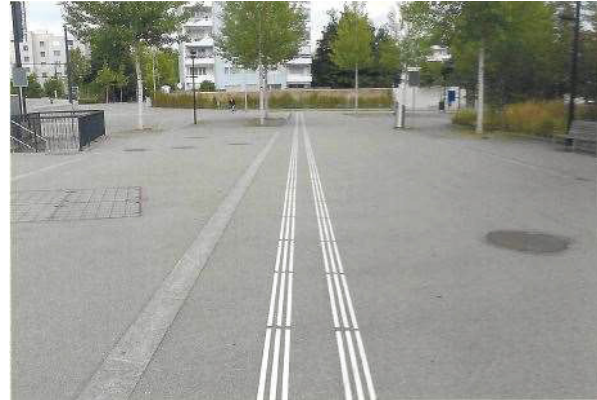
Einschlägige Publikationen zum barrierefreien Bauen zählen zu baulichen Leitsystemen neben dem Leitlinienprinzip auch das Bojenprinzip. Dieses leitet den Nutzer durch eine sequenzielle Aneinanderreihung markanter Punkte, sogenannter Bojen. Diese müssen kontrastreich gestaltet sein. So kann eine zielgerichtete und selbstständige Bewältigung von Wegstrecken gewährleistet werden. Bei komplexen Gebäuden können z.B. lineares und Bojen-Prinzip kombiniert werden (Rau 2012, universalRAUM 2012).

Es liegen Erkenntnisse zur Wirkung unterschiedlicher Materialien vor. Ein besserer Wiedererkennungswert liegt vor, wenn die Wahl der Materialien visueller Informationen einer Tradition folgt. Eine abgenutzte, weiße Linie behält dennoch ihre große Signalwirkung. Der Wiedererkennungswert wird durch geometrische Muster unterstützt und führt zu einer höheren Signalwirkung (Schmidt, Buser 2014).





Leitlinien in der Bahnhofshalle des Flughafen Kloten



Leitlinien auf großen Flächen

Abbildung 8. Ausbildung von Leitlinien in der Schweiz (Schmidt, Buser 2014)



Sicherheitslinie aus Kaltplastik. Zusätzliche Wirkung zum Helligkeitskontrast durch Materialwechsel



Sicherheitslinie aus Betonstein. Helligkeitskontrast durch dunklen Begleitstreifen.



Die Kante zwischen hellem und dunklem Betonstein reicht nicht aus. Sie wird nicht als Sicherheitslinie wahrgenommen.

Abbildung 9. Ausbildung von taktil-visuellen Sicherheitslinien in der Schweiz (Schmidt, Buser 2014)

#### 4.7.4 Räumliche Anordnung

Die Schweizer Fachstelle für behindertengerechtes Bauen konnte im Rahmen von Baumaßnahmen am Hauptbahnhof Zürich, welche zu einer höheren Komplexität und Vielfältigkeit der dortigen Umsteigebeziehungen führen, die Lage der Leitlinien überprüfen. Das bestehende Leitliniensystem sollte zur besseren Orientierung für an einer Sehbehinderung leidende Menschen ergänzt werden. Als neuer Bodenbelag wird Granit verwendet. Eine Befragung sollte die Einschätzung der Nutzung, Komplexität, Vollständigkeit und Erkennbarkeit des derzeitigen Leitliniensystems von sehbehinderten Personen wiedergeben. Die Umfrage mit 26 sehingeschränkten Teilnehmern, die sich überwiegend noch visuell orientieren (17 von 26), hat ergeben, dass die visuelle Erkennbarkeit einer Unterführung des bestehenden Leitliniensystems als sehr schlecht eingestuft wurde, sogar schlechter als die oberirdische oder nächtliche Erkennbarkeit. Eine ausreichende Beleuchtung ist in der Unterführungssituation demnach nicht

gegeben, muss in einem nächsten Schritt gemessen und verbessert werden. Auch Verschmutzung und Verdecken durch Gegenstände tragen zur Minderung der Erkennbarkeit von Leitlinien bei (Schmidt 2013). Für das vorliegende Forschungsprojekt lässt sich ableiten, dass Befragungen von guten Ergebnissen zur Erkennbarkeit von Leitlinien führen. Daher wird diese Methode in Kapitel 0 Die Diskussion der in Deutschland gültigen Normen und der Vergleich mit dem europäischen Ausland zeigen, dass es für verschiedene Kriterien der barrierefreien Gestaltung beispielsweise die Kontrastanforderung unterschiedliche inhaltliche Auffassungen gibt. Diese münden dann entsprechend in unterschiedlichen Kennwerten oder funktionalen Beschreibungen in den entsprechenden Normen.

Diese Unterschiede sowie die damit verbundene Sicherstellung von visueller Barrierefreiheit gilt es, immer im Hinblick auf die deutsche Normung, zu hinterfragen und ihre Funktionalität und Sinnhaftigkeit zu prüfen. Somit können Argumente gewonnen werden, die es möglich machen, die Einflussfaktoren für die positive Unterstützung der eigenständigen Mobilität sehbehinderter Menschen zu beschreiben und damit Fragen, welche die deutsche Normung aufwirft, möglicherweise zu beantworten und Sicherheit sowohl in die Planung als auch die Umsetzung visueller Barrierefreiheit zu schaffen.

Vor allem die Untersuchung Sonstiger Leitelemente sowie der aus den Recherchearbeiten identifizierten Kriterien der visuellen Wahrnehmung mit der zentralen Frage ihrer Ausgestaltung und in der Folge Funktionalität unter bestimmte Randbedingungen und der damit verbesserten Wahrnehmung ist Gegenstand weiterer Schritte des Projektes. Ausgehend von den aufgeworfenen Fragen aus der Normendiskussion sowie dem Vergleich zum Ausland haben sich bestimmte Einflussfaktoren erhärtet, deren Dimension der Beeinflussung und technische Kriterien unklar sind. Das in den folgenden Abschnitten erläuterte Vorgehen soll der Qualifizierung o.g. Kriterien dienen.

Qualifizierung von Bewertungskriterien durch Evaluation realisierter Projekte angewandt.

In den Untersuchungen von Joos et al. zu Sehwickeln von Menschen mit Seheinschränkungen wurden diese mit einem MobileEye Eye-Tracker aufgezeichnet. Dabei wurden Augenbewegungen (monokular, rechtes Auge), Fixationsrichtung und Szenenvideos erfasst. Anschließend erfolgte eine Einteilung der Sehobjekte in Kategorien (Bedienungselement, Bodenmarkierung, Fahrplanmonitor, Informationsobjekt, Treppe oben, Schiebetritt<sup>1</sup>, Treppe unten). Die

---

<sup>1</sup> Schiebetritt beim Zug und Aufmerksamkeitsfelder vom Busausgang aus

Sehwinkel jeder Kategorie wurden einer Häufigkeitsanalyse unterzogen. Sechs Probanden mit einer Seheinschränkung absolvierten mit dem Eye-Tracker einen definierten Parcours im Bahnhof Olten mit Nutzung von Treppen, Rampen, Unterführung, Lift sowie das Betrachten des Fahrplanmonitors, Zugeinstieg und Fahrt nach Aarburg, dabei wurde der Zugwaggon gewechselt. Nach der Ankunft am Zielort folgten noch einmal eine Treppen- und Unterführungsnutzung sowie ein Gang zur Bushaltestelle und eine Busfahrt. Der Parcours wurde von jedem Teilnehmer zweimal, einmal tagsüber und einmal nachts absolviert.

Im Ergebnis wurden Fahrplanmonitore und Informationsobjekte i. A. unter kleinen vertikalen Sehwinkeln wahrgenommen, Bodenmarkierungen und „Treppen unten“ hingegen unter großen bis sehr großen vertikalen Winkeln. Sehobjekte wurden nur sehr selten genau senkrecht (horizontaler Sehwinkel) beobachtet. Größere Sehwinkel wirken kontrastmindernd. Die daraus resultierenden Empfehlungen zielen auf eine praktikable Lösung zur Umsetzung der Messwinkel, so soll für alle optischen Indikatoren (ausgenommen Fahrplanmonitore) ein vertikaler Messwinkel von 45° angesetzt werden (Joos et al. 2012).

#### **4.7.5 Betrachtungsabstand**

Hilary Dalke ist Professorin für Design und Direktorin des Design-Forschungszentrums an der Kingston University. Ihre Studien beschäftigen sich als eine der wenigen mit der Wahrnehmung von Kontrasten durch Probanden unter realen sowie unter Laborbedingungen. Allerdings sind Farbkontraste und nicht Leuchtdichtekontraste Inhalt der Forschungsarbeit. Ausgangssituation für die Untersuchungen ist, dass keine einfach umsetzbaren Richtlinien bzw. Informationen oder kostengünstige Programme für Architekt/innen, Planer/innen und Designer zur Planung und Umsetzung von Farbkontrasten existieren.

Daher wurde auf Grundlage von Feldmessungen und Probandentests in realer Umgebung 2010 ein Software-Prototyp zur Vorhersage der Sichtbarkeit von Schwellenkontrasten von Menschen mit Sehbehinderung entwickelt. Für Endnutzer gibt es laut Publikationen eine interaktive Website mit einem entwickelten numerischen Algorithmus, der es ermöglicht, Vorhersagen über die Sichtbarkeit eines Objekts bereits vor der Planung und bautechnischen Umsetzung zu treffen. Diese Homepage konnte bei weiterer Onlinerecherche jedoch nicht gefunden werden.

Inhalte früherer Arbeiten (Dalke et al. 2003; Dalke 2004; Dalke et al. 2004; Dalke et al. 2009; Dalke O.J.) waren Messungen mit sehbehinderten Probanden und einer Kontrollgruppe, die

an 380 Objekten vor unterschiedlichen Hintergründen in Anlagen des ÖPNV (Hauptbahnhof und Flughafen in London) durchgeführt wurden. Dabei standen sehingeschränkte Personen an einem Entscheidungspunkt, der zur weiteren Wegfindung wichtig ist und drehten sich langsam 360° um die eigene Achse. Dabei nannten die sehbehinderten Probanden den Testleitern alles, was sie erkennen konnten. Folgende Kriterien wurden dabei von den Wissenschaftlern gemessen: Entfernung/Betrachtungsabstand, Beleuchtungsstärke, Sehwinkel, Leuchtdichte von beleuchtete Beschilderungen, Größe des Objekts, Lichtreflexionsgrad der Oberflächen und Schriftgrößen. Die Ergebnisse sind nach Kriterien für jeden Probanden unter Angabe der Seheinschränkung in Radardiagrammen festgehalten. Dalke und ihr Team leiten aus den Untersuchungen ab, dass der Farbton genauso wie Beleuchtung und Kontrast eine wichtige Rolle spielt (Dalke et al. 2003; Dalke 2004; Dalke et al. 2004; Dalke et al. 2009; Dalke O.J.).

Aus diesen Untersuchungen konnten zudem fünf Schlüsselfaktoren, welche die Sichtbar- bzw. Erkennbarkeit von Objekten beeinflussen, ermittelt werden.

Dazu zählen:

- die Sehfähigkeit des Beobachters
- der Farbkontrast zwischen Objekt und Hintergrund (definiert als Unterschied der Hellbezugswerte zweier aneinandergrenzender Oberflächen)
- die Größe des Objekts
- die Höhe des Objekts und
- der Betrachtungsabstand (Dalke et al. 2010).

Diese Kriterien decken sich jedoch nur teilweise mit denen der in der Normengruppe DIN 18040 beschriebenen Faktoren Leuchtdichtekontrast, Größe des Sehobjekts, Form, räumliche Anordnung, Betrachtungsabstand und ausreichende/blendfreie Beleuchtung (DIN 18040-1:2010-10, DIN 18040-3:2014-12). Wie bereits erwähnt kann Farbgebung die Wahrnehmung von Leuchtdichtekontrasten zwar unterstützen, darf sie jedoch nicht ersetzen (DIN 32975:2009-12).

Der räumliche Zusammenhang ist in den nachfolgend beschriebenen Probandentests zur Validierung des Programms der Farbkontrastvorhersagen jedoch nicht gegeben. Insofern stellt sich die Frage, ob die Ergebnisse von Dalke et al. zur Beantwortung von Fragstellungen des vorliegenden Projekts beispielsweise in Bezug auf Größe und Kontrast von Leitelementen hinzugezogen werden können. In Anlehnung an das Vorgehen der Untersuchungen von Dalke et al. könnten jedoch Testmethoden für die flächige Farbgestaltung von Innenräumen

entwickelt werden. Da sich Dalke vor allem mit Farbkontrasten und deren Wahrnehmung beschäftigt, sind ihre Ergebnisse nur begrenzt für den hier untersuchten Forschungsgegenstand verwendbar.

Das Setting der Validierung des Farbkontrastvorhersagen-Programms durch 10 Studienteilnehmer unter Laborbedingungen gestaltet sich wie folgt: Es wurden über 1000 Messungen mit 2187 verschiedenen grauen patches (Lichtreflexionsgrade 5-93%) auf 10 verschiedenen grauen Hintergründen (Lichtreflexionsgrade 5-93%) in verschiedenen Kombinationen aufgebracht. Die quadratischen patches wurden in verschiedenen Größen 0,15m; 0,30m und 0,75m verwendet. Die Probanden gingen auf einer auf dem Boden aufgetragenen Linie so nah an den Versuchsaufbau heran, bis sie ein patch auf dem Hintergrund erkennen konnten. Die Distanz, in der das patch erkannt wurde, wurde aufgenommen. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass die Vorhersagen der entwickelten Software stabil waren. Weiterhin wurden dunkle patches auf dunklem Hintergrund bei gleichem Kontrast (22) in einer größeren Distanz (63%) besser erkannt als helle patches auf hellem Hintergrund (37%) (von 26% der Probanden über 10m Teststrecke). Die Erkennungsdistanz lag für dunkle patches auf dunklem Hintergrund bei 1155m, für helle auf hellem Hintergrund bei nur 680m in Summe über die Anzahl der Probanden.



Abbildung 10. Versuchsaufbau in den Labortests von Dalke (Dalke et al. 2010)

#### **4.7.6 Ausreichende und blendfreie Belichtung bzw. Beleuchtung**

Ein Forschungskonsortium bestehend aus dem Institut für Transportwirtschaft und Logistik der Wirtschaftsuniversität Wien, der Abteilung Bauphysik und Bauökologie der TU Wien, der Transdanubia Augenoptik, der Hilfsgemeinschaft der Blinden und Sehschwachen Österreichs, der Magistratsabteilung 39 der Stadt Wien sowie den Österreichischen Bundesbahnen und

den Wiener Linien beschäftigt sich im Projekt „ViDeA - Visual Design for All“ mit den Anforderungen visueller Barrierefreiheit an die gebaute Umwelt für Menschen mit Seheinschränkungen im Bereich der Personenmobilität. Ausgangspunkt ist der Forschungsbedarf hinsichtlich der Berücksichtigung verschiedener Sehbehinderungen im komplexen Zusammenspiel von Lichtemission und Reflexion sowie die Unsicherheit von Planern und Architekten bezüglich visueller Barrierefreiheit. Ziel des aktuellen Forschungsvorhabens ist es, barrierefreie Licht- und Beleuchtungslösungen in Wechselwirkung mit der gebauten Umwelt zu erarbeiten und zu untersuchen. Weiterhin sollen daraus Planungs- und Gestaltungsempfehlungen für Gebäude abgeleitet werden. Menschen mit Einschränkungen des Sehvermögens soll so das selbstständige Bewegen im öffentlichen Raum erleichtert werden.

Im Projektverlauf wurde eine Datenbank zum Status Quo von Normen, aktuellen Veröffentlichungen und Projekten sowie Hintergrundinformationen medizinischer Art aufgebaut. Weiterhin erarbeitet das Forschungsteam mithilfe von Probandenexperimenten ein Verfahren zur Evaluierung von Licht- und Kontrastanforderungen. Dabei wurde die Wahrnehmung von unterschiedlich ausgeleuchteten bzw. beleuchteten Beschriftungen, Kennzeichnungen und Leitsystemen evaluiert. Die Teilnehmer (mit und ohne visuelle Einschränkungen) mussten in Stationen des ÖPNV bestimmte Aufgaben lösen. Währenddessen wurde ihr Verhalten sowie die Bewegungen (Motion-Tracking) und Blickzuwendungen (View-Capturing) erfasst.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden alle erforderlichen Daten von konkreten Gebäuden des ÖPNV (Use Cases) mit unterschiedlichen Ausleuchtungszuständen und Verbesserungspotential bestimmt und erfasst. Dort sollten Testteilnehmer verschiedene Aufgaben bewältigen, wie beispielsweise das Auffinden des richtigen Bahnsteigs.

Weiterhin sind in diesem Projekt Simulationswerkzeuge weiterentwickelt worden, die es Planern ermöglichen, die Anforderungen von Menschen mit unterschiedlichen Seheinschränkungen besser nachzuvollziehen. Mithilfe bestehender Simulations- und Modellierungswerkzeuge wurde eine web-basierte Abfrage- und Analyseumgebung entwickelt, die es ermöglicht, digitale Gebäudemodelle des ÖPNV mit Beleuchtungskörpern zu versehen. Anschließend können beleuchtungstechnische Kennwerte wie der Kontrast, die Leuchtdichte oder die Beleuchtungsstärke detailliert abgefragt werden. Nach erfolgreichem Testlauf wird nun der Einsatz dieses ViDeA-Tools für die Praxis vorbereitet. (Pont et al. 2016; Wolosiuk et al. 2015) Bei einem geringen Beleuchtungsniveau, ob durch Tages- oder Kunstlicht erzeugt, sind auch die Leuchtdichten von hellen Materialien gering, was unter diesen Bedingungen zu einer er-

schwerten Wahrnehmung der Leuchtdichtekontraste führt. Ein zu intensives Beleuchtungsniveau kann Spiegelungen, spiegelnde Reflexionen und Blendungen hervorrufen, die ebenfalls das Kontrastsehen beeinträchtigen (DIN 32975:2009-12; Schmidt, Buser 2014). Es lässt sich festhalten, dass „bei einer guten Beleuchtung [...] Kontraste erkannt [werden], auch wenn sie im Grenzbereich liegen.“ (Schmidt, Buser 2014, S.9)

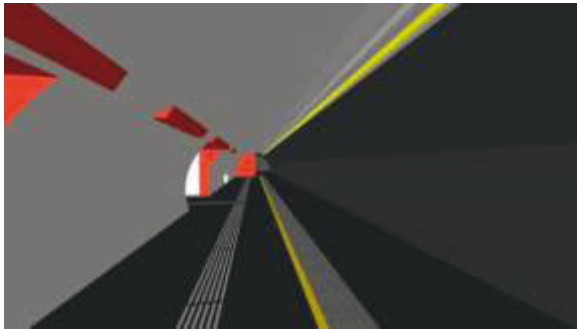


Abbildung 11. Ausgewählter Betrachtungsbereich (Wolosiuk et al. 2015)

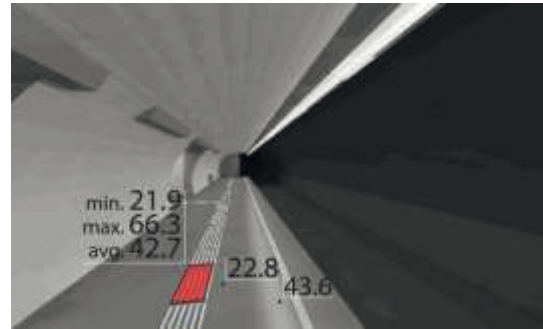


Abbildung 12. Analyse lichttechnischer Parameter (Wolosiuk et al. 2015)

Nach DIN 32975:2009-12 ist auf eine Vermeidung von Blendungen oder Schattenbildungen zu achten. Außerdem muss die gleichmäßige und blendfreie Grundbeleuchtung mit akzentuierter Beleuchtung wichtiger Bereiche und möglicher Ziele gewährleistet sein (DIN 32975:2009-12, Kapitel 4.2.3)

Es sollen möglichst Beleuchtungssituationen geschaffen werden, die eine Verfälschung von Farben ausschließen. Die Einhaltung der geforderten Kontraste darf nicht durch Lichtfarbe beeinträchtigt werden. (DIN 32975:2009-12, Kapitel 4.2.3)

Nach DIN 32975:2009-12 ist „[u]m Kontraste gut wahrnehmen zu können, [...] eine der Sehaufgabe angemessene Beleuchtung erforderlich“ (DIN 32975:2009-12, Kapitel 4.2.3). Was als angemessene Beleuchtung gilt, ist in der Norm nicht weiter definiert. Empfehlungen zu Beleuchtungsstärken für den Innenraum (Wohngebäude und stationäre Altenpflegeeinrichtungen) gibt VDI/VDE-Richtlinie 6008 Barrierefreie Lebensräume. Möglichkeiten der Elektrotechnik und Gebäudeautomation. Blatt 3. Diese gehen über die Mindestanforderungen der DIN EN 12464 hinaus.

In der Auswertung der Befragung zu Problemen und Techniken der Orientierung des letzten Berichtsteils von Echterhoff et al. wird als Problem u. a. eine zu schwache Beleuchtung angegeben. Mangelnde Kontraste sind besonders bei Dunkelheit oder kontinuierlichen Übergängen problematisch (Echterhoff et al. 1994).

Dalke fand in Untersuchungen an 380 Objekten in Anlagen des ÖPNV (Hauptbahnhof und Flughafen in London) heraus, dass diffuses Licht dazu beiträgt, Schattenbildungen abzuschwächen, die sonst häufig von Menschen mit Seheinschränkungen als Stufen oder Höhenversprünge wahrgenommen werden. Im Vergleich zu Normalsichtigen stießen viele Probanden mit einer Sehbehinderung auf Probleme mit allen farbigen Lichtquellen. Auch helles Tageslicht war häufig problematisch (Dalke 2004). Daraus lässt sich ableiten, dass Untersuchungen zu Beleuchtungsbedingungen wie Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe für die Anforderungen an die Kontrastplanung relevant sind und daher Inhalt des Kapitels 0 ist.

#### **4.8 Fazit - Ableitungen für das vorliegende Forschungsvorhaben**

Die Diskussion der in Deutschland gültigen Normen und der Vergleich mit dem europäischen Ausland zeigen, dass es für verschiedene Kriterien der barrierefreien Gestaltung beispielsweise die Kontrastanforderung unterschiedliche inhaltliche Auffassungen gibt. Diese münden dann entsprechend in unterschiedlichen Kennwerten oder funktionalen Beschreibungen in den entsprechenden Normen.

Diese Unterschiede sowie die damit verbundene Sicherstellung von visueller Barrierefreiheit gilt es, immer im Hinblick auf die deutsche Normung, zu hinterfragen und ihre Funktionalität und Sinnhaftigkeit zu prüfen. Somit können Argumente gewonnen werden, die es möglich machen, die Einflussfaktoren für die positive Unterstützung der eigenständigen Mobilität sehbehinderter Menschen zu beschreiben und damit Fragen, welche die deutsche Normung aufwirft, möglicherweise zu beantworten und Sicherheit sowohl in die Planung als auch die Umsetzung visueller Barrierefreiheit zu schaffen.

Vor allem die Untersuchung Sonstiger Leitelemente sowie der aus den Recherchearbeiten identifizierten Kriterien der visuellen Wahrnehmung mit der zentralen Frage ihrer Ausgestaltung und in der Folge Funktionalität unter bestimmte Randbedingungen und der damit verbesserten Wahrnehmung ist Gegenstand weiterer Schritte des Projektes. Ausgehend von den aufgeworfenen Fragen aus der Normendiskussion sowie dem Vergleich zum Ausland haben sich bestimmte Einflussfaktoren erhärtet, deren Dimension der Beeinflussung und technische Kriterien unklar sind. Das in den folgenden Abschnitten erläuterte Vorgehen soll der Qualifizierung o.g. Kriterien dienen.



## 5. Qualifizierung von Bewertungskriterien durch Evaluation realisierter Projekte

### 5.1 Untersuchung realisierter Projekte

#### *Vorgehen*

Für die weitere Qualifizierung von Bewertungskriterien für die visuelle Barrierefreiheit wurden ausgewählte komplexe Außenraumprojekte im Hinblick auf den Stand der erreichten visuellen Barrierefreiheit analysiert. Durch die Untersuchung der realisierten Projekte sollen ergänzend zu den Testverfahren aus Kapitel 4 Hinweise zur Verifizierung der Kriterien visueller Barrierefreiheit erlangt werden.

Es werden im Schwerpunkt komplexe Außenraumsituationen wie Fußgängerzonen und Plätze untersucht, die ein bodengebundenes Leitsystem erkennen lassen.

Grundlage für die Auswahl der Bauprojekte war eine Realisierung in den letzten 10 Jahren sowie die zumindest teilweise Berücksichtigung der Anforderungen zur visuellen Barrierefreiheit der 2010 bzw. 2014 veröffentlichten DIN Normen 18040-1 bzw. 3. Dazu erfolgte im ersten Teil eine Auswertung der realisierten Projekte im Hinblick auf die in der DIN 32984 benannten Anforderungen an die visuelle Barrierefreiheit. Hierfür wurden Informationen der beteiligten Planungsbüros bzw. der Auftraggeber ausgewertet. Im Folgenden sind die Ergebnisse projektspezifisch dokumentiert. Die Materialbezeichnungen, Formate etc. wurden auf Anfrage von den zuständigen Planern bzw. Bauherrn geliefert. Auf der Grundlage der Informationen wurden Materialmuster beschafft bzw. teilweise von den Bauherrn zur Verfügung gestellt, um den Leuchtdichtekontrast der verwendeten Materialien zum Einbauzeitpunkt im Lichtlabor der TU Dresden zu überprüfen. Es wurden insgesamt 10 Projekte analysiert und dokumentiert (siehe Tabelle 11). Die im Anhang beigefügte ausführliche Dokumentation steht Planern/Planerinnen auch als Anschauungsobjekte für Gestaltungsspielräume und –grenzen zur Verfügung. (siehe 12. Anhang)

#### *Fazit*

Im Ergebnis wird deutlich, dass bei 8 von 10 Projekten die Leitelemente als dunkler Partner umgeben von einem hellen Grundbelag ausgebildet sind. Lediglich in 2 Projekten wurde ein dunkler Grundbelag mit hellen Leitstreifen gewählt. Zwar stellen die nach dem Zufallsprinzip ausgewählten Projekte möglicherweise keinen repräsentativen Querschnitt aller Fußgängerbereiche bzw. Platzflächen in Deutschland dar, jedoch ist zu vermuten, dass diese hochwertigen Situationen im Falle einer Umgestaltung tendenziell tatsächlich häufiger aus gestalteri-

schen Gründen in hellen Grundflächen ausgebildet werden, da diese eine freundlichere (Einkaufs-)atmosphäre bieten. Weiterhin besteht aus Gründen der Nachhaltigkeit in Bezug auf energetische und stadtklimatischen Aspekten ebenfalls aktuell die Tendenz helle Belagsflächen zu verwenden, da diese wegen des höheren Reflexionsgrades einen geringeren Energieeinsatz bei der nächtlichen Beleuchtung erfordern und sich aufgrund der geringeren Absorptionseigenschaften in den Sommermonaten weniger aufheizen.

Da bei der Materialverwendung auch regelmäßig regionaltypische Besonderheiten Berücksichtigung finden, ist jedoch davon auszugehen, dass beide weiterhin auch dunkle Beläge mit hellen Leitelementen Verwendung finden werden (vgl. Beispiel Meppen). Diese Variante dürfte darüber hinaus bei veranstaltungsintensiven Orten bevorzugt werden, da die dunkleren Beläge in der Regel eine größere Robustheit gegenüber Verschmutzungen bieten.

Aus der Übersicht der Projekte geht weiterhin hervor, dass häufig hellbeige (6 Mal) und anthrazit(-braune) Materialkombinationen Verwendung finden (6 Mal).

Keines der Beispiele lässt eine bewusste Kombination von Materialien mit starker und homogener innerer Struktur in Leitelement und Grundbelag erkennen.

Für den Grundbelag werden überwiegend geringe bis mittlere Fugenanteile verwendet (gute Überrollbarkeit für Menschen mit motorischen Einschränkungen). Die Ausbildung der Leitelemente variiert sehr stark von der Verwendung von Bodenindikatoroberflächen in auf die Gestaltung abgestimmten Materialien, Entwässerungsrinnen aus Metall oder Stein sowie Materialien mit hohem Fugenanteil. Allerdings steht bei einigen Projekten in Frage, ob die angebotene taktile Struktur tatsächlich für eine Orientierung mit dem Langstock ausreichend ist. Wie bereits erwähnt, sind alle Projekte vor 2014 realisiert worden, also vor der Veröffentlichung der DIN 18040-3. Damit standen die dort dargelegten planerischen Anforderungen für Menschen mit visuellen Einschränkungen nicht zwingend bereits im Fokus der Umgestaltungsaufgaben.

Dennoch ist für 7 von 8 Projekten, für die das Material beschafft werden konnte, festzustellen, dass die in der DIN 18040-3 dargelegte Kontrastanforderung von  $K=0,4$  erfüllt ist.

In keinem der Projekte erreicht jedoch der hellere Partner den geforderten Mindestreflexionsgrad von  $K = 0,5$ . Immerhin 5 von 7 Projekten erreichen einen Reflexionsgrad des helleren Partners von  $\geq R=0,4$  und lediglich 2 Projekte von  $\geq R=0,35$ .

An Hand der ausgewählten Projekten zeigt sich, dass mit aktuell gängigen Bodenmaterialien im Außenraum (Natursteine wie Granite, Dolomit, Grauwacke, diverse Betonsteine und Klinker) die in der DIN 18040-3 formulierten Kontrastanforderungen erfüllt werden können, die geforderten Mindestreflexionsgrade in dem Materialkanon derzeit aber nicht abgebildet sind. Dieses könnte bei den in der Mehrzahl verwendeten großflächig hellen Grundbelägen auf den

Umstand zurückzuführen sein, dass noch hellere Materialien zu Blendungen führen könnten und gleichermaßen zu stärkerer Verschmutzung neigen und daher aktuell im öffentlichen Außenraum selten im Gebrauch sind.



Abbildung 13: Fußgängerzone in Minden mit hellem Grundbelag und deutlich kontrastierendem dunklem Leitelement (Bodenindikator)



Abbildung 14: Fußgängerzone in Herford: Zonierung in Lauf- und Ausstattungzone, Helligkeitskontrast zwischen den Zonen dienen in Verbindung mit Bodenindikatoren als Leitelement



Abbildung 15: Deutlicher Materialkontrast zwischen Randzone und Platzteppich in Emsdetten



Abbildung 16: Fußgängerzone Meppen: Leitelement mit Helligkeitskontrast zum dunklen fugenreicher Klinker

Ort	Limburg		Bergisch-Gladbach		Flensburg	
	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement
Farbe	hellbeige	rötlich	mittelgrau	anthrazit	hellgrau	braun-anthra.
Material	Betonstein	Betonstein	Betonstein	Metall	Naturstein	Metall
Struktur	stark	stark	fein	-	mittel	-
Fugen	gering	Bl	gering	EW	mittel	EW
Taktil		Bl		EW		EW
R / K	R 0,43	K 0,30	-	-	-	-
Baujahr	2011-2015		2011-2013		2008	

Ort	Wesel		Herford		Minden	
	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement
Farbe	hellgrau	dunkelgrau	hellbeige	dunkelgrau	hellbeige	dunkelgrau.
Material	Betonstein	Betonstein	Naturstein	Naturstein	Naturstein	Betonstein
Struktur	homogen	fein-mittel	mittel		fein	homogen
Fugen	mittel	gering	gering	Bl	mittel	Bl
Taktil		-	Bl			Bl
R / K	R=0,35	K 0,40	R=0,40	K 0,40	R=0,38	K 0,72
Baujahr	2011		2015		2012	

Ort	Emsdetten		Meppen		Warburg	
	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement	Grundbelag	Leitelement
Farbe	Hellgraurosa	rot	braun-rot	hellbeige	dunkelgrau	hellbeige
Material	Naturstein	Klinker	Klinker	Betonstein	Naturstein	Naturstein
Struktur	stark	homogen	homogen	homogen	homogen	fein
Fugen	mittel	mittel/hoch	hoch	gering	mittel /hoch	mittel
Taktil	-	-	Fugenanteil	EW Beton	Kleinpflaster	
R / K	-	-	K 0,40	R 0,41	K 0,40	R 0,47
Baujahr	2010		2013		Seit 2010	

Ort	Verden	
		Grundbelag
Farbe	hellbeige	Rot-braun
Material	Betonstein	Klinker
Struktur	homogen	homogen
Fugen	gering	mittel-hoch
Taktil	-	Fugenanteil
R / K	R 0,40	K 0,5
	2013	

Tabelle 11: Übersicht zu analysierten realisierten Projekten (BI = Bodenindikator, EW = Entwässerungsrinne, Struktur = Innere Struktur, Fugen = Fugenanteil, R = Reflexionsgrad, K = Kontrast)

## 5.2 Nutzerbefragung zu realisierten Projekten

In einem zweiten Schritt wurden auf der Basis eines explizit für die ausgewählten Projekte erarbeiteten Fragebogens (siehe Kapitel 12.3) örtliche Nutzer mit Einschränkungen der Sehfähigkeit zur Wirksamkeit und zum Grad der visuellen Barrierefreiheit der Projekte befragt. Da alle ausgewählten Projekte seit mindestens zwei Jahren fertiggestellt gestellt sind, kann ein bereits länger Erfahrungshorizont der Interviewpartner mit den Projekten unterstellt werden. Durch gezielte Befragung von Verbänden und örtlich ansässigen Menschen mit Seheinschränkungen sollen somit Erkenntnisse über die Wahrnehmung und Nutzbarkeit der realisierten visuellen Kontraste gewonnen werden. In der Folge sollen Bezüge zu den im Vorhaben zu qualifizierenden Kriterien hergestellt werden. Durch die praxisnahe Betrachtung können ergänzende Kenntnisse die Entwicklung des Testdesigns der Außenraumteststrecken gewonnen werden. Darüber hinaus können die recherchierten Informationen in die Hinweise für die Planer (siehe Kapitel 12.11) einfließen.

Zur Rekrutierung von Interviewpartnern sind zunächst entsprechende Behindertenvertreter und -verbände in den Orten mit dem Anliegen betraut worden, Kontakt zu ortsansässigen Menschen mit Seheinschränkungen herzustellen. In diesem Schritt stellte sich heraus, dass die Organisation von Menschen mit Behinderung, insbesondere mit Einschränkungen der Sehfähigkeit, regional sehr unterschiedlich ist. Dies erschwerte das Finden von Gesprächspartnern und hat zudem dazu geführt, dass nur für vier der zehn analysierten Projekte eine Nutzerbefragung durchgeführt werden konnte (Minden, Herford, Emsdetten, Meppen, siehe Abbildung 13 bis Abbildung 16).

### *Vorgehen*

In den vier Ortschaften, in denen Interviewpartner gefunden werden konnten, war der Ablauf der Untersuchung identisch. Der Interviewer hat alle Gesprächspartner, einschließlich Personen der Behindertenvertretung, in einem Vorgespräch über das Projekt und den Hintergrund der Befragung aufgeklärt. Dabei wurde auch das Einverständnis für eine Audioaufzeichnung der Gespräche eingeholt. Nach Ablauf des Vorgesprächs haben Interviewer und Gesprächspartner gemeinsam in der Gruppe das jeweilige Projektgebiet begangen. Während des Rundgangs wurde die gesamte Kommunikation der Beteiligten mit einem Diktiergerät aufgezeichnet. Im Nachgang erfolgten eine Transkription der Dateien sowie eine qualitative Auswertung der Gespräche.

Bereits im Vorfeld der Vor-Ort-Gespräche sind Fragestellungen und kritische Punkte durch Befragung der verantwortlichen Planungsbüros oder planenden Stellen der Kommunen erarbeitet worden, um diese dann gezielt durch den Interviewer in die Gesprächsrunde einbringen zu können. Im Nachgang zu den Vor-Ort-Begehungen ist den Gesprächspartnern ein Fragebogen übersandt worden (siehe 12.3). Dieser wurde durch die Teilnehmer ausgefüllt und nach Rücksendung in die Auswertung der Gespräche einbezogen. Über den Fragebogen konnten spezifische Daten zu den Interviewteilnehmern gewonnen werden, wie beispielsweise Angaben zum Farbsehvermögen, Kontrastsehen, Grad der Sehbehinderung, Mobilität sowie zum Umgang mit der Einschränkung.

### *Fazit*

Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl und Projektzahl für die Teilnehmer generiert werden konnten, können keine klaren Tendenzen aus den Interviewergebnissen abgeleitet werden. Am Beispiel von Meppen wird deutlich, dass individuell gestaltete bodengebundene sonstige Leitelemente auch von Besuchern sehr gut erkannt und genutzt werden können. Auch visuelle Unterbrechungen werden unproblematisch verarbeitet (Meppen) bzw. als Merkpunkte an wichtigen Punkten zur Gliederung einer langen Leitlinie gewünscht (Herford). Sonstige Leitelemente, die einen semantischen Bezug zu Leitstreifen aus Bodenindikatoren haben, werden insbesondere von externen Besuchern möglicherweise schneller erfasst. Um hier eine eindeutige Aussage treffen zu können, fehlt bedauerlicherweise ein Interview zu einem vergleichbaren Projekt wie Warburg (hier konnten trotz intensiver Recherche keine Interviewpartner gefunden werden).

Menschen, die sich mit dem Langstock bewegen und noch ein Restsehvermögen aufweisen, nutzten Leitsysteme / Leitelemente vielfach, um den Wegeverlauf neu auszurichten und möglicherweise weniger, um an diesen kontinuierlich entlang zu gehen. In Verbindung mit dem

nahezu in jedem Interview geäußerten Hinweis auf die Gebäudekanten und Gebäudeausprägungen als wichtige Orientierungselemente erklärt sich diese Aussage als Wechsel zwischen Nah- und Fernorientierung. Je nach Häufigkeit des Blickwechsels wird von Zeit zu Zeit eine Neuausrichtung im Nahbereich erforderlich, um das Auftreffen auf Hindernisse zu vermeiden. Während sich gut Sehende im Wesentlichen im Fernblick orientieren und lediglich kurze Prüfblicke im mittleren und Nahbereich nutzen, kehrt sich das Verhältnis mit der Abnahme der Sehfähigkeit um (siehe auch Befragungen der Probanden zur Orientierung). Somit ist für eine praktische Umsetzung der visuellen Barrierefreiheit das Angebot sicherer, hindernisfreier Wegeverbindungen besonders wichtig (Aussage in allen Interviews = größte Sorge der Teilnehmer). Da dieses nicht nur bauliche, sondern auch menschliche Hindernisse betrifft, sind die meisten Menschen mit einer starken Seheinschränkung mit einem Langstock ausgestattet, um selbst als reaktionsschwächerer Verkehrsteilnehmer erkannt zu werden. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass bodengebundene Leitsysteme in der Regel gleichzeitig auch als taktile Elemente genutzt werden.

In den untersuchten Beispielen werden vielfach die aktuell in der DIN 18040-3 verankerten Anforderungen an die Kontraste oder der Reflexionsgrad nicht erreicht. Dennoch ist zumindest in dem Beispiel Meppen, das auch Bestandteil der Interviews war, festzustellen, dass das entwickelte Leitsystem auch für Externe relativ leicht erfassbar ist. Wichtige Aspekte, die in diesem Zusammenhang genannt wurden, war neben dem gut erkennbaren Helligkeitsunterschied die unterschiedliche Rauigkeit von Leitelement (glatt) und benachbarter Oberfläche (fugenreicher Belag, leichte Kante von 8 mm, taktile wirksam), die Durchgängigkeit und Einheitlichkeit des gewählten Systems vom Bahnhof bis in die Fußgängerzone.

Aus allen Interviews wird deutlich, dass ein wichtiger Aspekt eine visuelle Barrierefreiheit zu erreichen, die Kenntnis über der Semantik des jeweiligen Leitsystems darstellt. Es gilt also sowohl leicht zugängliche Informationssysteme für die Menschen mit eingeschränkter Seheinschränkung bereit zu stellen, die anders als blinde Menschen vielfach noch nicht in Verbänden u.ä. organisiert sind, als auch für alle anderen Nutzer, um Fehlnutzungen durch Hindernisse zu vermeiden.



## 6. Qualifizierung der Bewertungskriterien durch Tests

Aus der umfassenden Status Quo Erhebung, die u.a. die Auswertung der DIN-Normen sowie Recherchen zum Stand der Forschung und die Analyse realisierter Projekte umfasste, geht hervor, dass für den Einfluss u.a. der Größe (im Falle von Bodenbelägen der Breite) von Leitelementen und ihrer Form (Fugenbild, Fugenanteil), der räumlichen Anordnung (beispielsweise Unterbrechungen, Fugenverband), des Betrachtungsabstandes (Einfluss Beobachtungsgeometrie) und der Beleuchtung (Einfluss Lichtfarbe/ Beleuchtungsrichtung) auf die Kontrastwirkung aktuell keine validen Untersuchungen vorliegen, aus denen praxisorientierte Informationen abgeleitet werden könnten.

Daher werden zunächst Tests bzw. weitere Untersuchungen erforderlich, um diese Einflussgrößen näher spezifizieren zu können (siehe Tabelle 12). Als Grundlage für die Tests und Untersuchungen dienen Messungen und Aufnahmen einer gängigen Auswahl typischer Innen- und Außenraumbeläge, für die im Lichtlabor der TU Dresden nach dem Messverfahren in Anlehnung an die DIN 32984 systematisch die Leuchtdichtekontraste und Reflexionsgrade und außerdem

Strukturanteile gemessen wurden. Diese dienen zum einen als Grundlage für weitere labor-technische Tests zum Einfluss der Beleuchtung und Beobachtungsgeometrie auf die Kontrastwirkung von Bodenmaterialien.

Zum anderen sollen aufbauend auf und in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Labortests sowie unter Nutzung des dabei gewonnen Bildmaterials zu gängigen Bodenmaterialien im Innen- und Außenraum Tests mit seheingeschränkten Probanden durchgeführt werden.

Mit Hilfe dieser Tests sollen Erkenntnisse zum Einfluss der Oberflächenrauheit, der inneren Materialstruktur sowie über spezifische Zusammenhänge zwischen der Wahrnehmung von bodengebundenen leitenden Elementen und ihrem Fugenbild gewonnen werden. Dabei werden Untersuchungen zur Fugenausrichtung, zum Fugenbild und ihren Grenzbereichen sowie dem prozentualen Fugenanteil an der Gesamtfläche angestellt. Ein weiterer Untersuchungsgegenstand der Probandenuntersuchungen ist der Zusammenhang zwischen Dimensionierung der bodengebundenen Leitelemente und den anzuwendenden Leuchtdichtekontrasten. Hierbei soll durch eine dargebotenen Varianz an Breiten von Leitstreifen und Leitlinien, die diesbezüglich großen Unterschiede in den betrachteten europäischen Normen aufgegriffen und Ansätze für planbare Parameter entwickelt werden (siehe Tabelle 12). Die im Folgenden

vorangestellte detaillierte Analyse der Seh- und vor allen des Kontrastsehvermögens von sehbehinderten Menschen, dient ebenfalls der weiteren Eingrenzung und Präzisierung der dargebotenen Testreihen.

Kriterium	Qualifizierungsbedarf	Methode
<b>Leuchtdichtekontrast</b>	Auswirkungen innerer Materialstruktur/ Fugenbild auf die Kontrastwirkung	Labortechnische Messungen Probantentests (Labor)
<b>Größe des Sehobjektes</b>	Zusammenhang Breite Belagselemente zu Materialkontrast	Probantentests (Labor) Evaluation gebauter Beispiele
<b>Form</b>	Auswirkung Fugenanteil Auswirkung Fugenbild	Probantentests (Labor) Probantentests (Teststrecken)
<b>Räumliche Anordnung des Sehobjektes</b>	Auswirkung Unterbrechungen des Belages Zusammenhang „Kanten“ zu Materialkontrast	Probantentests (Labor) Evaluation gebauter Beispiele Probantentests (Teststrecken)
<b>Betrachtungsabstand</b>	Auswirkung Beleuchtungs-/Beobachtungsgeometrie Auswirkung Oberflächenbearbeitung/ -rauigkeit	Labortechnische Messungen Probantentests (Labor) Probantentests (Teststrecken)
<b>Belichtung/Beleuchtung</b>	Auswirkung von Lichtfarbe Auswirkung von Beleuchtungsarten	Labortechnische Messungen

Tabelle 12: Übersicht Untersuchungsgegenstände mit Qualifizierungsbedarf und Untersuchungsmethode

## 6.1 Analyse des Seh- und Kontrastsehvermögens von sehbehinderten Menschen

DIN 18040-3 (S. 4) führt dazu aus, dass „[...] Menschen mit sensorischen Einschränkungen wie Sehbehinderung, Blindheit, Hörbehinderung [...]“ berücksichtigt werden. Auch DIN 32984 spricht in den Ausführungen für „[...] blinde und sehbehinderte Menschen [...]“ (S. 5). Nach Bundessozialhilfegesetz gilt eine Person in Deutschland als sehbehindert ausschließlich in Abhängigkeit der zentralen Tagessehschärfe (Visus). Wenn dieser Wert auf dem besseren Auge bei bestmöglicher optischer Korrektur 0,3 oder weniger beträgt, liegt eine Sehbehinderung vor. Blindheit liegt bei einem bestmöglichen Visus 0,05 oder kleiner oder aber einem Gesichtsfeld kleiner 5° vor. DIN 32975 – Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung legt „[...] eine Sehschärfe von 0,1 zu Grunde [...]“ (S. 3).

Daraus folgt, dass über das Sehvermögen von Sehbehinderten nur wenig belastbare Annahmen getroffen werden können. Ein Visus von 0,3 bedeutet, dass als kleinste räumliche Struktur bei optimalem Kontrast (Schwarz-Weiß) ein Sehwinkel von etwa 3 Winkelminuten aufgelöst werden kann. Dem entspricht ein Objekt der Ausdehnung von 2 mm, wenn es aus 2 m

Entfernung betrachtet wird. Das Auflösungsvermögen an der Grenze zur Blindheit erlaubt bei besten Sehbedingungen (Schwarz-Weiß-Kontrast, Tagesadaptation, keine Blendung) die Unterscheidung einer Struktur der Ausdehnung von 1,1 cm Ausdehnung in der Beobachtungsentfernung von 2 m. Diese Angaben (siehe Diagramm nachfolgend) beziehen sich auf das bestmögliche Sehvermögen im Gesichtsfeld. Für das Auflösungsvermögen in den räumlichen Bereichen außerhalb dieses Optimums liegen keinerlei Informationen vor.

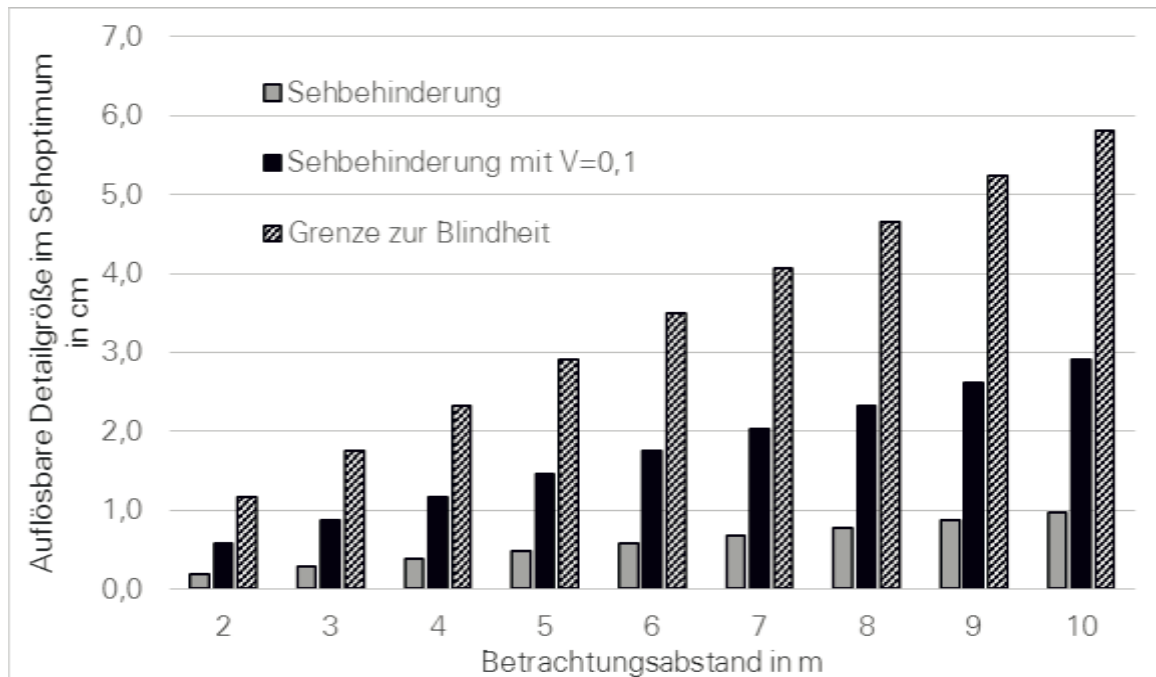


Abbildung 17: Diagramm zum Zusammenhang von Betrachtungsabstand und auflösbarer Detailgröße im Sehoptimum unter Berücksichtigung drei verschiedener Definitionen von Sehbehinderung

Gesichtsfeldmerkmale werden ebenfalls nicht als Kriterium herangezogen. Über das Kontrastsehvermögen oder Einschränkungen bezüglich dieses werden keinerlei Kriterien formuliert oder für die Definition einer Sehbehinderung herangezogen.

Die Darstellungen oben zeigen, dass aus dem räumlichen Auflösungsvermögen nicht die zentralen Einschränkungen für die selbständige Bewegung als Fußgänger erwachsen dürften. Von Sehbehinderten können auf 5m Entfernung bei optimalen Sichtbedingungen Strukturen der Ausdehnung von 3cm aufgelöst werden. Selbst eine Verdreifachung dieser Anforderungen aufgrund geringeren Kontrasts und widrigen Beleuchtungsbedingungen bewirkt, dass auf 5m Entfernung Strukturen der Ausdehnung 10cm räumlich sicher aufgelöst werden können.

Einschränkungen der Barrierefreiheit für Sehbehinderte im Bereich der Bodengestaltung der Verkehrsinfrastruktur können daher schwerlich rein aus dem Auflösungsvermögen resultieren. Wenn Probleme auftreten, sind diese aus anderen Bereichen des Sehvermögens oder

der Nutzungsfunktionalität der Verkehrsinfrastruktur begründet. Ein direkter Bezug zu juristisch relevanten Merkmalen der Sehbehinderung kann jedoch hierfür nicht hergestellt werden.

Von erheblichem Einfluss für die selbständige Mobilität als Fußgänger dürfte beispielsweise die nutzbare Ausdehnung des Gesichtsfeldes sein. Das Vermögen oder Unvermögen, gleichzeitig oder auch sequenziell-kurzzeitig größere Teile einer Szenerie erfassen zu können dürfte in erheblich stärkerem Maße wichtig sein. Damit eng verbunden sind Fragen der Orientierung im Sinne der Wegefindung bei Vorliegen mehrerer Alternativen (z.B. auf ausgedehnten Plätzen oder in komplexen Gebäuden). Für all diese Aspekte ist ein direkter Bezug zum definierenden Merkmal einer Sehbehinderung jedoch nicht möglich.

Gleichwohl müssen Annahmen hierzu zugrunde gelegt werden, wenn Infrastrukturgestaltungen als barrierefrei begründet oder bewertet werden sollen. Wird beispielsweise die alternative Gesichtsfeldeinschränkung der Blindheitsdefinition als untere Grenze herangezogen, bedeutet das, dass von Sehbehinderten, zumindest in einem Teil ihres Gesamtgesichtsfeldes, in jedem Fall Raumausschnitte von 5° gemeinsam erfasst werden können.

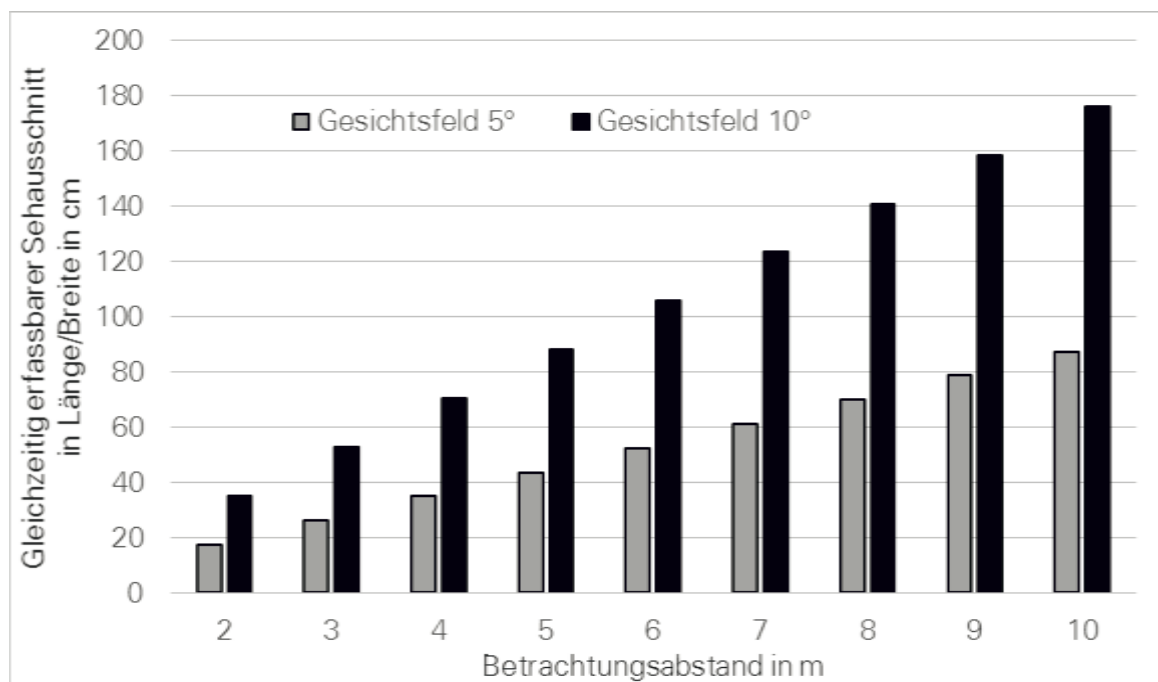


Abbildung 18: Diagramm zum Zusammenhang von Betrachtungsabstand und erfassbarem Sehausschnitt unter Berücksichtigung zwei verschiedener Gesichtsfeldgrößen

Dies bedeutet beispielsweise, dass auf 5 m Entfernung nur räumliche Ausschnitte von weniger als 50 cm gleichzeitig erfasst werden können. Selbst bei Verdopplung dieses Merkmals (10° Gesichtsfeldgröße) kann im Betrachtungsabstand von 5 m die gesamte übliche Breite

eines Gehweges bei weitem nicht gleichzeitig visuell erfasst werden. Hierzu ist es gut vorstellbar, dass durch gezielt gestaltete Merkmale der Infrastruktur eine erfolgreiche Orientierung unterstützt werden kann.

Gleichzeitig folgen bereits ohne solche Merkmale gestalterisch relevante Konsequenzen. Soll beispielsweise die innere Materialstruktur einer Oberfläche als Träger einer Information dienen (z.B. in Form eines Musters oder eines Fugenbildes o.ä.), muss die Struktur so klein sein, dass sich innerhalb des minimalen Gesichtsfeldes ( $5^\circ$ , entsprechend 20 cm auf 2 m Betrachtungsabstand) die Regelmäßigkeit erschließen lässt, sich also wiederkehrende Abfolgen mindestens einmal wiederholen. Gleichzeitig folgt aus dem räumlichen Auflösungsvermögen wie oben diskutiert, dass das kleinste definitionsrelevante Element des Musters einen Sehwinkel von 20 Minuten aufweisen muss. Diesem entspricht die Ausdehnung von etwa 1cm beim Betrachtungsabstand von etwa 2m.

Für ein konkretes Fugenbild bedeutet das, dass bei einer Fugenbreite von mindestens 1cm die einzelnen Steine oder Platten höchstens 8cm Ausdehnung aufweisen dürfen, wenn das Verlegemuster als Informationsträger für alle Sehbehinderten dienen soll. Gleichzeitig muss die visuelle Unterscheidbarkeit von Fugen und Steinen/Platten gegeben sein.

Ein weiterer Anhaltspunkt ergibt sich für die Definition von Linien in Abgrenzung zu Kanten. Unter „Linie“ wird ein schmaler, längs ausgedehnter Flächenanteil verstanden, der als eigenständige Teilfläche wahrgenommen werden soll. Wenn ein solcher Flächenanteil als Linie erkennbar sein soll, müssen sowohl diese Fläche als auch die beidseitig anstehenden Flächen mit einem Blick erfassbar sein. Wiederum für einen Betrachtungsabstand von 2m folgt daraus, dass eine solche Linie höchstens etwa 15cm breit sein darf, wenn sie als „Linie“ erkennbar sein soll. Alle Teilflächen, die breiter als etwa 15cm ausgebildet werden, können nur sicher als „Kante“ erkannt werden. „Kante“ bedeutet, dass entweder der Kontrast mit der einen benachbarten Fläche oder der Kontrast mit der anderen benachbarten Fläche wahrnehmungsrelevant sein kann, nicht jedoch beide gleichzeitig.

Die Zusammengehörigkeit von Flächen muss also ab einer Breite von etwa 20cm erschlossen werden (können), wofür entsprechende Merkmale vorzusehen sind. Gleichzeitig können, diesem Ansatz folgend, Gestaltungsfehlstellen einer Oberfläche in der Ausdehnung bis zu 15cm bei der Bewertung homogener Flächen ignoriert werden, da sie als solche erkannt werden können.

## **6.2 Labortechnische Untersuchungen**

### **6.2.1 *Leuchtdichte- und Reflexionsmessungen an gängigen Belagsmaterialien***

Die Untersuchung des Einflusses der Beleuchtungs- und Beobachtungsbedingungen auf Kontrast- und Reflexionswirkung findet unter Laborbedingungen an der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden statt. Im Fokus steht zunächst die Frage nach dem Vorhandensein des Einflusses und einer Tendenz der Quantität. Für die Untersuchungen werden Leuchtdichtekontraste und Leuchtdichtefaktoren von Materialproben gängiger, im Außen- und Innenraum verwendbarer Materialien ohne Anspruch eines Marktquerschnittes sowohl unter normgerechten Bedingungen nach DIN 32984 sowie bei breiter Variation der Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtungen aufgenommen. Anschließend sollen die Einflüsse auf Kontrastwerte der Materialien statistisch analysiert werden.

### **6.2.2 *Einfluss der inneren Materialstruktur***

Die Untersuchung des Einflusses der inneren Materialstruktur findet unter Laborbedingungen an der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden statt. Hintergrund ist, einen solchen Zusammenhang zunächst messtechnisch zu überprüfen, da zunächst die Frage nach dem Vorhandensein des Einflusses und einer Tendenz der Quantität im Vordergrund stehen. Für die Untersuchungen werden zunächst Leuchtdichteverteilungen von Materialproben gängiger, im Außen- und Innenraum verwendbarer Materialien ohne Anspruch eines Marktquerschnittes unter normgerechten Bedingungen nach DIN 32984 aufgenommen. In der Folge muss der Begriff der ‚Inneren Materialstruktur‘ zunächst definiert werden. Ansatz ist hier die flächenmäßige Anteilsverteilung eines materialspezifischen Hell-Dunkel-Spektrums. Anschließend sollen die Kontrastwerte der Materialien mit denen der inneren Struktur in Beziehung gesetzt werden, um Zusammenhänge auszumachen.

### **6.2.3 *Einfluss der Lichtfarbe***

Die Untersuchung des Einflusses der Lichtfarbe findet unter Laborbedingungen an der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden statt. Für die Untersuchungen werden spektrale Strahldichtefaktoren an Materialproben gängiger, im Außen- und Innenraum verwendbarer Materialien ohne Anspruch eines Marktquerschnittes unter Bedingungen nach DIN 32984 aufgenommen. Durch rechnerische Variation der spektralen Zusammensetzung verschiedener gängiger Leuchtmittel (und damit simuliert der Lichtfarbe) werden die Auswirkungen auf die Kontrastwirkung materialspezifisch untersucht.



Abbildung 19: Zur Veranschaulichung des Einflusses sollen vier exemplarische Darstellungen für den Einfluss der Farbtemperaturen 2000 K, 4000 K, 5800 K und 12000 K (v.l.n.r.) auf eine Materialkombination dienen. Eigene Darstellung.

#### 6.2.4 Ergebnisse

Anhand lichttechnischer Labormessungen werden insgesamt fünf Themenbereiche bearbeitet. Im Zentrum stehen dabei Fragen rund um den Bezug zwischen normbezogenen lichttechnischen Kennwerten und der Kontrastwirkung praktischer Bodenoberflächen.

Zwei Bereiche fokussieren zunächst spektrale Aspekte der Kontrastwirkung. Die erste Themenstellung umfasst den Einfluss des Beleuchtungsspektrums, während sich die zweite Themenstellung mit dem Einfluss des Beobachtungsspektrums auf die Kontrastwirkung beschäftigt.

Von zentraler Bedeutung hinsichtlich des Verhältnisses zwischen normbezogenen Kennwerten und praktischen Kontrastverhältnissen sind Fragen zum Einfluss von Beleuchtungs- und Beobachtungswinkeln. Diesem komplexen Bereich sind die umfangreichen Messungen zur dritten Themenstellung zugeordnet.

Die letzten zwei Bereiche untersuchen den Einfluss von Binnenmerkmalen kontrastierender Oberflächen. In der vierten Themenstellung werden Untersuchungen zur inneren Materialstrukturen, deren messtechnischer Charakterisierung sowie möglichen Einflüssen auf die Kontrastwirkung angestellt. Der fünfte Bereich behandelt abschließend an einem exemplarischen Beispiel den möglichen Einfluss unterschiedlicher Oberflächenbehandlung von Natursteinen.

##### 6.2.4.1 Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung praktischer Bodenmaterialien

Die Barrierefreiheit der meisten Oberflächen soll in aller Regel sowohl unter Tageslicht als auch Kunstlicht gewährleistet werden. Tageslicht unterliegt gewissen Schwankungen in seiner spektralen Verteilung. Wesentlich größere Unterschiede weisen die verschiedenen für die Außen- und Innenbeleuchtung verwendeten Kunstlichtquellen sowohl zum Tageslicht als auch unter einander auf. Gleichwohl bestehen in der Literatur nur unzureichende Kenntnisse über den Einfluss verschiedener Lichtspektren auf die Kontrastwirkung praktischer Materialien.

Dies umfasst auch Bodenmaterialien und betrifft sowohl industriell hergestellte als auch natürlich vorkommende Oberflächen.

An einer Stichprobe von insgesamt 55 Bodenmaterialien wurde der Einfluss von 14 Lichtspektren auf die Kontrastwirkung untersucht. (Siehe 12.11 Probenbeschreibung)

Als exemplarische Lichtquellen dienten 12 verschiedene praktische Kunstlichtquellen aus dem alltäglichen Gebrauch sowie die beiden primären Normlichtarten „A“ und „D65“ (DIN 32984, DIN 32975, DIN 5033-7). In der Abbildung 20 sind alle berücksichtigten Lichtarten dargestellt. Die Verteilung „Glühlampe“ ist aufgrund der Ähnlichkeit zur Normlichtart „A“ nicht dargestellt. Ebenso ist die zweite Version der Natriumhochdrucklampe nicht gesondert dargestellt.

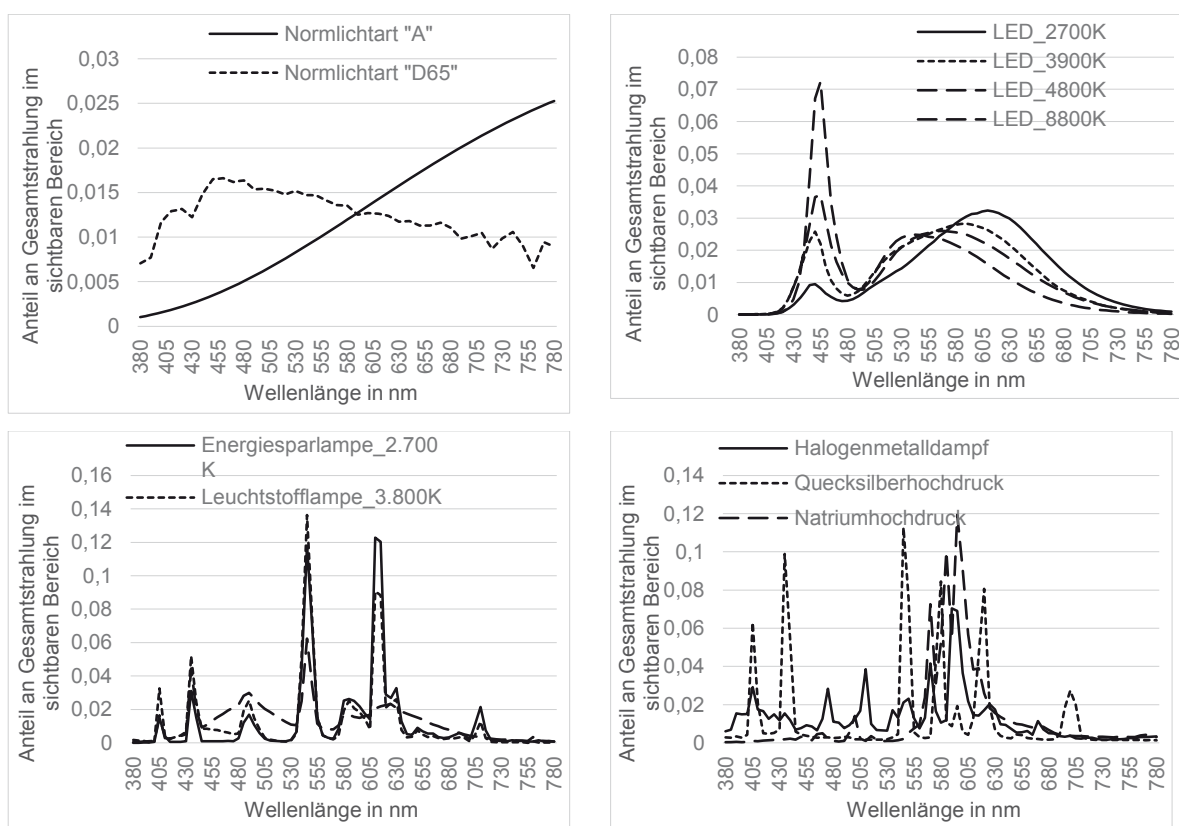


Abbildung 20: spektrale Emissionsverteilungen der berücksichtigten Lichtarten

Als Datengrundlage wurden für alle Bodenmaterialien die spektralen Remissionsverteilungen im Wellenlängenbereich  $\lambda=380-780\text{nm}$  für die Schrittweite  $\Delta\lambda=5\text{nm}$  bestimmt (DIN 5036-1). Diese Messungen fanden in der zur lichttechnischen Bewertung kontrastierender Bodenmaterialien von DIN 32984 vorgeschlagenen Geometrie diffuser Beleuchtung und gerichteter Beobachtung unter  $\alpha=45^\circ$  statt (Abbildung 21).



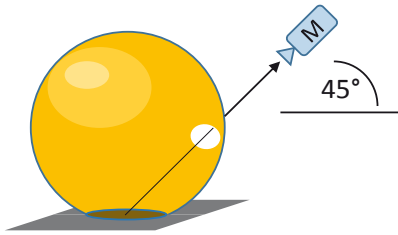


Abbildung 21: diffuse Beleuchtung mittels Ulbrichtskugel und Beobachtung 45° gegenüber Probenoberfläche

Als Messgerät kam ein Spektroradiometer „Specbos 1211 UV“ der Firma Jeti Technische Instrumente Jena zum Einsatz. Das Messgerät befindet sich wie alle weiteren im Projekt eingesetzten Messgeräte in regelmäßiger Wartung und Kalibrierung durch den Hersteller. Als Bezug diente ein Reflexionsnormal „OptoPolymer“ der Firma Sanftleben, München.

Weiterhin wurden mit dem gleichen Spektroradiometer die in Abbildung 20 aufgeführten relativen spektralen Emissionsverteilungen ( $\lambda=380-780\text{nm}$ ,  $\Delta\lambda=5\text{nm}$ ) der praktischen Lichtquellen nach angemessener Einbrenn- und Aufwärmzeit gemessen.

Die Ermittlung des Kontrastes einer Materialpaarung erfolgte auf rechnerischem Weg auf Basis der dargestellten Eingangswerte. Zunächst wurde der Reflexionsgrad einer jeden Oberfläche unter einer bestimmten Lichtart gemäß dem in DIN 5033, Teile 2 und 3 dargestellten Vorgehen für den lichttechnischen Normalbeobachter ( $2^\circ$ -Normspektralwertfunktion) ermittelt. Anschließend wurde basierend auf den Reflexionsgraden zweier beteiligter Oberflächen je Lichtart der Kontrast aller Paarungen gemäß DIN 32984 errechnet. Dieses Vorgehen wurde für alle Lichtarten wiederholt, so dass dadurch 14 verschiedene Kontrastmatrizen aller Oberflächen erzeugt wurden. Die Abweichungen zwischen den Kontrastmatrizen sind ausschließlich auf die unterschiedlichen spektralen Zusammensetzungen der untersuchten Lichtarten zurückzuführen.

#### 6.2.4.1.1 *Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung im Außenbereich*

Neben den beiden Normlichtarten („A“ und „D65“) wurden sieben für die Außenbeleuchtung relevante praktische Lichtquellen berücksichtigt. Es handelte sich um eine Leuchtstofflampe (Gasentladungslampe, Quecksilberniederdruck, ähnlichste Farbtemperatur  $T=3.800\text{K}$ ), zwei LED-Quellen (ähnlichste Farbtemperatur  $T=3.900\text{K}$  bzw.  $T=4.800\text{K}$ ), eine Halogenmetall-dampflampe (Hochdruckgasentladung, ähnlichste Farbtemperatur  $T=3.500\text{K}$ ), zwei Natriumhochdrucklampen (eine ältere Standardversion ähnlichste Farbtemperatur  $T=1.800\text{K}$  und eine farbverbesserte Variante mit ähnlichster Farbtemperatur  $T=1.900\text{K}$ ) sowie eine Quecksilberhochdrucklampe (ähnlichste Farbtemperatur  $T=4.000\text{K}$ ). Der Verwendung im Außenraum wurden 39 Proben zugeordnet (siehe 12.11 Probenbeschreibung).

Vier Oberflächen erfüllten die Anforderung an den Mindestreflexionsgrad der helleren Fläche von  $\rho > 0,5$  gemäß DIN 32984. Die Kombination ergab eine Grundgesamtheit von 741 Kontrastpaaren. Die Kontraste dieser Paarungen wurden zunächst für die in DIN 32984 vorgesehene Beleuchtung mit Normlichtart A ermittelt. Der Kontrastmittelwert beträgt über alle Paarungen  $K_{\text{dif}/45} = 0,28$ . Etwas weniger als ein Drittel der Kombinationen (216 Paare, 30%) erfüllen einen Wert  $K_{\text{dif}/45} \geq 0,4$  (Abbildung 22).

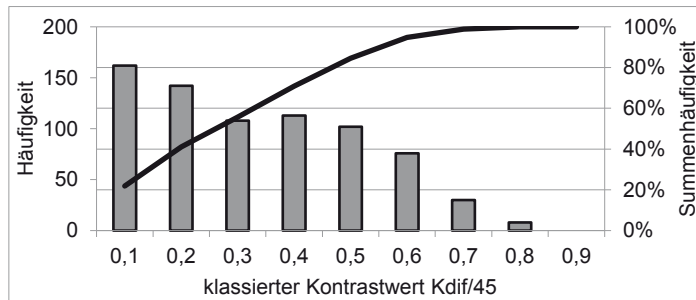


Abbildung 22: Klassierte Kontrastverteilung der 741 Oberflächenpaarungen für den Außenraum bei Normlichtart A

Werden nur Paare mit einem Partner  $\rho > 0,5$  berücksichtigt, verbleiben 152 mögliche Oberflächenkombinationen. Der Kontrastmittelwert beträgt über diese Paarungen  $K_{\text{dif}/45} = 0,37$ . Etwas mehr als die Hälfte dieser Kombinationen (86 Paare, 56%) erfüllen einen Wert  $K_{\text{dif}/45} \geq 0,4$ .

#### *Gegenüberstellung nach Normspektren*

In einem ersten Schritt erfolgte der Vergleich der Kontrastwirkung zwischen der Beleuchtung mit Normlichtart A zu D65. Der Betrachtungsumfang sind 741 Kontrastpaare. Es kommt bei einer bedeutsamen Anzahl von Paarungen nominal zu Kontrastverminderung (64%) und Erhöhung (14%), entsprechend weisen 22% absolut identische Kontrastwerte auf. Somit weisen knapp zwei Drittel der untersuchten Probenpaare unter Tageslicht (D65) nominal geringere Kontraste auf als unter Normlichtart A (glühlampenähnlich).

Wenn eine geringfügige Veränderung von  $\Delta K \leq 0,01$  als praktisch identisch angenommen wird, können 62% der Paare als unverändert bezeichnet werden. Die maximale Veränderung in der Kontrastwirkung allein aufgrund der Beleuchtung mit den beiden Normlichtarten beträgt für die untersuchten Außenbereichsproben  $\Delta K = 0,06$ . Dies betraf sieben Paare. Die Paarungen mit deutlich farbigen Oberflächen (roter und gelber Pflasterstein, chinesischer Marmor) veränderten ihren Kontrast in Abhängigkeit der Normlichtart am stärksten. Für die 231 rein unbunten Paarungen konnte kein praxisrelevanter Einfluss der Normlichtart auf die ermittelte Kontrastwirkung beobachtet werden ( $\Delta K \leq 0,01$ ).

### Gegenüberstellung aller Lichtspektren

Im zweiten Schritt wurde die Bandbreite der Kontrastwirkung aller Paarungen bei Beleuchtung mit allen neun für die Außenbeleuchtung relevanten Lichtarten untersucht. Hierbei wurde zunächst der Absolutwert der Kontraständerung für alle 741 Paarungen betrachtet. Es zeigte sich, dass 268 Paare (36,2%) über alle für die Außenbeleuchtung relevanten Lichtarten eine sehr geringe relative Veränderung im Kontrastwert um nicht mehr als  $\Delta K=0,01$  erfahren. 27,3% der Probenpaare (202) erfahren über die Lichtarten eine bedeutsame Kontraständerung von  $\Delta K \geq 0,05$ . Ein kleiner Anteil der Proben ( $N=17$ , 2,3%) erfahren Kontraständerungen um  $\Delta K \geq 0,1$ . Die maximale Schwankungsbreite einer Probenpaarung über die für den Außenraum betrachteten Lichtarten betrug  $\Delta K=0,13$ .

Die 231 rein unbunten Probenpaarungen weisen über alle Lichtarten Kontrastveränderungen  $\Delta K \leq 0,02$  auf. Die Paarungen mit deutlich farbigen Oberflächen (roter und gelber Pflasterstein, chinesischer Granit) verändern ihren Kontrast in Abhängigkeit der Lichtart am stärksten.

Die größten Veränderungen treten bei der Kombination von gelbem (Probe 29) oder rotem Pflasterstein (Probe 30) mit grauen Oberflächen zwischen Tageslicht (D65) und Beleuchtung mit Natriumdampfhochdrucklampen auf. In beiden Fällen erhöht sich der Kontrast unter Kunstlicht gegenüber dem Kontrast unter Tageslicht deutlich um  $\Delta K \geq 0,1$  (Abbildung 23). Unter den künstlichen Lichtquellen treten die jeweils geringsten Kontraste der beiden Probenpaarungen bei LED auf. Sie liegen nahe den Kontrasten für Tageslicht und damit etwas geringer als bei Messungen unter Verwendung von Normlichtart A ermittelt.

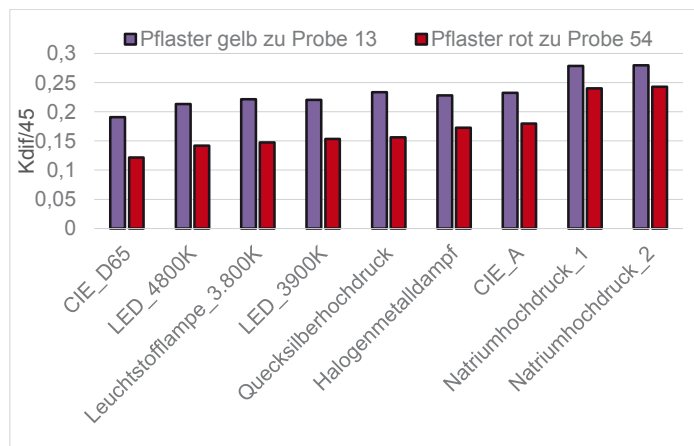


Abbildung 23: Kontrast von Außenraumoberflächen mit größtem beobachteten Einfluss der Lichtart

#### 6.2.4.1.2 Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung im Innenbereich

Für die Untersuchung des Einflusses des Lichtspektrums auf Innenraumbewertungen wurden neben den beiden Normlichtarten („A“ und „D65“) neun für die künstliche Innenbeleuchtung

relevante praktische Lichtquellen berücksichtigt. Es handelte sich um drei Leuchtstofflampenarten, darunter die warmweiße Variante als Kompaktleuchtstofflampe (Gasentladungslampen, Quecksilberniederdruck, ähnlichste Farbtemperaturen  $T=2.700\text{K}$ ,  $T=3.800\text{K}$  sowie  $T=5.600\text{K}$ ), vier LED-Quellen (ähnlichste Farbtemperaturen  $T=2.700\text{K}$ ,  $T=3.900\text{K}$ ,  $T=4.800\text{K}$  sowie  $T=8.800\text{K}$ ), eine Halogenmetallampflampe (Hochdruckgasentladung, ähnlichste Farbtemperatur  $T=3.500\text{K}$ ) sowie eine Glühlampe ( $T=2.700\text{K}$ ).

Der Verwendung im Innenraum wurden 16 Proben zugeordnet. (siehe 12.11 Probenbeschreibung)

Zwei Oberflächen erfüllten die Anforderung an den Mindestreflexionsgrad der helleren Fläche von  $\rho > 0,5$  gemäß DIN 32984. Die vollständige Kombination ergab eine Grundgesamtheit von 120 Kontrastpaaren. Die Kontraste dieser Paarungen wurden zunächst für die in DIN 32984 vorgesehene Beleuchtung mit Normlichtart A ermittelt. Der Kontrastmittelwert beträgt über alle Paarungen  $K_{\text{dif}/45} = 0,35$ . Etwas mehr als die Hälfte der Kombinationen (68 Paare, 56%) erfüllen einen Wert  $K_{\text{dif}/45} \geq 0,4$  (Abbildung 24).

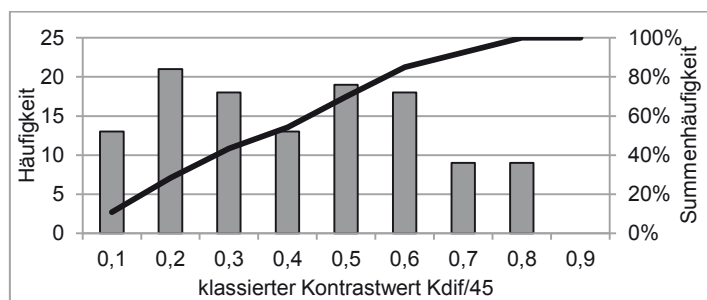


Abbildung 24: Klassierte Kontrastverteilung der 120 Oberflächenpaarungen für den Innenraum bei Normlichtart A

Werden nur Paare mit einem Partner  $\rho > 0,5$  berücksichtigt, verbleiben 30 mögliche Oberflächenkombinationen. Der Kontrastmittelwert beträgt über diese Paarungen  $K_{\text{dif}/45} = 0,45$ . Fast drei Viertel dieser Kombinationen (22 Paare, 73%) erfüllen einen Wert  $K_{\text{dif}/45} \geq 0,4$ .

#### *Gegenüberstellung nach Normspektren*

Wiederum erfolgte zunächst der Vergleich der Kontrastwirkung zwischen der Beleuchtung mit Normlichtart A zu D65. Der Betrachtungsumfang sind 120 Kontrastpaare. Es kommt bei einer bedeutsamen Anzahl von Paarungen nominal zu Kontrastverminderung (67%) und Erhöhung (23%), entsprechend weisen 10% absolut identische Kontrastwerte auf. Somit weisen zwei Drittel der untersuchten Probenpaare unter Tageslicht (D65) nominal geringere Kontraste auf als unter Normlichtart A (glühlampenähnlich).

Der Anteil von Probenpaarungen, die in ihrer Kontrastwirkung vom Beleuchtungsspektrum nur gering beeinträchtigt werden ist für den Innenraum kleiner als im Außenraum. Wenn eine

geringfügige Veränderung von  $\Delta K \leq 0,01$  als praktisch identisch angenommen wird, können 44% der Paare als unverändert bezeichnet werden. Ein bedeutsamer Anteil der Paarungen (N=22, 18%) erfährt Kontraständerungen um  $\Delta K \geq 0,05$  zwischen den beiden Normlichtarten. Die maximale Veränderung in der Kontrastwirkung allein aufgrund der Beleuchtung mit den beiden Normlichtarten beträgt für die untersuchten Innenbereichsproben  $\Delta K = 0,12$  und ist damit auch erheblich höher als der entsprechende Wert für den Außenbereich. Dies betraf vier Paare.

### *Gegenüberstellung aller Lichtspektren*

Weiterhin wurde die Bandbreite der Kontrastwirkung aller Paarungen bei Beleuchtung mit allen elf für die Innenbeleuchtung relevanten Lichtarten untersucht. Hierbei wurde zunächst der Absolutwert der Kontraständerung für alle 120 Paarungen betrachtet. Es zeigte sich, dass 27 Paare (23%) über alle Lichtarten eine sehr geringe relative Veränderung im Kontrastwert um nicht mehr als  $\Delta K = 0,01$  erfahren. Etwa jede vierte Probenpaarung (26%) erfährt über die Lichtarten eine bedeutsame Kontraständerung von  $\Delta K \geq 0,05$ . Ein bedeutsamer Anteil der Proben (N=15, 13%) erfährt Kontraständerungen um  $\Delta K \geq 0,1$ . Die maximale Schwankungsbreite einer Probenpaarung über die für den Innenraum betrachteten Lichtarten betrug  $\Delta K = 0,17$ .

Die 15 rein unbunten Probenpaarungen weisen über alle Lichtarten Kontrastveränderungen  $\Delta K \leq 0,01$  auf. Die Paarungen mit deutlich farbigen Oberflächen (rotes Linoleum, Holz) verändern ihren Kontrast in Abhängigkeit der Lichtart am stärksten.

Die größten Veränderungen treten bei der Kombination von kräftig roter Oberfläche (Probe 43) mit grauen Oberflächen zwischen kaltweißer LED-Beleuchtung und Beleuchtung mit Glühlampe auf. Der Kontrast erhöht sich abnehmender Farbtemperatur deutlich (Abbildung 25).

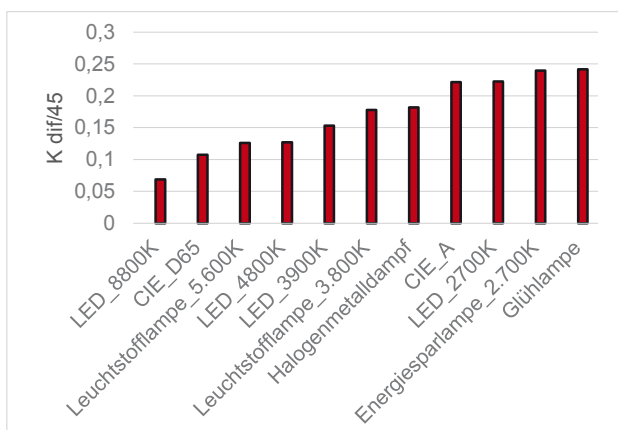


Abbildung 25: Kontrast von Innenraumbooberflächen (Proben 41 und 43) mit größtem beobachtetem Einfluss der Lichtart

Unter den betrachteten Lichtquellen zeigt sich im Zusammenhang mit der Oberflächenauswahl für die Kontraste unter Beteiligung von Proben mit Rotanteil eine bedeutsame negative Abhängigkeit des Kontrastes von der Farbtemperatur. Mit sinkender Farbtemperatur gehen zunehmende Kontraste einher. Da für dominant blaue Oberflächen ein genau umgekehrt verlaufender Zusammenhang erwartet werden kann, ist somit die erhebliche Abhängigkeit der Kontrastwirkung bunter praktischer Oberflächen anschaulich belegt.

#### *6.2.4.1.3 Zwischenfazit zu Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung*

Das Beleuchtungsspektrum hat einen bedeutsamen Einfluss auf die Kontrastwirkung vor allem bunter Oberflächen. Der Einfluss ist für bunte Oberflächen so bedeutsam, dass für diese Oberflächen bei der Beschreibung der Kontrastwirkung eine explizite Berücksichtigung unterschiedlicher beleuchtender Lichtarten erfolgen sollte. Gleichzeitig ist die Bandbreite aus natürlicher und vielen Arten künstlicher Beleuchtung (LED, Nieder- und Hochdruckgasentladung bis hin zu Temperaturstrahlern) so groß, dass eine auf die konkrete Anwendungssituation zugeschnittene Charakterisierung nicht praktikabel erscheint.

Da die Barrierefreiheit der meisten Oberflächen sowohl unter Tageslicht als auch Kunstlicht gewährleistet werden muss, sollte für künftige Anforderungen der Kontrast- und Reflexionsgradnachweis für Normlichtart D65 und Normlichtart A gefordert werden. Damit kann, wie anhand exemplarischer Oberflächen gezeigt wurde, der größte Anteil der lichtartverursachten Kontrastvariation abgebildet werden.

Das Beleuchtungsspektrum hat keinen Einfluss auf die Kontrastwirkung rein unbunter Oberflächenpaarungen. Für unbunte Oberflächenkombinationen (weiß, schwarz, grau) genügt demnach der Nachweis visueller Barrierefreiheit bei einer beliebigen Normlichtart.

#### *6.2.4.2 Beobachtungsspektrum und Kontrastwirkung praktischer Bodenmaterialien*

In der internationalen Literatur sind für farbmtrische Bewertungen zwei verschiedener Normalbeobachter vereinbart. Die Aufgabe entsprechend zugeordneter spektraler Wirkungsfunktionen besteht darin, aus einer strahlungsphysikalischen Farbreizfunktion eine zugehörige Farbvalenz zu begründen. Als Farbvalenzen werden vereinheitlichte Wirkungen visueller Reize bezeichnet, die durch Farbmaßzahlen objektiv beschrieben werden können. Gleiche Farbvalenzen führen für farbnormalsichtige Beobachter unter identischen Wahrnehmungsbedingungen im weiteren Wahrnehmungsverlauf zu identischen subjektiven Farbempfindungen. Jeder Normalbeobachter besteht aus einem Tripel von spektralen Wirkungsfunktionen, die somit die drei Normfarbwerte einer Farbvalenz ergeben. Der mittlere Farbwert („Y“) ent-

spricht der Hellbewertungsfunktion. Diese Bewertungsfunktion ist identisch mit der spektralen Bewertungsfunktion  $v(\lambda)$  lichttechnischer Größen, wie etwa der Leuchtdichte und bildet somit auch den Bezug zwischen spektralen strahlungsphysikalischen Stoffkennzahlen und lichttechnischen Stoffkennzahlen (Reflexionsgrad).

Der Standardbeobachter lichttechnischer Größen entspricht dem 2°-Kleinfeldbeobachter. Die zugehörigen 2°-Normspektralwertfunktionen werden für eine Gesichtsfeldgröße  $\leq 4^\circ$  empfohlen (DIN 5033). Diese Bewertungsfunktion ist gemäß DIN 32984 bzw. DIN 32975 für die Kontrastbewertung unter dem Aspekt der Barrierefreiheit vorgesehen. Einer 2°-Sehobjektgröße entspricht bei 1,5m Beobachtungsentfernung eine Objektausdehnung von etwa 5cm.

Als Großfeldbeobachter ist zusätzlich ein 10°-Normvalenzsystem verfügbar (DIN 5033). Es bestehen zwischen Farbwerten der beiden Beobachtersysteme keine Transformationsfunktionen. Für die Beobachtungsentfernung von 1,5m entspricht einer 10°-Sehobjektgröße eine Objektausdehnung von etwa 26cm. In Abbildung 26 sind die beiden Normalbeobachterfunktionen dargestellt.

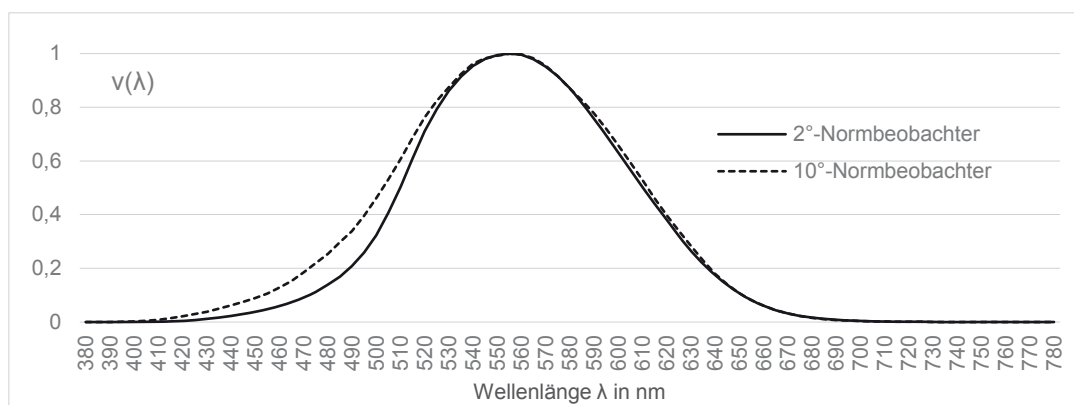


Abbildung 26: spektrale Hellbewertungsfunktion für Kleinfeld- und Großfeldnormalbeobachter

Wie beschrieben handelt es sich um eine spektral verschiedene Bewertung. Für den Großfeldbeobachter erfolgt insbesondere im Blaubereich ( $\lambda=450\dots 500\text{nm}$ ) eine erheblich stärkere Gewichtung entsprechender Strahlungsanteile verglichen mit dem Kleinfeldbeobachter (teilweise doppelter Wichtungswert). Ein eventueller Einfluss sollte sich daher stärker für bunte als für unbunte Oberflächen zeigen. Um den praktischen Einfluss auf die Ausprägung des Kontrastes bei Bodenmaterialien zu untersuchen, wurden für alle im vorhergehenden Kapitel betrachteten Oberflächen den Innen- und Außenraumes Kontrastpaare gebildet. Die vollständige Kombination ergab rund 1.450 Paare.

Die Ermittlung des Kontrastes einer Materialpaarung erfolgte auf rechnerischem Weg auf Basis der bereits im vorangegangenen Kapitel dargestellten Eingangswerte (spektrale Remissionsverteilungen). Als beleuchtende Lichtarten wurden die beiden Normlichtarten A und D65

verwendet. Für jede der beiden Normlichtarten wurde der Reflexionsgrad einer jeden Oberfläche für den lichttechnischen Normalbeobachter ( $2^\circ$ -Normspektralwertfunktion) als auch den Großfeldbeobachter ( $10^\circ$ -Normspektralwertfunktion) ermittelt.

Anschließend wurde basierend auf den Reflexionsgraden zweier beteiligter Oberflächen je Lichtart und Beobachter der Kontrast aller Paarungen gemäß DIN 32984 errechnet. Die Abweichungen zwischen den beiden Kontrastmatrizen einer Lichtart sind ausschließlich auf die unterschiedlichen spektralen Bewertungen der Normalbeobachter zurückzuführen.

Für die Normlichtart A ergibt sich in Gegenüberstellung  $2^\circ$ - zu  $10^\circ$ -Normbeobachter über alle untersuchten Probenpaarungen ein maximaler Kontrastunterschied  $\Delta K < 0,01$ . Für die Normlichtart D65 ergibt sich ein geringfügig höherer Einfluss. Über alle untersuchten Probenpaarungen konnte ein maximaler Kontrastunterschied  $\Delta K < 0,02$  für die Gegenüberstellung  $2^\circ$ - zu  $10^\circ$ -Normbeobachter ermittelt werden. Es kommt im beschriebenen geringen Umfang sowohl zu Kontrasterhöhungen als auch Kontrastverminderungen. Eine Differenzierung nach Außen- und Innenraumproben lohnt vor dem Hintergrund des geringen Effektes nicht.

Selbst für die deutlich bunten Oberflächenproben ist der Einfluss  $2^\circ$ - versus  $10^\circ$ -Normbeobachter unter praktischen Gesichtspunkten von untergeordneter Bedeutung. Etwas größere Ausprägungen können für hier nicht untersuchte, dominant blaue Oberflächen erwartet werden.

Gleichwohl sprechen die typischen Ausdehnungen von Blindenleitstreifen nach DIN 32984 mit  $b=30\text{cm}$  für eine Bewertung anhand  $10^\circ$ -Beobachter. Alle flächenhaft kontrastierenden Anordnungen könnten daher problemlos nach  $10^\circ$ -Beobachter bewertet werden. Allerdings sind insbesondere unter den „sonstigen Leitelementen“ nach DIN 32984 einige Gestaltungen aufgeführt, die auch erheblich kleinere Abmessungen im Bereich 5-10cm Breite aufweisen können, wie beispielsweise Rasenkanten oder Bordsteine.

Rein geometrisch entsprechen Objektausdehnungen von etwa 5cm bei 1,5m Beobachtungsentfernung einem  $2^\circ$ -Beobachtungswinkel. Die für eine solche räumliche Auflösung notwendige Sehschärfe beträgt  $V < 0,01$ , wäre also im Bereich der Sehbehinderung nicht das kritische Moment. Allerdings ist keinesfalls vorauszusetzen, dass sich die von Sehbehinderten genutzten Gesichtsfeldbereiche mit denjenigen Bereichen decken, die von normalsichtigen Beobachtern zur Ermittlung der  $2^\circ$ - bzw.  $10^\circ$ -Bewertungskurven genutzt wurden. Im Gesamtfazit ist die Berücksichtigung einer Unterscheidung nach Kleinfeld- und Großfeldnormalbeobachter bei der Weiterentwicklung des Normen- und Richtlinienwerkes für die Bewertung der visuellen Barrierefreiheit daher wahrscheinlich entbehrlich.



#### *6.2.4.3 Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie als Einfluss auf die Kontrastwirkung*

Die messtechnische Beschreibung der Kontrastwirkung von Bodenmaterialien vor dem Hintergrund visueller Barrierefreiheit erfolgt in aller Regel als Leuchtdichtekontrast. Die Definition einer Leuchtdichtepaarung als Kontrast erfordert neben spektralen Merkmalen der beleuchtenden Lichtart und der spektralen Hellbewertung (siehe vorangegangene Kapitel) für alle praktischen Materialien auch Festlegungen zur Geometrie von Beleuchtung und Beobachtung. In Abhängigkeit von oberflächengeometrischen Merkmalen (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.) unterscheiden sich praktische Oberflächen erheblich in Art und Umfang beleuchtungs- und beobachtungsabhängig variierender Reflexionseigenschaften. Bei einer allseitig gleichmäßigen Beleuchtung und bezogen auf die Oberfläche nicht zu flachen Beobachtung wirken sich oberflächengeometrische Unterschiede verschiedener Materialien weniger stark auf den jeweiligen Reflexionswert aus. Für die rein helligkeitsbezogene Kontrast- und Reflexionsgradbewertung nach gängigen Normen (DIN 32984) ist daher die Beschreibung unter diffuser Beleuchtung und Beobachtung mit  $\alpha=45^\circ$  bezogen auf die Probenoberfläche ausgezeichnet geeignet.

Praktische Situationen mit entsprechenden typischen Beleuchtungsanordnungen und Beobachtungsstandorten gegenüber kontrastierenden Bodengestaltungen können sich erheblich von der unter Normungsgesichtspunkten günstigen Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie unterscheiden. Insbesondere Situationen mit künstlicher Beleuchtung, aber auch Situationen mit Tageslichtbeleuchtung im Kontext gebauter Umgebung weisen häufig stark gerichtete Beleuchtungen auf. Zudem ist die typische Orientierungsweite sehbehinderter Personen gegenüber großflächigen Raumstrukturen nicht zwingend auf 1-2m Umfeld begrenzt, wie es einem Betrachtungswinkel von  $45^\circ$  gegenüber dem Boden entsprechen würde, sondern kann durchaus aus 10m oder mehr betragen.

Um einen ersten systematischen Eindruck zum Umfang des Einflusses gerichteter Beleuchtung unterschiedlicher Richtungen und Beobachtung aus verschiedenen Beobachtungsentfernungen auf die Kontrastwirkung praktischer Oberflächen zu ermitteln, wurden unter kontrollierten Bedingungen an insgesamt 45 Oberflächen Leuchtdichtemessungen bei entsprechender Variation im lichttechnischen Labor vorgenommen.

Dazu wurde eine gerichtete Lichtquelle gegenüber der jeweiligen Probe in horizontaler und vertikaler Orientierung positioniert. Die Positionierung erfolgte anhand eines Goniometers mit hoher Wiederholgenauigkeit (Abweichung  $<0,1^\circ$ ) im horizontalen und vertikalen Beleuchtungswinkel. Als Lichtquelle wurde ein Laborscheinwerfer mit Konstantlichtstromregelung für eine zeitliche Schwankung kleiner 1% mit einer Lichtart ähnlich Normlichtart A verwendet.

Die Messungen erfolgten anhand einer ortsauflösenden Leuchtdichtemesskamera LMK5 der Firma TechnoTeam, Ilmenau.

Für jede Probe wurden die identischen 26 Beleuchtungspositionen realisiert. Sie bestanden aus jeweils 5 vertikalen Beleuchtungsrichtungen ( $\gamma=15^\circ/30^\circ/45^\circ/60^\circ/75^\circ$  bezogen auf die Probenormale), die für 5 verschiedene horizontale Beleuchtungsrichtungen ( $\beta=0^\circ/45^\circ/90^\circ/135^\circ/180^\circ$  bezogen auf die Betrachtungsrichtung) realisiert wurden sowie aus der senkrechten Beleuchtung ( $\gamma=0^\circ$ ). Für jede Beleuchtungspositionen wurden Leuchtdichtewerte für 5 Beobachtungsrichtungen ( $\alpha=45^\circ/25^\circ/15^\circ/10^\circ/5^\circ$ ) ermittelt.

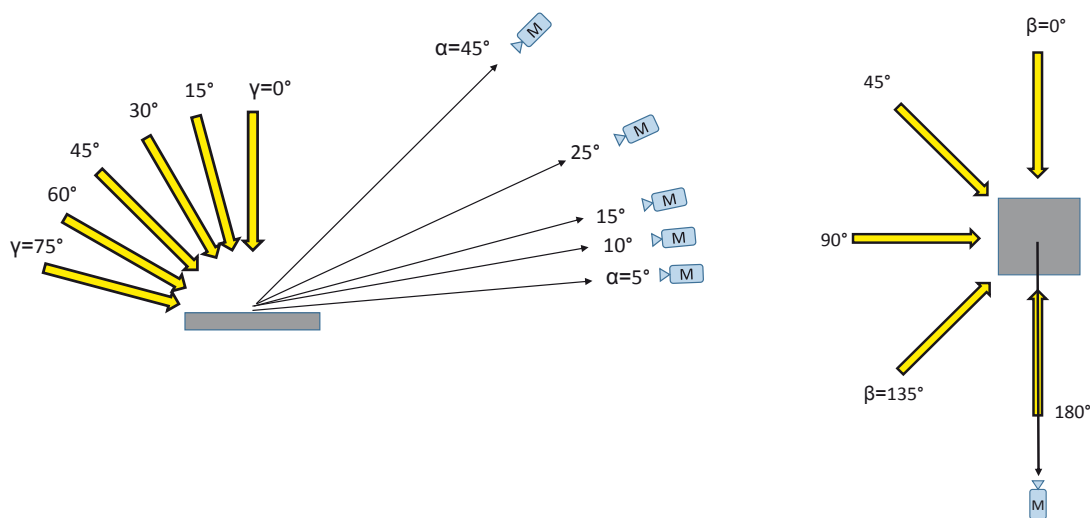


Abbildung 27: Beleuchtungs- und Beobachtungsvariation für Labormessungen

Im Ergebnis der beschriebenen Messungen lagen für jede untersuchte Oberfläche Leuchtdichtewerte zu 128 Beleuchtungs- und Beobachtungskombinationen vor, da aufgrund von geometrischer Verdeckung bei  $\beta=180^\circ$  die beiden Kombinationen  $\gamma=45^\circ/\alpha=45^\circ$  sowie  $\gamma=75^\circ/\alpha=25^\circ$  keine Messwerte liefern konnten. Für jede der 128 Kombinationen konnte auf Basis der Messwerte eine Kontrastmatrix aller paarweisen Probenkombinationen (990 Paare) ermittelt werden.

In Anschauung der somit vorliegenden rund 127.000 Kontrastwerte wird der erhebliche Einfluss der Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie deutlich. Keine Oberflächenpaarung zeigt über die untersuchte Bandbreite an Geometrien auch nur annähernd konstante Kontrastwerte. Für alle Probenpaarungen finden sich gegenüber dem Kontrastwert unter Normbedingungen ( $K_{dif/45}$ ) Situationen, in denen ein erheblich höherer sowie erheblich niedrigerer Kontrastwert zu verzeichnen ist.

Um das Ausmaß des Einflusses unter praktischen Bedingungen abschätzen zu können, wurden die korrespondierenden Kontrastwerte für einige exemplarische praktische Situationen

aus dem Außen- und Innenraum zusammengestellt. Der in allen diesen Situationen angenommene Beobachter mit Seheinschränkungen blickt entlang einer kontrastierenden Flächenkante, die von zwei benachbarten Materialien gebildet wird.

#### 6.2.4.3.1 Exemplarische Situationen für den Außenraum

Als Mustersituationen für den Außenraum wurden 5 exemplarische Betrachtungsszenarien erstellt und auf Basis der ermittelten beleuchtungs- und beobachtungsabhängigen Kontrastwerte hinsichtlich der Kontrastverhältnisse innerhalb jeder Situation untersucht. Dabei wurde für den Außenraum unterstellt, dass Beobachtungsentfernungen bis über 15m relevant sind. Weiterhin wurde korrespondierend mit dem Lichtmodell eines einigermaßen gerichteten natürlichen Tageslichtes als auch einer regelmäßig angeordneten künstlichen Außenbeleuchtung mit steigender Beobachtungsentfernung primär der Beobachtungswinkel variiert, während der Beleuchtungswinkel als nahezu konstant angenommen werden kann.

Je Situation wurden für die Kontrastpaarungen aus 30 Proben von Oberflächen für den Außenraum (435 Paarungen) die entstehenden Kontrastverhältnisse betrachtet. Zur Charakterisierung und als Bewertungshintergrund wurde zunächst die entsprechende Kontrastmatrix für die Normbedingung ( $K_{\text{dif}/45}$ ) ermittelt. Hierbei zeigte sich, dass etwa eine von vier der untersuchten Kombinationen (112 Paarungen) die Kontrastforderung  $K_{\text{dif}/45} > 0,4$  aus DIN 32984 erfüllen.

#### Situation A-1 „Licht von oben“

Die erste der exemplarischen Szenarien simuliert den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei senkrechter Beleuchtung, wie sie etwa bei hohem Sonnenstand auftritt.

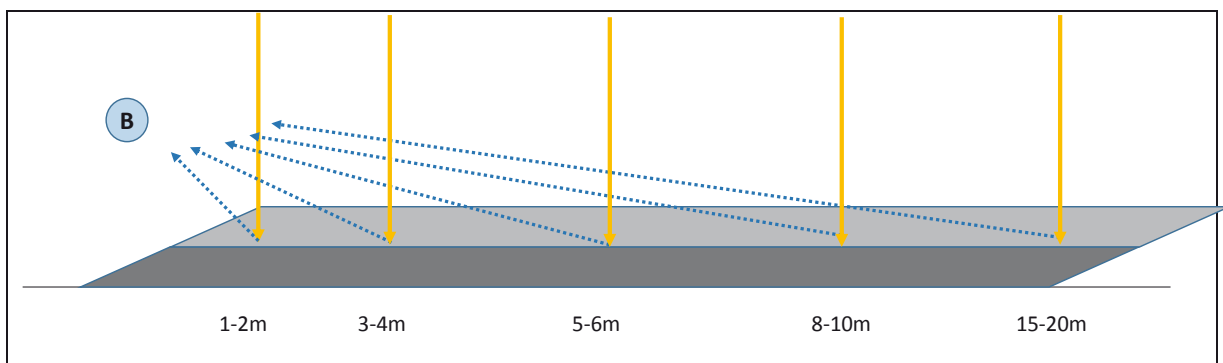


Abbildung 28: Situation A-1, Licht von oben

In einer ersten Auswertung wurde für diese Situation untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 29 ist dargestellt, für wie viele Oberflächenpaarungen sich der Kontrastwert innerhalb der Situation wie stark verändert. Dabei zeigte sich, dass praktisch alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,05\dots 0,15$ . Das bedeutet, dass bereits ausschließlich durch veränderten Beobachtungswinkel aufgrund veränderter Beobachtungsentfernung merkliche Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien eintreten. Für etwa jede vierte Paarung in der Situation „Außenraum Licht von oben“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,1$ .

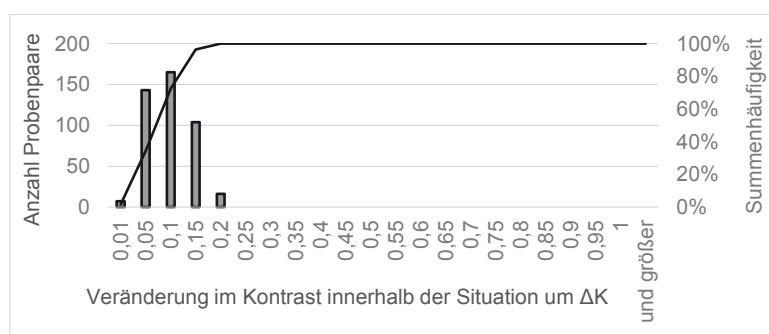


Abbildung 29: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-1

In einem zweiten Auswertungsschritt wurde weiterhin untersucht, ob es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Eine Kontrastumkehr liegt vor, wenn eine bestimmte Materialkombination für unterschiedliche Beobachtungsentfernungen sowohl Negativ- als auch Positivkontraste aufweist. Das ist dann der Fall, wenn die hellere der beteiligten Oberflächen für einen Teil der Szenerie dunkler als der Kontrastpartner erscheint. Die Ursache beleuchtungs- und/oder beobachtungsverändert variierender Reflexion liegt in aller Regel in den geometrischen Oberflächenmerkmalen der Proben begründet (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.). Aus dem Vorliegen einer Kontrastumkehr folgt, dass es einen oder mehrere Teilabschnitte im Kontrastverlauf geben muss, in dem der kleinflächige Kontrastwert praktisch Null ist und somit kein durchgängiger Leuchtdichtekontrast vorliegt.

Bei 32 der 435 Paarungen (7%) kommt es in dieser Situation A-1 „Licht von oben“ zu einer Kontrastumkehr. Dies betrifft 29 Paarungen, deren Normkontrast  $K_{\text{dif}/45} < 0,1$  ist und 3 Paarungen, deren Normkontrast  $0,1 \leq K_{\text{dif}/45} < 0,2$  ist. Beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes einer Oberflächenpaarung  $K_{\text{dif}/45} > 0,4$  kommt es bei den untersuchten Außenraumbooberflächen zu keiner Kontrastumkehr für senkrechte Beleuchtung.

### Situation A-2 „Licht schräg von vorn“

Die zweite exemplarische Situation stellt den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei Beleuchtung von vorn dar, wie sie etwa beim Blick gegen mittleren Sonnenstand auftritt.

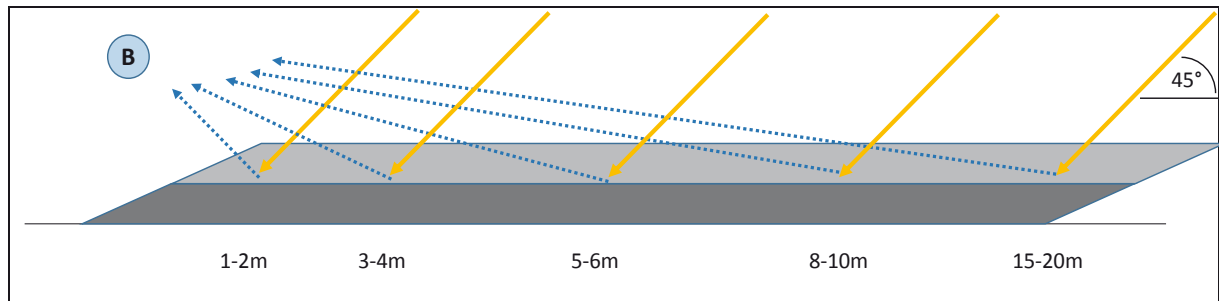


Abbildung 30: Situation A-2, Licht schräg von vorn

Zunächst wurde für diese Situation untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 31 ist dargestellt, für wie viele Oberflächenpaarungen sich der Kontrastwert innerhalb der Situation wie stark verändert. Dabei zeigte sich, dass alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,1 \dots 0,3$ . Das bedeutet, dass bei schrägem Gegenlicht stärkere Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien eintreten als bei senkrechtem Lichteinfall. Für jede zweite Paarung in der Situation „Außenraum Licht schräg von vorn“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,15$ .

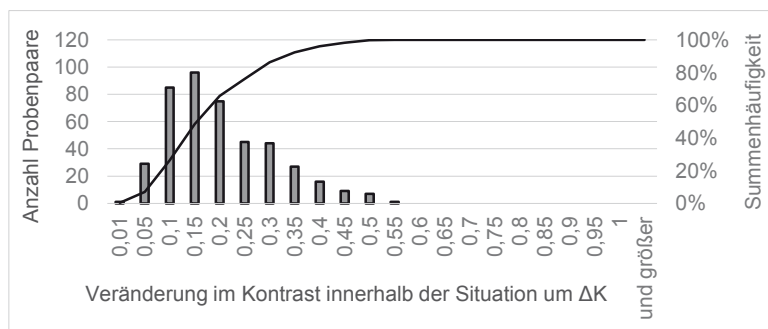


Abbildung 31: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-2

Weiterhin wurde untersucht, ob es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Eine Kontrastumkehr liegt vor, wenn eine bestimmte Materialkombination für unterschiedliche Beobachtungsentfernungen sowohl Negativ- als auch Positivkontraste aufweist. Daraus folgt,

dass es einen oder mehrere Teilabschnitte im Kontrastverlauf geben muss, in dem der kleinflächige Kontrastwert praktisch Null ist und somit kein durchgängiger Leuchtdichtekontrast vorliegt. Bei 95 der 435 Paarungen (22%) kommt es in dieser Situation A-2 „Licht schräg von vorn“ zu einer Kontrastumkehr.

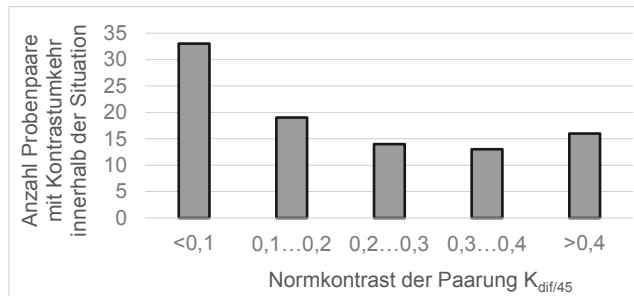


Abbildung 32: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-2

Kontrastumkehr bei schrägem Gegenlicht betrifft Paarungen aller Kontrastbereiche (Abbildung 32). Auch das Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes einer Oberflächenpaarung  $K_{\text{diff}/45} > 0,4$  ist kein Indikator dafür, ob es zu einer Kontrastumkehr kommt.

#### Situation A-3 „Licht flach von vorn“

Die dritte exemplarische Außenraumszene bildet den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei gerichteter Beleuchtung niedriger Höhe von vorn dar, wie sie etwa beim Blick gegen niedrigen Sonnenstand oder bei geringen Lichtpunkthöhen in der Außenbeleuchtung auftritt.

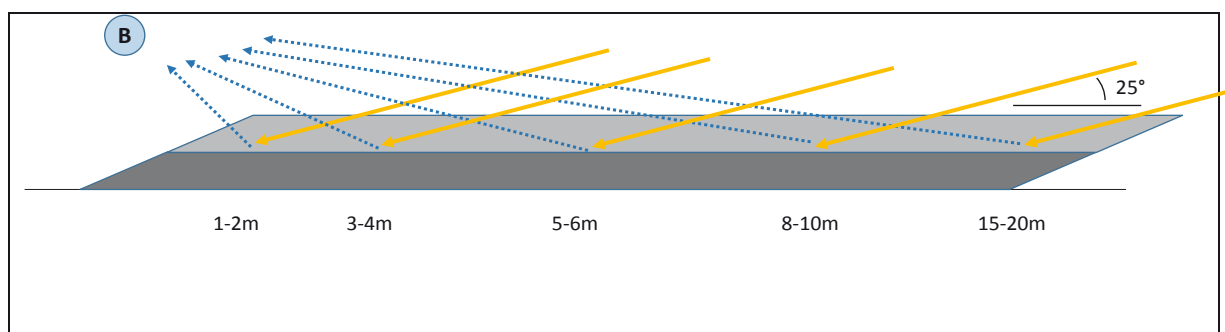


Abbildung 33: Situation A-3, Licht flach von vorn

Auch für diese Situation wurde untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 34 ist dargestellt, für wie viele Oberflächenpaarungen sich der Kontrastwert innerhalb der Situation wie stark verändert. Dabei zeigte sich, dass alle Probenpaarungen eine stark

veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,3 \dots 0,8$ . Das bedeutet, dass bei schrägem Gegenlicht extreme Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien eintreten. Für mehr als 50% der Paarungen beträgt dieser Einfluss in der Situation „Außenraum Licht flach von vorn“  $\Delta K > 0,5$ .

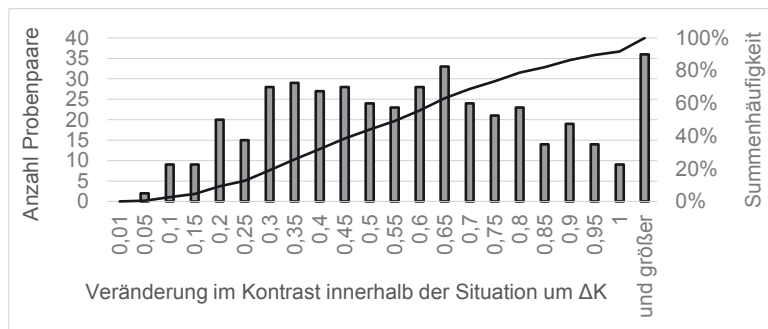


Abbildung 34: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-3

Weiterhin wurde untersucht, ob es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Bei fast der Hälfte der Paarungen (202 von 435) kommt es in dieser Situation A-3 „Licht flach von vorn“ zu einer Kontrastumkehr.

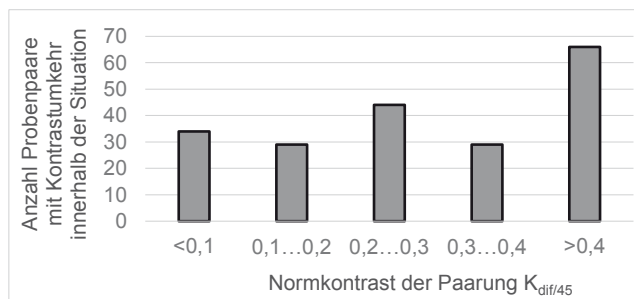


Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-3

Kontrastumkehr bei Gegenlicht betrifft Paarungen aller Kontrastbereiche (Abbildung 35). Auch das Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes einer Oberflächenpaarung  $K_{diff/45} > 0,4$  ist kein Indikator dafür, ob es zu einer Kontrastumkehr kommt.

#### *Situation A-4 „Licht schräg seitlich“*

Die vierte Außenraumszene simuliert den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei gerichteter seitlicher Beleuchtung mittlerer

Höhe, wie sie etwa bei mittlerem Sonnenstand oder in einer tageslichtbeleuchteten Galerie auftritt.

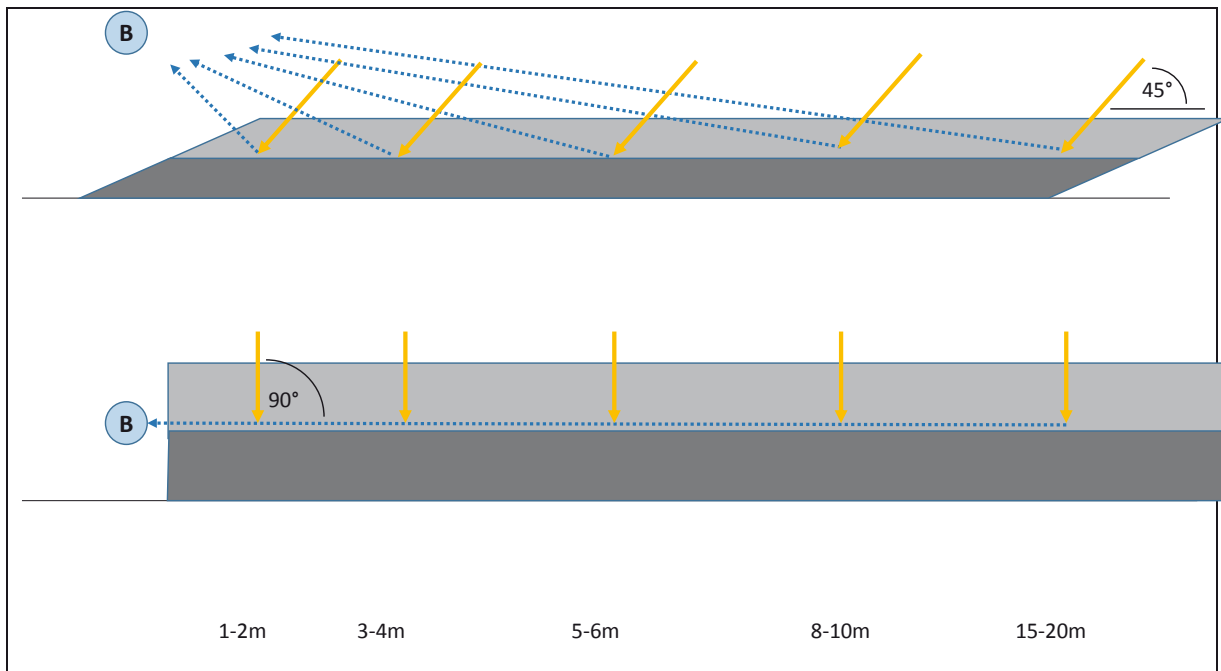


Abbildung 36: Situation A-4, Licht schräg seitlich (unterer Abbildungsteil: Draufsicht)

Auch für seitlichen Lichteinfall wurde untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert (Abbildung 37). Dabei zeigte sich, dass bis auf wenige Ausnahmen (3%, 13 Paarungen) alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,05\dots 0,15$ . Das bedeutet, dass bei seitlicher Beleuchtung Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien etwa in gleichem Umfang wie bei senkrechtem Lichteinfall eintreten. Für etwa jede vierte Paarung in der Situation „Außenraum Licht schräg seitlich“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,1$ . Der maximale Einfluss auf die untersuchten Probenpaarungen beträgt in dieser Situation  $\Delta K=0,2$ .

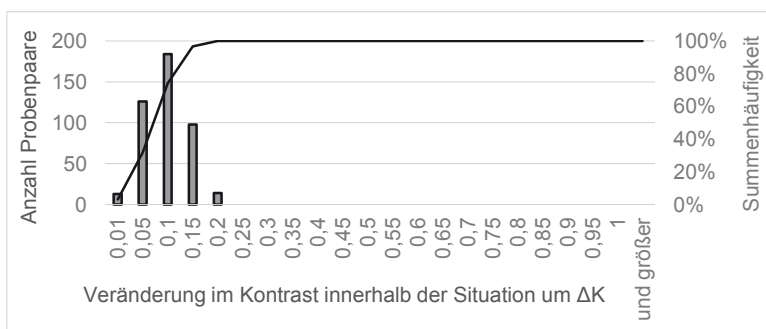


Abbildung 37: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-4



Weiterhin wurde untersucht, in welchem Umfang es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Bei einer geringen Anzahl der Paarungen (33 von 435, 7,5%) kommt es in dieser Situation A-4 zu einer Kontrastumkehr.

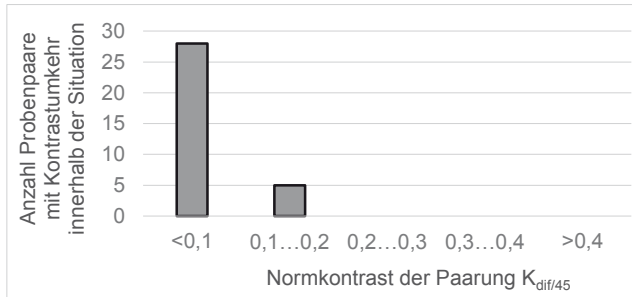


Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-4

Kontrastumkehr bei seitlichem Lichteinfall betrifft Paarungen geringer Kontrastbereiche (Abbildung 38). Es wurde unter den untersuchten Materialien keine Oberflächenpaarung gefunden, für die es beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes  $K_{\text{diff}/45} > 0,4$  zu einer Kontrastumkehr für seitliche Beleuchtung kommt.

#### *Situation A-5 „Licht schräg von hinten“*

Die fünfte und letzte Außenraumszene untersucht den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei gerichteter Beleuchtung mittlerer Höhe schräg von hinten, wie sie etwa bei mittlerem Sonnenstand im Rücken des Beobachters auftritt.

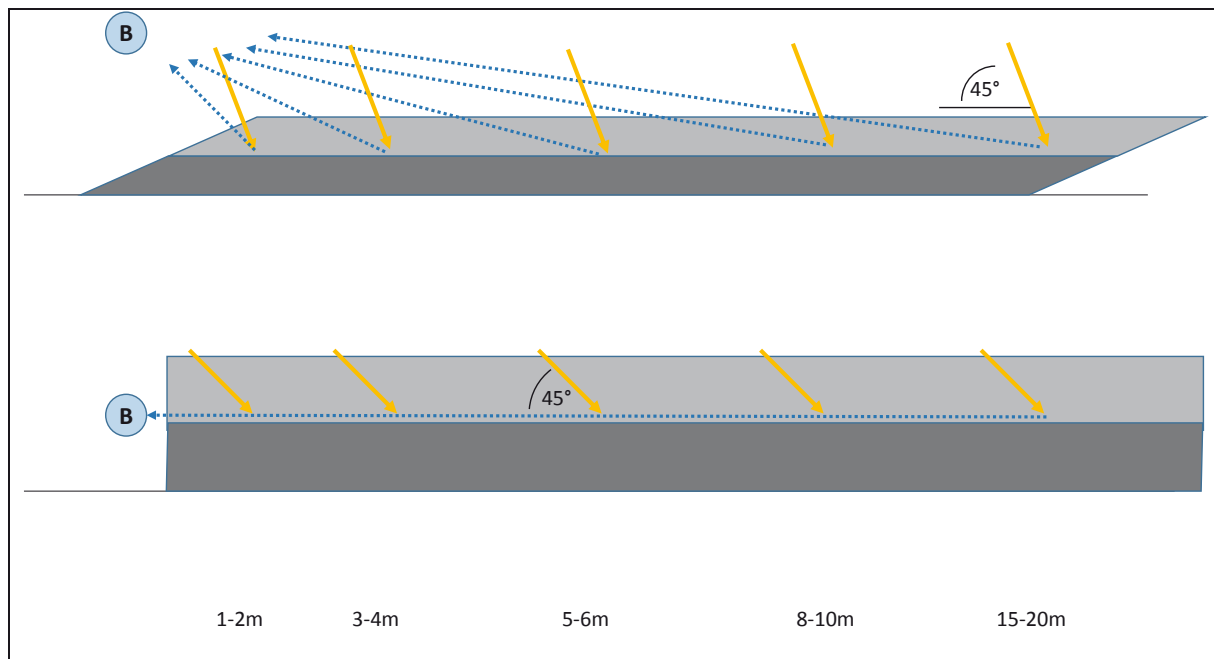


Abbildung 39: Situation A-5, Licht schräg von hinten (unterer Abbildungsteil: Draufsicht)

Hierbei wurde zunächst untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 40 ist dargestellt, dass bis auf wenige Ausnahmen (3%, 15 Paarungen) alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,05\dots 0,1$ . Das bedeutet, dass bei Mittellichtbeleuchtung Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien etwa in gleichem Umfang wie bei senkrechtem oder seitlichem Lichteinfall eintreten. Für weniger als jede fünfte Paarung in der Situation „Außenraum Licht schräg von hinten“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,1$ . Der maximale Einfluss auf die untersuchten Probenpaarungen beträgt in dieser Situation  $\Delta K=0,2$ .

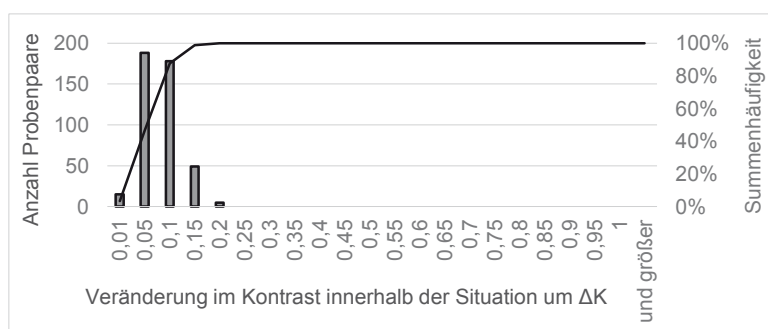


Abbildung 40: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-5

Weiterhin wurde untersucht, in welchem Umfang es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Bei einer geringen Anzahl der Paarungen (28 von 435, 6%) kommt es in dieser Situation A-5 zu einer Kontrastumkehr.

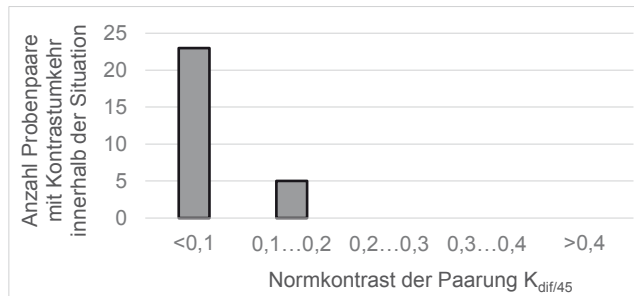


Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-5

Kontrastumkehr bei rückwärtigem Lichteinfall betrifft Paarungen geringer Kontrastwirkung (Abbildung 41). Es wurde unter den untersuchten Materialien keine Oberflächenpaarung gefunden, für die es beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes  $K_{dif/45} > 0,4$  zu einer Kontrastumkehr für Beleuchtung „schräg von hinten“ kommt.

#### 6.2.4.3.2 Exemplarische Situationen für den Innenraum

Als Mustersituationen für den Innenraum wurden vier exemplarische Betrachtungsszenarien erstellt und hinsichtlich der Kontrastverhältnisse innerhalb jeder Situation untersucht. Dabei wurde für den Innenraum unterstellt, dass primär Beobachtungsentfernungen deutlich geringer 10m relevant sind. Für einige Innenraumsituationen mit Tageslichtbeleuchtung ist eine gemeinsame Variation von Beobachtungs- und Beleuchtungsgeometrie typisch. Daher wurden zwei entsprechende Situationen berücksichtigt. Weiterhin bestehen jedoch auch für den Innenraum typische Situationen, in denen mit steigender Beobachtungsentfernung primär der Beobachtungswinkel variiert, während der Beleuchtungswinkel als nahezu konstant angenommen werden kann.

Je Situation wurden für die Kontrastpaarungen aus 15 Proben von Oberflächen für den Innenraum (105 Paarungen) die entstehenden Kontrastverhältnisse betrachtet. Zur Charakterisierung und als Bewertungshintergrund wurde zunächst die entsprechende Kontrastmatrix für die Normbedingung ( $K_{dif/45}$ ) ermittelt. Hierbei zeigte sich, dass etwa zwei von fünf der untersuchten Kombinationen (40 Paarungen) die Kontrastforderung  $K_{dif/45} > 0,4$  aus DIN 32984 erfüllen.

### Situation I-1 „Licht von oben“

Die erste der exemplarischen Szenarien simuliert den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei senkrechter Beleuchtung, wie sie etwa bei linienhafter Deckenbeleuchtung auftritt.

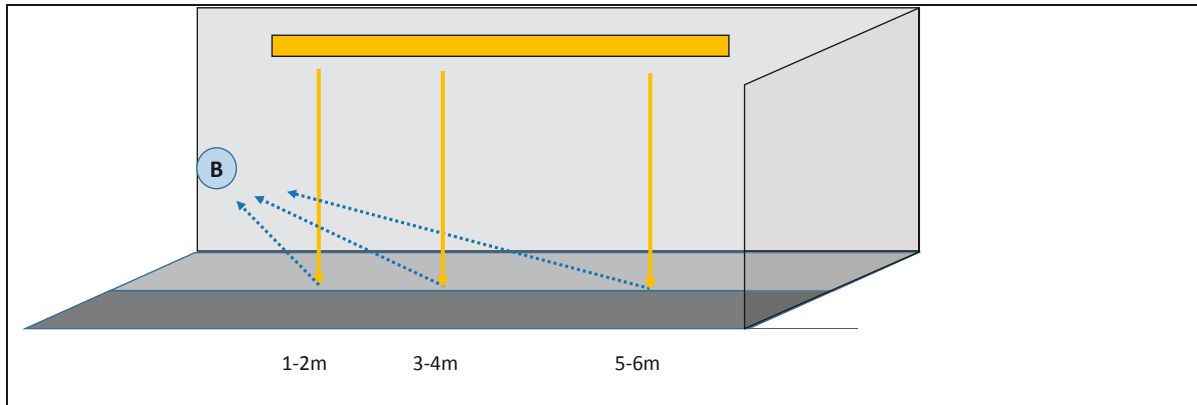


Abbildung 42: Situation I-1, Licht von oben

In einer ersten Auswertung wurde für diese Situation untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 43 ist dargestellt, für wie viele Oberflächenpaarungen sich der Kontrastwert innerhalb der Situation wie stark verändert. Dabei zeigte sich, dass die überwiegende Mehrheit der Probenpaarungen (84%) eine veränderte Kontrastwirkung erfährt. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Beleuchtungssituation von oben Kontraständerungen etwa im Bereich  $\Delta K=0,05\dots 0,1$ . Das bedeutet, dass auch bei den Innenraummaterialien bereits ausschließlich durch veränderten Beobachtungswinkel aufgrund veränderter Beobachtungsentfernung merkliche Kontrastveränderungen eintreten. Für etwa jede vierte Paarung in der Situation „Innenraum Licht von oben“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,1$ .

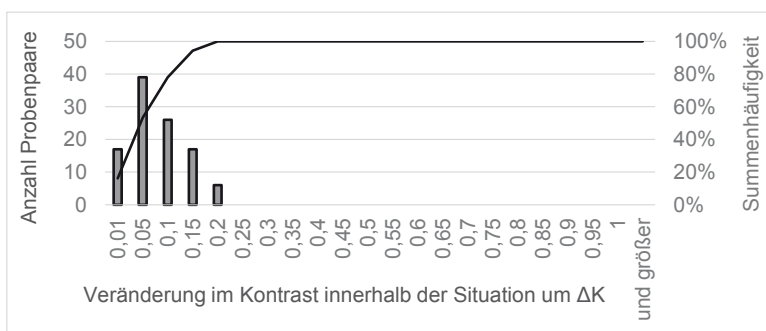


Abbildung 43: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-1

In einem zweiten Auswertungsschritt wurde weiterhin untersucht, ob es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Eine Kontrastumkehr liegt vor, wenn eine bestimmte Materialkombination für unterschiedliche Beobachtungsentfernungen sowohl Negativ- als auch Positivkontraste aufweist. Das ist dann der Fall, wenn die hellere der beteiligten Oberflächen für einen Teil der Szenerie dunkler als der Kontrastpartner erscheint. Die Ursache beleuchtungs- und/oder beobachtungsverändert variierender Reflexion liegt in aller Regel in den geometrischen Oberflächenmerkmalen der Proben begründet (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.). Aus dem Vorliegen einer Kontrastumkehr folgt, dass es einen oder mehrere Teilabschnitte im Kontrastverlauf geben muss, in dem der kleinflächige Kontrastwert praktisch Null ist und somit kein durchgängiger Leuchtdichtekontrast vorliegt.

Bei sehr wenigen Paarungen (6 von 105, 5%) kommt es in dieser Situation I-1 „Licht von oben“ zu einer Kontrastumkehr. Dies betrifft 5 Paarungen, deren Normkontrast  $K_{\text{dif}/45} < 0,1$  ist und eine Paarung, deren Normkontrast  $0,1 \leq K_{\text{dif}/45} < 0,2$  ist. Beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes einer Oberflächenpaarung  $K_{\text{dif}/45} > 0,4$  kommt es bei den untersuchten Innenraumoberflächen zu keiner Kontrastumkehr für senkrechte Beleuchtung.

#### Situation I-2 „Licht von vorn“

Die zweite exemplarische Situation stellt den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei Beleuchtung von vorn dar, wie sie etwa beim Blick gegen die Fensterfront eines Raumes auftritt.

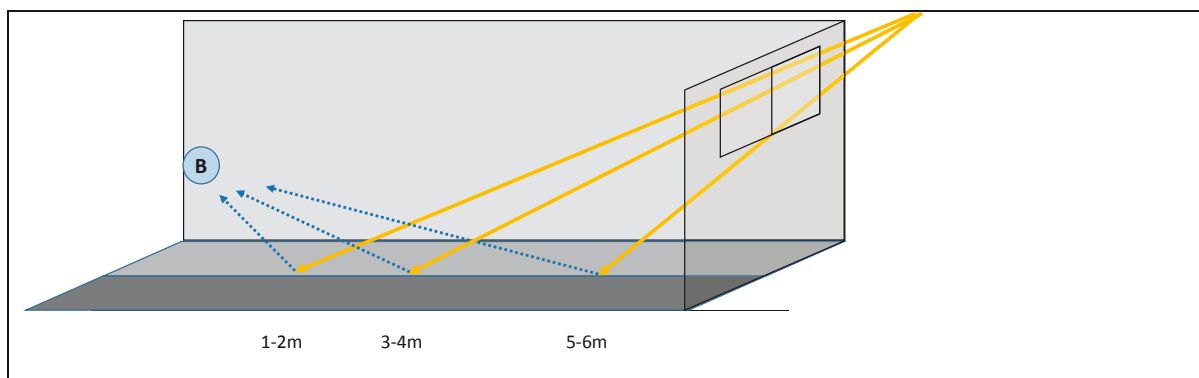


Abbildung 44: Situation I-2, Licht von vorn

Zunächst wurde für diese Situation untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert (Abbildung 45). Dabei zeigte sich, dass alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen

im Bereich  $\Delta K=0,2\dots 0,6$ . Das bedeutet, dass bei Gegenlicht stärkere Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien eintreten als bei senkrechtem Lichteinfall. Für jede zweite Paarung in der Situation „Innenraum Licht von vorn“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,3$ .

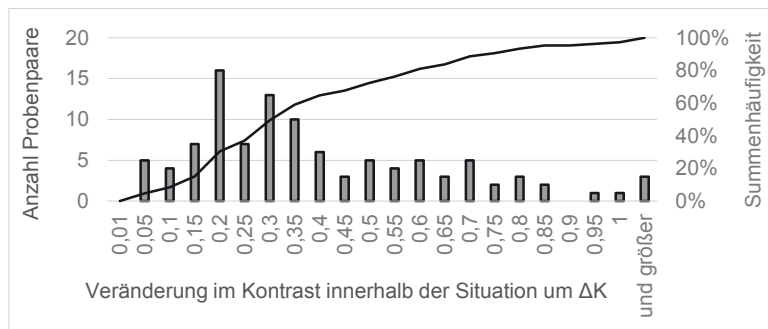


Abbildung 45: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-2

Weiterhin wurde untersucht, ob es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Eine Kontrastumkehr liegt vor, wenn eine bestimmte Materialkombination für unterschiedliche Beobachtungsentfernungen sowohl Negativ- als auch Positivkontraste aufweist. Daraus folgt, dass es einen oder mehrere Teilabschnitte im Kontrastverlauf geben muss, in dem der kleinflächige Kontrastwert praktisch Null ist und somit kein durchgängiger Leuchtdichtekontrast vorliegt. Bei 36 der 105 Paarungen (34%) kommt es in dieser Situation I-2 „Licht von vorn“ zu einer Kontrastumkehr.

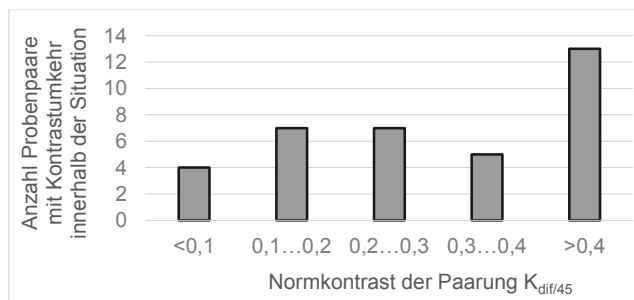


Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation I-2

Kontrastumkehr bei Gegenlicht betrifft Paarungen aller Kontrastbereiche (Abbildung 46). Die Hälfte der Probenpaarungen mit Kontrastumkehr in der Situation „Licht von vorn“ weisen Normkontraste  $K_{dif/45} > 0,3$  auf. Somit ist auch das Vorliegen eines hohen oder normgemäßen Kontrastwertes einer Oberflächenpaarung  $K_{dif/45} > 0,4$  kein Indikator dafür, ob es zu einer Kontrastumkehr kommt.

*Situation I-3 „Licht seitlich“*

Die dritte exemplarische Innenraumszene bildet den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei gerichteter seitlicher Beleuchtung ab, wie sie etwa beim Blick entlang eines tageslichtbeleuchteten Flures oder in einem Raum seitlich zur Fensterfront auftritt.

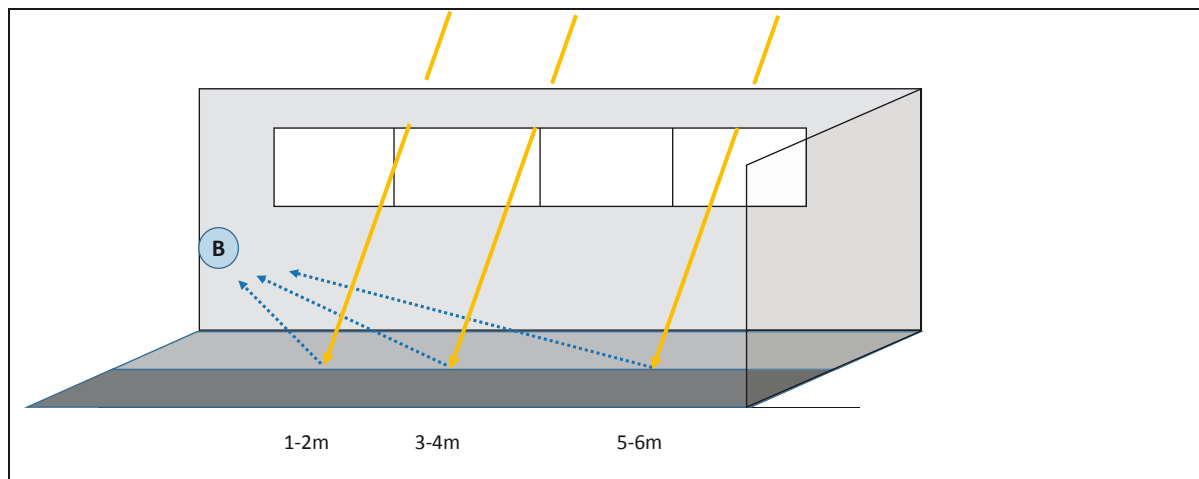


Abbildung 47: Situation I-3, Licht seitlich

Auch für seitlichen Lichteinfall wurde untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert (Abbildung 48). Dabei zeigte sich, dass einige Paarungen keine veränderte Kontrastwirkung erfahren (15%, 16 Paarungen). Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K=0,05\dots 0,1$ . Das bedeutet, dass auch im Innenraum bei seitlicher Beleuchtung Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien etwa in gleichem Umfang wie bei senkrechtem Lichteinfall eintreten. Für etwa jede fünfte Paarung in der Situation „Innenraum Licht schräg seitlich“ beträgt dieser Einfluss  $\Delta K > 0,1$ . Der maximale Einfluss auf die untersuchten Probenpaarungen beträgt in dieser Situation  $\Delta K=0,2$ .

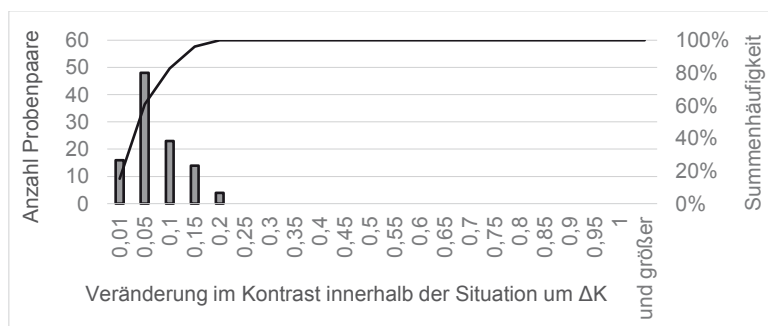


Abbildung 48: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-3

Weiterhin wurde untersucht, in welchem Umfang es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Bei 9 der 105 Paarungen (8,5%) kommt es in dieser Situation zu einer Kontrastumkehr. Dies betrifft sechs Paarungen, deren Normkontrast  $K_{\text{dif}/45} < 0,1$  ist und drei Paarungen, deren Normkontrast  $0,1 \leq K_{\text{dif}/45} < 0,2$  ist.

Kontrastumkehr bei seitlichem Lichteinfall betrifft somit nur Paarungen geringer Kontrastwirkung. Es wurde unter den untersuchten Materialien keine Oberflächenpaarung im Innenraum gefunden, für die es beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes  $K_{\text{dif}/45} > 0,4$  zu einer Kontrastumkehr für seitliche Beleuchtung kommt.

#### *Situation I-4 „Licht schräg von hinten“*

Die letzte Situation simuliert den Blick eines Beobachters entlang einer kontrastierenden Kante benachbarter Bodenmaterialien bei gerichteter seitlicher Beleuchtung mittlerer Höhe von hinten, wie sie etwa mit der Lichtrichtung ausgehend von der Fensterfront eines Raumes auftritt.

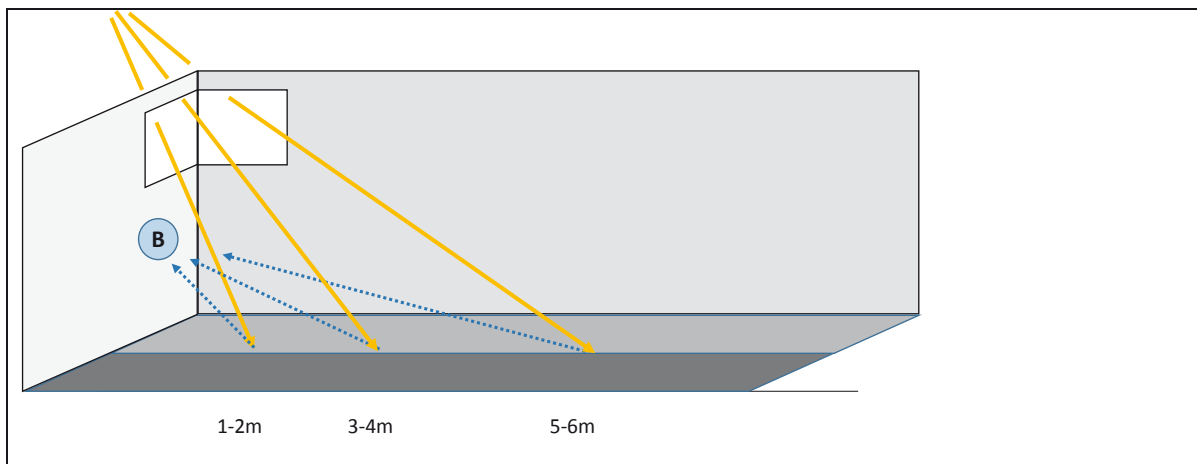


Abbildung 49: Situation I-4, Licht schräg von hinten

Hierbei wurde zunächst untersucht, in welchem Ausmaß sich der Kontrastwert der Oberflächenpaarungen beim Blick entlang der beschriebenen Materialkante verändert. In Abbildung 50 ist dargestellt, dass bis auf wenige Ausnahmen (5%, 5 Paarungen) alle Probenpaarungen eine veränderte Kontrastwirkung erfahren. Der überwiegende Teil der Paarungen erfährt in dieser Situation Kontraständerungen im Bereich  $\Delta K = 0,05 \dots 0,25$ . Das bedeutet, dass bei Mittlichtbeleuchtung im Innenraum Kontrastveränderungen bei den untersuchten Bodenmaterialien in stärkerem Umfang als bei senkrechtem oder seitlichem Lichteinfall eintreten. Für etwa eine von vier Paarungen in der Situation „Innenraum Licht schräg von hinten“ beträgt dieser



Einfluss  $\Delta K > 0,2$ . Der maximale Einfluss auf die untersuchten Probenpaarungen beträgt in dieser Situation  $\Delta K = 0,65$ .

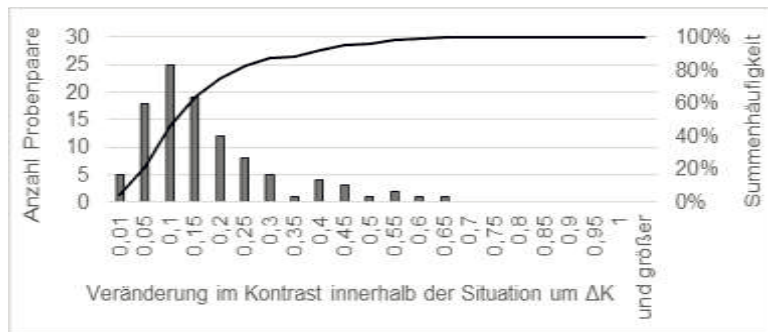


Abbildung 50: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-4

Weiterhin wurde untersucht, in welchem Umfang es beim Blick entlang der Kontrastkante aus den untersuchten Materialkombinationen innerhalb der Situation zu einer Kontrastumkehr kommt. Bei einer bedeutsamen Anzahl der Paarungen (20 von 105, 19%) kommt es in dieser Situation I-4 zu einer Kontrastumkehr.

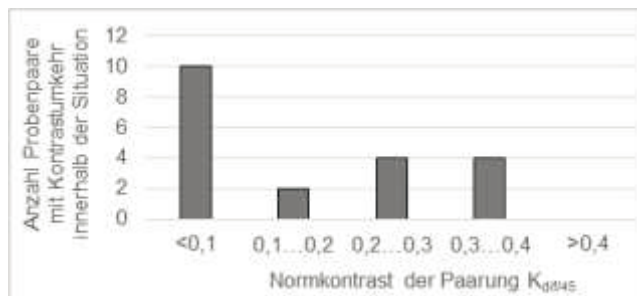


Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation I-4

Kontrastumkehr bei rückwärtigem Lichteinfall betrifft Paarungen geringer als auch höherer Kontrastwirkung (Abbildung 51). Es wurde unter den untersuchten Materialien zwar keine Oberflächenpaarung gefunden, für die es beim Vorliegen eines normgemäßen Kontrastwertes  $K_{dif/45} > 0,4$  zu einer Kontrastumkehr für Beleuchtung „schräg von hinten“ kommt, die Möglichkeit einer erheblichen Veränderung vieler Kontraste konnte jedoch für diese Situation zweifelsfrei belegt werden.

#### 6.2.4.3.3 Zwischenfazit zu Kontrastwirkung bei variierender Beleuchtung und Beobachtung

Für von der normgemäßen Beleuchtung und Beobachtung abweichende Situationen konnte bei praktischen Bodenmaterialien eine erheblich veränderte Kontrastwirkung belegt werden. Für alle exemplarischen Situationen konnte ein relevanter Anteil von Probenpaarungen mit bedeutsam variierender Kontrastwirkung innerhalb einer Betrachtung belegt werden.

Der deutlichste Einfluss auf die praktische Kontrastwirkung der untersuchten Bodenmaterialien zeigte sich für Situationen mit Gegenlicht. Dies trifft in vergleichbarem Ausmaß für Außen- als auch Innenraumbooberflächen zu. In dieser Konstellation wirken sich geometrische Oberflächeneigenschaften (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.) am stärksten auf die praktische Kontrastwirkung aus. Wie die Auswertungen zur Kontrastumkehr für die Situationen mit Gegenlicht zeigen, dominieren diese geometrischen Oberflächeneigenschaften bei vielen Materialpaarungen bei der praktischen Kontrastwirkung. Die rein farb- bzw. helligkeitsbezogenen Materialeigenschaften, die die Kontrastwirkung bei diffuser normgemäßer Messsituation bestimmen, treten bei Gegenlicht in aller Regel in den Hintergrund. Für einen Teil der Innenraumproben zeigt sich dieser Einfluss auch in der Situation mit Beleuchtung „schräg von hinten“.

Aus den belegten Befunden können Anregungen für Bewertungen und Messungen unter „praktischen Bedingungen“ abgeleitet werden. Zunächst zeigt sich, dass die praktische Kontrastwirkung vieler Materialkombination in flächen- oder linienhafter Anschauung als gebaute Umgebung bedeutsam von der anhand „normgerechter Kontrastwirkung auf Basis  $K_{dif/45}$ -Werten“ charakterisierten Kontrastwirkung abweichen kann. So kann sich die sichtbare Kontrastwirkung von Oberflächenpaarungen bei Begehungen rein in Abhängigkeit von der Beleuchtungs- und Beobachtungssituation (z.B. Sonnenstand relativ zur Blickrichtung) erheblich unterscheiden. Daraus folgt gleichermaßen, dass wenn bei Begehungen unter praktischen Bedingungen subjektiv Mängel in der visuellen Kontrastwirkung ermittelt werden, keinesfalls zwingend auf eine „nicht-normgemäße“ Ausführung entsprechender Materialkombinationen geschlossen werden kann.

Auch der umgekehrte Fall ist nicht nur denkbar, sondern für viele untersuchte Oberflächen auch anhand der Messungen belegt. Das Vorliegen einer bei bestimmten Betrachtungs- und Beleuchtungsrichtungen hohen visuellen Kontrastwirkung setzt nicht zwingend das Vorliegen einer normgemäßen Materialkombination voraus.

Gleichermaßen zeigen die dargestellten Befunde sehr deutlich, dass Messungen an Oberflächen „in-situ“ regelmäßig mit erheblichen Abweichungen gegenüber der normgemäßen Kontrastmessung einhergehen müssen. Dies betrifft sowohl lichttechnische Messungen (z.B. Leuchtdichtemessungen) als auch vergleichende näherungsweise Messansätze (z.B. subjektive Vergleiche zu Farb-, Reflexions- oder Kontrastnormale). Allein die in praktischen Situationen gegenüber der Normsituation veränderte Beleuchtung mit in aller Regel bedeutsamen gerichteten Anteilen hat einen so großen Einfluss auf das Erscheinungsbild der Oberflächen, dass auf diese Weise ermittelte Kontrast- oder Reflexionswerte zumindest nicht auf normgemäße Kontrastforderungen bezogen werden können. Um bei praktischen Oberflächenpaarun-

gen den Umstand einer „normgemäßen“ Ausführung prüfen zu können, bedarf es der Messung unter genau dieser normgemäßen Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie. Die Entwicklung handlicher, preiswerter und für den Einsatz „in situ“ an gängigen Oberflächen geeigneter Messgeräte stellt somit eine zentrale Herausforderung für die Bemessung visueller Barrierefreiheit nach aktuellem Normverständnis dar.

Hinsichtlich der Normungsarbeit ist durch die oberhalb dargestellten Befunde die Frage der praktischen Aussagekraft bislang gewählter Kontrastkenngrößen aufgeworfen. Wie eingangs zum aktuellen Kapitel ausgeführt, charakterisieren Leuchtdichtekontraste unter der für die Normung gewählten Messsituation die farblichen bzw. rein helligkeitsbezogenen Reflexionseigenschaften der Materialien. Geometrische Oberflächeneigenschaften (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.) sind bei dieser Form der Kontrastbewertung als Einfluss nahezu vollständig ausgeschlossen. Wie die Auswertungen zu den exemplarischen Situationen zeigen, beeinflussen diese jedoch die praktische Kontrastwirkung bedeutsam. Für einige Situationen determinieren sie diese sogar. Um zukünftig eine größere Deckung zwischen „normgemäßer“ Kontrastwirkung und „praktischer“ Kontrastwirkung in typischen Anwendungssituationen herzustellen, sollten Überlegungen zur Berücksichtigung auch der geometrischen Oberflächeneigenschaften bei der Bewertung visueller Kontraste angestellt werden.

#### *6.2.4.4 Innere Materialstruktur von Bodenmaterialien als Einfluss auf die Kontrastwirkung*

Viele praktische Bodenoberflächen sowohl im Außenraum als auch im Innenraum haben eine messtechnisch abbildbare Inhomogenität. Sie erscheinen somit in kleinflächiger Betrachtung als „zusammengesetzte“ oder „gemusterte“ Oberflächen bei regelmäßigerer Verteilung. Es kommen jedoch auch nahezu homogene Oberflächen beziehungsweise Materialien vor. Die Charakterisierung kontrastierender Wirkung im Sinne der visuellen Barrierefreiheit erfolgt bislang ohne Berücksichtigung dieser inneren Struktur oder entsprechender Unterschiede zweier Kontrastpartner.

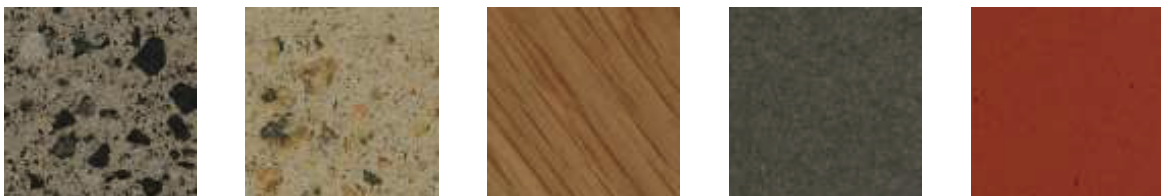


Abbildung 52: Oberflächenbeispiele mit unterschiedlich homogener innerer Materialstrukturen

Mit dem Oberflächenmerkmal „Inhomogenität“ können verschiedene Aspekte praktischer Kontrastbewertung vor dem Hintergrund visueller Barrierefreiheit verbunden werden. Für Paarkombinationen mit großem Unterschied in diesem Merkmal (eine sehr inhomogene neben einer sehr homogenen Fläche) folgt daraus beispielsweise die Frage, ob der Grad der Inhomogenität zusätzlich ein Merkmal visuell kontrastierender Gestaltung sein kann und wenn ja, unter welchen Bedingungen.

Weiterhin lässt sich für sehr inhomogene Materialien die Fragestellung ableiten, ab welcher Ausprägung von Inhomogenität anstatt des Flächenmittelwertes diese Inhomogenität allein oder ergänzend zum Oberflächencharakteristikum wird. Dies könnte immer dann der Fall sein, wenn der Mittelwert zwar messtechnisch und rechnerisch bestimmt werden kann, jedoch die wahrgenommene Situation nicht mehr angemessen beschreibt.

Diese und weitere Fragen im Zusammenhang mit der inneren Struktur praktisch kontrastierender Oberflächen sind in der Literatur bislang nicht als bearbeitet dokumentiert. Im Kontext sehr homogener barrierefreier Bauelemente, wie etwa einfarbige, nicht in sich gemusterte Bodenindikatoren nach DIN 32984, kann auf eine Berücksichtigung dieses Merkmals schadlos verzichtet werden. Für viele andere praktische Oberflächen aus Natur- oder Kunstmaterialien steht eine Berücksichtigung jedoch möglicherweise an. Eine Voraussetzung, um dieses Thema zukünftig systematisch beforschen und gegebenenfalls unter dem Gesichtspunkt barrierefreier Gestaltung berücksichtigen zu können, besteht zunächst darin ein geeignetes messtechnisches Maß zur Charakterisierung des Grades der Inhomogenität einer inneren Materialstruktur zu begründen.

Dafür ist die Frage des Auflösungsvermögens als Einflussgröße zu berücksichtigen. Ein zentrales sehphysiologisches Leistungskriterium, in dem sich insbesondere sehbehinderte Personen erheblich unterscheiden können ist das räumliche Auflösungsvermögen für kleine Details. Dieses wird, eine entsprechende Anordnung aus Betrachtungssituation und Normsehzeichen vorausgesetzt, allgemein als Sehschärfe oder Visus bezeichnet.

In Abhängigkeit der Sehschärfe eines Beobachters können bei fester Betrachtungsentfernung zu einer Oberfläche entsprechend größere oder kleinere Details der inneren Materialstruktur visuell aufgelöst werden. Nicht mehr getrennt auflösbare Details werden dann als gemischter Seheindruck gemeinsam mit der jeweiligen Umgebung wahrnehmungswirksam. Als untere Grenze des dabei zu berücksichtigenden Auflösungsvermögens wird in erster Näherung die in DIN 32975 für barrierefreie Gestaltungen formulierte minimale Sehschärfe  $V=0,1$  angesetzt.

#### *6.2.4.4.1 Begründung eines Maßes zur Charakterisierung der Inhomogenität einer inneren Materialstruktur*

Für die Begründung eines angemessenen Maßes zur Charakterisierung der Inhomogenität einer inneren Struktur ist zunächst zu fordern, dass es, solange eine visuelle Auflösung entsprechender Details gegeben ist, einen annähernd konstanten Wert annimmt. Dies vorausgesetzt, ist ein entsprechendes Inhomogenitätsmaß tendenziell unabhängig vom speziellen Auflösungsvermögen.

Um diese Frage bearbeiten zu können, bedarf es einer entsprechenden messtechnischen Datengrundlage. Als Grundlage wurden daher für 54 Materialoberflächen in normgemäßer Geometrie (diffuse Beleuchtung, Beobachtung unter  $45^\circ$ , siehe Abbildung 21) kleinflächig aufgelöste Leuchtdichteaufnahmen (Leuchtdichtemesskamera LMK 98-3-color, Firma TechnoTeam Ilmenau) gefertigt. Aus diesen Aufnahmen wurden unter Bezug zu einem Reflexionsnormal (Reflexionsnormal „OptoPolymer“, Firma Sanftleben, München) entsprechende kleinflächig aufgelöste Reflexionsgradverteilungen der Materialoberflächen ermittelt.

Die anhand kleinflächig orts aufgelöster Reflexionsgradverteilung charakterisierten Oberflächenausschnitte hatten einen Flächeninhalt von  $A > 50 \text{ cm}^2$ . Diese Fläche wurde bei der Messung anhand von durchschnittlich etwa 245.000 Teilflächen charakterisiert. Die auf diese Weise realisierte räumliche Auflösung für Details übersteigt das menschliche visuelle Auflösungsvermögen deutlich. Eine korrespondierende Detailauflösung für einen auf einer entsprechenden Oberfläche stehenden Beobachter (Betrachtungsentfernung 1,5m) würde eine Sehschärfe  $V \approx 3,5$  voraussetzen.

Die in höherer Detailauflösung vorliegenden räumlichen Reflexionsgradverteilungen der Probenoberflächen können durch entsprechende Datenverarbeitung in Aufnahmen beliebig geringerer Auflösung transformiert werden. Um dem zunächst in erster Näherung hinterlegten Bereich der Sehbehinderung zu entsprechen, wurden für 11 der untersuchten Oberflächen rechnerisch Varianten entsprechend einer Sehschärfe  $V=0,5$  sowie  $V=0,1$  erzeugt. Abbildung 53 zeigt für eine inhomogenere (oben) und eine homogenere Oberfläche die jeweiligen orts aufgelösten Reflexionsgradverteilungen.

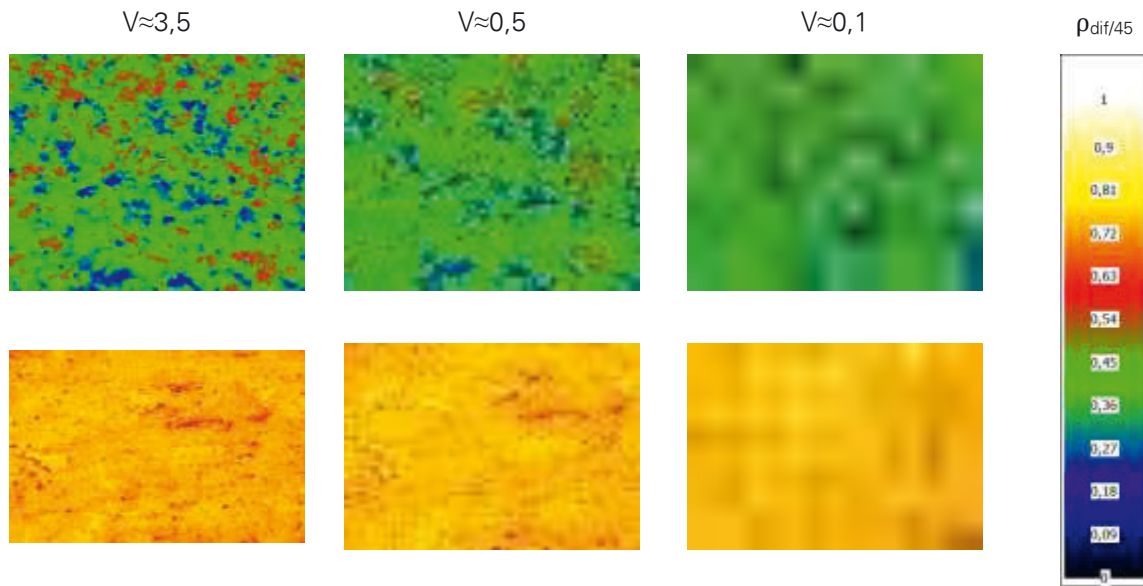


Abbildung 53: ortsaufgelöste Verteilungen des Reflexionsgrades  $\rho_{\text{diff}/45}$  zweier Oberflächen für je drei Versionen des Auflösungsvermögens (Darstellung der Reflexionsgradskala in Pseudocolorierung)

Diese Betrachtungen zeigen, dass auch bei einem räumlichen Auflösungsvermögen entsprechend  $V=0,1$  bei den untersuchten praktischen Oberflächen keine völlig strukturlosen homogene Flächen eines Reflexionsgradwertes entstehen. Eine vollständige Mittelung findet nicht statt. Somit kann die Inhomogenitätsbeschreibung der praktischen Bodenmaterialien für einen großen Nutzerkreis sehbehinderter Personen relevant sein.

In einem nächsten Schritt wurden für die drei Auflösungsversionen aller 11 hierbei berücksichtigten Oberflächen statistische Kennwerte zur Beschreibung der Reflexionsgradverteilungen innerhalb der Materialien ermittelt. Es handelte sich um das Minimum, Maximum, den Mittelwert sowie die Standardabweichung. Aus der Differenz von Maximum und Minimum wurde die Streubreite der Reflexionswerte je Oberfläche und Auflösungsgrad errechnet.

Anhand der Streubreite der Reflexionsgrade eines bestimmten Auflösungsgrades können prinzipiell homogenere von inhomogeneren Oberflächen unterschieden werden (Abbildung 54). Wie die Abbildung 54 jedoch auch zeigt, verändert sich die Streubreite der kleinflächigen Reflexionsgrade erheblich in Abhängigkeit des räumlichen Auflösungsvermögens. Dies ist durchaus plausibel, da mit abnehmendem Auflösungsvermögen eine zunehmende Mittelung benachbarter Werte einhergeht und sich dadurch die Extremwerte der Verteilung dem Mittelwert annähern.

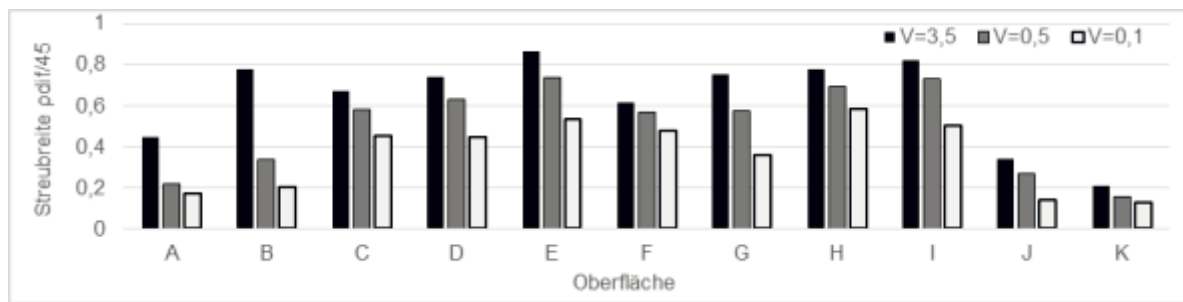


Abbildung 54: Streubreite der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens

Somit ist die Streubreite der Reflexionsgrade als Maß zur Charakterisierung der Inhomogenität einer inneren Materialstruktur über größere Bereiche des Auflösungsvermögens hinweg ungeeignet. Als diesbezüglich wesentlich geeigneter konnte die Standardabweichung der kleinflächigen Reflexionsgradverteilung identifiziert werden. Nahezu unabhängig vom räumlichen Auflösungsvermögen nimmt die Standardabweichung der kleinflächigen Reflexionsgradverteilung einer bestimmten Oberfläche konstante Werte an (Abbildung 55).

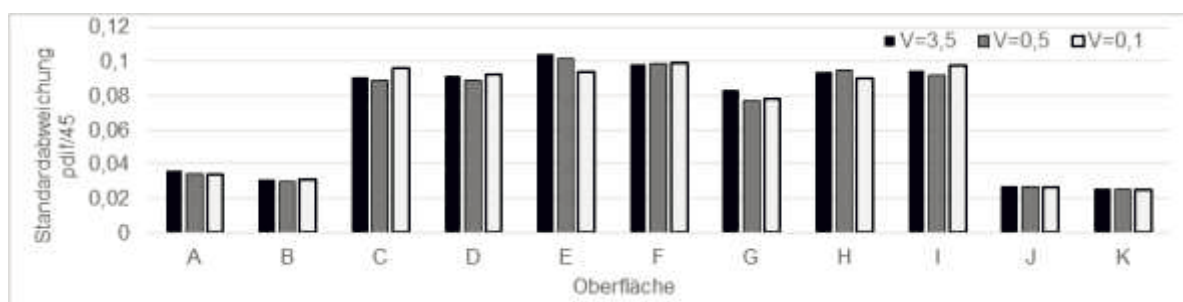


Abbildung 55: Standardabweichung der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens

Die beobachtete auflösungsunabhängige Stabilität der Standardabweichung als streuungsbezogenes Charakteristikum der kleinflächigen Reflexionsgradverteilung ist nahezu genauso groß wie die Stabilität des Flächenmittelwertes (Abbildung 56).

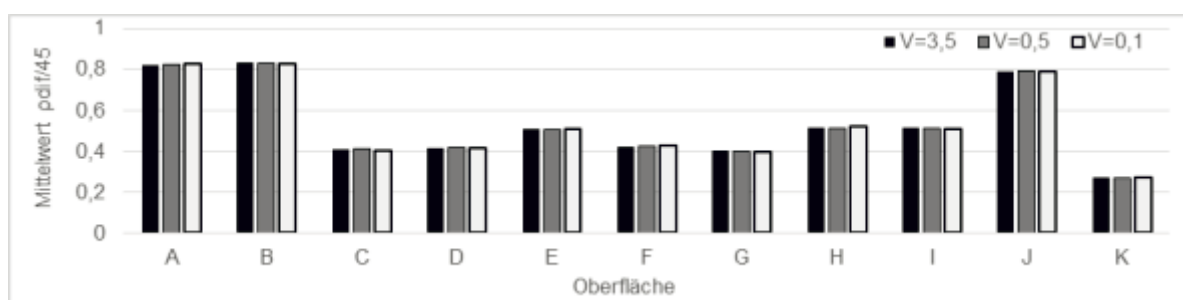


Abbildung 56: Mittelwert der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens

#### 6.2.4.4.2 Inhomogenitätscharakterisierung der untersuchten Oberflächen

Für alle 54 Materialoberflächen wurde aus den kleinflächig aufgelösten Reflexionsgradverteilungen die Standardabweichung bestimmt. Die entsprechenden Werte nahmen Ausprägungen im Bereich  $STD=0,005...0,1$  an. In Abbildung 57 sind den eingangs des Kapitels bereits als Abbildung 52 dargestellten Proben visuell verschiedener Inhomogenität die entsprechenden Standardabweichungen zugeordnet. In guter Übereinstimmung mit dem subjektiven Eindruck gehen inhomogenere Proben mit höheren Werten in der Standardabweichung der kleinflächig bestimmten Reflexionsgradverteilung einher.

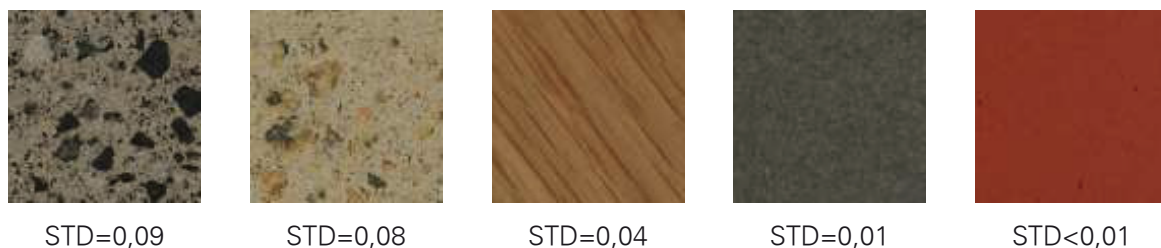


Abbildung 57: Oberflächenbeispiele mit unterschiedlich homogener innerer Materialstrukturen und zugeordneter Standardabweichung der kleinflächig bestimmten Reflexionsgradverteilung

In Anschauung der untersuchten Oberflächen wurde daher der nachfolgend dargestellte erste Vorschlag für eine reflexionsgradbasierte Inhomogenitätsklassierung von Bodenmaterialien erstellt.

Kriterium $STD(\rho_{dif/45})$	Beschreibung	Inhomogenitätsklasse
$\leq 0,010$	sehr homogen	1
$>0,010 \dots \leq 0,030$	homogen	2
$>0,030 \dots \leq 0,050$	moderat inhomogen	3
$>0,050 \dots \leq 0,080$	deutlich inhomogen	4
$>0,080$	stark inhomogen	5

Tabelle 13: Vorschlag für eine reflexionsgradbasierte Inhomogenitätsklassierung von Bodenmaterialien

Die nachfolgende Abbildung 58 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 54 untersuchten Proben hinsichtlich Einteilung in die Inhomogenitätsklassen gemäß Tabelle 13.



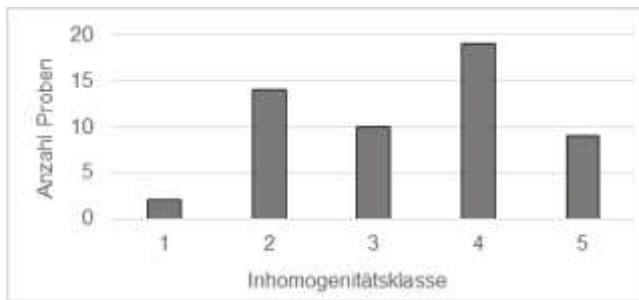


Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung der Zuordnung der untersuchten Bodenmaterialien zu Inhomogenitätsklassen

Im Fazit kann anhand der Darstellungen zumindest messtechnisch und in guter Übereinstimmung mit dem subjektiven Eindruck eine plausible Charakterisierung der Inhomogenität als ein Merkmal der inneren Materialstruktur von praktischen Oberflächen begründet werden. In weiteren Untersuchungen wird zu prüfen sein, ob damit aus Erwägungen praxisgerechter barrierefreier Gestaltung als auch praxisorientierter Normung relevante Charakterisierungen erfolgen können.

Eine zentrale Voraussetzung für die Berücksichtigung dieses Merkmals ist die räumlich aufgelöste Reflexionsgradbestimmung der Oberflächen an ausreichend großen Testflächen (ca. 50cm<sup>2</sup>) mit einem Auflösungsvermögen mindestens analog Visus  $V=0,1$  (Teilflächengröße ausgedrückt als Öffnungswinkel  $<0,17^\circ$ ). Den oben berichteten Erfahrungen nach ist eine Aufnahme mit erheblich höherer örtlicher Auflösung für die Charakterisierung der Inhomogenität anhand der Standardabweichung unproblematisch. Für räumlich gröbere Auflösungen oder kleinere Flächenausschnitte sollte der oben berichtete erste Erfahrungshintergrund nicht ungeprüft übertragen werden.

#### 6.2.4.5 Beispielhafter Einfluss unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung

An einem Natursteinwürfel aus Granit lagen die sechs Seitenflächen in verschiedener Oberflächenbehandlung vor. Es handelte sich um die Varianten geschliffen, poliert, sägerau, geflammt, scharriert und gestockt. Da der Würfel aus einem identischen Material ungeteilt hergestellt wurde, können beobachtete Unterschiede zwischen den sechs Seitenflächen primär auf die Bearbeitungsunterschiede zurückgeführt werden.



Abbildung 59: sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung

In einem ersten Schritt der Betrachtung zeigen sich für die normgemäße Bewertung Unterschiede im Reflexionsgrad. Die Differenz zwischen niedrigstem und höchstem diffusen Reflexionsgrad beträgt  $\Delta\rho_{\text{dif}/45}=0,09$  (Abbildung 60). Der Mittelwert über alle sechs Flächen beträgt  $\rho_{\text{dif}/45}=0,36$ . Die beobachtete Schwankungsbreite entspricht somit etwa einem Viertel des Mittelwertes.

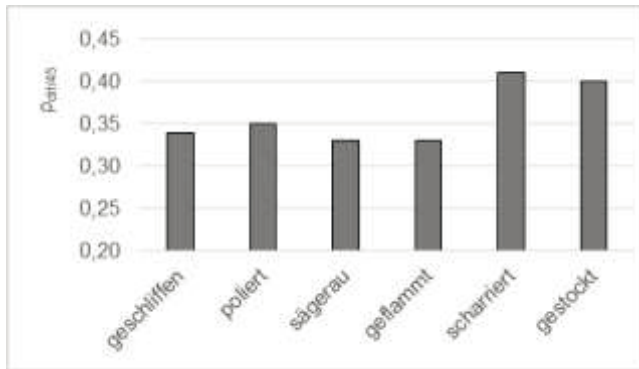


Abbildung 60: diffuser Reflexionsgrad der sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung

Unter diffuser Beleuchtung und bei gegenüber der Probe schräger Beobachtung wirken sich die Bearbeitungsformen mit hinsichtlich der punktuellen Höhenschwankung stärker streuender Oberfläche (scharriert, gestockt) gegenüber den glatteren Oberflächen offensichtlich reflexionswerterhöhend aus.

Folgerichtig ergeben sich die größten Kontraste zwischen den sechs Oberflächen bei der Kombination der scharrierten Variante mit der sägerauen oder geflammten Oberfläche. Der dabei maximal erzielte Kontrast beträgt für die Messung mit Normlichtart A  $K_{\text{dif}/45}=0,11$  und für die Bewertung unter Tageslicht (Normlichtart D65)  $K_{\text{dif}/45}=0,12$ .

Da die Oberflächenbearbeitung keine wesentlichen Veränderungen der Oberflächenfarbe bewirkt, unterscheiden sich die Kontraste zwischen den sechs Seiten des Würfels nur geringfügig in Abhängigkeit der beleuchtenden Lichtart. Über alle 14 Lichtquellen betrachtet, die im Kapitel über den Einfluss des Beleuchtungsspektrums untersucht und dort beschrieben wurden, zeigt sich eine maximale Kontrastveränderung infolge eines veränderten Lichtspektrums von  $\Delta K=0,02$ . Sie tritt für die Kombination der geflammten mit der gestockten Seite auf und ist möglicherweise auf die etwas rötlichere geflammte Oberfläche zurückzuführen.

Von erheblich größerem Einfluss auf die praktische Kontrastwirkung ist wiederum die Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie im Zusammenspiel mit der Oberflächenbearbeitung. So besteht beispielsweise für eine exemplarische Gegenlichtsituation (Beobachtungsentfernung ca. 8m, Gegenlicht unter  $\gamma=45^\circ$ ) ein erheblicher Kontrast  $K=0,3\dots0,7$  zwischen der

polierten beziehungsweise geschliffenen Oberfläche und den sägerauen, scharrierten und gestockten Varianten. In den entsprechenden Situationen mit seitlichem oder rückseitigem Lichteinfall reduzieren sich diese Kontrastwerte auf  $K=0,1 \dots 0,3$ .

In dieser Gegenüberstellung ist jedoch die Beleuchtungsabhängigkeit der Glanzwirkung insbesondere der polierten und geschliffenen Oberfläche zu berücksichtigen. Die hohen Kontraste bei Gegenlicht entstehen durch sehr helle, nahezu spiegelnd reflektierende polierte und geschliffene Oberflächen im Kontrast zu bei dieser Beleuchtung deutlich dunkleren anderen Oberflächenformen. Für die Seiten- und Rückseitenbeleuchtung kehren sich diese Verhältnisse um. Die dann nominell niedrigeren Kontraste entstehen durch hellere sägeraue, scharrierte und gestockte Varianten in Gegenüberstellung zu den bei dieser Beleuchtung erheblich dunkleren polierten und geschliffenen Oberflächen.

Abschließend werden durch die Bearbeitungsform erzeugte Unterschiede in der inneren Materialstruktur der sechs Oberflächen betrachtet. Alle Oberflächen können entsprechend des oben formulierten Vorschlages für eine reflexionsgradbasierte Inhomogenitätsklassierung von Bodenmaterialien als moderat bis deutlich inhomogen bezeichnet werden. Die Standardabweichung der kleinflächig bestimmten Reflexionsgradverteilung variiert zwischen dem niedrigsten Wert (sägerau) und dem höchsten Wert (gestockt) um  $\Delta\text{STD}(\rho_{\text{dif}/45})=0,017$  (Abbildung 61).

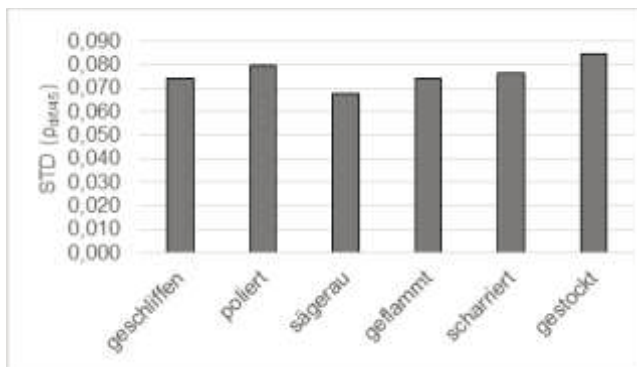


Abbildung 61: Inhomogenitätscharakterisierung der inneren Materialstruktur der sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung

Im Fazit der exemplarischen Untersuchung zum Einfluss unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung lässt sich zunächst festhalten, dass vor dem Hintergrund visueller Barrierefreiheit eine Materialcharakterisierung unabhängig von der Oberflächenbearbeitung nicht zweckmäßig ist. Die aufgezeigten Variationen sowohl in diffusem Reflexionsgrad als auch insbesondere dem beleuchtungs- und beobachtungsabhängigen praktischen Reflexionsverhalten belegen dies.

Weiterhin kann vorbehaltlich weiterer Untersuchungen an anderen unterschiedlich bearbeiteten Materialien geschlossen werden, dass der Einfluss der Oberflächenbearbeitung bei

identischem Material nicht groß genug ist, um allein als ausreichend kontrastierende Gestaltung im Sinne der visuellen Barrierefreiheit gelten zu können.

### **6.3 Probandentests unter Laborbedingungen**

#### *Erkennbarkeit visueller Kontraste*

Wie aus den vorangegangenen labortechnischen Messungen hervor geht, kann die Inhomogenität von Oberflächen und Oberflächenrauigkeit die Kontrastwahrnehmung beeinflussen. Mit den nachfolgenden Probandentests sollen diesen messtechnischen Untersuchungen wahrnehmungsphysiologisch näher untersucht werden. Dabei werden neben der inneren Struktur auch die den Kontrast beeinflussenden Merkmale der Fugenanteile, des Fugenbildes und des Fugenverbands sowie der Zusammenhang zwischen Breite von Leitstreifen und Kontrast untersucht. Die DIN 32984 verlangt im Innen- Außenraum für Elemente mit Leitfunktion einen Kontrast von  $K \geq 0,4$ . Nach der Norwegischen Norm NS 11005 reicht im Innenraum ein Kontrast von  $K=0,2$  zwischen Boden und Wand für eine Leitfunktion aus (NS 11005.E:2011, S. 31). In der Schweiz und in Österreich sind Mindestkontraste von 0,3 für Leitelemente vorgesehen. Wie in 4.5 dargelegt ist damit in den europäischen Normen eine relative große Unterschiedlichkeit in den Anforderungen für Leitelemente hinterlegt. Um mit den Untersuchungen einen Beitrag für eine mögliche Vereinheitlichung der Anforderungen zu leisten, wird für die folgenden Tests eine Kontrastvarianz zwischen 0,1 und 0,5 für Flächen zu Grunde gelegt. Für kleinteilige Einflussmerkmale wie Fugen werden höhere Kontrastbereiche zwischen 0,4 und 0,9 berücksichtigt (analog zu Schriftzeichen).

#### Hinweis

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Tests Kontraste und Mindestreflexionsgrade verwendet wurden, die die Anforderungen der DIN 32984 unterschreiten. Die abweichenden Werte wurden in dem Testdesign zu Grunde gelegt, um die Effekte bestimmter Merkmale auf die Kontrastwirkung herauszuarbeiten.

Die hier zu Grunde gelegten Kontrastwerte begründen keine Abweichung bei der Anwendung der DIN 32984 in aktuellen Planungssituationen.

#### *Testdesign*

Die Probandentests sind angelegt in einem „varianzanalytische Design“. Darstellungen verschiedener Testinhalte in Abhängigkeit der zu untersuchenden Fragestellung werden dem Probanden als Bilder einer Projektion dargeboten. Diese sind im Realmaßstab ihrer jeweiligen Inhalte dargestellt. Da die Auswertung gebauter Beispiele gezeigt hat (siehe 0 Die Diskussion

der in Deutschland gültigen Normen und der Vergleich mit dem europäischen Ausland zeigen, dass es für verschiedene Kriterien der barrierefreien Gestaltung beispielsweise die Kontrastanforderung unterschiedliche inhaltliche Auffassungen gibt. Diese münden dann entsprechend in unterschiedlichen Kennwerten oder funktionalen Beschreibungen in den entsprechenden Normen.

Diese Unterschiede sowie die damit verbundene Sicherstellung von visueller Barrierefreiheit gilt es, immer im Hinblick auf die deutsche Normung, zu hinterfragen und ihre Funktionalität und Sinnhaftigkeit zu prüfen. Somit können Argumente gewonnen werden, die es möglich machen, die Einflussfaktoren für die positive Unterstützung der eigenständigen Mobilität sehbehinderter Menschen zu beschreiben und damit Fragen, welche die deutsche Normung aufwirft, möglicherweise zu beantworten und Sicherheit sowohl in die Planung als auch die Umsetzung visueller Barrierefreiheit zu schaffen.

Vor allem die Untersuchung Sonstiger Leitelemente sowie der aus den Recherchearbeiten identifizierten Kriterien der visuellen Wahrnehmung mit der zentralen Frage ihrer Ausgestaltung und in der Folge Funktionalität unter bestimmte Randbedingungen und der damit verbesserten Wahrnehmung ist Gegenstand weiterer Schritte des Projektes. Ausgehend von den aufgeworfenen Fragen aus der Normendiskussion sowie dem Vergleich zum Ausland haben sich bestimmte Einflussfaktoren erhärtet, deren Dimension der Beeinflussung und technische Kriterien unklar sind. Das in den folgenden Abschnitten erläuterte Vorgehen soll der Qualifizierung o.g. Kriterien dienen.

Qualifizierung von Bewertungskriterien durch Evaluation realisierter Projekte, dass der semantische Bezug eine wichtige Rolle beim Erkennen von Leitelementen spielt, werden typische Materialien des Innen- bzw. Außenraums, typische Belagsverbände (Verlegemuster) und typische räumliche Situationen und als Grundlage für die Tests verwendet. In jedem Test werden die präsentierten Bilder nach dem Zufallsprinzip gemischt.

### *Reaktionszeit*

Um die Qualität der Probandenaussagen zu differenzieren und folglich Rückschlüsse beispielsweise auf die Funktionalität von in den Tests dargebotenen Lösungen abzuleiten, wird das Kriterium der Reaktionszeit genutzt. Wie vorhergehende Forschungsvorhaben bereits nachgewiesen haben (vgl. Hagen 2009), findet die Reaktion in vergleichbaren Probandentest in einem sehr kleinen Zeitabschnitt statt. Es ist demnach notwendig eine sehr feine zeitliche Auflösung der Reaktionszeiten abbilden zu können.

Für die Aufnahme der Antworten der Probanden inklusive der Reaktionszeiten wurde ein Audience Response System genutzt (Siehe Abbildung 66). Hierüber werden sowohl die Auswertung über richtige und falsche Antworten automatisiert abgebildet als auch Reaktionszeiten antwort- und probandenspezifisch erfasst. Für das Kriterium der Reaktionszeit bietet das System den Vorteil einer Auflösung nach Darbietung beispielsweise eines Bildes bis in den Hundertstel-Sekunden Bereich. Dies wiederum kann über tabellarische Auswertungsfunktionen ausgegeben und für die statistische Weiterverwertung genutzt werden.

### *Testauswertung*

Es werden insgesamt fünf Tests durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt durch deskriptive und inferenzstatistische Verfahren unter Nutzung der Software IBM SPSS Statistics in den Programm-Versionen 23.0 und 24.0. Die spezifischen Auswertungswege der Tests werden in den jeweiligen Ergebnisabschnitten formuliert.

### *Räumliche Voraussetzungen*

Die Tests wurden unter Laborbedingungen in einem abgedunkelten Raum durchgeführt. Die Tests haben in Berlin und Dresden stattgefunden. Um dieselben Kontraste der dargebotenen Materialien an unterschiedlichen Orten sicherzustellen, wurden die Leuchtdichten der präsentierten Materialien vor jedem Testdurchlauf an der Projektionsleinwand mit einer Leuchtdichtekamera gemessen. So wurde der tatsächlich dargebotene Kontrast bestimmt und es konnten Korrekturen in den Bilddateien vorgenommen werden. Die Tests wurden erst vorgenommen, nachdem der geplante Kontrast einer Darstellung dem tatsächlich gemessenen Kontrast unter Testbedingungen entsprach.

Die Sehzeichen wurden digital auf einer Leinwand präsentiert, vor der die Probanden in einem Abstand von 2 m bzw. 4 m saßen. Dieser Prüfabstand leitet sich aus dem in DIN 32975:2009-12 definierten Nahbereich ab. Die Größe der Darbietungen wurde auf einen Visus 0,1 bezogen.

### *Definition des Nahbereichs*

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben für den Nahbereich, in dem sich Sehbehinderte vornehmlich orientieren. DIN 32975:2009-12 gibt diesen Bereich mit 3 m bis 4 m an. Stiebich ermittelte in ihrer Abschlussarbeit in einer Befragung von Betroffenen einen Nahbereich in fremder Umgebung von bis zu 5 m. (Stiebich 2007) Bright und Cook dagegen gehen

von 2 m aus, da Sehbehinderte dazu tendieren, sich direkt vor ihnen auf dem Boden zu orientieren. (Bright, Cook 2010; S. 128)

Für die weiteren Untersuchungen wird der Nahbereich resultierend aus den verschiedenen Beschreibungen als ein Bereich zwischen 2 m und 4 m definiert, um zum einen den Bereich der DIN zu berücksichtigen und zu anderen den als relevant erachteten Bereich von 2 m mit einzubeziehen.

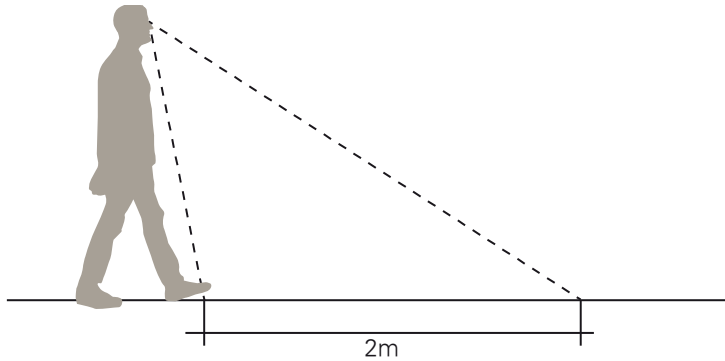


Abbildung 62. Nahbereich nach Bright & Cook (2010)

Der Begriff des Nahbereiches ist in Abhängigkeit verschiedener Fachbereiche, die das Arbeitsfeld der Orientierung und des Sehens betreffen, mit unterschiedlichen Bedeutungen belegt. Damit kann ein missverständlicher Einsatz des Begriffes bspw. für einen Bereich wenige (Zentimeter vor dem Gesicht), nicht ausgeschlossen werden. Dies wurde in einem zweiten Expertenworkshop im April 2017 diskutiert. Nach der Sammlung einiger Argumente, die die Verwendung dieses Begriffes im Kontext der Kontrastwahrnehmung zur Orientierung als hinterfragbar stehen lassen, wird für die Einführung eines neuen Begriffes plädiert. Dabei sollte dieser das Problem des Erkennens in der fußläufigen Bewegung im Zusammenhang mit Architektur und Landschaftsarchitektur beschreiben. Im Folgenden wird für diesen Anwendungsfall vom „Nahorientierungsbereich“ oder besser vom „orientierungsrelevanten Mittelbereich“ gesprochen.

### *Probandenrekrutierung*

Angestrebt wurde eine Probandenanzahl von mindestens 50 Personen, um möglichst aussagekräftige und repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Die Rekrutierung von Probanden erfolgte über mehrere Anlaufstellen:

- Augenklinik des Uniklinikum Dresden (persönliche Ansprache)
- DBSV/ABSV Berlin (Aufruf per E-Mail-Verteiler und Newsletter)

- Arbeitsgruppe Studium für Blinde und Sehbehinderte an der Technischen Universität Dresden (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Professur Mensch-Computer Interaktion, Fakultät Informatik/Institut für angewandte Informatik an der Technischen Universität Dresden (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Sozialberatung des Studentenwerks der TU Dresden (Stammtisch für Studierende mit Handicap)
- AugenCentrum Dresden, Augenarztpraxis (Aushang)
- SGV Dresden e.V., Goalball-Mannschaft (Aufruf per E-Mail-Verteiler)

Einrichtung	Angestrebte Anzahl	Erreichte Anzahl
TU Dresden – Studierende und Mitarbeiter	10	1
Augenklinik des Uniklinikum Dresden	25	9
DBSV/ABSV Berlin	15	14
SGV Dresden e.V.	-	2
<b>Summe</b>	<b>50</b>	<b>26</b>

Tabelle 14: Übersicht der durchgeführten Rekrutierungsmaßnahmen mit resultierender Anzahl an Probanden

Alle Probanden füllten im Vorfeld einen Fragebogen aus, in denen Sie Angaben zu ihrer Person (soziodemografische Angaben), zur Erkrankung (Visus, Gesichtsfeldausfälle, Farbsehen, Blendempfindlichkeit, Kontrastsehvermögen) sowie zur Orientierung (Absolvieren eines Mobilitätstrainings, Nutzung von Hilfsmitteln, Angaben der Entfernungen, in denen sich in bekannten und unbekannter Umgebung orientiert wird) machten.

Die Probanden gaben im Vorfeld eine schriftliche Einverständniserklärung für die Teilnahme an den Untersuchungen ab. Sie wurden ausführlich über die Ziele, Nutzen und mögliche Risiken informiert. Vor Beginn wurde der Versuchsablauf erklärt und offene Fragen beantwortet. Alle erhobenen Daten sind in anonymisierter Form festgehalten.

#### *Probandenauswahl*

Die Probandengruppe sollte möglichst eine breite Verteilung der Seherkrankungen in der Allgemeinbevölkerung widerspiegeln.

Einschlusskriterien:

- Die Person kann sich eigenständig im Stadtraum bewegen. Ohne Langstock, Blindenhund oder fremde Hilfe durch eine zweite Person.



- Visus 0,3 bis 0,1 und/oder Gesichtsfeldeinschränkung, unabhängig von der Art der Seherkrankung (gilt für die Akquise der Probanden; genaue Beschreibung des Probandenfeldes siehe unten)

Ausschlusskriterien sind:

- Akutpatienten der Augenklinik
- Blindheit nach WHO (Restsehvermögen < 2%)
- Kognitive Einschränkungen

Die Probandengruppe soll möglichst die Verteilung der Seherkrankungen in der Allgemeinbevölkerung widerspiegeln. Es werden keine Seherkrankungen ausgeschlossen.

#### *Probandenbeschreibung*

*Vorliegende Augenerkrankungen, zum Teil Mehrfacherkrankungen:*

Makuladegeneration:	5 Probanden
Diabetische Retinopathie:	1 Proband
Retinitis pigmentosa (RP):	2 Probanden
Glaukom:	8 Probanden
Katarakt:	6 Probanden
Myopie (Kurzsichtigkeit):	2 Probanden
X-chromosomale Blauzapfenmonochromasie:	2 Probanden

Weitere vorliegende Erkrankungen waren: Optikusneuritis, Zapfen-Stäbchen-Dystrophie (ZSD), Nystakmus, Mikrophthalmus, Atrophie der Sehzellen, Zapfendystrophie, Netzhautablösungen, rheumatoide Arthritis und Hornhauterkrankungen.

#### *Visus*

Vor Ort wurde mit allen Probanden ein Visustest (binokular) mittels Landolt-Sehprobentafel durchgeführt. Nach diesem Sehtest hatten 15 Probanden einen ermittelten Visus < 0,1. Diese Probanden wurden für die Labortests zugelassen, obwohl das Kriterium für die Auswahl anders lautete. Es beteiligten sich Probanden im Visusbereich von 0,02 bis 0,8.

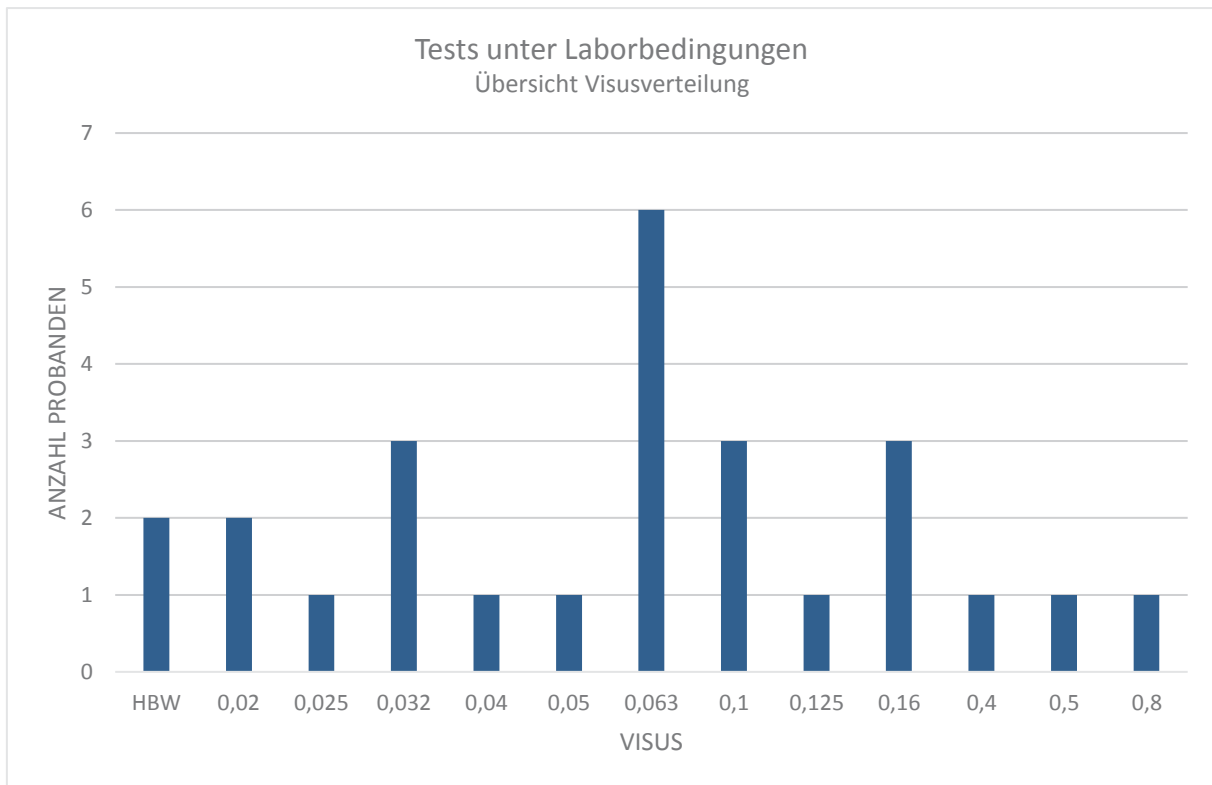


Abbildung 63: Übersicht zur Verteilung des Visus über 26 Probanden der ‚Tests unter Laborbedingungen‘ (HBW=Handbewegung)

#### *Alter und Geschlecht*

Der jüngste Proband war 23 Jahre alt, der älteste 74 Jahre. Insgesamt beteiligten sich 26 Personen mit Einschränkungen in der Sehfähigkeit, davon waren 11 männlich und 15 weiblich.

#### *Farbsehen*

Zwei Probanden waren farbenblind, 14 Teilnehmer gaben an, Farben nur eingeschränkt wahrnehmen zu können.

#### *Kontrastsehvermögen*

Schwierigkeiten im Wahrnehmen von Kontrasten hatten nach eigener Angabe nahezu alle Teilnehmer (19), vor allem bei Dämmerungsverhältnissen und in Dunkelheit, bei ähnlichen Farbtönen, grellem Licht, Blendung und an grauen Tagen. Nur drei Probanden haben nach der Auswertung der Fragebögen ein uneingeschränktes Kontrastsehvermögen.

*Gesichtsfeldausfall*

16 der insgesamt 26 Probanden gaben an einen vollständigen oder überwiegenden Gesichtsfeldausfall in einem oder mehreren Quadranten zu haben, 1 Proband machte dazu keine Angabe. 5 Probanden hatten konzentrische Einschränkungen des Gesichtsfelds. Bei 9 Teilnehmern waren die Gesichtsfeldeinschränkungen unregelmäßig, 5 konnten dazu keine Angabe machen.

*Blendempfindlichkeit*

22 Probanden gaben an, blendempfindlich zu sein. Davon waren 15 Probanden nach eigenen Angaben sehr blendempfindlich und 7 Probanden blendempfindlich. Nur ein Proband gab an kaum blendempfindlich zu sein. Es gab keinen Probanden der überhaupt nicht blendempfindlich war.

*Mobilitätstraining*

Acht Testpersonen haben zum Zeitpunkt der Teststreckenbegehungen bereits ein Mobilitätstraining absolviert. 4 Probanden nutzen regelmäßig Hilfsmittel auf ihren Wegen, genannt wurden Langstock, verschiedene Sehhilfen, Begleitpersonen, Smartphones und dazugehörige Apps beispielsweise zur Navigation.

*Orientierung in bekannter und unbekannter Umgebung*

In bekannten räumlichen Situationen im Innenraum orientieren sich die meisten Probanden nach eigenen Angaben vor allem im Nahbereich (bis 2 m) und in mittlerer Entfernung (bis 5 m). In unbekanntem innenräumlichen Situationen ebenso. Hier wäre treffender der im Expertenworkshop dieses Projektes generierte Begriff ‚orientierungsrelevanter Mittelbereich‘ anzuwenden.

In bekannten räumlichen Situationen im Außenraum orientieren sich die meisten Probanden in mittlerer Entfernung (bis 5 m) und in der Ferne (bis 10 m). In unbekanntem Außenraumsituationen vor allem im Nahbereich (bis 2 m) und in mittlerer Entfernung (bis 5 m) (orientierungsrelevanter Mittelbereich).

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Probandenangaben befindet sich im Anhang (siehe 12.2 Probandenbeschreibung).

*Testablauf*

Die Tests fanden an insgesamt 7 Tagen statt. Am 07., 08. und 14. Juli 2016: im Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

(BBR), Referat II 6 Bauen und Umwelt sowie am 15., 25., 26. und 27. Juli 2016: im Simulatorraum der TU Dresden, Professur für Verkehrspsychologie.

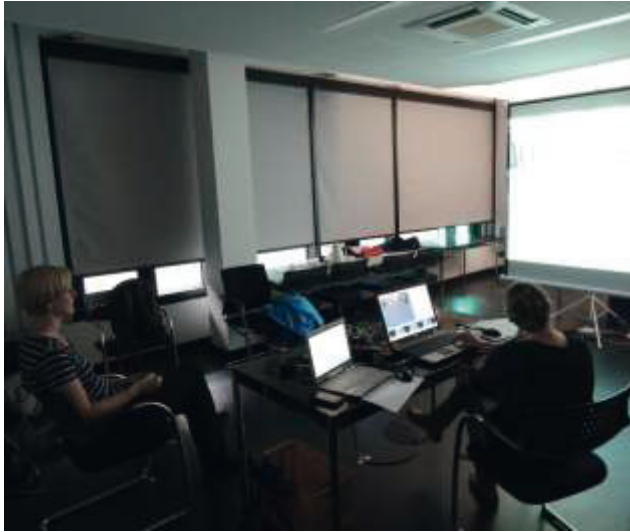


Abbildung 64. Testaufbau in Berlin, Betrachtungsabstand 4m



Abbildung 65. Testaufbau in Dresden, Betrachtungsabstand 2 m

Nach jedem Testbild wird kurz ein rein schwarzes Bild gezeigt, um einerseits die Augen zu entspannen und andererseits ein Nachblenden des vorhergegangenen Testbilds zu verhindern. In jeden Test werden 20% Bilder ohne Inhalt, d.h. Kreiszeichen mit rein unbunter (grauer) Füllung eingemischt, um einen Unsicherheitsfaktor zu erzeugen.

Die Tests wurden in folgender Reihenfolge durchgeführt:

1. Fugenteil LA1
2. Fugenverband LA2
3. Innere Materialstruktur LC
4. Fugenkombination LA3
5. Breite von bodengebundenen Leitelementen LB



Abbildung 66: Erläuterung der Nutzung des Audience Response Systems.

Dargebotenes Bild mit einem Streifen auf der rechten Bildseite. Auf der Fernbedienung (rechtes Bild) war als Eingabe der Button ‚3‘ zu drücken.

Entscheidungen



Abbildung 67: Entscheidungsmöglichkeiten für Probanden bei der Benutzung des Audience Response Systems.

### 6.3.1 Einfluss von Fugenbildern (LA)

Für die drei folgenden Tests zum Einfluss von Fugenbildern auf die Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelementen werden die präsentierten Testbilder mit einem CAD-Programm erstellt. Es werden lediglich unbunte Farbtöne verwendet, um andere Einflussfaktoren wie Materialstruktur, etc. auszuschließen. Die gezeichneten unterschiedlichen Fugenanteile bzw. Verlegearten, Formate und Fugenbreite (1 cm) der Beläge leiten sich aus gängigen, im Außenraum entsprechend häufig verwendeten Verlegetypologien ab. Die dargebotenen Kombinationen lassen sich sicher aber auch auf Innenraumsituationen übertragen. Die aus unterschiedlichen Fugenanteilen (LA1), Fugenverbänden (LA2) bzw. Fugenkombinationen (LA3) bestehenden Teststreifen werden jeweils mit homogenen, fugenlosen Flächen kombiniert. Die Bilder werden sowohl mit hellem als auch mit dunklem Hintergrund gezeigt. Bei den Bildern mit hellem Hintergrund werden die Fugen mittels Bildbearbeitungsprogramm im Kontrast in den Stufen  $K=0,4$ ;  $K=0,7$  und  $K=0,9$  variiert, bei den dunklen Bildern wird der Hintergrund analog in den Kontraststufen variiert. In jedem Test wurde jeweils nur eine Variable, nämlich der schmale, 60 cm breite Teststreifen, verändert. Der Hintergrund (homogene, graue oder weiße Fläche bei Fugenanteile (LA1) und Fugenverband (LA2) bzw. quer verlegter Pflasterverband bei Fugenkombination mit grauem oder weißem Untergrund (LA3) wurde durchgehend gleichbleibend eingesetzt. Durch die gewählten unterschiedlichen Plattenformate in den Tests Fugenkombination (LA3) und Fugenverband (LA2) wurden auch in diesen Tests unterschiedliche Fugenanteile präsentiert. Als Unsicherheitsfaktor wurde den Testbildern ein Anteil von 20% neutraler, sprich Bilder ohne Fugenmuster, zufällig zugemischt. Diese waren zu gleichen Teilen weiß schwarz und grau.

Die Bilder wurden den Probanden über eine Beamerprojektion auf einer Leinwand präsentiert, vor der sie in einem Abstand von 2 m saßen, um den realen Einzugsbereich in einem Winkel von 45° auf den Boden zu gewährleisten. Die Kantenlänge der dargebotenen Quadrate beträgt 1,8 m. Dieses Maß lässt die Präsentation von Fugenbildern im Realmaßstab zu. Die Leuchtdichten der präsentierten Unbuntkontraste werden unter Testbedingungen vorab an der Projektionsleinwand mit einer Leuchtdichtekamera gemessen, um den tatsächlich dargebotenen Kontrast zu bestimmen und gegebenenfalls Korrekturen in den Bilddateien vorzunehmen.

### *6.3.1.1 Einfluss des Fugenanteils (LA1)*

#### *6.3.1.1.1 Testaufbau*

Fragestellungen: Ist es möglich, die Erkennbarkeit eines bodengebundenen Leitelements durch den gewählten Fugenanteil zu verbessern? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der Dichte der Fugen (Fugenanteil) und der Reaktionszeit bei variierenden Kontrasten zwischen Fuge und Hintergrund?

Hypothese 1: Es ist möglich, die Erkennbarkeit eines bodengebundenen Leitelements durch einen bestimmten Fugenanteil zu verbessern.

Hypothese 2: Ab einem bestimmten Fugenanteil und einem bestimmten Kontrast erkennen die Probanden das Leitelement schneller.

Beispielhafte Untersuchungsstruktur:











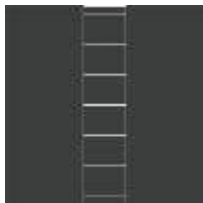







	K=0,9	K=0,7	K=0,4
Fugenanteil 4 cm			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Fugenanteil 8 cm			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Fugenanteil 12 cm			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Fugenanteil 16cm			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Fugenanteil 32cm			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Fugenanteil 16cm Negativ			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:

Tabelle 15: Beispielhafte Untersuchungsstruktur des Test Einfluss des Fugenanteils

Testbild: Quadrat (1,80 m x 1,80 m) in dem ein Leitelement mit Fugenbild im realen Maßstab dargestellt ist. Die Fugenanteile werden durch in unterschiedlichen Abständen angeordnete Linien variiert. Die Abstände werden mit 4, 8, 12, 16 und 32 cm gewählt und entsprechen der Bandbreite möglicher realer Fugenabstände bei Bodenbelägen im Innen- und im Außenraum.

Aufgabe der Probanden: Geben Sie an, ob sich der Streifen mit dem Fugenbild links, rechts oder in der Mitte befindet.

Unsicherheitsfaktor: Bilder ohne Fugenanteile, d.h. die Probanden sehen ein rein homogenes graues, weißes oder schwarzes Quadrat

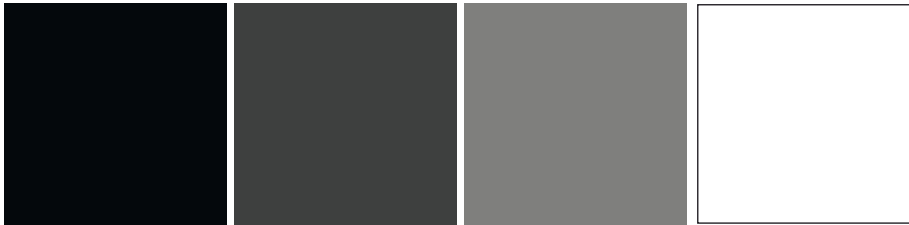


Abbildung 68: Unsicherheitsfaktor, Bilder ohne Fugenanteile

Anzahl der gezeigten Bilder:

Anteil 4cm (hell auf dunkel): 9 Bilder

Anteil 4cm (dunkel auf hell) 9 Bilder

Anteil 8cm (hell auf dunkel): 9 Bilder

Anteil 8cm (dunkel auf hell): 9 Bilder

Anteil 12cm (hell auf dunkel): 9 Bilder

Anteil 12cm (dunkel auf hell): 9 Bilder

Anteil 16cm (hell auf dunkel): 9 Bilder

Anteil 16cm (dunkel auf hell): 9 Bilder

Anteil 32cm (hell auf dunkel): 9 Bilder

Anteil 32cm (dunkel auf hell): 9 Bilder

Anzahl der gezeigten Bilder:

Bilder mit Fugenanteilen: 91 Bilder

(9 Bilder je Fugenanteil mit hellem und dunklem Untergrund)

Bilder ohne Inhalt 15 Bilder

SUMME: 106 Bilder

TESTZEIT (3s je Bild): 5,3 min



### 6.3.1.1.2 Ergebnisse Test Einfluss des Fugenanteils

Für die Auswertung des Tests wurden die Anteile 4, 8, 12, 16 und 32 cm (Messwiederholungsvariable) jeweils mit hellem und dunklem Hintergrund und mit Variation des Kontrasts in den Stufen  $K= 0,4$ ,  $K= 0,7$  und  $K= 0,9$  herangezogen. Die Auswertungen erfolgten mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen für die Hintergründe (hell versus dunkel) und die Kontraststufen separat vorgenommen. Wenn sich beim Mauchlys-Test auf Sphärizität eine Signifikanz von  $p < .001$  ergab, wurde der Greenhouse-Geisser Test zu Grunde gelegt. Die Messung der tatsächlich den Probanden in der Laborsituation präsentierten Kontraste lagen im Durchschnitt bei 0,56, 0,81 und 0,93 und damit etwas höher als die durch das Bildbearbeitungsprogramm voreingestellten Werte. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht der Berechnungsergebnisse. Lediglich bei der Variable  $K= 0,7$  dunkel konnte Sphärizität angenommen werden. In allen anderen Fällen wurde die Korrektur nach Greenhouse-Geisser vorgenommen.

<b>Variable Kontrastwert SIG &lt; 0,001</b>	<b>F-Werte nach Greenhouse-Geisser</b>	<b>Signifikanz nach Green- house-Geisser</b>
K 0,4 (0,56) hell	$F_{(1,4;32,9)} = 0,42$	$P= 0,60 > 0,05$
K 0,7 (0,81) hell	$F_{(2,1;47,0)} = 1,06$	$P= 0,37 > 0,05$
K 0,9 (0,93) hell	$F_{(1,4;28,7)} = 0,78$	$P= 0,41 > 0,05$
K 0,4 (0,56) dunkel	$F_{(2,3;55,0)} = 5,64$	<b><math>P= 0,04 &lt; 0,05</math></b>
K 0,9 (0,93) dunkel	$F_{(1,7;39,1)} = 1,02$	$P= 0,35 > 0,05$
<b>Variable Kontrastwert SIG &gt; 0,001</b>	<b>F-Werte Sphärizität angenommen</b>	<b>Signifikanz Sphärizität angenommen</b>
K 0,7 (0,81) dunkel	$F_{(4,92)} = 2,97$	<b><math>P= 0,02 &lt; 0,05</math></b>

Tabelle 16: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser für drei Kontraststufen jeweils für hellen und dunklen Hintergrund der Labortests Fugenanteil

Die Ergebnisse der Auswertung der Signifikanz-Tests liegen mit Ausnahme der Variable  $K 0,4$  dunkel und  $K 0,7$  dunkel für alle Kontrastvariablen über dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von  $p = 0,05$ . Die Testergebnisse können mit Ausnahme der beiden benannten Testreihen somit nicht als signifikant, sondern lediglich als Trend gewertet werden.

Der Anteil der Falschnennungen liegt insgesamt im sehr niedrigen Bereich (max. 6 von 75). Im Vergleich zum Test zur Fugenausrichtung sind hier insgesamt deutlich langsamere mittlere Reaktionszeiten festzustellen (Siehe Abbildung 69). Dies gilt insbesondere für Bilder mit hellem Hintergrund (siehe Abbildung 70). Analog zum Test zur Fugenausrichtung werden die Fu-

genbilder bei hellem Hintergrund deutlich langsamer erkannt als bei variierendem dunklen Hintergrund (Abbildung 71). Eine Ursache könnte in der sehr hohen Blendempfindlichkeit von 15 Probanden liegen.

Dennoch ist festzustellen, dass die im Test Fugenteil präsentierte, vergleichsweise homogene Fugenanordnung (nur horizontale Linien), sowohl bei den hellen als auch bei den dunklen Testbildern jeweils deutlich langsamer erkannt wurden als die dargebotenen Fugengebilde im Test Fugenausrichtung, die variierende Fugenanordnungen zeigten (siehe 6.3.1.2).

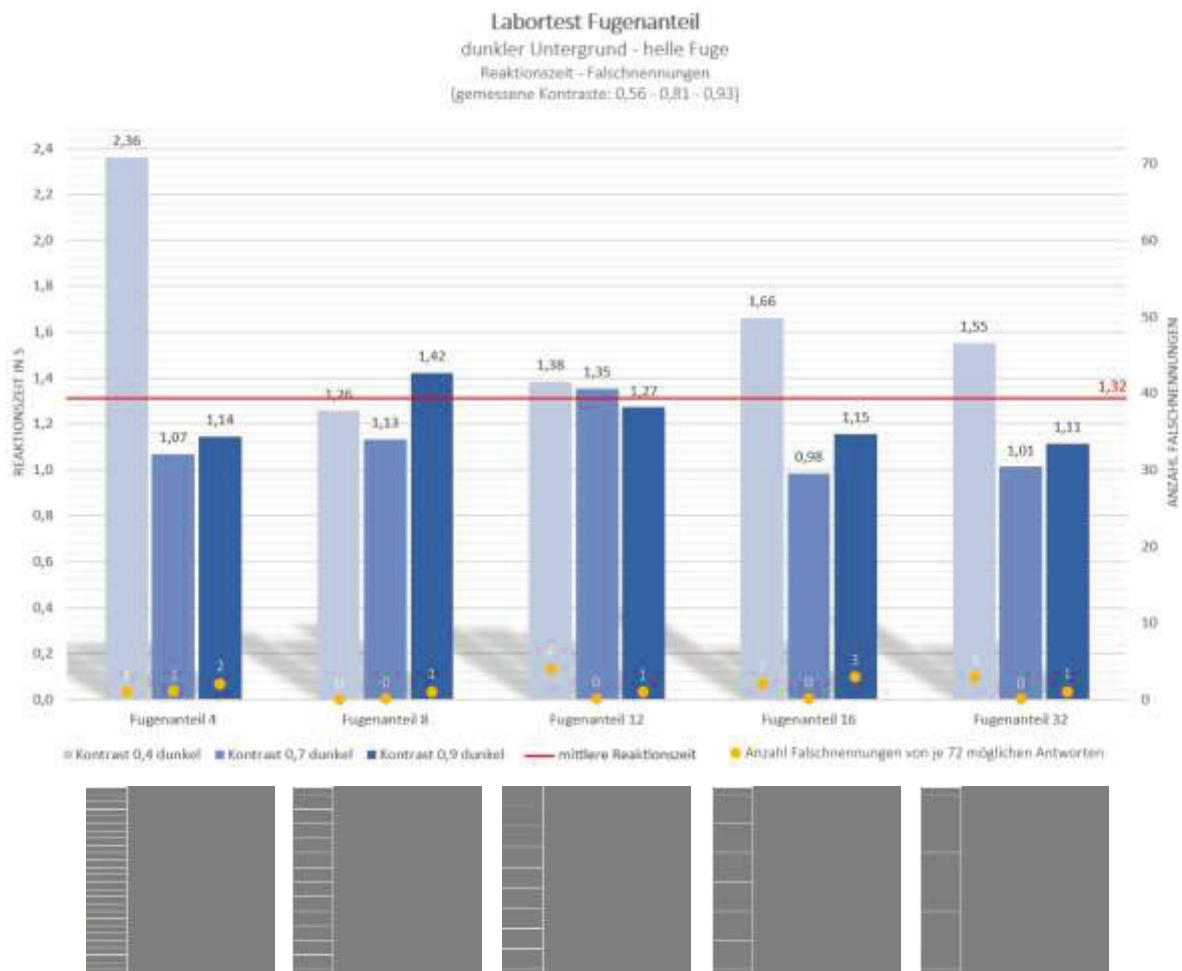


Abbildung 69: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Untergrund

Hinsichtlich des Fugenteils ist bei Bildern der mittleren und hohen Kontraststufen festzustellen, dass die extremen Fugenteile tendenziell schneller erkannt werden als die mittlere Fugendichte.

Für den höchsten Fugenteil konnten im Durchschnitt die geringsten Reaktionszeiten aufgezeichnet werden. Die Schwankungsbreite der Reaktionszeiten ist für die gezeigten unterschiedlichen Fugenteile bei mittleren und hohen Kontrasten vergleichsweise gering.

Bei den geringen dargebotenen Kontrasten von K 0,4 ist die Schwankungsbreite deutlich höher. Hier ist festzustellen, dass der Einfluss des Fugenanteils prägnanter auszumachen ist. Die extremen Fugenanteile (4 cm = sehr hoch und 32 cm = sehr niedrig) schneiden bei den geringen Kontrasten am schlechtesten ab. Dies hängt vermutlich damit zusammen, dass in beiden Fällen die Fugenstruktur wegen der geringen Kontraste eher verschwimmt. Die Ergebnisse werden auch bei der Betrachtung der Standardabweichungen bestätigt (siehe Kapitel 12.6).



Abbildung 70: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit hellem Untergrund

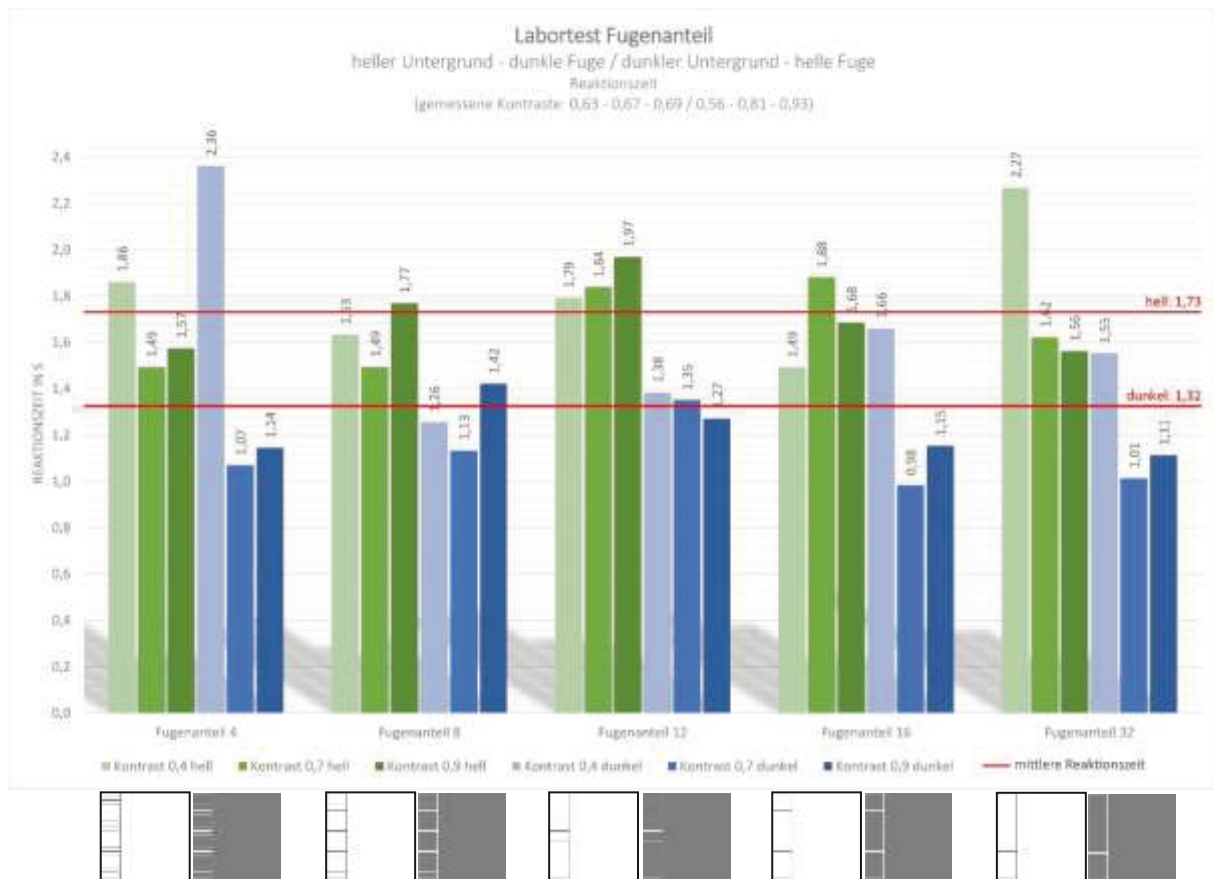


Abbildung 71: Reaktionszeiten für alle Bilder

### Fazit Fugenanteil

- schnellere Reaktionszeiten bei hellen Fugen auf dunklem Hintergrund
- schnellere Reaktionszeiten bei extremen Fugenanteilen (4 und 32 cm) im mittleren und hohen Kontrastbereich ( $K=0,7$  und  $0,9$ ) sowohl bei hellem als auch bei dunklem Hintergrund
- bei geringer Kontraststufe ( $K=0,4$ ) werden die Testbilder mit mittlerer Fugendichte (8, 12 und 16 cm) schneller erkannt, die extremen Fugenanteile (4 und 32 cm) werden sowohl bei hellem als auch bei dunklem Hintergrund deutlich langsamer erkannt

Demnach ist festzustellen, dass bei geringen Kontrasten zwischen Belag und Fuge eher ein mittlerer Fugenanteil zu einer Verbesserung der Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelementen führen kann (extreme Fugenanteile verschwimmen), während bei hohen Kontrasten zwischen Fuge und Belag auch extreme Fugenanteile die Erkennbarkeit erhöhen können. Die Hypothese, dass ab einem bestimmten Fugenanteil grundsätzlich eine verbesserte Erkennbarkeit des Teststreifens erfolgt, konnte nicht bestätigt werden.

*6.3.1.2 Einfluss des Fugenverbands (LA2)**6.3.1.2.1 Testaufbau*

Fragestellung: Hat die Wahl des Fugenverbands Einfluss auf das Erkennen von bodengebundenen Leitelementen?

Hypothese 1: Die Erkennbarkeit eines bodengebundenen Leitelements kann durch die Wahl eines bestimmten Fugenverbands bei bestimmten dargebotenen Kontrasten verbessert werden.

Hypothese 2: Diagonale Fugenverbände werden schneller erkannt als horizontale oder längs gerichtete.

Beispielhafte Untersuchungsstruktur:

	K= 0,9	K=0,7	K=0,4
Fischgrät			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Pflaster quer			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Kleinstein diagonal			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Platte quer			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Pflaster längs			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Negativ dunkel auf hell			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:

Tabelle 17: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Fugenverband‘

Alle Abbildungen mit Hintergrundbild homogener Fläche in Grauabstufungen bzw. in weiß

Pflaster lang

Teststreifen in längs verlaufendem Reihenverband, Formate 20 x 10 cm \*

Fischgrät

Teststreifen m Fischgrätverband (diagonal verlegt), Formate 20 x 10 cm\*

Kleinsteinal diagonal

Teststreifen in diagonal verlaufender Pflasterichtung mit breiten Fugen, Formate 8/11 cm\*

Pflaster quer

Teststreifen in quer verlaufendem Reihenverband, Formate 20 x 10 cm\*

Platte quer

Teststreifen im Reihenverband aus Platten, Formate 30 x 20 cm\*

\*Formatangaben entsprechen der Präsentationsgröße (typische Belagsformate im Innen- und Außenraum), gewählte Fugenbreite 1 cm, beim Teststreifen Kleinsteinal diagonal 1,5 bis 2 cm

Unsicherheitsfaktor: Bilder ohne Fugenbilder, siehe Unsicherheitsfaktor unter Abbildung 68  
Sehzeichen: Quadrat (1,50 m x 1,50 m) in dem ein Leitelement mit Fugenbild im realen Maßstab dargestellt ist.

Aufgabe der Probanden: Geben Sie an, ob sich das Leitelement mit dem Fugenbild links, rechts oder in der Mitte befindet.

Anzahl der gezeigten Bilder:

Pflaster längs (hell auf dunkel): 9 Bilder

Pflaster längs (dunkel auf hell): 9 Bilder

Fischgrät (hell auf dunkel): 9 Bilder

Fischgrät (dunkel auf hell): 9 Bilder

Kleinsteinal diagonal (hell auf dunkel): 9 Bilder

Kleinsteinal diagonal (dunkel auf hell): 9 Bilder

Pflaster quer (hell auf dunkel):	9 Bilder
Pflaster quer (dunkel auf hell):	9 Bilder
Platte quer (hell auf dunkel):	9 Bilder
Platte quer (dunkel auf hell):	9 Bilder

Anzahl der gezeigten Bilder:

Bilder mit Fugenausrichtung: 90 Bilder

(9 Bilder je Fugenverband mit hellem und dunklem Untergrund)

Bilder ohne Inhalt 18 Bilder

SUMME: 108 Bilder

TESTZEIT (3 s je Bild): 5,4 min

### 6.3.1.2.2 Ergebnisse Test Einfluss der Fugenverband

Bei dem Test zum Fugenverband wurden den Probanden typische Verlegemuster (Fugenverband) in Verbindung mit homogen dunklen bzw. hellen Flächen gezeigt. Die Bilder Pflaster längs, Fischgrät und Pflaster quer weisen gleiche Fugenanteile auf, die Bilder zu Kleinstein diagonal einen deutlich höheren Fugenanteil und Platte quer einen sehr geringen Anteil.

<b>Variable Kontrastwert SIG &lt; 0,001</b>	<b>F-Werte nach Greenhouse-Geisser</b>	<b>Signifikanz nach Green- house-Geisser</b>
K 0,9 hell	$F_{(2,4;52,0)} = 8,57$	<b><math>P = 0,00 &lt; 0,05</math></b>
<b>Variable Kontrastwert SIG &gt; 0,001</b>	<b>F-Werte Sphärizität angenommen</b>	<b>Signifikanz Sphärizität angenommen</b>
K 0,4 hell	$F_{(4,84)} = 4,19$	<b><math>P = 0,04 &lt; 0,05</math></b>
K 0,7 hell	$F_{(4,84)} = 4,04$	<b><math>P = 0,05 &lt; 0,05</math></b>
K 0,4 dunkel	$F_{(4,88)} = 5,44$	<b><math>P = 0,001 &lt; 0,05</math></b>
K 0,7 dunkel	$F_{(4,88)} = 1,69$	$P = 0,16 > 0,05$
K 0,9 dunkel	$F_{(4,88)} = 1,24$	$P = 0,29 > 0,05$

Tabelle 18: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser für drei Kontraststufen jeweils für hellen und dunklen Hintergrund der Labortests Fugenverband

Für die Auswertung des Tests wurden die Ausrichtungen Pflaster längs, Fischgrät, Pflaster quer, Kleinstein diagonal und Platte quer (Messwiederholungsvariable) jeweils mit hellem und dunklem Hintergrund gezeigt. Bei den Testbildern mit dunklem Hintergrund wurde dieser in den Stufen  $K = 0,4$ ,  $K = 0,7$  und  $K = 0,9$  im Kontrast variiert, während die Fugen in weiß präsentiert wurden. Bei den hellen Testbildern wurden bei weißem Hintergrund die Fugen in den



Stufen  $K=0,4$ ,  $K=0,7$  und  $K=0,9$  im Kontrast variiert. Die Auswertungen erfolgten mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen für die Hintergründe (hell versus dunkel) und die Kontraststufen separat vorgenommen. Das weitere Vorgehen entspricht den Analysen zum Fugenanteil (siehe 6.3.1.1.2).

Tabelle 18 zeigt eine Übersicht zu den Berechnungsergebnissen. Für alle Variablen mit Ausnahme der Variable  $K=0,9$  hell konnte Sphärizität angenommen werden. Für die Variable  $K=0,9$  hell wurde die Korrektur nach Greenhouse-Geisser vorgenommen. In der Auswertung konnten für die Kontraste  $K=0,4$  hell und dunkel,  $K=0,7$  hell und  $K=0,9$  hell Ergebnisse unter dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von  $0,05$  ermittelt werden. Die Testergebnisse für diese Kontrastvariablen können demnach als signifikant bewertet werden.

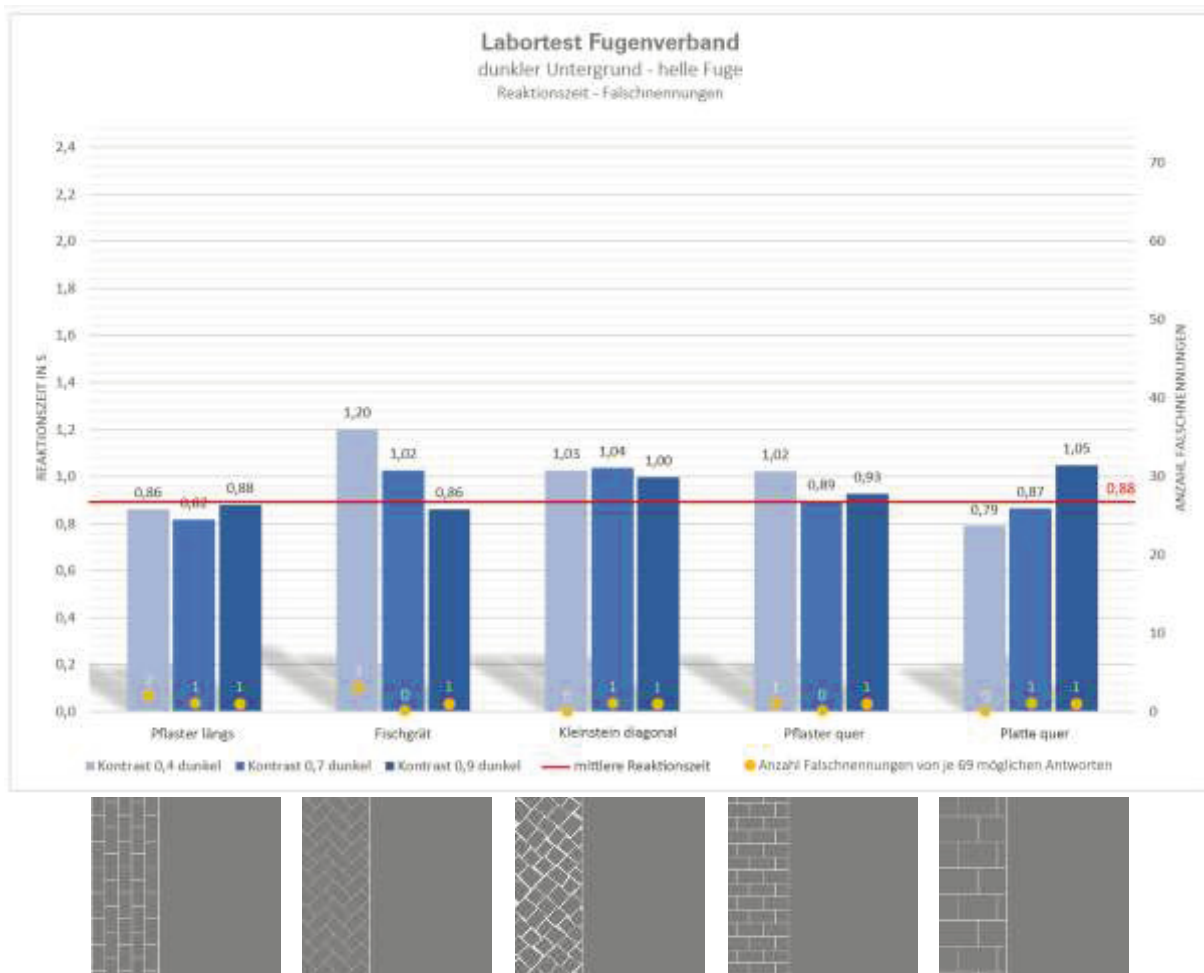


Abbildung 72: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Untergrund

Im Ergebnis zeigt sich in Verbindung mit der Betrachtung der Standardabweichung bei den Testbildern mit hellem Hintergrund in allen Kontraststufen eine Präferenz für die Verlegung in Kleinstein diagonal gefolgt von Pflaster quer und Fischgrät (Abbildung 72).

Grundsätzlich schwanken die Reaktionszeiten in Bezug auf die Verlegeart je nach Kontrast sehr deutlich. Bei hellem Hintergrund werden tendenziell der mittlere und hohe Kontrast schneller erkannt (Abbildung 73). Bei dem mittleren und hohen Kontrast ist jedoch außer bei dem schon benannten Testbild Kleinstein diagonal keine klare einheitliche Tendenz erkennbar. Auch ist nicht erkennbar, dass der Fugenanteil (Platte, Pflaster) oder ein auffälliger Fugenverband (Fischgrät) einen deutlichen Einfluss auf die Reaktionszeiten nimmt.

Das Testbild Kleinstein diagonal schneidet bei den Bildern mit dunklem Hintergrund eher schlechter ab. Hier werden durchgängig die Fugenverbände mit mittleren und geringen Fugenanteilen (Pflaster lang, Pflaster quer, Platte quer) schneller erkannt (Abbildung 74)

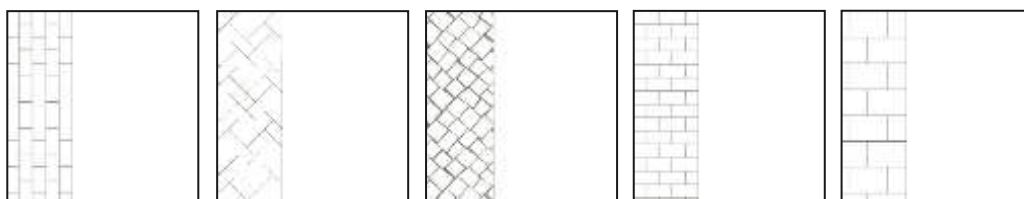
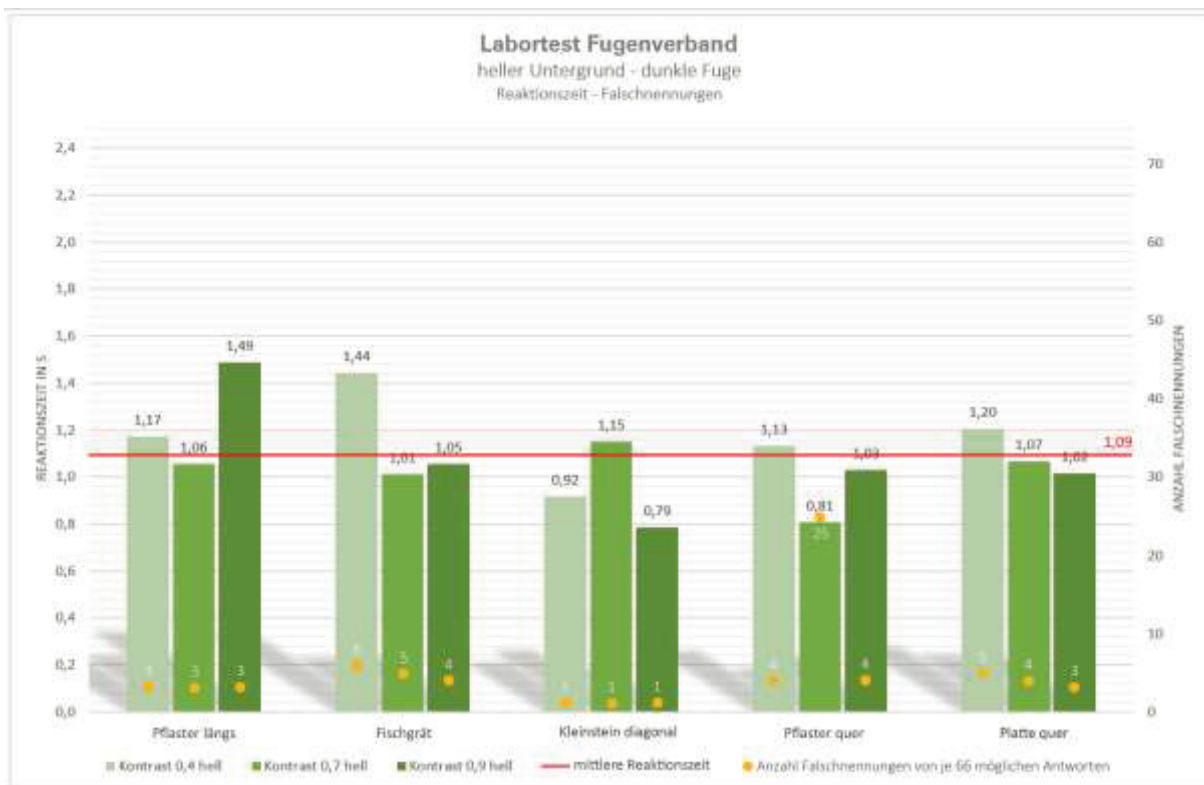


Abbildung 73: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit hellem Untergrund

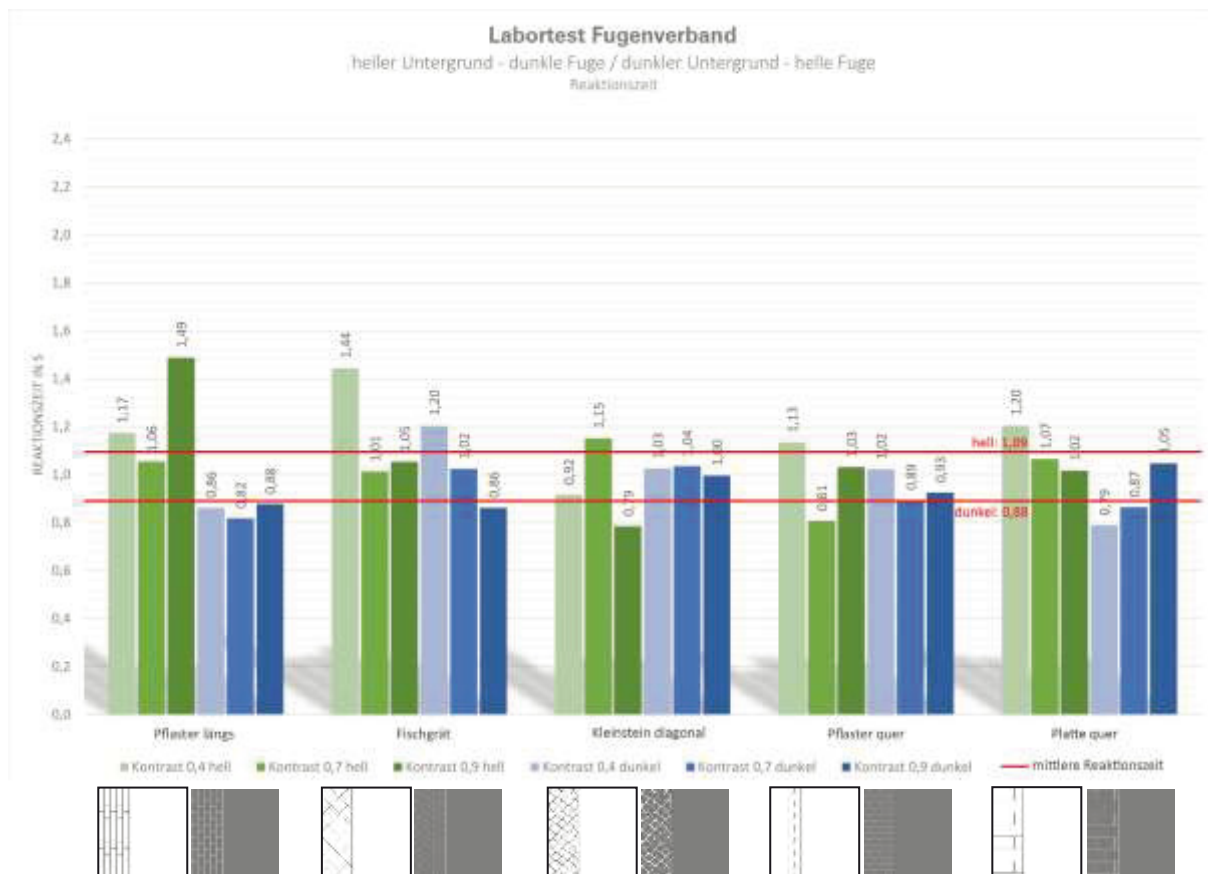


Abbildung 74: Reaktionszeiten kombiniert für Bilder mit hellem und dunklem Untergrund

### Fazit Fugenverband

- Schnellere Reaktionszeiten bei Testbild Kleinsteins diagonal (auffälliger Fugenverband und hoher Fugenanteil), gefolgt von Fischgrät und Pflaster quer auf hellem Hintergrund in allen Kontrastbereichen → Fugenverbände, die quer oder Diagonal zur Sichtachse verlaufende Fugenrichtungen zeigen, werden schneller erkannt
- bei dunklem Hintergrund sind geringere Unterschiede der Reaktionszeiten festzustellen - keine eindeutige Tendenz, leicht schnellere Reaktionszeiten bei mittlerem Fugenanteil und Reihenverlegung (Testbilder Pflaster lang, Pflaster quer, Platte quer)
- Insgesamt schnellere Reaktionszeiten bei Testbildern mit dunklem Hintergrund

Quer und diagonal zur Sichtachse ausgerichtete Verbände zeigen tendenziell eine verbesserte Erkennbarkeit der Teststreifen. Damit kann die Hypothese einer Verbesserung der Erkennbarkeit der Teststreifen durch die Wahl des Fugenverbandes im Trend bestätigt werden. Neben diagonalen Fugenverbänden werden jedoch auch horizontal zur Sichtachse ausgerichtete Fugen in Kombination mit homogenen Flächen schnell erkannt.

### 6.3.1.3 Fugenkombination (LA3)

#### 6.3.1.3.1 Testaufbau

Fragestellung: Ist es möglich, die Erkennbarkeit eines bodengebundenen Leitelements durch die gewählte Kombination des Fugenverbands von Grundmaterial und Leitelement zu verbessern? Gibt es einen Zusammenhang zwischen der gewählten Fugenkombination und den dargebotenen Kontrasten.

Hypothese 1: Es ist möglich die Erkennbarkeit eines bodengebundenen Leitelements durch die bestimmte Fugenkombinationen zu verbessern

Hypothese 2: Kombinationen aus sehr unterschiedlichen Fugenverbänden werden bei bestimmten dargebotenen Kontrasten schneller erkannt.

Hintergrundmuster aller Abbildungen aus quer verlaufendem Reihenverband, Format 20 x 10 cm mit weißen Fugen (im Bildbearbeitungsprogramm auf 10 mm voreingestellt) auf variierend grauen Hintergrund für Positivdarstellungen und Graustufen in den Fugen auf weißem Hintergrund für Negativdarstellung.

Muster der zu erkennende Streifen:

Fischgrät	Fischgrätverband (bzw. Ellenbogenverband diagonal verlegt), Format 20 x 10 cm
Pflaster quer	quer verlaufender Reihenverband, Formate 20 x 10 cm
Platte diagonal	Platten, Formate 30 x 30 cm im Diagonalverband
Platte quer	quer verlaufendem Reihenverband aus Platten, Formate 30 x 20 cm
Pflaster längs	längs verlaufendem Reihenverband, Formate 20 x 10 cm

Beispielhafte Untersuchungsstruktur:

	K= 0,9	K=0,7	K=0,4
Fischgrät			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Pflaster Quer			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Platte Diagonal			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Platte Quer			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Pflaster längs			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
Negativ dunkel auf hell			
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:

Tabelle 19: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Fugenkombination‘

Unsicherheitsfaktor: Bilder ohne Fugenbilder, siehe Unsicherheitsfaktor unter Abbildung 68.

Sehzeichen: Quadrat (1,50 m x 1,50 m) in dem ein Leitelement mit Fugenbild im realen Maßstab dargestellt ist.

Aufgabe der Probanden: Geben Sie an, ob sich das schmale Leitelement mit dem sich von der Grundfläche abhebenden Fugenbild links, rechts oder in der Mitte befindet.

Anzahl der gezeigten Bilder:

Fischgrät (hell auf dunkel):	9 Bilder
Fischgrät (dunkel auf hell):	9 Bilder
Pflaster Quer (hell auf dunkel):	9 Bilder
Pflaster Quer (dunkel auf hell):	9 Bilder
Platte Diagonal (hell auf dunkel):	9 Bilder
Platte Diagonal (dunkel auf hell):	9 Bilder
Platte Quer (hell auf dunkel):	9 Bilder
Platte Quer (dunkel auf hell):	9 Bilder
Pflaster Längs (hell auf dunkel):	9 Bilder
Pflaster längs (dunkel auf hell):	9 Bilder

Anzahl der gezeigten Bilder:

Bilder mit Fugenkombinationen:	90 Bilder
(9 Bilder je Fugenkombination mit hellem und dunklem Untergrund)	
Bilder ohne Inhalt	18 Bilder
SUMME:	108 Bilder
TESTZEIT (3 s je Bild):	5,4 min

### 6.3.1.3.2 Ergebnisse Test Fugenkombination

Die Reaktionszeiten bei Kombinationen des quer ausgerichteten Reihenverbands aus Pflaster mit längs ausgerichtetem Reihenverband Pflaster (Pflaster längs), Fischgrätverband (Fischgrät), Platten in quer verlegtem Reihenverband (Platte quer), Rechteckpflaster querverlegt (Pflaster quer) und Plattenbelag diagonalverlegt (Platte diagonal) (Messwiederholungsvariable) werden jeweils mit hellem und dunklem Hintergrund und mit Variation des Kontrasts in den Stufen K 0,4, K 0,7 und K 0,9 ausgewertet. Die Messung der tatsächlich den Probanden in der Laborsituation präsentierten Kontraste lagen im Durchschnitt bei 0,57; 0,74, 0,81 und damit

für die Stufen 0,4 und 0,7 etwas höher und die Stufe 0,9 etwas niedriger als die durch das Bildbearbeitungsprogramm voreingestellten Werte. Die Auswertungen erfolgten mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen für die Hintergründe (hell versus dunkel) und die Kontraststufen separat vorgenommen. Die Ergebnisse liegen für die Variablen 0,9 hell unter dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von  $p = 0,05$ . Die Testergebnisse für diese Kontrastvariablen können als signifikant bewertet werden. Für die übrigen Testreihen liegen die Werte über dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von  $p = 0,05$  und können als Trend gewertet werden.

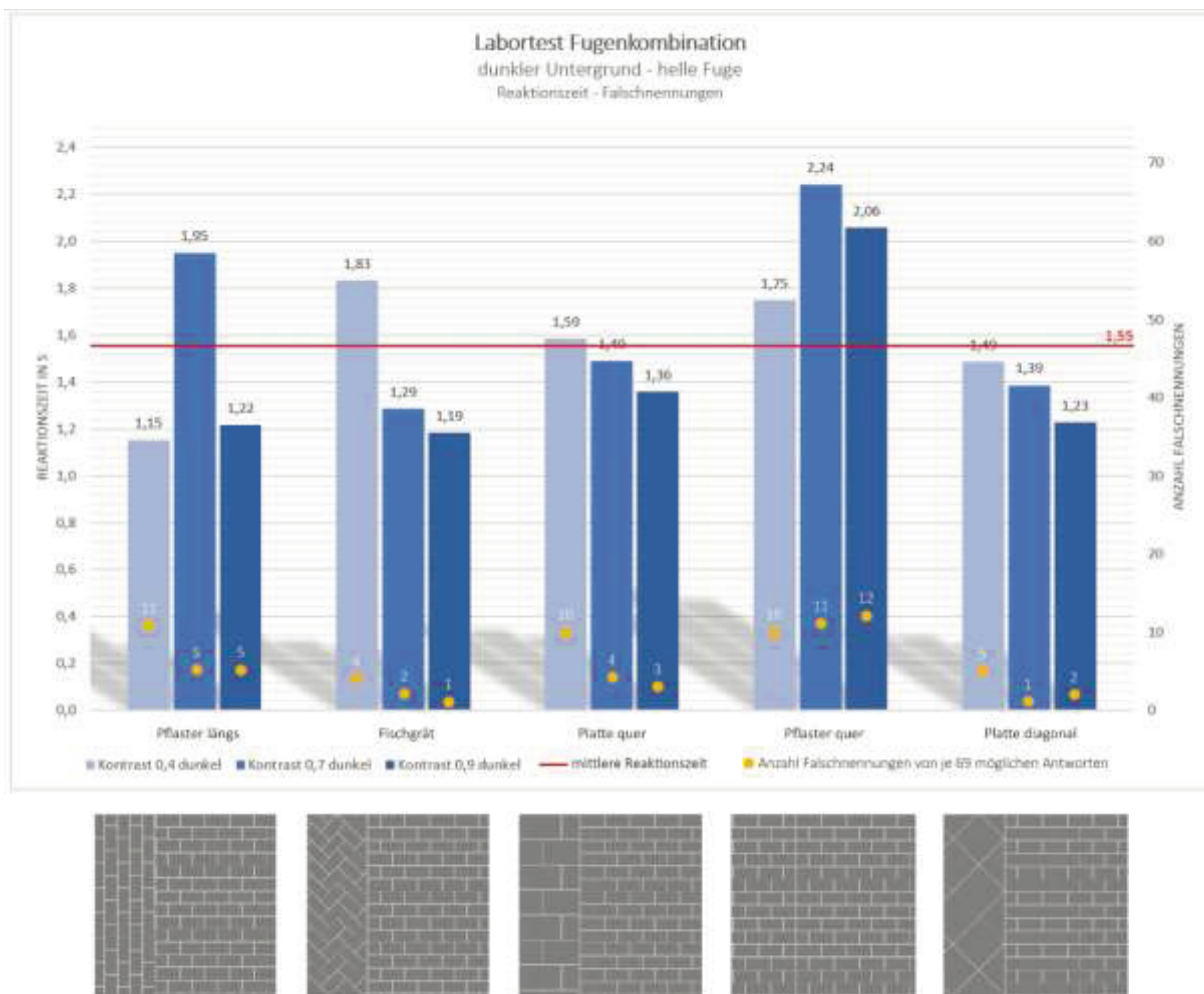


Abbildung 75: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Hintergrund

Insgesamt ist bei den geringen Kontrasten von 0,4 sowohl bei hellen Fugen auf dunklem Untergrund als auch bei dunklen Fugen auf hellem Untergrund ein uneinheitliches Ergebnis festzustellen. Die Reaktionszeiten der Probanden sind bei fast allen Bildern bei den geringen Kontrasten von 0,4 am höchsten, gleichzeitig gepaart mit einer hohen Anzahl an Falschnennungen

(Abbildung 75 und Abbildung 76) und einer hohen Standardabweichung (siehe 12.6). Die Reaktionszeiten sind bei den Testbildern mit hellem Hintergrund geringfügig geringer als bei dunklem Hintergrund. Demgegenüber ist jedoch die Quote der Falschnennungen bei den Testbildern mit hellem Untergrund deutlich erhöht. Dieses ist vermutlich auf die hohe Anzahl blendempfindlicher Probanden zurückzuführen, die aufgrund der Präsentationssituation großflächiger heller Flächen per Beamer vermutlich längere Reaktionszeiten benötigten.



Abbildung 76: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit mit hellem Hintergrund

Im Ergebnis wird deutlich, dass die Kombination des quer ausgerichteten Pflasters mit im Fischgrätverband verlegtem Pflaster bei allen gewählten Kontraststufen und hellem Hintergrund schneller erkannt wird. Sowohl bei hellem als auch bei dunklem Hintergrund folgt dann die Kombination mit dem Verband Platte diagonal. Bei dunklem Hintergrund schneidet auch die Belagskombination mit Pflaster längs gut ab. Überraschend ist, dass die Teststreifen mit geringen Fugenanteilen (Platte quer und Platte diagonal) im Gesamtvergleich nicht auffällig besser abschneiden. Die deutlich schnelleren Reaktionszeiten bei dem Testbild Platte diagonal



im Vergleich zu Testbild Platte quer zeigen jedoch, dass das Merkmal eines auffälligen Fugenverbands sich offenbar stärker auf das Erkennen eines bodengebundenen Leitelements auswirkt als der Fugenteil.

In Verbindung mit den Standardabweichungen kann dieser Trend bestätigt werden (siehe 12.6). Auffällig ist dabei, dass die Standardabweichungen bei den Testbildern mit hellem Untergrund deutlich mit den Kontrasten korrelieren und hohe Kontraste die geringsten Standardabweichungen zeigen. Demgegenüber wird bei dunklem Untergrund überwiegend die mittlere Kontraststufe mit geringerer Standardabweichung erkannt.

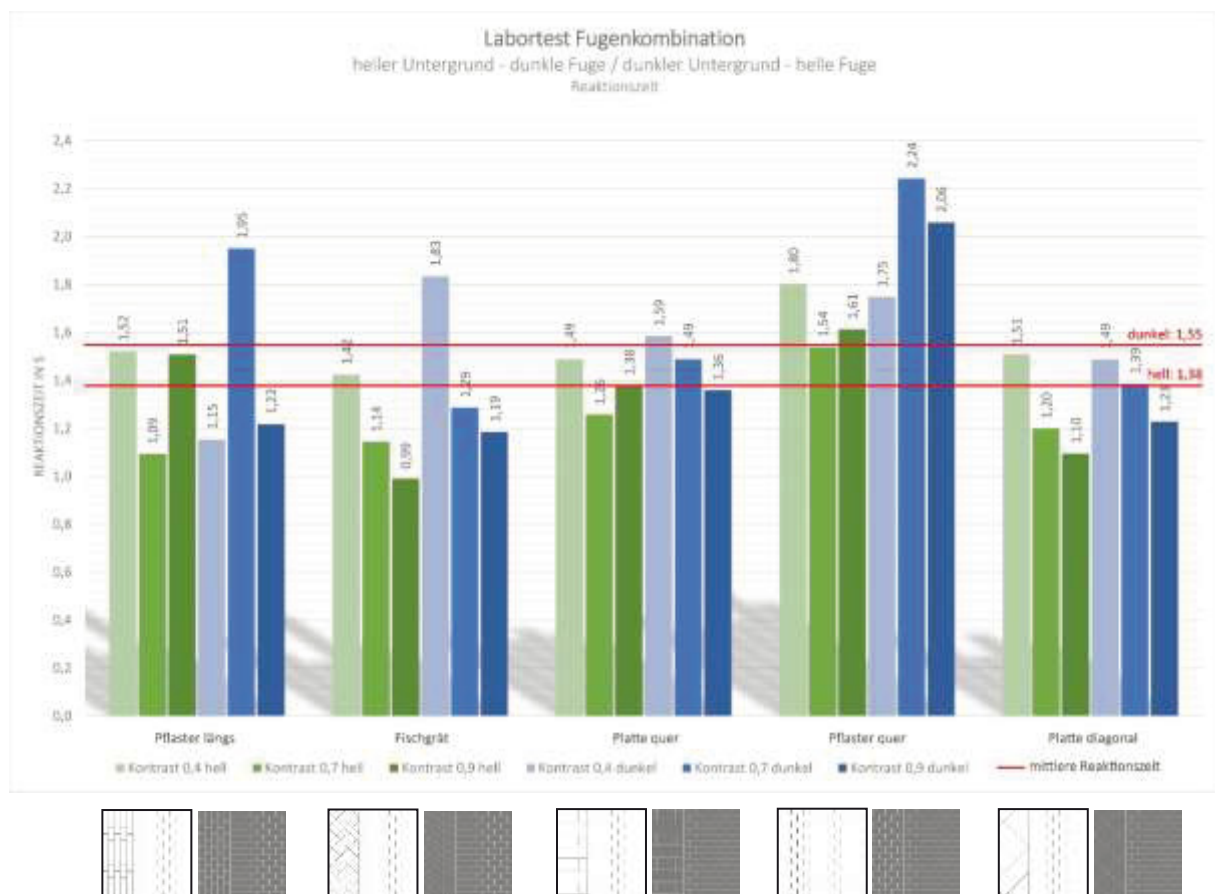


Abbildung 77: Reaktionszeiten kombiniert für Bilder mit hellem und dunklem Untergrund

### Fazit Fugenkombination

- Fischgrätverband (Fischgrät) und diagonal verlegter Plattenbelag (Platte diagonal) werden bei hellem Hintergrund und bei dunklem Hintergrund im mittleren und hohen Kontrastbereich ( $K = 0,7$  und  $0,9$ ) deutlich schneller erkannt, schnelle Reaktionszeiten auch bei der Belagskombination Pflaster längs bei dunklem Hintergrund. Demnach kann die Hypothese als Trend bestätigt werden, dass eine auffällige Fugenkombination zu einer besseren Erkennbarkeit des Teststreifens beiträgt.

- Ein großer Unterschied der Fugenanteile zwischen Teststreifen und Hintergrundbild kann nicht als die Erkennbarkeit verbesserndes Merkmal bestätigt werden.

#### 6.3.1.4 Fazit

Mit den drei vorangegangenen Tests Fugenanteil (LA1), Fugenverband (LA2) und Fugenkombination (LA3) wurden weitere Merkmale von bodengebundenen Leitelementen untersucht, die die Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelemente beeinflussen können.

	Fugenanteil	Fugenverband	Fugenkombination
Heller Hintergrund	1,73 s	1,09 s	1,38 s
Dunkler Hintergrund	1,32 s	0,88 s	1,55 s

Tabelle 20: Übersicht Mittelwerte Reaktionszeiten gegliedert nach Test und Hintergrund

Im Gesamtvergleich der Tests Fugenverband (LA2) (siehe 6.3.1.3) und Fugenkombination (LA3) (siehe Tabelle 20) ist festzustellen, dass Teststreifen mit unterschiedlichen Fugenverbänden gepaart mit einer homogenen Fläche deutlich schneller erkannt werden als die Testbilder mit Kombinationen von Fugenverbänden.

Auch im Vergleich zum Test Fugenanteil (LA1) konnten bei dem Test Fugenverband (LA2) insbesondere bei den höheren und mittleren Kontrastwerten durchgängig schnellere Reaktionszeiten mit überwiegend geringen Standardabweichungen generiert werden. Damit wird deutlich, dass durch auffällige bzw. quer zur Sichtachse ausgerichteten Fugenverbände, die mit einer relativ homogenen Fläche kombiniert wird, eine verbesserte Wahrnehmung von unterschiedlichen Bodenstrukturen erreicht werden kann. Daher sollen auf den Teststrecken im Außenraum auffällige Fugenverbände im Vergleich zu homogenen Grundflächen näher untersucht werden.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass insbesondere bei mittleren und hohen Kontrasten zwischen dem Umgebungsbelag und der Fuge, der Fugenanteil die Erkennbarkeit der bodengebundenen Leitelemente beeinflussen könnte. Allerdings sind in den Labortest ausschließlich Bilder gezeigt worden, die jeweils einen homogenen Hintergrund für den Teststreifen und den Umgebungsbelag zeigten. Diese in den Testbildern dargebotene Situation diene der Fokussierung auf das Merkmal Fuge, entspricht aber nicht der realen gebauten Situation von bodengebundenen Leitelementen. In der realen gebauten Situation wird grundsätzlich ein Helligkeitskontrast zwischen bodengebundenem Leitelement und Umgebungsbelag hergestellt. Ent-

sprechend können die Fugen in dem bodengebundenen Leitelement im Kontrast oder homogen zum Leitelement ausgebildet werden. Daher soll auf der Teststrecke der Einfluss der Ausprägung der Fugen auf die Erkennbarkeit des Leitstreifens näher untersucht werden.

Da die Tests sehr deutlich zeigen, dass der Einfluss in Abhängigkeit von der Helligkeit des gewählten Hintergrundmaterials variieren kann, werden bei der Teststrecke sowohl dunkle Hintergrundmaterialien mit hellen Teststreifen als auch helle Teststreifen mit dunklem Hintergrundmaterial kombiniert.

### **6.3.2 Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB)**

#### *6.3.2.1 Testaufbau*

Die für diesen Test verwendeten Bilder sind Aufnahmen einer real gebauten Straßenraumsituation. Mithilfe der Bildbearbeitungssoftware Photoshop wurde jeweils ein bodengebundenes Leitelement verschiedener Breiten in das Bild eingefügt sowie Kontraste zwischen Leitelement und Bodenbelag in den Variationen  $K=0,1$ ,  $K=0,2$ ,  $K=0,3$ ,  $K=0,4$  und  $K=0,5$  erstellt. Insgesamt werden 151 Bilder präsentiert. Zusätzlich zu den nachbearbeiteten Bildern wird den Probanden das Originalbild der Straßenraumsituation ohne einmontiertes Leitelement als Unsicherheitsfaktor dargeboten. Diese Neutralbilder haben einen Anteil von 20 %. Als zusätzliches Untersuchungsfeld werden für die Breiten 30 cm und 100 cm Bilder erstellt, die ein unterbrochenes Leitelement zeigen, um das Bojenprinzip zusätzlich im Vergleich zu durchgehenden Elementen prüfen zu können. Die bearbeiteten Aufnahmen inklusive der Neutralbilder werden über eine Beamerprojektion auf einer Leinwand in realer Größe dargestellt, vor der die Probanden in einem Abstand von 4 m sitzen. Dieser Abstand leitet sich aus dem nach DIN 32975:2009-12 definierten Nahbereich von 3–4 m ab, in dem sich Menschen mit einer Sehhinderung vorrangig orientieren. Nach den Expertengesprächen wäre ist hier der Begriff ‚orientierungsrelevanter Mittelbereich‘ zu verwenden (siehe 6.3). Die Darstellung des Bildes in realer Größe bedeutet, dass einmessbar identischen Wert für Abbildung und gebauter Situation auf der Bildunterkante eingestellt wurde. Demnach zeigen die Leitelemente an der Bildunterkante im Realmaßstab die Breite eines im 4 Meter Abstand wahrgenommenen Leitstreifens. Neben den in der DIN 32984 für Leitstreifen definierten Breiten 30 cm und 60 cm werden u. a. mit Bezug auf die Auswertung anderer DIN Normen (siehe Kapitel 4.1, 4.2, 4.3) Breiten von 2 cm bis 100 cm getestet. Dabei ist davon auszugehen, dass die mit 2 cm bis 10 cm angenommene sehr schmale Breite von Leitelementen Bezug zur Innenraumgestaltung nimmt.





















Die Leuchtdichten der Leitelemente und des Bodenbelags werden unter Testbedingungen vorab an der Projektionsleinwand mit einer Leuchtdichtekamera gemessen, um den tatsächlich dargebotenen Kontrast zu bestimmen und gegebenenfalls Korrekturen in den Bilddateien vorzunehmen.

Fragestellung: Besteht ein Zusammenhang zwischen Breite und Kontrast bei der Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelementen?

Hypothese 1: Es besteht bei bestimmten Kontrasten ein Zusammenhang zwischen der Reaktionsgeschwindigkeit und der Breite des Leitelements.

Hypothese 2: Sehr geringe Breiten werden auch bei hohem Kontrast nicht mehr sicher erkannt.

Beispielhafte Untersuchungsstruktur:

	K=0,5	K= 0,4	K= 0,3	K= 0,2	K= 0,1
2 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
5 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
10 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
20 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:































30 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
30 cm Un- terbrochen					
50 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
60 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
100 cm					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:
100 cm un- terbrochen					
	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:	Erkannt: XX % Reaktionszeit:

Abbildung 78: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Breite bodengebundener Leitelemente‘

Testbild: Reale Situation in der Sehbehinderte durch ein bodengebundenes Leitelement (Leitelement als einziges Orientierungselement) geleitet werden.

Aufgabe der Probanden: Geben Sie an, ob sich das bodengebundene Leitelement links, mittig oder rechts auf dem Bild befindet. Da das Bild nicht zentral

von der Straßenmitte aus aufgenommen wurde, muss die Position „mitte“ vor Testbeginn erläutert werden. Bei Position „links“ läuft die Leitlinie aus dem linken Bildrand.

Entscheidungen:



links

mitte

rechts

Abbildung 79 Entscheidungsmöglichkeiten für Probanden bei der Auswahl von bodengebundenen Leitelementen

Unsicherheitsfaktor:

Bilder ohne bodengebundenen Leitelement



Abbildung 80 Fußgängerstraße ohne bodengebundenen Leitelement

Anzahl der gezeigten Bilder:

151 Bilder

TESTZEIT (3 s je Bild):

7,5 min



Abbildung 81 Versuchsaufbau

$x=4m$

### 6.3.2.2 Ergebnisse Test Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen

Mit diesem Test unter Laborbedingungen wurde an Hand von Testbildern, die unterschiedlich breite Leitlinien in variierenden Kontraststufen in einer realen Straßenraumsituation zeigen, überprüft ob bestimmte Breiten besser erkannt werden und ob und welche Korrelation zu den dargebotenen Kontrasten besteht.

Die Auswertung der Testergebnisse erfolgte als einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung. Für die Auswertung des Tests wurden die Breiten der Leitstreifen 2, 5, 10, 20, 30, 60 und 100 cm (Messwiederholungsvariable) jeweils mit Variation des Kontrastwertes in den Stufen  $K=0,1$ ,  $K=0,2$ ,  $K=0,3$ ,  $K=0,4$ ,  $K=0,5$  herangezogen. Die zunächst im bildverarbeitenden Programm ermittelten Kontrastwerte wurden durch Kontrastmessungen an jedem dargebotenen Bild mittels Leuchtdichtekamera in der konkreten Laborsituation überprüft. Damit ergeben sich die folgenden, den Probanden tatsächlich dargebotenen Kontraste:

Bildtitel	Breite 2_01	Breite 2_02	Breite 2_03	Breite 2_04	Breite 2_05
	0,18	0,31	0,40	0,51	0,58
Bildtitel	Breite 5_01	Breite 5_02neu	Breite 5_03	Breite 5_04	Breite 5_05
gemessener Kontrast	0,18	0,33	0,42	0,53	0,60
Bildtitel	Breite 10_01	Breite 10_02	Breite 10_03	Breite 10_04	Breite 10_05
gemessener Kontrast	0,19	0,34	0,43	0,55	0,60
Bildtitel	Breite 20_01	Breite 20_02	Breite 20_03	Breite 20_04	Breite 20_05
gemessener Kontrast	0,18	0,33	0,42	0,55	0,60
Bildtitel	Breite 30_01	Breite 30_02	Breite 30_03	Breite 30_04	Breite 30_05
gemessener Kontrast	0,20	0,34	0,43	0,54	0,61
Bildtitel	Breite 60_01	Breite 60_02	Breite 60_03	Breite 60_04	Breite 60_05
gemessener Kontrast	0,20	0,35	0,43	0,54	0,62
Bildtitel	Breite 100_01	Breite 100_02	Breite 100_03	Breite 100_04	Breite 100_05
gemessener Kontrast	0,20	0,35	0,48	0,40	0,61
Geplante Kontraststufen	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Mittelwert der gemessenen Kontraste	0,19	0,33	0,42	0,53	0,60

Tabelle 21: Übersicht der gezeigten Testbilder je geplanten Kontraststufen

Demnach lagen die dargebotenen Kontraste um jeweils ca. eine Stufe höher als bildtechnisch voreingestellt (siehe Tabelle 21).

Für alle durchgeführten Signifikanztests konnte in Anwendung des ‚Mauchlys-Test auf Sphärizität‘ eine Signifikanz von  $p < .001$  festgestellt werden. Entsprechend wurde zur Testung der Innersubjekteffekte der Greenhouse-Geisser Test zu Grunde gelegt. Die Übersicht der Berechnungsergebnisse ist der Tabelle 22 zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche liegen für alle Kontrastvariablen über dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von 0,05. Die Testergebnisse können somit nicht als signifikant, sondern als Trend gewertet werden.

<b>Variable Kontrastwert SIG &lt; 0,001</b>	<b>F-Werte nach Greenhouse-Geisser</b>	<b>Signifikanz nach Green- house-Geisser</b>
K 0,1	-	-
K 0,2	$F_{(2,4;40,8)} = 1,87$	$P = 0,16 > 0,05$
K 0,3	$F_{(3,5;70,5)} = 1,66$	$P = 0,29 > 0,05$
K 0,4	$F_{(3,3;66,7)} = 1,25$	$P = 0,29 > 0,05$
K 0,5	$F_{(2,4;51,9)} = 2,44$	$P = 0,085 > 0,05$

Tabelle 22: Übersicht F-Wert und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser je Kontraststufe

Für den Kontrastwert 0,1 wurde auf die Angaben verzichtet, da hier aufgrund von mehr als 20% Falschnennungen für die Breiten 2 cm und 5 cm, sowie ebenfalls erhöhter Werte bei der Breite 10 cm, nicht alle Datenreihen in die Auswertung einbezogen wurden.

In der Gesamtbetrachtung aller dargebotenen Variablen zu Kontrastwerten im Vergleich zu den erzielten Reaktionszeiten (Abbildung 82) wird deutlich, dass unabhängig von der Breite der Leitlinien bei den Testbildern mit geringen dargebotenen Kontrasten (ca. gemessener Kontrast  $< 0,33$ ) eine deutliche Korrelation zu den Reaktionszeiten festzustellen ist. Ab einem gemessenen Kontrastwert größer ca.  $K = 0,33$  ist jedoch keine weitere signifikante Abnahme der mittleren Reaktionsgeschwindigkeit festzustellen (siehe Trendlinie Abbildung 82).



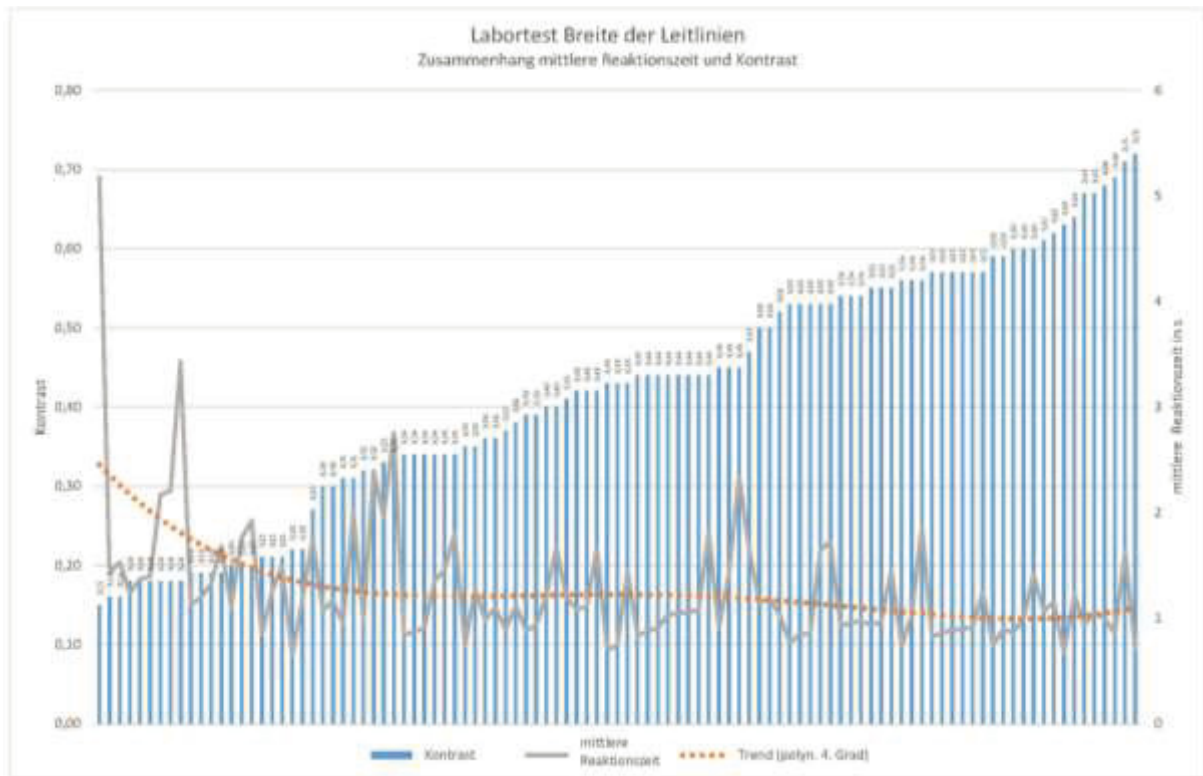


Abbildung 82: Mittlere Reaktionszeiten über die gezeigten Kontraststufen mit Trend (pol. 4. Gr.) über die mittleren Reaktionszeiten.

Beim Vergleich der dargebotenen unterschiedlichen Breiten von Leitlinien ist festzustellen, dass die Testbilder in einer Breite von 2, 5 und 10 cm bei geringen Kontrasten von  $K=0,1$  (= gemessen  $K=0,19$ ) und das Testbild in einer Breite von 2 cm auch bei dem Kontrast von  $K=0,3$  (gemessen  $K=0,33$ ) von mehr als 20 % der Probanden in ihrer Lage nicht richtig erkannt wurden. Hier wurde auf die Darstellung der Reaktionszeiten entsprechend verzichtet (siehe Abbildung 93). Bei Leitlinien der Breite von 20, 30 und 60 cm erfolgten die geringsten Falschnennungen (1 bis 3 von  $n=151$  bei 20 und 30 cm, bis zu 5 von  $n=151$  bei 60 cm). Die Reaktionszeiten der nicht erkannten Testbilder (Falschnennungen), wurden bei der Ermittlung der mittleren Reaktionszeiten nicht berücksichtigt.

Beim Vergleich der Reaktionszeiten für die Testbilder der Breiten 20, 30, 60 und 100 cm mit geringen Kontrasten von  $K=0,1$  (gemessen  $K=0,19$ ) wird deutlich, ist eine lineare Beschleunigung der Reaktionszeiten mit zunehmender Breite festzustellen. Bei diesem geringen Kontrast besteht demnach eine deutliche Korrelation zur Breite des Elements. Je breiter der dargebotene Teststreifen, umso schneller ist die Erkennbarkeit. Testbilder mit einer Breite von 100 cm werden überraschenderweise bei diesem geringen Kontrast deutlich schneller erkannt als die Vergleichsbilder mit deutlich höheren Kontrasten von  $K=0,3$  (gemessen  $K=0,42$ ) oder  $K=0,4$  (gemessen  $K=0,53$ ) (siehe Abbildung 83).

Bei einer vergleichenden Betrachtung der Reaktionszeiten aller Bilder wird deutlich, dass die Breiten 20 cm, 30 cm und 60 cm bei Kontrasten von  $K=0,33$ ,  $K=0,42$ ,  $K=0,53$  und  $K=0,6$  insgesamt am schnellsten erkannt werden. Hier zeigt sich anders als erwartet keine ausgeprägte, sondern nur teilweise eine leichte Abnahme der Reaktionszeiten bei den höheren Kontrastwerten. Eine ausgeprägte Korrelation zu den dargebotenen Kontrastwerten ist ab der Kontraststufe  $K=0,33$  nicht auffällig feststellbar.

Insgesamt nimmt die Breite von 20 cm bei der Auswertung der Reaktionszeiten die Spitzenposition ein und wird am schnellsten erkannt.

Dieser Trend wird auch bei der Auswertung der Standardabweichungen bestätigt, die ebenfalls bei den Breiten 20, 30 und 60 cm die geringsten Abweichungen zeigt (siehe Kapitel 12.6). Die Breite von 100 cm wird bei hohen Kontrasten etwas langsamer erkannt als die Breiten 20 cm, 30 cm und 60 cm. Allerdings ist die Standardabweichung in den Reaktionszeiten bei der Breite 100 cm relativ hoch. Als Ursache ist zu vermuten, dass der relativ breite Streifen eher als Fläche und weniger als Streifen interpretiert wird und dieses im Vergleich zu den anderen eindeutig linienhaften Testbildern zu Irritationen führte.

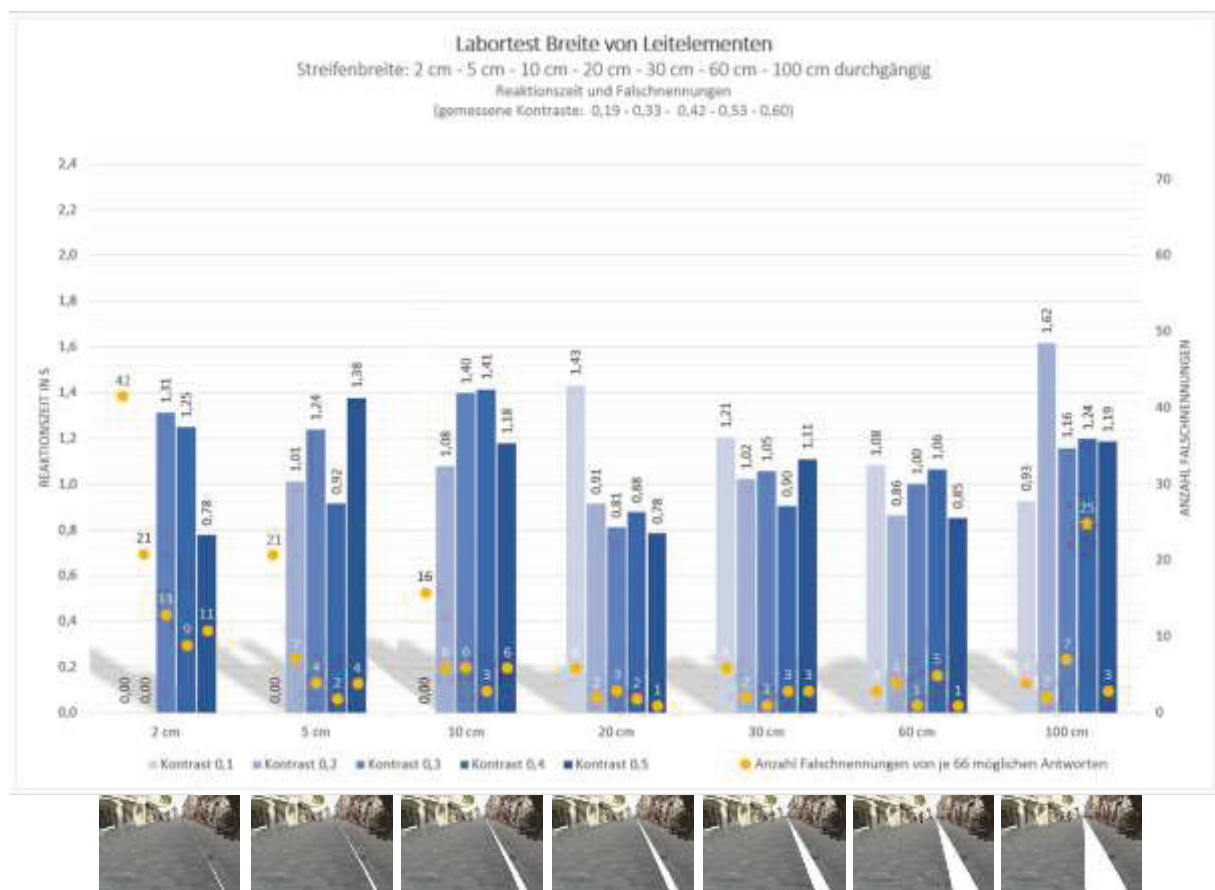


Abbildung 83: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder aller dargebotenen Breiten, Stern bei 100 cm  $K=0,4$  steht für eine auffällige Probe mit unerklärlich hoher Fehlerquote bei nur einer Ausrichtung der drei gezeigten.

Das Testbild 100 cm\_links wurde beim dem relativ hohen Kontrast von  $K=0,4$  (gemessen  $K=0,53$ ) von allen Probanden nicht erkannt. Bei den beiden anderen dargebotenen Testbildern in der der Testreihe 100 cm (100 cm\_rechts und 100 cm\_mitte,  $K=0,4$  bzw.  $K=0,53$  gemessen) ist demgegenüber durchgängig eine gute Erkennbarkeit festzustellen. Zu vermuten ist, dass der Breite Streifen in Verbindung mit der Fassade als Einheit gelesen wurde und daher nicht als Leitstreifen erkannt wurde, sondern stattdessen die im rechten Teil des Bildes vorhandene längs gerichtete Pflasterstruktur. Da dieses Phänomen aber bei dem Teststreifen an derselben Position und in gleicher Breite mit anderen Kontrasten nicht eintrat, ist die durchgängige Fehlinterpretation des Bildes nicht abschließend erklärbar. Entsprechend sind ausschließlich die Testergebnisse der beiden erkannten Durchläufe (100 cm\_rechts und 100 cm\_mitte) in der Auswertung dargestellt. Auf die Auffälligkeit bei der Auswertung wird in der Abbildung hingewiesen (siehe Sternchen Abbildung 83).

Ergänzend zu den o.g. Auswertungen wurde über eine interferenzstatistische Auswertung der Reaktionszeiten nach Interaktion der verschiedenen Variablen in dem Testteil gesucht. Dabei stellt sich heraus, dass es keinen signifikanten Haupteffekt einer einzelnen Variablen gibt, wenn die gesamte Variationsbreite der Bedingungen betrachtet wird. Wird der Betrachtungsausschnitt auf die Kontraststufe  $K \geq 0,2$  (gemessen  $K=0,33$ ) und eine Linienbreite  $b \geq 5$  cm eingegrenzt, stellt sich heraus, dass es einen signifikanten Einfluss der Linienbreite gibt, dessen Reaktionszeitenminimum bei einer Breite von 20 cm liegt (siehe Abbildung 84).

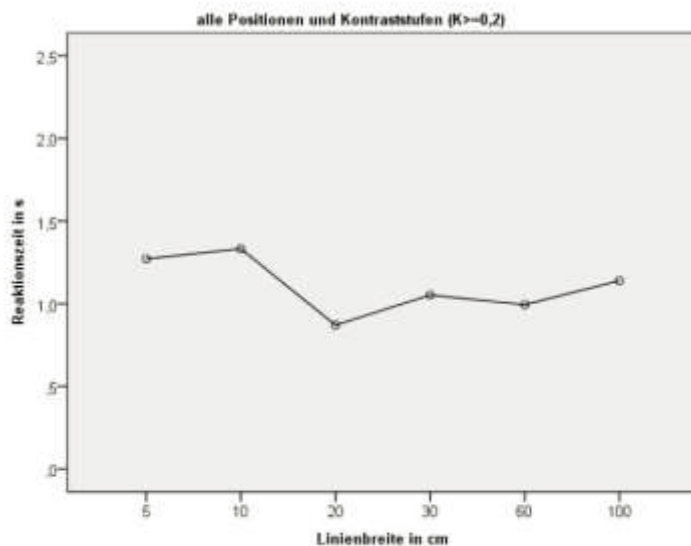


Abbildung 84: Betrachtungsausschnitt für  $K > 0,2$  und Breite  $> 5$  cm

*Unterbrochene bodengebundene Leitelemente*

Neben den durchgehenden Leitelementen wurden den Probanden in den Breiten 30 cm und 100 cm auch Bilder mit unterbrochenen Leitelementen gezeigt (Siehe Abbildung 81 und Abbildung 82).



Abbildung 85: Testbild mit unterbrochener Leitlinie der Breite 30 cm und  $K=0,3$



Abbildung 86: Testbild mit unterbrochener Leitlinie der Breite 100 cm und  $K=0,3$

Die Auswertung der Testergebnisse erfolgte als einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung. Dabei werden die Ergebnisse für die Variable Kontrastwert (0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5) der Variable der Breiten (30 und 100 cm) in der durchgehenden und unterbrochenen Version gegenübergestellt.

Für die Auswertung des Tests wurden die Breiten 30 und 100 cm (Messwiederholungsvariable) mit jeweils unterbrochenem und durchgehendem Leitelement und mit Variation des Kontrasts in den Stufen  $K=0,1$ ,  $K=0,2$ ,  $K=0,3$ ,  $K=0,4$ ,  $K=0,5$  herangezogen. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen zu den Kontraststufen separat vorgenommen. Das weitere Vorgehen entspricht den Analysen zum Fugenanteil (siehe 6.3.1). Bei den Variablen  $K=0,3$ ,  $K=0,4$  und  $K=0,5$  konnte Sphärizität angenommen werden. In allen anderen Fällen wurde die Korrektur nach Greenhouse-Geisser vorgenommen. Die Ergebnisse liegen durchgängig über dem angenommenen Signifikanz-Schwellenwert von 0,05. Die Ergebnisse sind somit lediglich als Trend zu werten (siehe Tabelle 23).

Bei der Auswertung der Testergebnisse ist festzustellen, dass bei einer Breite der Leitelemente von 30 cm die unterbrochenen Leitelemente in nahezu gleichen Reaktionszeiten wie die durchgängigen Leitlinien erkannt wurden. Bei den 100 cm breiten Leitelementen sind demgegenüber bei den Bildern mit unterbrochenen Elementen deutlich schnellere Reaktionszeiten messbar (siehe Abbildung 87). Dieser Trend wird auch durch die deutlich geringeren Standardabweichungen bei den 100 cm breiten, unterbrochenen Leitelementen bestätigt (siehe Kapitel 12.6).

Variable Kontrastwert SIG < 0,001	F-Werte nach Greenhouse-Geisser	Signifikanz nach Green- house-Geisser
K 0,1	$F_{(1,7;33,7)} = 1,56$	$P = 0,22 > 0,05$
K 0,2	$F_{(1,3;28,2)} = 2,31$	$P = 0,13 > 0,05$
Variable Kontrastwert SIG > 0,001	F-Werte Sphärizität angenommen	Signifikanz Sphärizität angenommen
K 0,3	$F_{(3,63)} = 0,71$	$P = 0,54 > 0,05$
K 0,4	$F_{(3,63)} = 0,48$	$P = 0,69 > 0,05$
K 0,5	$F_{(3,63)} = 1,98$	$P = 0,12 > 0,05$

Tabelle 23: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser je Kontraststufen.

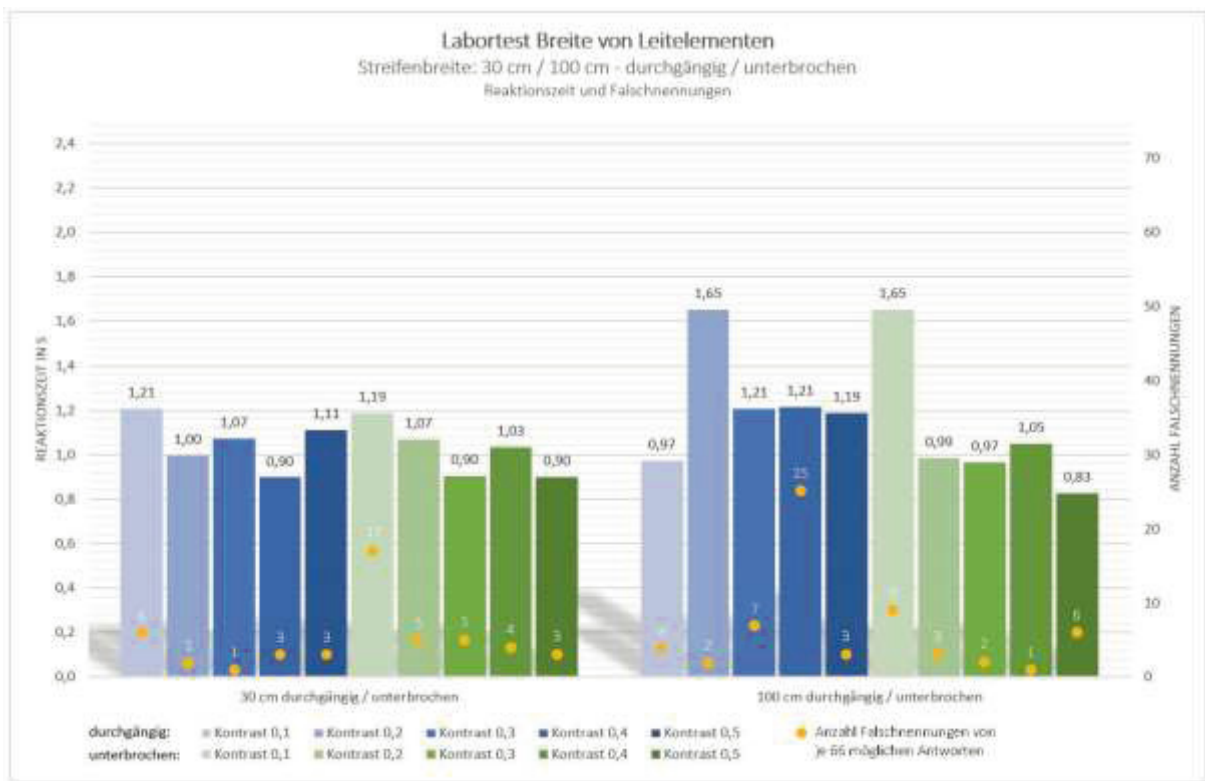


Abbildung 87: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit unterbrochenen und durchgängigen Leitstreifen mit Breiten 30 cm und 100 cm

Auch für das Kriterium des unterbrochenen bodengebundenen Leitelementes wurde nach signifikanten Interaktionen mittels interferenzstatistischer Auswertung gesucht (siehe Abbildung 88). In den vorhergehenden Auswertungen zeigte sich, dass die Breite ‚100 cm‘ zu Verunsicherungen der Probanden geführt hat. Begrenzt man also den Betrachtungsausschnitt auf die unterbrochenen Leitelemente mit 30 cm Breite und die Kontrastwerte  $K \geq 0,2$  (gemessen  $K 0,33$ ) so findet sich kein signifikanter Einfluss der Variablen Position, Kontrast und Unterbrechung auf die Reaktionszeit.

Demnach kann geschlossen werden, dass die präsentierten unterbrochenen Leitlinien nicht signifikant schlechter erkannt werden.

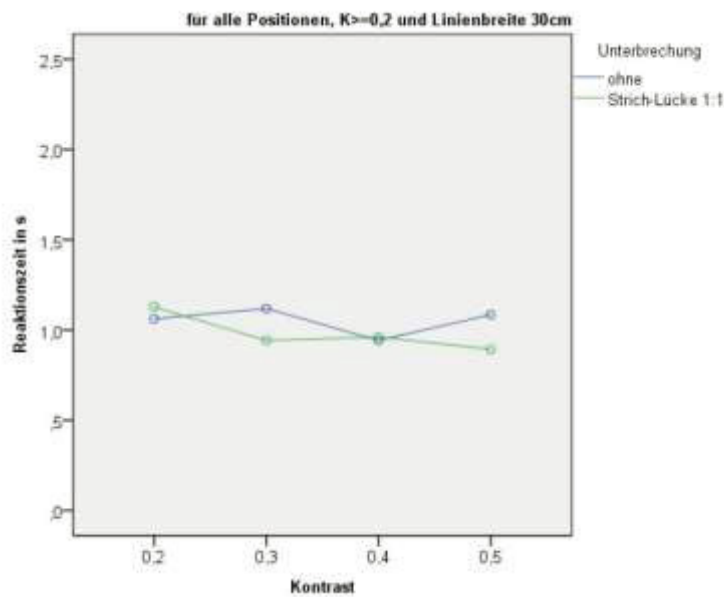


Abbildung 88: Einfluss der Variable Unterbrechung für den Betrachtungsausschnitt  $K > 0,2$  und Breite  $b > 30$  cm

### Fazit

In der Gesamtbetrachtung der Testergebnisse wird deutlich, dass Leitelemente in den Breiten von 20 bis 60 cm mit Kontrasten von  $K 0,33$  (gemessen) am schnellsten erkannt werden. Bei dem niedrigeren gemessenen Kontrastwert von  $K 0,19$  sind schnellere Reaktionszeiten in Korrelation zur Breite der Teststreifen in der Reihe 20, 30, 60 und 100 cm festzustellen (bei  $K=0,19$  – je breiter der helle Streifen, desto schneller sind die Reaktionszeiten). Die Reaktionszeiten sind jedoch bei diesem geringen Kontrastwert mit Ausnahme der 100 cm breiten Teststreifen insgesamt deutlich höher als bei den höheren zu Grunde gelegten Kontrasten. Für die am schnellsten erkannten Breiten 20, 30 und 60 cm ist ab der dargebotenen Kontraststufe von  $K=0,33$  keine weitere Korrelation zwischen Breite und Kontrast der Teststreifen der Reaktionszeit feststellbar.

Das 20 cm breite Leitelement wird insgesamt am schnellsten und gekoppelt mit geringer Standardabweichung erkannt (Siehe Abbildung 173 im Anhang).

Anders als in der DIN 32984, die Leitelemente in Breiten von 30 bis 60 cm vorsieht, bestätigt auch die interferenzstatistische Auswertung, dass mit dem 20 cm breiten Leitelement im Durchschnitt der gezeigten Kontrastbereiche die schnellsten Reaktionszeiten einhergehen.

Linear angeordnete, unterbrochene Leitelemente in einer Breite von 30 cm scheinen keine Verschlechterung der Erkennbarkeit zu bewirken.

Da die Varianzanalyse mit Messwiederholung keine eindeutig signifikanten Ergebnissen in den Tests zur Breite von Leitelementen zeigte, sind zum eindeutigen Nachweis des Trends weitere Tests erforderlich. Eine Überprüfung des Trends durch 1:1 Teststrecken ist aufgrund der erforderlichen Integration in eine räumliche Situation im Rahmen dieses Projektes nicht möglich. Aus dem Trend lässt sich dennoch relativ eindeutig ableiten, dass Leitelemente in einer Breite von 20 bis 60 cm bei den dargebotenen Testbedingungen sehr gut erkannt werden. Weiterhin wird deutlich, dass ab einem bestimmten Mindestkontrast und einer bestimmten Mindestbreite keine weitere deutliche Korrelation zwischen Kontrast und Breite des Leitelementes mit der Reaktionszeit besteht. Demnach müssen keine breitenspezifischen Kontrastanforderungen für bodengebundene Leitelemente definiert werden. Da der Testaufbau nicht zur Bestimmung eines Mindestkontrastes angelegt war, wird empfohlen dieses differenziert nach Innen- und Außenraumlichtverhältnissen in weiteren Untersuchungen zu spezifizieren.

- schnelle Reaktionszeiten bei Leitlinien von 20 bis 60 cm Breite ab dargebotener Kontraststufe von  $K = \text{ca. } 0,33$ ,
- Bei dem Kontrast  $K = \text{ca. } 0,19$  deutliche Korrelation zwischen Reaktionszeiten und Breite (je breiter desto schneller)
- ab dem Kontrastwert von  $K = \text{ca. } 0,33$  führt eine Kontrasterhöhung bei den zu Grunde gelegten Testbedingungen nicht linear zu einer Beschleunigung der Reaktionszeiten
- schnellste Reaktionszeiten unter den dargebotenen Testbedingungen bei dem 20 cm breiten Teststreifen

### **6.3.3 Einfluss der inneren Materialstruktur (LC)**

#### *6.3.3.1 Testaufbau*

In einem ersten Schritt sind zu der inneren Struktur von Materialien als Einfluss auf die Kontrastwirkung Laboruntersuchungen durchgeführt worden (siehe Kapitel 6.2.4.4 Innere Materialstruktur von Bodenmaterialien als Einfluss auf die Kontrastwirkung). Aufbauend auf den Ergebnissen dieser ersten Phase der Untersuchungen zu den Materialeigenschaften werden in einer zweiten Phase die Ergebnisse in einem Probandentest vertiefend untersucht.

Die resultierende Untersuchung findet in Form eines Tests mit Probanden in einem abgedunkelten Raum statt. Dabei werden den Probanden Bilder verschiedener Materialkombinationen von gängigen Bodenbelägen per Beamer-Projektion auf einer Leinwand dargeboten. Die für den Test verwendeten Materialbilder wurden im Lichtlabor der TU Dresden unter lichttechnisch kontrollierten Bedingungen aufgenommen. In der Folge sind aus den ebenfalls gemessenen Leuchtdichte-Werten Kontrastpaare gebildet worden, die typischerweise auch in der gebauten Umwelt Anwendung finden. Aus der Summe der Kontrastpaare wurden Testbilder ausgewählt, die jeweils einen Bereich bestimmter Kontrastwerte abdecken, z.B.  $0,1 \leq K < 0,2$ ,  $0,2 \leq K < 0,3$  usw. bis 0,6. Für jeden Kontrastbereich sind jeweils gleich viele Testbilder vorhanden. Zusätzliches Kriterium für die Zuordnung der Musterproben zu den Gruppen war die innere Materialstruktur. Zu jeder Kontrastgruppe sollten möglichst gleich viele Proben mit homogener und heterogener innerer Struktur vertreten sein.

Die Materialkombinationen werden in Sehzeichen von einem Durchmesser von 60 cm auf der Projektionsfläche abgebildet. Innerhalb der Sehzeichen wurden den Probanden Materialbilder im Maßstab 1:1 dargeboten.



Dies war für die Untersuchung der Beziehung zwischen Reaktionszeit und innerer Materialstruktur entscheidend. In Bezug auf die Dimension der Sehzeichen und der Wiederholung der Hell-Dunkel-Wechsel im Sehzeichen in Anlehnung an den VISTECH-Test<sup>2</sup>(Darius et al. (2010)) ist zu sagen, dass versucht wurde, sich mit der Sehaufgabe an den Schwellenbereich in Bezug zu dem minimal zugelassenen Visus von 0,1 anzunähern. Es besteht letztlich aber kein rechnerischer Bezug zwischen minimal zugelassenem Visus, dem Sitzabstand und der Dimension des Sehzeichens. Damit kann kein Einfluss des Auflösungsvermögens der Probanden in Bezug auf das Erkennen des Streifenmusters an sich bestehen, da die Dimension des Sehzeichens deutlich überschwellig ist. Entscheidend für einen Reaktionszeitenunterschied werden demnach die innere Struktur und der Kontrast der dargebotenen Materialkombinationen. Die Materialbilder werden in Sehzeichen mit einer Ortsfrequenz von 1,5 (= Anzahl der Hell-Dunkel-Perioden pro Winkelgrad im VISTECH-Test (Darius et al. (2010)) im Realmaßstab abgebildet. Die Probanden sitzen in einem Abstand von 2 m vor der Leinwand, um den Sehbereich von 45° aus der laufenden Bewegung (siehe auch Kapitel 6.3) in das Testdesign auf die Leinwandprojektion zu übertragen. Der Durchmesser der Kreissehzeichen beträgt folglich 60 cm. Der Durchmesser der ‚Sehzeichen‘, die den Probanden dargeboten werden, resultiert aus dem angenommenen Visus für Seheingeschränkte von  $V=0,1$  in Kombination mit dem Sehabstand des Tests von 2 Meter. Über das sich ergebende Auflösungsvermögen des Sehwinkels resultiert ein Durchmesser von 60 cm.

<sup>2</sup> VISTECH-Test: „Hier werden verschiedene Sinusgittermuster verwendet, deren Größe jeweils durch eine bestimmte Ortsfrequenz (OF) definiert ist, d. h. durch die Anzahl der Hell-Dunkel-Perioden pro Winkelgrad. Auf der Vistech-Tafel werden fünf Reihen von Sinusgittern mit verschiedenen OF (1,5; 3; 6; 12 und 18 Perioden/Grad; cpd) gezeigt. Die Gittermuster können in drei verschiedene Richtungen geneigt sein (vertikal, 15° nach rechts bzw. nach links), wobei die Richtung vom Probanden benannt werden muss. Jede Reihe der Testobjekte beginnt mit hohem Kontrastniveau, das dann innerhalb der Reihe von links nach rechts logarithmisch abnimmt. Jedem Testfeld ist eine definierte KE zugeordnet. Das kontrastärmste, in ununterbrochener Reihenfolge richtig erkannte Sehzeichen ist das Maß für die Kontrastempfindlichkeit der jeweiligen OF.“ (Darius et al. 2010 S.29f).



VISTECH-Tafel mit den jeweiligen Ortsfrequenzen



Sehzeichen mit einer Ortsfrequenz von 1,5

Im Vorfeld der Tests sind die Leuchtdichten der präsentierten Materialien unter den geplanten Testbedingungen an der Projektionsleinwand mit einer Leuchtdichtekamera gemessen worden, um den tatsächlich dargebotenen Kontrast zu bestimmen und gegebenenfalls Korrekturen in den Bilddateien vorzunehmen. Es werden den Probanden zwei Typen an Sehzeichen dargeboten. Zum einen Bilder, in denen zwei reale Materialien einen Kontrast zueinander bilden, zum anderen auch Bilder, in denen ein Material einen Kontrast zu einer homogenen, mit einem Bildbearbeitungsprogramm erzeugten unbunte Fläche (Grauabstufungen mit Leuchtdichten analog zu den realen Materialien) bildet. Hintergrund ist die beabsichtigte Hypothesenprüfung, dass Kontrastpartner mit starker innerer Struktur besser erkannt werden als homogene Partner. Zusätzlich zu den o.g. Bildern werden als Unsicherheitsfaktor Bilder ohne Inhalt, d.h. mit einer unbunten grauen Fläche in derselben Kreisdimension dargeboten.

Es ist anzumerken, dass aufgrund der Verwendung von Fotos marktüblicher Materialien nicht nur unbunte Darstellungen resultierten, sondern auch Bilder mit Farbanteilen enthalten sind. Um auszuschließen, dass der materialbedingte Farbanteil die Reaktionsgeschwindigkeit maßgeblich beeinflusst, werden die Auswertungen auch differenziert nach Farben bzw. Farbsättigung vorgenommen.

Fragestellung: Hat die innere Materialstruktur Einfluss auf das Wahrnehmen von Kontrasten?

Hypothese 1: Die innere Materialstruktur von Bodenbelägen hat Einfluss auf die Erkennbarkeit von Materialunterschieden.

Hypothese 2: Unterscheiden sich zwei Materialien stark in ihrer inneren Struktur (z.B. stark gemustert und sehr homogen), werden diese Unterschiede bei gleichen Kontrasten schneller erkannt als bei Materialien mit gleicher oder ähnlicher innerer Struktur.

Unsicherheitsfaktor: Kreiszeichen mit rein unbunter, d.h. grauer Füllung



Sehzeichen: Anlehnung an VISTECH-Test. Gittermuster in drei Orientierungen (15° nach links geneigt, 15° nach rechts geneigt, nicht geneigt/senkrecht)

Aufgabe der Probanden: Geben Sie an, ob die abgebildeten Streifen nach links, nach rechts oder nicht geneigt sind.

Anzahl der gezeigten Bilder:

Materialkombinationen: 33 Bilder


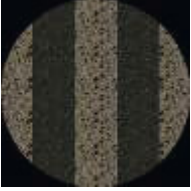




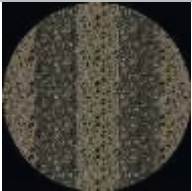
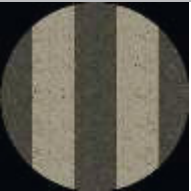












Material zu homogen unbunt: 33 Bilder

Bilder ohne Inhalt: 13 Bilder

SUMME: 79 Bilder

TESTZEIT (3s je Bild): 4,0 min
















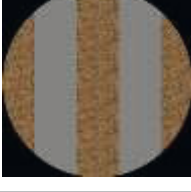




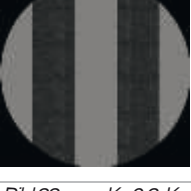
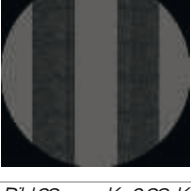
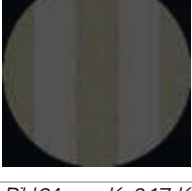
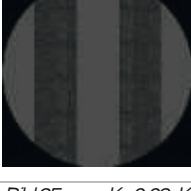




## Übersicht aller gezeigten Proben mit zwei realen Materialbildern

			
<i>Bild 1; K=0,58; K=0,67</i>	<i>Bild 2; K=0,4; K=0,48</i>	<i>Bild 3; K=0,56; K=0,54</i>	<i>Bild 4; K=0,42; K=0,49</i>
			
<i>Bild 5; K=0,17; K=0,07</i>	<i>Bild 6; K=0,09; K=0,08</i>	<i>Bild 7; K=0,09; K=0,19</i>	<i>Bild 8; K=0,48; K=0,57</i>
			
<i>Bild 10; K=0,38; K=0,41</i>	<i>Bild 11; K=0,30; K=0,47</i>	<i>Bild 12; K=0,32; K=0,41</i>	<i>Bild 13; K=0,39; K=0,51</i>
			
<i>Bild 14; K=0,29; K=0,51</i>	<i>Bild 15; K=0,23; K=0,29</i>	<i>Bild 16; K=0,45; K=0,60</i>	<i>Bild 17; K=0,19; K=0,32</i>
			
<i>Bild 18; K=0,03; K=0,12</i>	<i>Bild 19; K=0,52; K=0,53</i>	<i>Bild 20; K=0,13; K=0,04</i>	<i>Bild 21; K=0,38; K=0,56</i>

			
<i>Bild 22; K=0,6; K=0,57</i>	<i>Bild 23; K=0,38; K=0,45</i>	<i>Bild 24; K=0,17; K=0,11</i>	<i>Bild 25; K=0,09; K=0,31</i>
			
<i>Bild 26; K=0,42; K=0,47</i>	<i>Bild 27; K=0,59; K=0,62</i>	<i>Bild 28; K=0,49; K=0,59</i>	<i>Bild 29; K=0,41; K=0,45.</i>
			
<i>Bild 30; K=0,02; K=n.e.</i>	<i>Bild 31; K=0,02; K=0,03</i>	<i>Bild 32; K=0,02; K=0,01</i>	<i>Bild 33; K=0,09; K=n.e.</i>
			
<i>Bild 34; K=0,08; K=n.e.</i>			

Tabelle 24: Übersicht aller gezeigten Testbilder mit zwei realen Materialbildern für den Test 'Innere Materialstruktur' unter Laborbedingungen inkl. der Angabe des Kontrastes anhand der im Labor ermittelten Reflexionsgrade der Einzelproben (erster Wert mit K=) und dem in der Testumgebung ermittelten Kontrastwert (zweiter Wert mit K=). Grau unterlegte Testbilder sind nicht ausgewertet worden.

## Übersicht aller gezeigten Proben mit einem realen Materialbild und homogen grauer Fläche

			
Bild 1 grau; K=0,58; K=0,65	Bild 2 grau; K=0,4; K=0,44	Bild 3 grau; K=0,56; K=0,53	Bild 4 grau; K=0,42; K=0,46
			
Bild 5 grau; K=0,17; K=0,09	Bild 6 grau; K=0,09; K=0,12	Bild 7 grau; K=0,09; K=0,16	Bild 8 grau; K=0,48; K=0,57
			
Bild 10 grau; K=0,38; K=0,49	Bild 11 grau; K=0,30; K=0,36	Bild 12 grau; K=0,32; K=0,41	Bild 13 grau; K=0,39; K=0,52
			
Bild 14 grau; K=0,29; K=0,46	Bild 15 grau; K=0,23; K=0,27	Bild 16 grau; K=0,45; K=0,61	Bild 17 grau; K=0,19; K=0,32
			
Bild 18 grau; K=0,03; K=0,13	Bild 19 grau; K=0,52; K=0,48	Bild 20 grau; K=0,13; K=0,31	Bild 21 grau; K=0,38; K=0,55
			
Bild 22 grau; K=0,6; K=0,68	Bild 23 grau; K=0,38; K=0,42	Bild 24 grau; K=0,17; K=0,12	Bild 25 grau; K=0,09; K=0,32
			
Bild 26 grau; K=0,42; K=0,51	Bild 27 grau; K=0,59; K=0,65	Bild 28 grau; K=0,49; K=n.e.	Bild 29 grau; K=0,41; K=n.e.


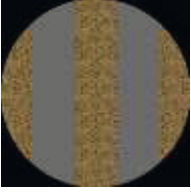
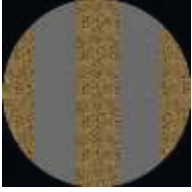
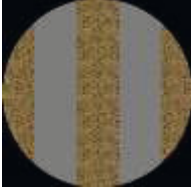
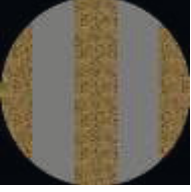
			
<i>Bild 30 grau; K=0,02; K=</i>	<i>Bild 31 grau; K=0,02; K=0,08</i>	<i>Bild 32 grau; K=0,02; K=n.e.</i>	<i>Bild 33 grau; K=0,09; K=n.e.</i>
			
<i>Bild 34 grau; K=0,08; K=n.e.</i>			

Tabelle 25: Übersicht aller gezeigten Testbilder mit einem realen Materialbild und einer homogen grauen Fläche für den Test 'Innere Materialstruktur' unter Laborbedingungen inkl. der Angabe des Kontrastes anhand der im Labor ermittelten Reflexionsgrade der Einzelproben der Materialproben (erster Wert mit K=) und dem in der Testumgebung ermittelten Kontrastwert (zweiter Wert mit K=). Grau unterlegte Testbilder sind nicht ausgewertet worden.

### 6.3.3.2 Ergebnisse Test Einfluss der inneren Materialstruktur

In der Vorbereitung der Auswertung der gewonnenen Daten für den Labortest zum Einfluss der inneren Materialstruktur sind zwei Probanden aufgrund sehr häufiger und signifikant längerer Antwortzeiten nicht in die Auswertung einbezogen worden. Diese Abweichung resultierten zu einem großen Teil aus häufigen Zwischenkommentaren während der Testdurchführung, wodurch sich die Eingaben durch den Probanden stark verzögerten.

#### *Auswertung Labortests Innere Materialstruktur alle Bilder – Materialkombinationen und Material zu homogen/unbunt*

Die Bilder 1, 9 und 20 wurden nicht in die Wertung einbezogen. Da das Bild 1 als erstes Bild in der gesamten Testreihe gezeigt wurde, sind hier trotz Einführung in die Situation inklusive eines exemplarischen Bildes auffällig lange Erkennungszeiten festzustellen, die im wesentlichen auf die unbekannte Testsituation zurückzuführen sind. Das Bild 9 wurde zwar für die Testreihen erstellt, ist letztlich aber nicht die Testreihe aufgenommen worden. Demnach ergibt sich in der fortlaufenden Nummerierung der Auswertung eine Lücke. Für Bild 20 lag keine ausreichend hohe Zahl an verwertbaren Testergebnissen vor.

Die Bilder 30 bis 34 weisen sowohl sehr geringe Strukturunterschiede als auch sehr geringe Kontraste auf, so dass diese von mehr als 20 % der Probanden nicht bzw. falsch erkannt wurden bzw. lagen hier zu wenig verwertbare Testergebnisse vor. Demnach wurden auch diese Bilder in der weiteren Betrachtung nicht berücksichtigt. Dabei handelt es sich durchgängig um Bilder, die mit einem sehr geringen, für die Mehrzahl der Probanden nicht mehr erkennbaren Schwellenwert der Kontraste hergestellt waren.

Die Messwerte vereinzelt fehlender Daten bspw. verursacht durch technische Probleme, wurden durch den Mittelwert der bildspezifischen Messreihe ersetzt. Desweiteren wurden vereinzelt, extrem lange Messzeiten, die offensichtlich auf Bedienfehler zurückzuführen waren, ebenfalls ersetzt. Hierbei wurde der Mittelwert der Reaktionszeiten mit einem probandenspezifischen Faktor der Standardabweichung multipliziert und eingesetzt.

Falschnennungen im Sinne einer falschen Erkennung der gezeigten Bildausrichtung (rechts, links, mitte) werden in den folgenden Auswertungen gesondert in den Abbildungen dargestellt. Die Ergebnisse der Zeiterfassung bei Falschnennungen werden in der Mittelwertermittlung nicht berücksichtigt.

Bei der Gesamtbetrachtung der Reaktionszeiten aller Bilder fällt auf (siehe Abbildung 89 - hier sind lediglich die Bilder 1 und 20 nicht mitbetrachtet), dass die Reaktionszeiten im geringen Kontrastbereich eine sehr starke Korrelation zu den dargebotenen Kontrasten zeigen: Je höher der Kontrast, desto schneller wurden die Ausrichtung der dargebotenen Kreise erkannt. Bei höheren Kontrasten ab ca.  $K=0,3$  steht die Reaktionszeit deutlich weniger in Bezug zum Kontrast. Möglicherweise spielen hier andere Merkmale eine Rolle.

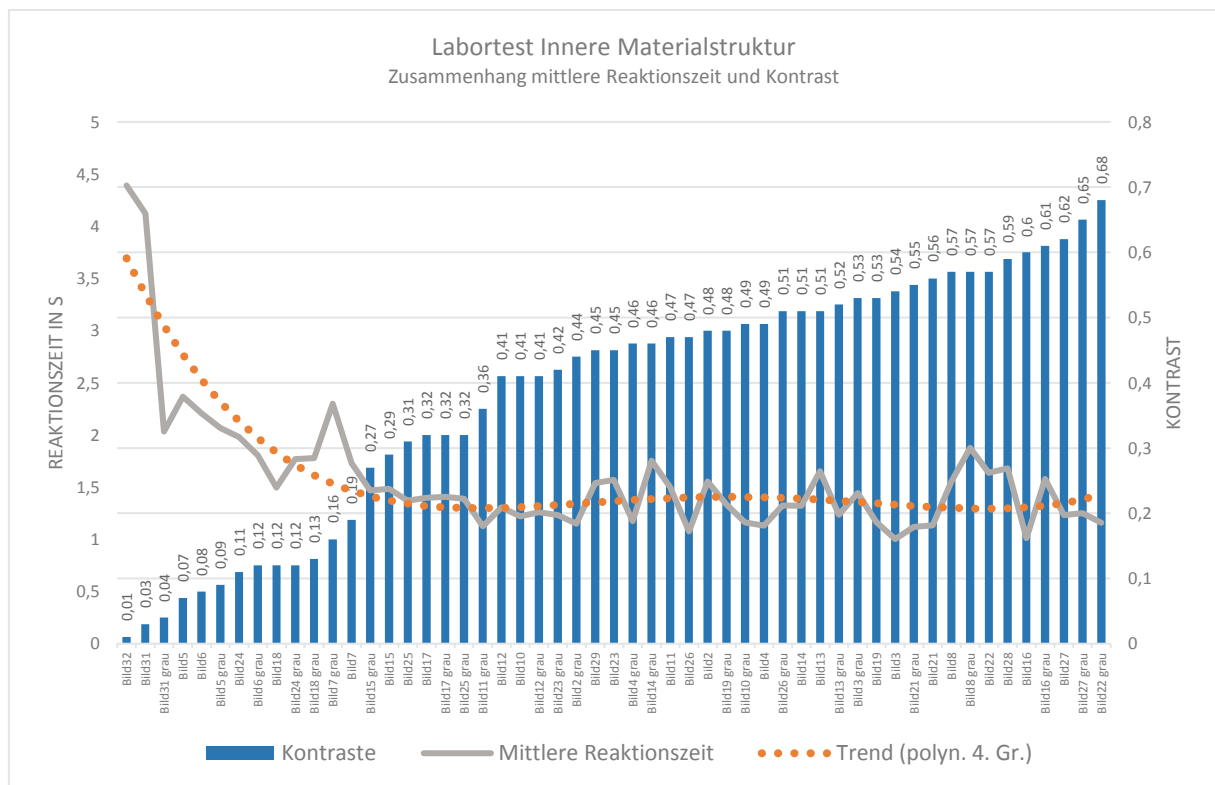


Abbildung 89: Kontraste und mittlere Reaktionszeiten über alle Probanden mit Trendlinie über die mittleren Reaktionszeiten für alle dargebotenen Bilder

*Einfluss der Farbe auf das Testergebnis*

Da möglicherweise die Farbgebung der gewählten Materialproben den Einfluss des Merkmals innere Materialstruktur überlagern könnte, wird zunächst eine getrennte Auswertung der Testbilder nach vier Farbkategorien vorgenommen. Diese werden in Bezug zur Farbsehfähigkeit der Probanden ausgewertet.

Die Abbildung 90 bis Abbildung 93 zeigen entsprechend die Reaktionszeiten der Probanden sortiert nach unbunten, ungesättigten gelben sowie gesättigt roten und gelben Testbilder. Bei der Aufschlüsselung der Reaktionszeiten für Probanden mit uneingeschränkter, eingeschränkter Farbsehfähigkeit und farbenblinden Probanden zeigen die in ihrer Farbsehfähigkeit eingeschränkten Probanden zwar insgesamt deutlich langsamere Reaktionszeiten, jedoch sind diese Unterschiede gleichermaßen für alle Testbilder festzustellen. Die Ergebnisse zeigen gegenüber den uneingeschränkten Probanden bei den stark gesättigten roten und gelben Testbilder anders als erwartet keine deutlich langsameren Reaktionszeiten. Die beiden farbenblinden Probanden zeigen sogar durchgängig annähernd gleich schnelle Reaktionszeiten wie die Probanden ohne Einschränkung der Farbsehfähigkeit.

Sehr deutlich ist jedoch festzustellen, dass die gesättigten gelben Testbilder im Mittel von allen Probanden mit Abstand am schnellsten erkannt werden.

Neben den gelben Testbildern 3, 18, 19, erzielten auch die roten Testbilder 4 und 21 insgesamt deutlich schnellere Reaktionszeiten als der Durchschnitt.

Die Reaktionszeitenmittel der gewählten Testbildersortierung unbunt, ungesättigt gelb und rot sind demgegenüber für die jeweilige Probandengruppe annähernd gleich (siehe Tabelle 26)

Daraus kann gefolgert werden, dass bei der für diesen Test eingesetzten Probandengruppe, keine verfälschende Beeinflussung der Testergebnisse durch die Farbinformation außer bei den gesättigt gelben Testbildern zu erwarten ist. Um dennoch etwaige nicht identifizierbare Beeinflussungen auszuschließen, wird jedoch bei den materialübergreifenden Auswertungen der inneren Struktur ausschließlich auf die Testbilder mit ungesättigten Farbanteilen zurückgegriffen.

Entsprechend werden in der folgenden Auswertung die unbunten Testbilder und die Testbilder mit ungesättigten Gelbanteilen zusammen betrachtet und einer gemeinsamen vertiefenden Auswertung in Bezug auf die Innere Materialstruktur unterzogen.



Bei der Einzelauswertung nach Materialkategorien werdendemgegenüber auch Testbilder mit gesättigten rot- und gelb-brauntönen berücksichtigt (Teppich und Holz).

	uneingeschränkt	eingeschränkt	farbenblind
Grau	0,78	1,72	0,64
Hellgelb	0,8	1,75	1,08
Gelb	0,55	1,4	0,55
Rot	0,70	1,77	0,90
Gesamt	0,71	1,66	0,79

Tabelle 26: Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten für die Probandengruppen 'uneingeschränktes Farbsehvermögen', eingeschränktes Farbsehvermögen' und 'farbenblind für fünf Bildergruppen

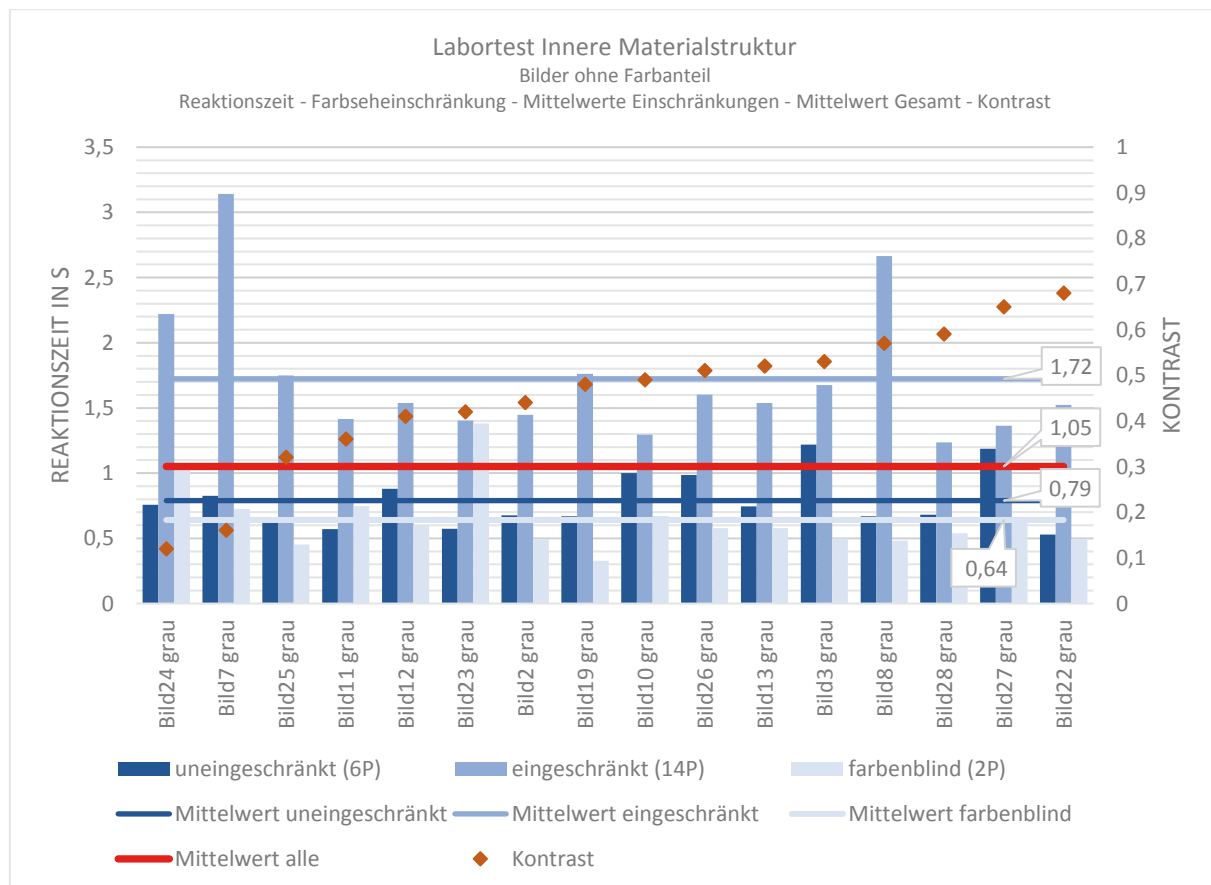


Abbildung 90: Reaktionszeiten nach Farbseh Einschränkungen für Bilder ohne Farbanteile für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur

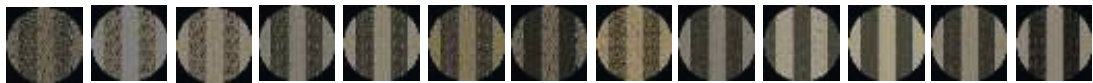
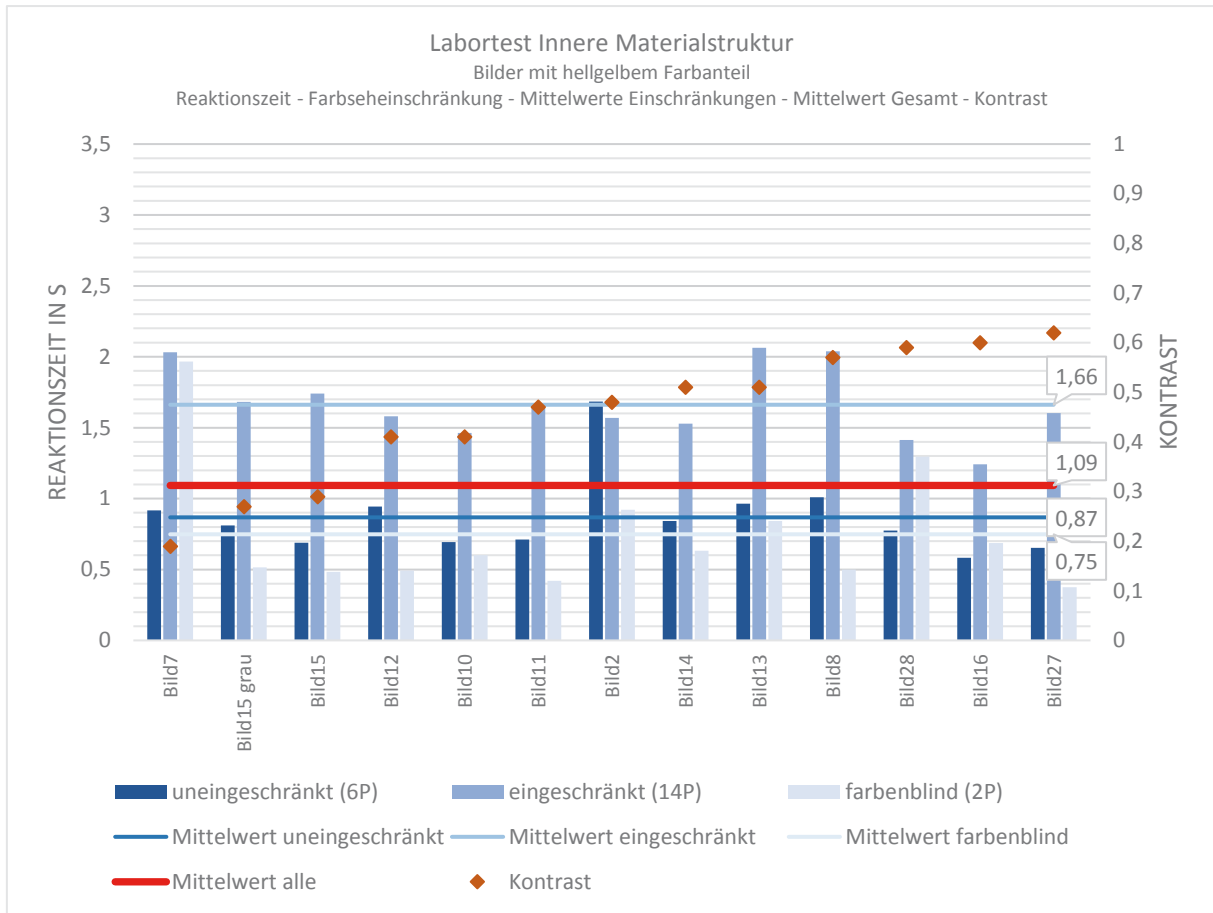


Abbildung 91: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit hellgelbem Farbanteil für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur

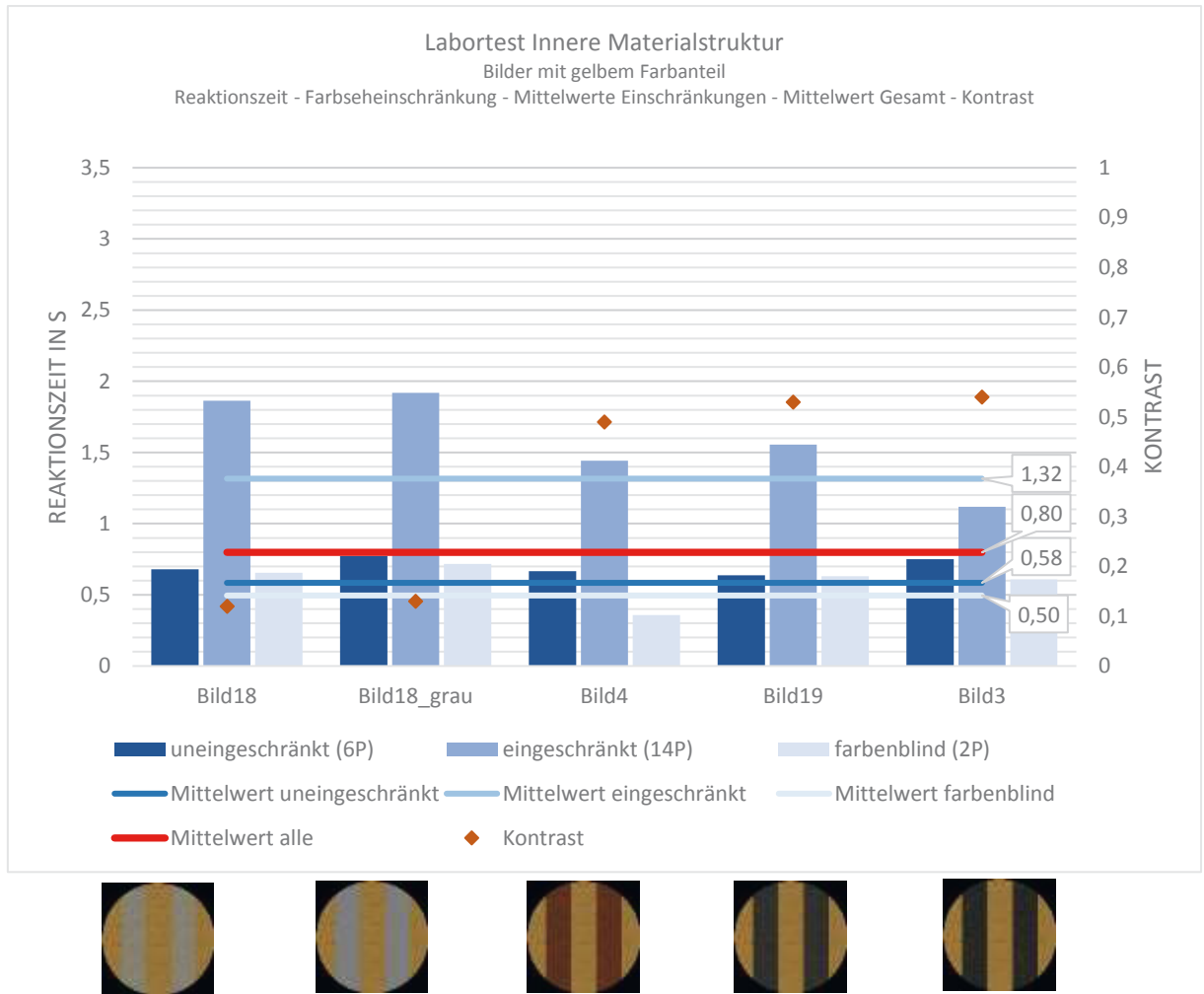


Abbildung 92: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit gelben Farbanteilen für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur

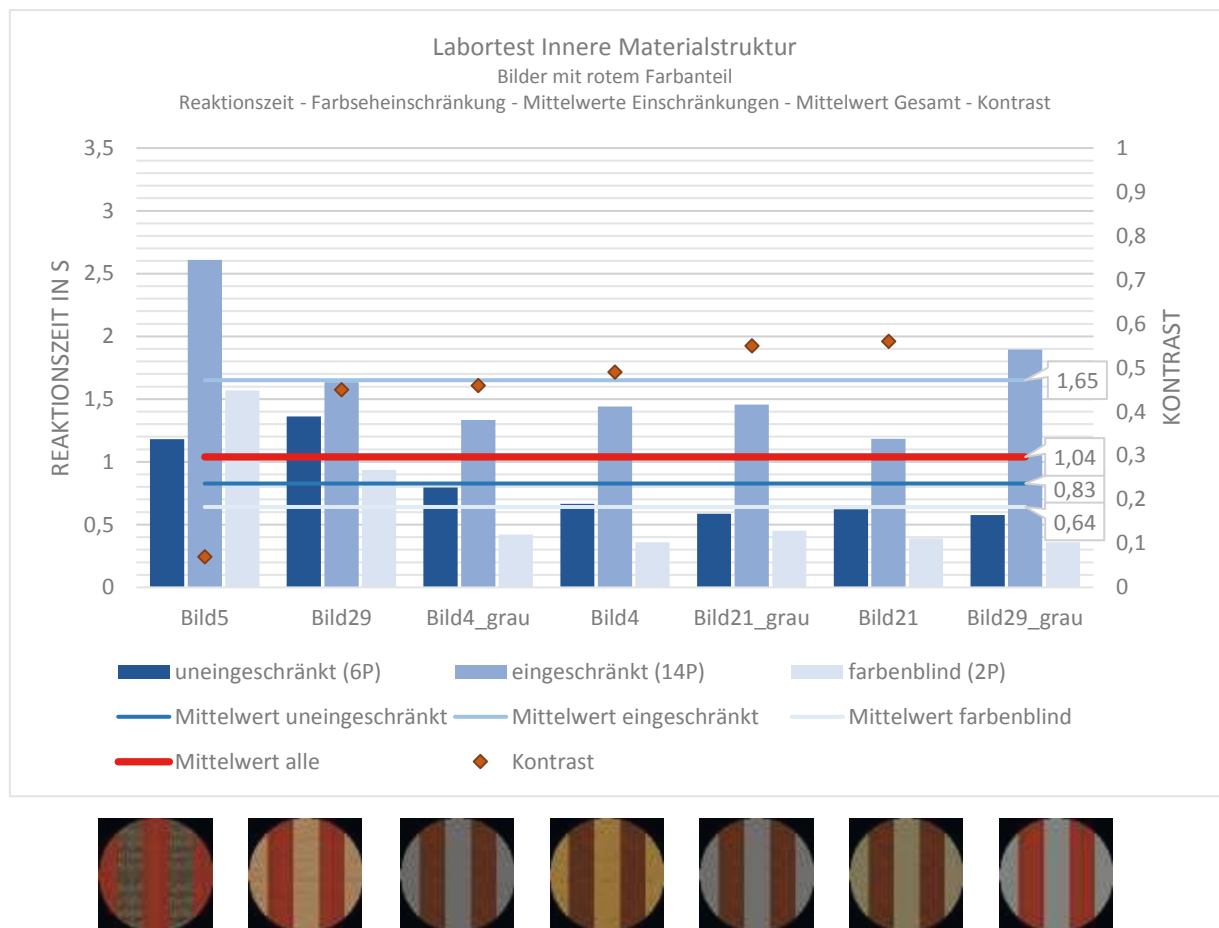


Abbildung 93: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit roten Farbanteilen für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur

### Vergleich Testbilder mit starker innerer Struktur zu homogenen Testbildern

Für die Testreihe wurden Bilder erzeugt, die aus jeweils einem starkstrukturierten und einem homogenen Partner bestehen. Es wurde jeweils ein Kontrollbild gewählt, das ausschließliche homogene Partner mit identischen Kontrastwerten zu dem Partnerbild mit einem strukturierten Anteil aufweist. Da die im Bildbearbeitungsprogramm voreingestellten Kontrastwerte in der örtlichen Situation teilweise nicht erzielt werden konnten (örtliche Leuchtdichtmessungen in der Testsituation), weisen diese eigentlich mit gleichen Kontrastwerten voreingestellten Partner teilweise deutliche Kontrastunterschiede auf. Ergänzend wurden daher aus der Gesamtauswahl der gezeigten Bilder, Partner in der Kombination stark strukturiert-homogen zu homogen-homogen mit annähernd vergleichbaren Kontrasten zusammengestellt und die Ergebnisse der Reaktionszeiten verglichen. Abbildung 94 zeigt die Ergebnisse dieser Vergleichspaare.

Von den insgesamt 9 Vergleichspaaren werden fünf Mal die Kombinationen aus starkstruturiertem und homogenen Partner schneller erkannt als die Testbilder mit ausschließlich homogenen Partnern.

Damit ist keine eindeutige Verbesserung der Erkennbarkeit durch das Merkmal einer auffälligen inneren Materialstruktur festzustellen.

Bei diesen Vergleichen konnte keine eindeutige Verbesserung der Erkennbarkeit durch das Merkmal einer auffälligen inneren Materialstruktur festgestellt werden (siehe Abbildung 94).

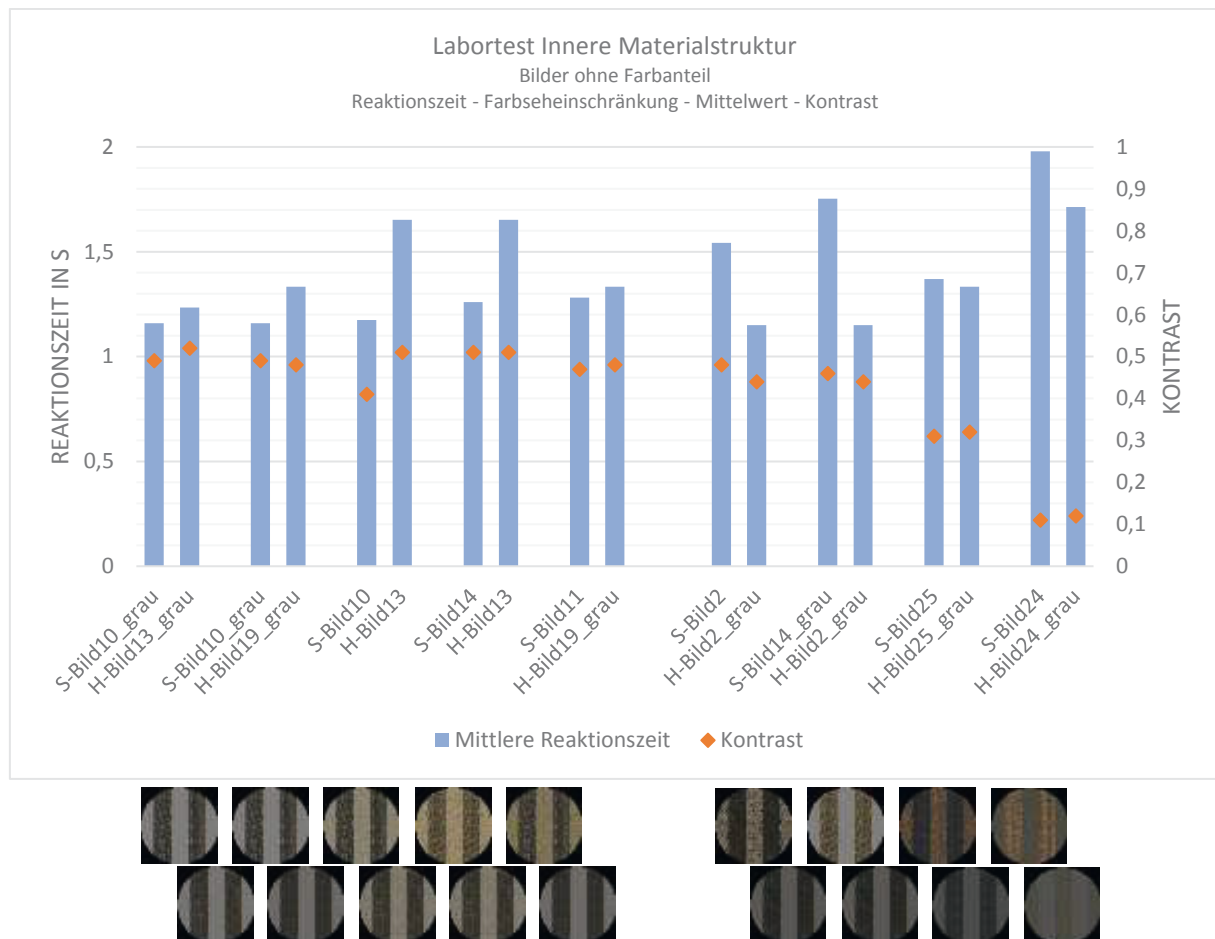


Abbildung 94: Paar-Vergleich der Mittleren Reaktionszeiten von Testbildern mit Strukturiertem Partner und Testbildern mit zwei homogenen Partnern mit annähernd gleichen Kontrasten je Vergleichs-Paar

Beim Vergleich der Ergebnisse der gesamten Gruppe der Testbilder strukturiert-homogen zu homogen-homogen (ausschließlich unbunte und ungesättigt gelbe Testbilder) wird ebenfalls deutlich, dass im Durchschnitt lediglich geringfügige Reaktionszeitenunterschiede für die beiden Kategorien festzustellen sind (siehe Abbildung 95).

Auffällig ist jedoch, dass dieser Befund festzustellen ist, obwohl für die Kategorie der Testbilder mit strukturierten Partnern im Durchschnitt geringere Kontraste zwischen den Partnern dargeboten wurden ( $K=0,41$  zu  $K=0,55$ ). Demnach kann geschlussfolgert werden,

dass das Merkmal innere Struktur zu einer Verbesserung der Unterscheidbarkeit beigetragen haben könnte. Wie die Abbildung 96 zeigt, spiegelt sich dieser Effekt auch in Anwendung der Inhomogenitätsklassen wieder (siehe Kapitel 6.2.2).

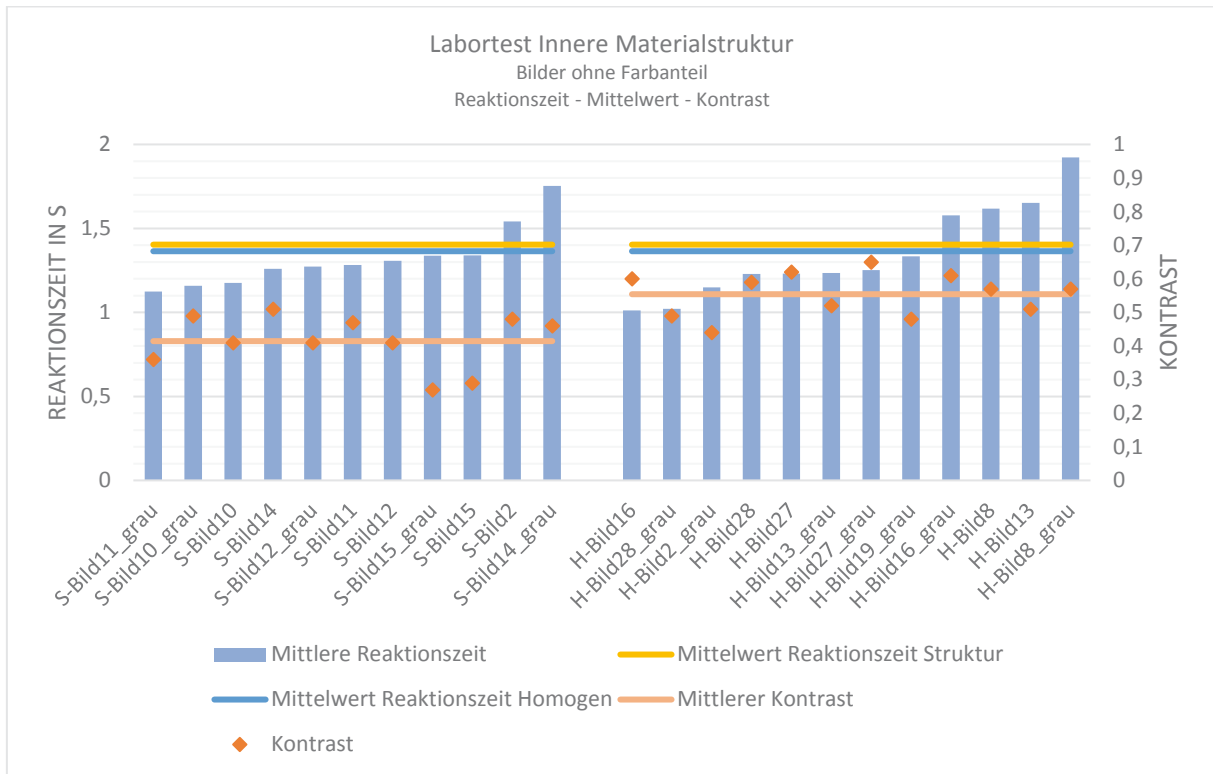


Abbildung 95: Vergleich strukturierte und homogene Testbilder nach Reaktionszeiten und Kontrast sowie der Mittelwerte je Gruppe

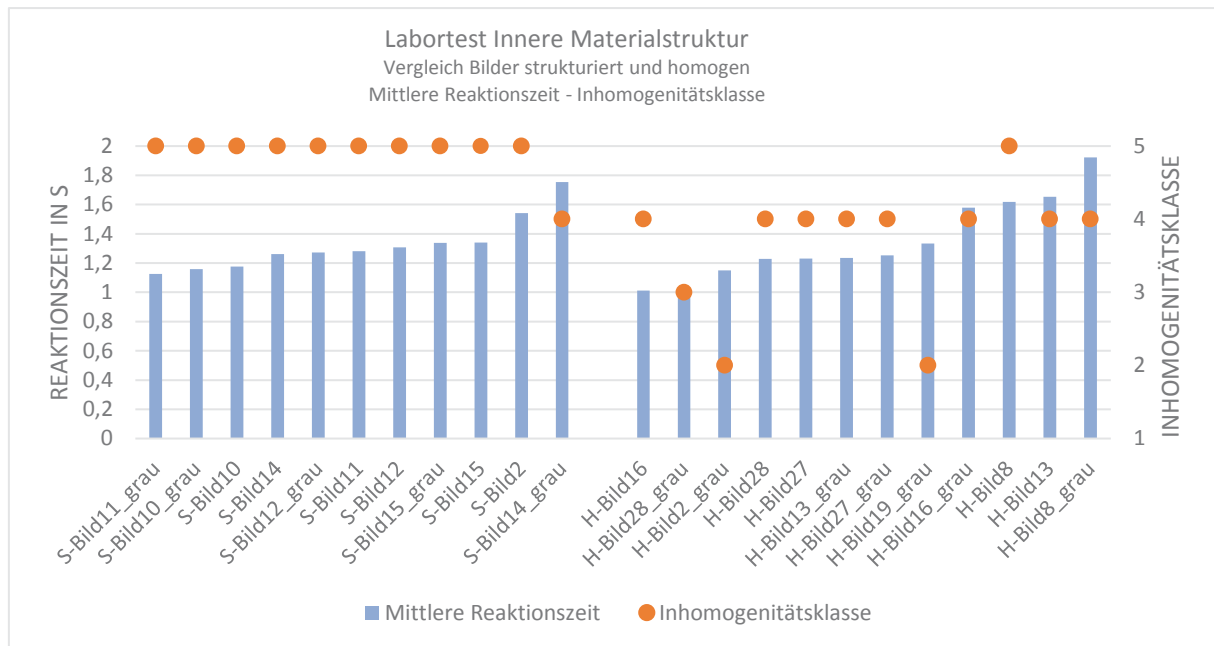


Abbildung 96: Vergleich strukturierte und homogene Testbilder nach Reaktionszeiten und Inhomogenitätsklassen.

### Teppichstruktur

Auch für die Teppichstrukturen werden die für den Test entwickelten Vergleichspaare mit und ohne Teppichstruktur bei in der Voreinstellungen identischen Kontrasten in der Auswertung gegenübergestellt (siehe Abbildung 97).

In Bezug auf die Teppichstrukturen erzielte das das Testbild 25 mit Teppichstruktur gegenüber dem Testbild 25\_grau, das anstelle der Teppichstruktur einen homogenen Partner bei gleichem Kontrast ( $K=0,31$ ) zeigt, geringere Reaktionszeiten. Bei den beiden anderen Vergleichspaaren schneidet jeweils das Bild mit den homogenen Partnern besser ab. Allerdings wurden bei diesen Vergleichspaaren insgesamt sehr geringe Kontrast dargeboten, so dass insgesamt sehr hohe Reaktionszeiten festzustellen waren.

Da in Bezug auf die Teppichstrukturen lediglich eine begrenzte Zahl an Proben gezeigt werden konnten, sollten hier weitergehende Untersuchungen auf den Teststrecken erfolgen, die den Einfluss des Merkmals auch in Verbindung mit einem höheren Reflexionsgrad testen sowie den konkreten Einfluss der Oberflächenrauigkeit einer Teppichstruktur näher untersuchen, der mtt projizierten Bilder nur bedingt geprüft werden konnte.

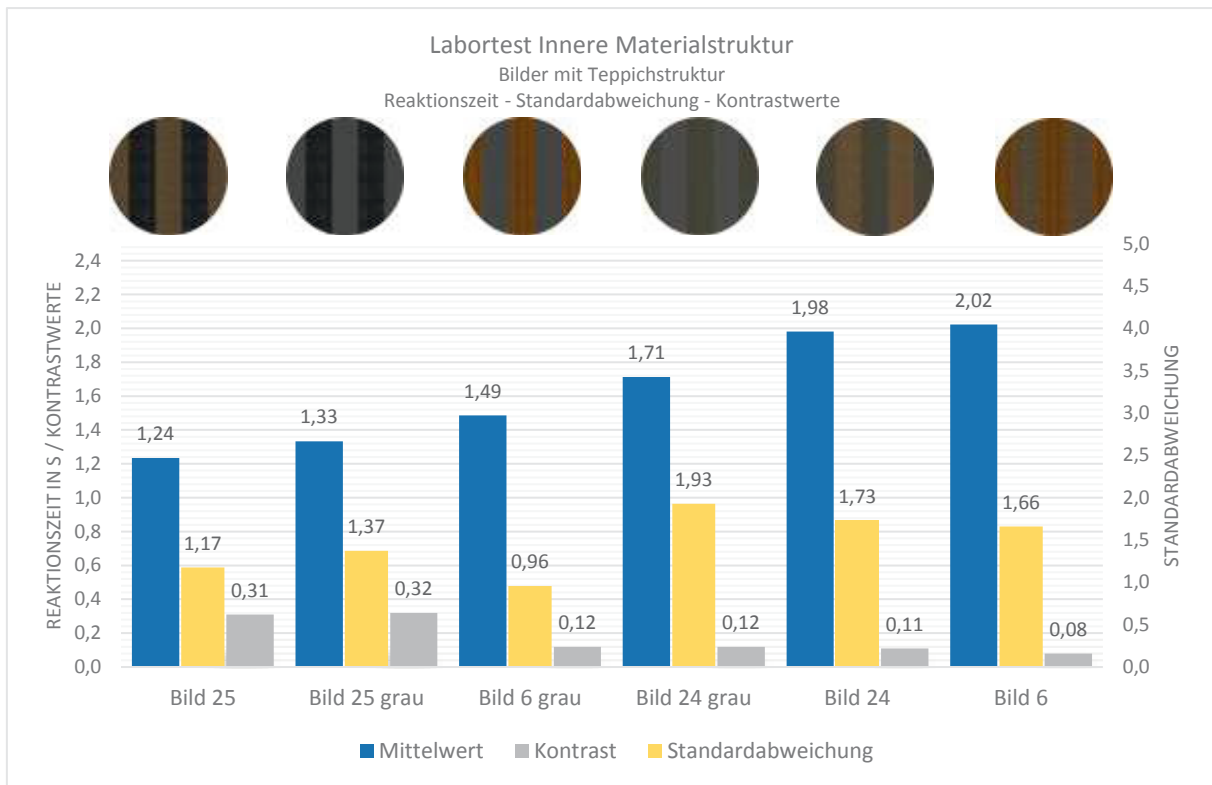


Abbildung 97: Reaktionszeiten, Standardabweichungen und Kontraste für Bilder mit Teppichstrukturen

### Holzstruktur

Beim Vergleich der Testbildpaare mit Holztexturen, schneiden die Bodenbeläge mit Holztexturen mit Ausnahme des Bildes 26 im Vergleich zum Pendant ohne Holzstrukturen (in homogene Grauwerte umgewandelt) schlechter ab. Die Ausnahme bildet das Bild 26, das insgesamt überdurchschnittlich schnell erkannt wurde (siehe Abbildung 98). Dieses könnte möglicherweise auf die starke Teppichstruktur, die für diese Bild als Partner gewählt wurde, zurückzuführen sein.



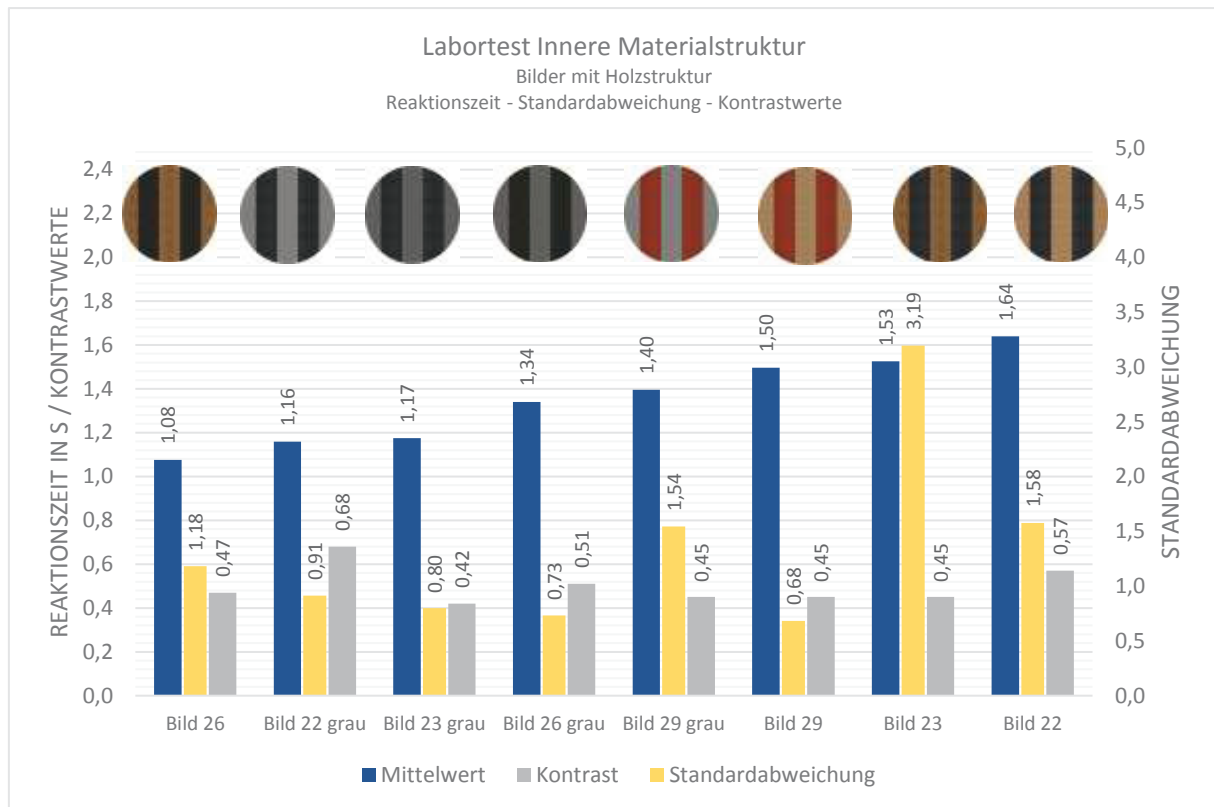


Abbildung 98: Reaktionszeiten und Kontraste für Bilder mit Holz-Anteilen

### Fazit

Der Labortest zur inneren Materialstruktur zeigt sehr deutlich, dass bei den zugrunde gelegten Kunstlichtbedingungen ab einem Kontrastwert von ca.  $K = 0,3$  eine Kontrasterhöhung nicht linear zu einer Verbesserung der Erkennbarkeit führt

- Der Einfluss des Merkmals innere Struktur konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden. Die Auswertungen lassen jedoch erwarten, dass die Unterscheidbarkeit insbesondere bei geringen bis mittleren dargebotenen Kontrasten ( $K = >0,12 < 0,5$ ) durch die innere Struktur des Belages verbessert wird.
- schnelle Reaktionszeiten wurden bei Testbildern mit gesättigten Farben, insbesondere bei gelb zu unbunten Flächen und farbige Materialien zu homogener Struktur festgestellt. Mit den geplanten Teststrecken im Innenraum soll daher das Merkmal der inneren Struktur in der Realsituation weiter untersucht werden. Dabei sollen als Materialien Werksteinstrukturen und Teppichstrukturen zu homogenen Belagsflächen eingesetzt werden, da diese eine auffällige Beeinflussung der Unterscheidbarkeit erwarten lassen. Da insbesondere bei geringeren Kontrast ein Einfluss des Merkmals innere Struktur zu erwarten ist, wird dieses bei der Auswahl der Materialien für die Teststrecken berücksichtigt.

## 6.4 Probandentests auf Teststrecken

Die Ergebnisse der Labortests werden unter Berücksichtigung der Hinweise aus dem ersten Expertengespräch in jeweils einer Teststrecke im Innen – und im Außenraum überprüft bzw. näher untersucht. Die Teststrecken wurden auf dem Gelände der TU Dresden aufgebaut und standen zwei Wochen für die Probandentests zur Verfügung. Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse näher erläutert.

### *Probandenrekrutierung*

Die Rekrutierung von Probanden erfolgte über folgende Anlaufstellen:

- Blinden- und Sehbehindertenverband Sachsen BSVS e.V. (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Pro Retina Deutschland e.V., Regionalgruppe Dresden (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Retina-Tag an der Technischen Universität Dresden, DFG-Center for Regenerative Therapies Dresden (persönliche Ansprache)
- Arbeitsgruppe Studium für Blinde und Sehbehinderte an der Technischen Universität Dresden (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Professur Mensch-Computer Interaktion, Fakultät Informatik/Institut für angewandte Informatik an der Technischen Universität Dresden (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- SGV Dresden e.V., Goalball-Mannschaft (Aufruf per E-Mail-Verteiler)
- Aufruf in der Sächsischen Zeitung in der Ausgabe vom 10.10.2016

Viele Probanden, die bereits an den Testuntersuchungen unter Laborbedingungen am Standort Dresden teilnahmen, zeigten großes Interesse an den weiterführenden Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojekts und warben auch in ihrem Umfeld (Selbsthilfegruppen, Sportvereine, u.ä.) für eine Teilnahme an den Probandentests auf den Teststrecken.

<b>Einrichtung</b>	<b>Anzahl</b>
E-Mail Verteiler des BSVS e.V.	2
E-Mail Verteiler Pro Retina Deutschland e.V.	3
Retina-Tag an der TU Dresden	3
TU Dresden – Studierende und Mitarbeiter	2
SGV Dresden e.V	2
Interessierte Probanden, bei denen keine Terminübereinstimmung in den Laboruntersuchungen möglich war	1
Persönliche Kontakte der bereits in den Labortests teilnehmenden Probanden	3
Aufruf in der Sächsischen Zeitung	3
<b>Summe</b>	<b>19</b>

Tabelle 27: Übersicht der Probandenakquisitionen mit resultierender Anzahl an Probanden

Alle Probanden füllten im Vorfeld einen Fragebogen aus, in dem sie Angaben zu ihrer Person (soziodemografische Angaben), zur Erkrankung (Visus, Gesichtsfeldausfälle, Farbsehen, Blendempfindlichkeit, Kontrastsehen), sowie zur Orientierung (Absolvieren eines Mobilitätstrainings, Nutzung von Hilfsmitteln, Angaben der Entfernungen, in denen sich in bekannten und unbekannter Umgebung orientiert wird) machten (siehe Anhang 12.3).

Weiterhin gaben die Probanden eine schriftliche Einverständniserklärung für die Teilnahme an den Untersuchungen ab. Sie wurden im Vorfeld der Versuche ausführlich über die Ziele, Nutzen und mögliche Risiken informiert.

Vor Beginn der Testdurchläufe wurde der Versuchsablauf durch den Versuchsleiter erläutert und offene Fragen beantwortet. Alle erhobenen Daten sind in anonymisierter Form festgehalten.

#### *Probandenbeschreibung*

Es nahmen 19 Personen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit an den Versuchen teil.

#### *Vorliegende Augenerkrankungen, zum Teil Mehrfacherkrankungen:*

Makuladegeneration:	4 Probanden
Makuladystrophie:	4 Probanden
Glaukom (grüner Star):	2 Probanden
Katarakt (grauer Star):	2 Probanden
Retinitis pigmentosa:	1 Proband

Weitere vorliegende Erkrankungen waren: Kurzsichtigkeit, Myopie Nystagmus, Morbus Stargard, Netzhautablösungen, X-chromosomale Blauzapfenmonochromasie, Fuchs'scher Fleck und anteriore ischämische Optikusneuropathie (Augeninfarkt).

### Visus

Vor jedem Test wurde der Visus der Probanden mittels SZB Test nach Buser bestimmt. Demnach hatten 7 der insgesamt 19 Probanden einen Visus  $< 0,1$ . Für zwei Probanden konnte nach dem Verfahren des Tests kein Visus ermittelt werden.

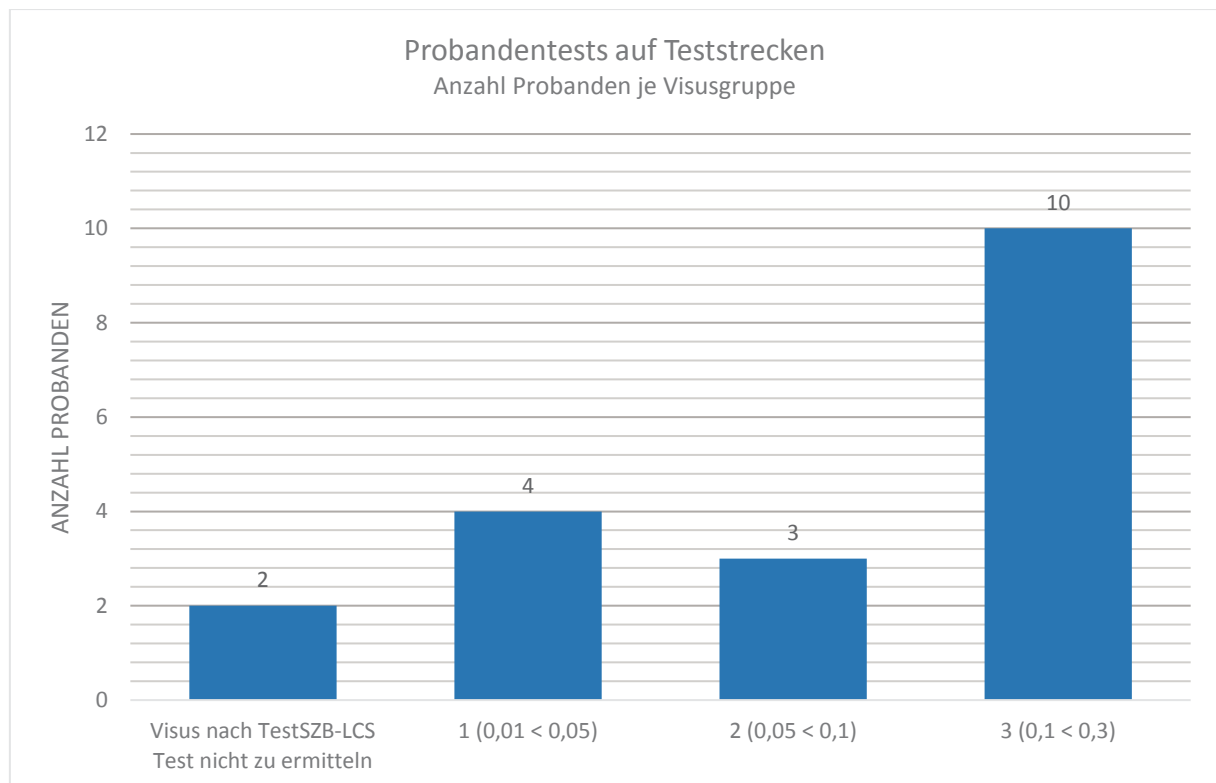


Abbildung 99: Übersicht Probandenverteilung nach auswertungsrelevanten Visusgruppen

### Alter und Geschlecht

Der jüngste Proband war 25 Jahre alt, der älteste 74 Jahre. Von den 19 Probanden waren 13 männlich und 6 weiblich.

### Farbsehen

Ein Proband war farbenblind. 8 Teilnehmer gaben an, Farben nur eingeschränkt wahrnehmen zu können. Die übrigen 10 Probanden hatten nach eigener Auskunft keine Farbsehinschränkungen.

### *Kontrastsehen*

Schwierigkeiten im Wahrnehmen von Kontrasten hatten nach eigener Angabe nahezu alle Teilnehmer (14 von 19). Nach eigener Aussage der Probanden tritt dies vor allem bei Dämmungsverhältnissen, schlechten Lichtverhältnissen, grellem Licht oder beim Wechsel von hellen zu dunklen Bereichen auf. Nur zwei Probanden gaben an, keine Probleme beim Erkennen von Kontrasten zu haben. Zusätzlich zur persönlichen Einschätzung wurde mit jedem Probanden der SZB Test nach Buser durchgeführt, um das Kontrastsehvermögen zu bestimmen.

### *Einteilung nach dem Kontrastsehvermögen (SZB Test n. Buser)*

Nach dem von Buser entwickelten ‚SZB Low Vision Contrast Sensitivity (SZB-LCS) Test‘ zur Bestimmung der Empfindlichkeit für schwache Kontraste (Erläuterung des Tests (siehe 12.2.2) hatten 8 Probanden ein normales und 8 weitere ein eingeschränktes Kontrastsehvermögen. Keiner der Probanden hatte ein schlechtes Kontrastsehvermögen. Für die übrigen drei Probanden konnte kein Ergebnis im Test erzielt werden.

### *Gesichtsfeldausfälle*

Überwiegende oder vollständige Gesichtsfeldausfälle in einem oder mehreren Quadranten bzw. zentral lagen bei zehn Probanden vor. Zwei Teilnehmer konnten dazu keine Angabe machen. Acht Teilnehmer hatten konzentrische Gesichtsfeldausfälle, vier konnten dazu keine Aussagen treffen. Bei sieben Probanden waren die Ausfälle im Gesichtsfeld unregelmäßig, acht Teilnehmer machten keine Angabe dazu.

### *Blendempfindlichkeit*

Die Mehrheit der Probanden (16 von 19) war nach persönlicher Einschätzung sehr blendempfindlich bis empfindlich. Kein Proband gab an, kaum oder überhaupt nicht empfindlich zu sein.

### *Mobilitätstraining*

Neun Testpersonen hatten zum Zeitpunkt der Teststreckenbegehungen bereits ein Mobilitätstraining absolviert.

### *Orientierung in bekannter und unbekannter Umgebung*

In bekannten innenräumlichen Situationen orientieren sich die Probanden (15 von 19) vor allem im Nahbereich (bis 2 m) und in mittlerer Entfernung (bis 5 m). In unbekannter Umgebung im Innenraum machten die Probanden dieselbe Angabe. Hier ist der im Expertenworkshop dieses

Projektes generierte treffendere Begriff ‚orientierungsrelevanter Mittelbereich‘ anzuwenden. Im Außenraum findet die Orientierung in bekannter Umgebung bei 10 von 19 Probanden in der Ferne (bis 10 m) statt. In unbekanntem außenräumlichen Situationen verschiebt sich die Angabe, hier orientieren sich die Teilnehmer (16 von 19) vor allem im Nahbereich (bis 2 m) und in mittlerer Entfernung (bis 5 m) (bzw. ‚orientierungsrelevanter Mittelbereich‘).

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Probandenangaben befindet sich im Anhang (siehe 12.2).

#### **6.4.1 Ziele und Versuchsaufbau Innenraum**

##### *Teststreckendesign*

Das Vorgehen zur Entwicklung des Teststreckendesigns und die Materialauswahl der Teststrecken Innen wurde aus den Testergebnissen zur inneren Materialstruktur abgeleitet:

Da der Labortest zur „inneren Materialstruktur“ insbesondere bei geringen bis mittleren Kontrastwerten Hinweise zu einer besseren Unterscheidbarkeit von Bodenmaterialien mit dem Merkmal einer starken inneren Struktur im Vergleich zu homogener Fläche zeigten, wird mit den Teststrecken im Innenraum im Schwerpunkt dieses Merkmal vertiefend untersucht. Mit den Musterflächen kann darüber hinaus der Einfluss des Merkmals Oberflächenrauigkeit untersucht werden. Es ist zu erwarten, dass die veränderte Lichtreflexion bei relativ bewegten Oberflächen wie bei Teppichbelägen die Wahrnehmbarkeit des Teststreifens beeinflusst und bei rauen Oberflächen durch kleinteilige Lichtreflexionen verstärkt wird. Das Merkmal Oberflächenrauigkeit bildet sich zwar auch in den Leuchtdichtemessungen im Labor ab (siehe Abbildung 60 vergleichende Messung Granitbelag mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung), jedoch liegen derzeit keine Kenntnisse vor, ob die Messungen des Merkmals die Wahrnehmung kongruent abbildet.

Die in den Labortests herauskristallisierte bessere Erkennbarkeit des Merkmals farbige Oberflächen wird in der aus 8 Feldern bestehenden Teststrecke durch die Verlegung eines Teststreifens aus orangefarbenen Linoleum überprüft. .

Da in den Labortests deutliche Unterschiede in Reaktionszeiten zwischen hellem und dunklem Grundmaterial feststellbar war, werden je vier der gebauten Testbilder mit einem dunklen und einem hellen Grundmaterial hergestellt.

Es wird fugenloses, homogenes Linoleum als Grundmaterial verwendet (noraplan sentica in hellgrau und dunkelgrau), da analog zum Ergebnis des Probandentests Fugenverband (siehe Kapitel 6.3.1.2) zu erwarten ist, dass sich der Einfluss des Merkmals innere Struktur und Oberflächenrauigkeit ohne ein auffälliges Fugenbild deutlicher herauskristallisieren lässt. Das homogene Grundmaterial wird mit Steinplatten (Beton) mit starker innerer Struktur und

Teppich relativ starker innerer Struktur und mit hoher Oberflächenrauigkeit kombiniert. Der Teppich weist durch die gewählten groben Schlaufen dieses Merkmal auf. Die Steinplatten sind mit der gewählten gestrahlten Oberfläche zwar relativ glatt, jedoch matt, während der Linoleumbelag einen leicht spiegelnden Effekt hat.

Die jeweils aneinanderstoßenden Materialien wurden so zueinander ausgewählt, dass gegen das helle und dunkle Grundmaterial jeweils ein homogener Teststreifen (Linoleum), ein Teststreifen mit starker innerer Struktur (Steinplatten), sowie ein Teststreifen mit dem Merkmal Oberflächenrauigkeit/Innere Struktur(Teppich) und ein farbiger Teststreifen trifft.

Da in dem Probandentest „Innere Materialstruktur“ keine auffälligen, auf die Farbinformation zurückzuführende Reaktionszeitenunterschiede bei der Verwendung von wenig gesättigten graugelben /beigen im Verhältnis zu unbunten Testbildern festgestellt werden konnten, werden auf der Teststrecke auch Teststreifen in beige Linoleum bzw. Teppich hergestellt.

Die Teststrecke wird so angelegt, dass analog zu den in den Labortests präsentierten Bildern, Testfelder gezeigt werden können, die jeweils zu zwei Dritteln aus dem Grundmaterial und zu einem Drittel aus den Teststreifen mit variierender innerer Struktur bestehen (60 cm). Die Teststreifen werden den Probanden bei der Begehung analog zu den Labortests in mehreren Durchgängen mit jeweils wechselnder Anordnung des Teststreifens präsentiert (rechts, links, mitte, Größe Testbild jeweils 1,80 m x 2,00 m). Anders als in den Labortests werden die Teststreifen auch bei der rechten und linken Positionierung in den Grundbelag eingebettet gezeigt (siehe Ergebnis Expertengespräch Kapitel 12.1).

Da die Labortests teilweise zeigten, dass sich die Erkennbarkeit von Merkmalen wie die innere Materialstruktur in den Teststreifen möglicherweise vor allem im geringen Kontrastbereich auswirken wird, werden Materialkombinationen mit Kontrastwerten von  $K=0,02$  bis  $K=0,49$  präsentiert (siehe Abbildung 100) .

#### Hinweis

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die Tests Kontraste und Mindestreflexionsgrade verwendet wurden, die die Anforderungen der DIN 32984 unterschreiten. Die abweichenden Werte wurden in dem Testdesign zu Grunde gelegt, um die Effekte bestimmter Merkmale auf die Kontrastwirkung herauszukristallisieren.

Die hier zu Grunde gelegten Kontrastwerte begründen keine Abweichung bei der Anwendung der DIN 32984 in aktuellen Planungssituationen.

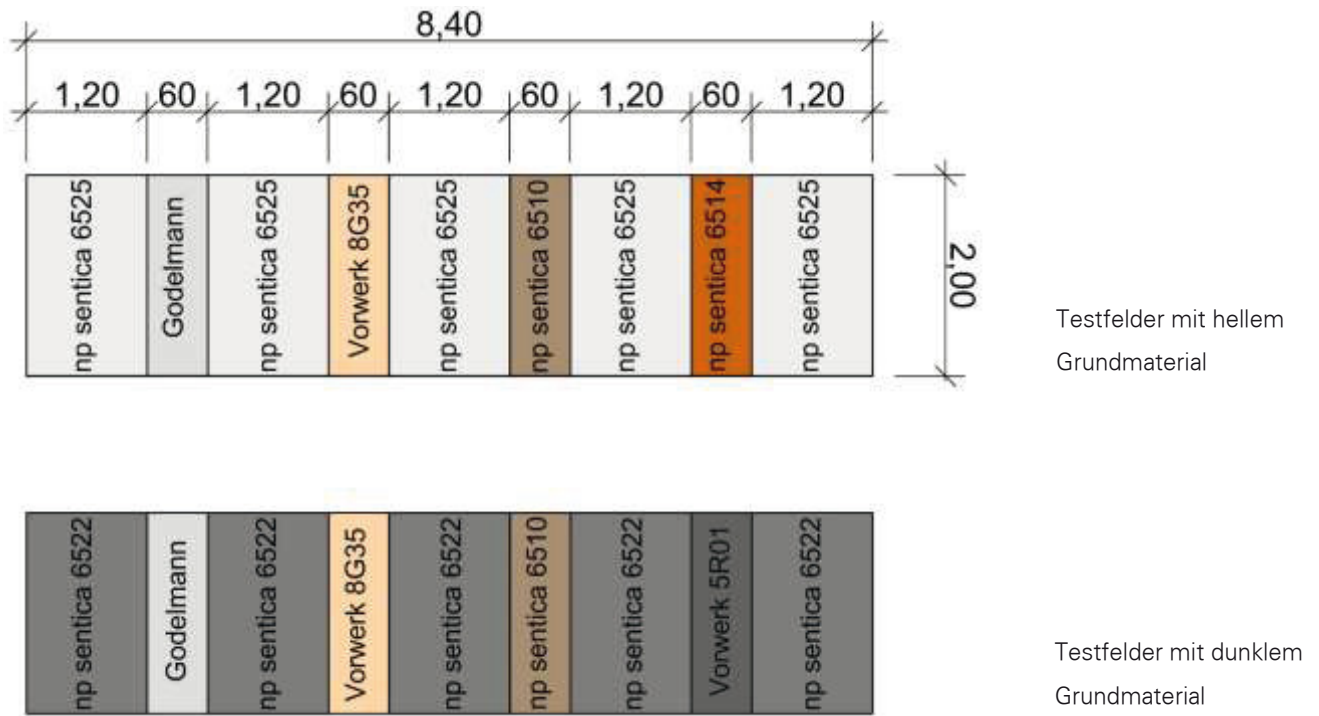


Abbildung 100: Verlegung der Materialien im Innenraum, eigene Darstellung

### Räumliche Voraussetzungen

Die Teststrecke im Innenraum befand sich in einem leergeräumten ehemaligen Computerpool (Raum 80) im Beyer-Bau der Technischen Universität Dresden. Der Raum wurde durch die installierte Verdunkelungsanlage abgedunkelt. Die Testdurchläufe fanden bei künstlicher Beleuchtung statt. Dabei wurden zum Zeitpunkt der Tests Helligkeiten von  $MW L=80 \text{ cd/m}^2$  bei einer Streubreite von  $25-140 \text{ cd/m}^2$  gemessen. Die Tests sind demnach bei Bedingungen des Tagessehens durchgeführt worden, die jedoch deutlich unter den typischen Helligkeiten des natürlichen Tageslichts lagen.



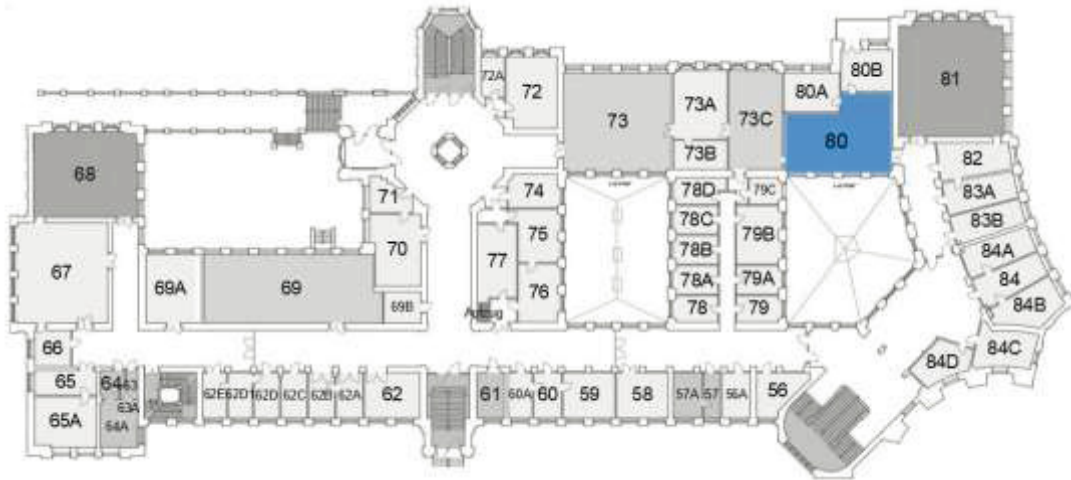


Abbildung 101: Grundriss des Beyer-Baus, Kennzeichnung Raum 80 (Quelle: Campus Navigator TU Dresden)



Abbildung 102: Teststrecke im Innenraum, Fotos: Stefanie Kreiser

### 6.4.2 Ziele und Versuchsaufbau Außenraum

#### *Teststreckendesign*

Abgeleitet aus den Ergebnissen der Probandentests unter Laborbedingungen zum Einfluss von Fugenanteil, Fugenverband und Fugenkombination wurden Teststrecken für den Außenraum entwickelt. Ziel der Untersuchungen auf den Teststrecken im Außenraum ist die Überprüfung des Einflusses des Merkmals Fugenverband auf die Erkennbarkeit der Teststreifen. Weiterhin umfassten sie die in den Labortests nur bedingt überprüfbaren Merkmale Oberflächenrauigkeit und Fugenausprägung (Helligkeit und Breite der Fugen). Aufgrund der begrenzten Größen der realisierbaren Teststrecken, wird auf die nähere Untersuchung des Fugenanteils, die die Verwendung unterschiedlicher Steinformate erforderte, verzichtet.

Um den Einfluss der benannten Merkmale testen zu können, wurden bei den 8 Testbildern einheitliche Materialien realisiert. Die Testbilder bestehen analog zum Innenraumtest aus jeweils 1,80 m x 2,00 m großen Feldern, die zu einem Drittel der Breite den Teststreifen zeigen. Um an den aus dem Test Fugenverband abgeleiteten Einfluss der Fugenrichtung (Test LA2, siehe 6.3.1.2) auf das Erkennen von Testbildern anzuknüpfen, wurden die Teststreifen mit unterschiedlichen Fugenrichtungen hergestellt (Diagonal- und Reihenpflaster). Durch die Wahl gleicher Steingrößen in allen Teststreifen, ist der Fugenanteil in Bezug auf die Gliederung der Flächen jeweils nahezu identisch gehalten. Damit ist eine eindeutige Aussage zur Wirkung der Fugenrichtung zu erwarten. Es wird darüber hinaus möglichst homogenes Material mit geringer innerer Struktur verwendet, um in diesem Test einen Einfluss des Merkmals inneren Struktur der Beläge auf die Erkennbarkeit auszuschließen. Um den in allen Labortests feststellbaren großen Unterschied in den Reaktionszeiten bei hellem bzw. dunklem Grundmaterial zu überprüfen, wurde sowohl helles Grundmaterial kombiniert mit dunklen Teststreifen als auch dunkles Grundmaterial kombiniert mit hellen Teststreifen dargeboten.

In den Probandentests unter Laborbedingungen konnte nicht untersucht werden, ob durch das Merkmal Oberflächenrauigkeit von Belägen und das damit verbundene geänderte Reflexionsverhalten die Erkennbarkeit beeinflusst werden kann. Um dieses Merkmal zu qualifizieren, wurden Teststreifen mit unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen eingesetzt. Sowohl gesägte, glatte Beläge als auch bruchraue Beläge wurden in die Teststreifen eingebaut. Letztere weisen nicht nur eine sehr raue Oberfläche, sondern auch breitere Fugen auf als das gesägte Material auf. Der Anteil der Fugen ist durch die breiteren Fugen also bei den bruchrauen Flächen trotz gleichbleibender Steingrößen leicht erhöht (1 cm breite Fuge bei gesägten Material, 1-1,5 cm bei bruchrauem Material).

Da im Probandentest unter Laborbedingungen anders als bei der Herstellung von Leitelementen in der gebauten Realität identische Helligkeiten für die Teststreifen und das Hintergrundbild gewählt wurden, konnte nicht überprüft werden, ob die Fugenausprägung (insbesondere die Helligkeit im Verhältnis zum Teststreifenbelag) einen Einfluss auf die Erkennbarkeit hat. Diese Untersuchung soll daher durch die Teststrecken erfolgen. Entsprechend wurden je bei der Hälfte der Testfelder die Fugen kontrastreich bzw. homogen zum Belag des Teststreifens ausgebildet.

Da in dem Probandentest innere Struktur keine auffälligen Reaktionszeitenunterschiede bei der Verwendung von gering gesättigten graugelben bzw. beige im Verhältnis zu unbunten Testbildern festgestellt werden konnten, werden auf der Teststrecke die Teststreifen in beigem Sandstein hergestellt. Für den Außenraum sind insgesamt nur sehr wenige unbunte Natursteine ohne innere Struktur am Markt verfügbar. Fast alle weisen ungesättigte beige, rötliche oder bräunliche Farbtöne auf). Entsprechend wird als Grundmaterial für die hellen Flächen ein beiger Betonstein verwendet.

Damit wird auch an die Analyse der realisierten Projekte angeknüpft, die zeigte, dass die Verwendung von hellbeigen und anthrazitfarbenen Materialkombinationen im Außenraum relativ häufig Anwendung finden (siehe Kapitel 0).

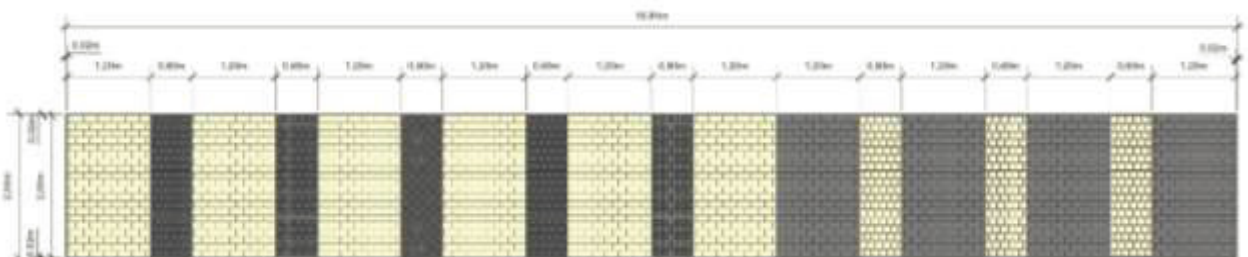


Abbildung 103. Verlegung der Materialien im Außenraum



Abbildung 104: Teststrecke im Außenraum mit ausgeprägten Trocknungsbereichen



Abbildung 105: Teststrecke im Außenraum im abgetrockneten Zustand

*Räumliche Voraussetzungen*

Die Teststrecke im Außenraum befand sich auf einem ehemaligen Barackengelände der TU Dresden auf der Stadtgutstraße in Dresden-Zschertnitz, welches zum Zeitpunkt der Tests beräumt und als ebene Rasenfläche hergerichtet war. Aufgrund der ungeschützten Situation im Außenraum war die Teststrecke der Witterung ausgesetzt. Dies hatte zur Folge, dass die Flächen zeitweise nach Regenereignissen nass waren.

Um gleichbleibende Bedingungen während der Testphase zu gewährleisten, wurde bei wechselhaften Witterungsverhältnissen die Testfläche gewässert. Das Nässen hat einer Fleckenbildung durch stellenweises Abtrocknen und damit Irritation für den Probanden entgegengewirkt. Es ist anzumerken, dass sich durch dieses Verfahren auch die Kontraste der Materialien zueinander geändert haben.

*Zusammenfassende Darstellung – Ableitungen aus den Ergebnissen der Labortests für den Aufbau der Teststrecke im Innen- und Außenraum*

<i>Ergebnis Labortest</i>	<i>Aufbau Teststrecke</i>
<p><i>Ergebnis Probandentests unter Laborbedingungen</i></p> <p><i>Einfluss Merkmal Innere Struktur:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Testbilder mit Struktur im Vergleich zu homogenen: gleiche Reaktionszeiten bei deutlich geringeren Kontrasten er Bilder mit Struktur</li> </ul> <p><i>Einfluss Merkmal Farbe:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Testbilder mit gesättigten Farben (insbesondere gelb) werden schneller erkannt als Bilder mit ungesättigten Farben (hellgelb, grau)</li> <li>• Testbilder mit ungesättigten Farben zu unbunten zeigen keine auffälligen Unterschiede in den Reaktionszeiten</li> </ul>	<p>Ableitung von zu untersuchenden Merkmalen für die Probandentests auf Teststrecken</p> <p><i>Einfluss Merkmal Innere Struktur:</i></p> <p>Teststrecke Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Untersuchung Einfluss innere Struktur durch Verwendung stark strukturierter und homogener Teststreifen. Wahl von Materialien für Teststreifen und Hintergrund im geringen Kontrastbereich, da zu erwarten ist, dass nur dann der Einfluss von Bedeutung ist</li> </ul> <p>Teststrecke Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Teststreifen und Grundmaterial aus homogenem Naturstein- bzw. Betonmaterial, um den Einfluss der inneren Materialstruktur bei der Erkennbarkeit auszuschließen, (Fokus Untersuchung Außenraum auf Merkmale Fugenrichtung, Fugenausprägung, Oberflächenrauigkeit)</li> </ul> <p><i>Einfluss Merkmal Farbe:</i></p> <p>Teststrecke Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Da die roten Farbtöne in den Labortest gegenüber unbunten Flächen nur geringfügig erhöhte Reaktionszeiten zeigten, wird ein oranger Teststreifen verwendet</li> </ul> <p>Teststrecke Innen- und Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es werden sowohl unbunte als auch ungesättigte, typische Innen- und Außenraummaterialien eingesetzt.</li> </ul>

<p><i>Einfluss Merkmale Fugenbilder</i></p> <p>Bei zwei der drei Tests zu Fugenbildern ist festzustellen, dass die Testbilder bei dunklem Hintergrund schneller erkannt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfluss Merkmal Fugenanteil: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ schnellere Reaktionszeiten bei hellen Fugen auf dunklem Hintergrund</li> <li>▪ schnellere Reaktionszeiten bei extremen Fugenanteilen (Fugen im Abstand 4 und 32 cm) im mittleren und hohen Kontrastbereich (K= 0,7 und 0,9)</li> <li>▪ langsame Reaktionszeiten bei extrem hohem und extrem niedrigem Fugenanteil im geringen Kontrastbereich (K= 0,4)</li> </ul> </li> </ul>	<p><i>Einfluss Merkmale Fugenbilder</i></p> <p>Teststrecke Außen- und Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kombination sowohl heller Hintergrund mit dunklen Teststreifen als auch dunkler Hintergrund mit hellen Teststreifen, um die unter Laborbedingungen festgestellten Unterschiede in der Erkennbarkeit zu überprüfen</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfluss Merkmal Fugenanteil: <p>Teststrecke Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung fugenloser / großformatiger Beläge mit geringen Fugenanteilen, um den Einfluss des Fugenanteils auf die Erkennbarkeit auszuschließen (Fokus der Untersuchung auf Merkmal Innere Materialstruktur).</li> </ul> <p>Teststrecke Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wahl kleiner Formate für Teststreifen zur Generierung eines hohen Fugenanteils, der nachweislich zur schnelleren Erkennbarkeit beiträgt</li> <li>• hoher Fugenanteil als Voraussetzung, um die Fugenausprägung näher zu untersuchen</li> </ul> </li> <li>• Einfluss Merkmal Fugenrichtung: <p>Teststrecke Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Präsentation unterschiedlicher Fugenrichtungen (Diagonal- und Reihenverband), Wahl der kleineren Formate, um den Einfluss der Fugenrichtung bei begrenzter Flächengröße zu untersuchen</li> </ul> </li> </ul>
---	--

<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfluss Merkmal Fugenkombination <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ schnellere Reaktionszeiten bei Fischgrätverband und diagonal verlegtem Plattenbelag (Platte diagonal) bei hellem und dunklem Hintergrund im mittleren und hohen Kontrastbereich (K= 0,7 und 0,9)</li> <li>▪ schnelle Reaktionszeiten auch bei Teststreifen Pflaster längs bei dunklem Hintergrund</li> <li>▪ kein eindeutiges Ergebnis zur Abhängigkeit vom Kontrast und Hintergrundfarbe</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Einfluss Merkmal Fugenkombination</li> </ul> <p>Teststrecke Außen- und Innenraum</p> <p>Aufgrund begrenzter Testflächengrößen ausschließlich Kombination Reihenverband (Grundmaterial) mit Reihenverband bzw. Diagonalverband in Teststreifen</p> <p>Weitere Untersuchungen, die in den Probandentests unter Laborbedingungen nicht abgebildet werden konnten:</p> <p>Untersuchung zum Einfluss des Merkmals Oberflächenrauigkeit auf die Erkennbarkeit Teststrecke Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von bruchrauhem und gesägten Natursteinmaterialien in den Teststreifen</li> </ul> <p>Teststrecke Innenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von glattem Linoleum, gestrahlten Steinplatten und oberflächenrauhem Teppichmaterial</li> </ul> <p>Untersuchung Einfluss Merkmal Fugenausprägung in Teststreifen.</p> <p>Teststrecke Außenraum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verwendung von zum Teststreifen kontrastierende und homogenen Fugenfüllungen</li> </ul>
--	---

Tabelle 28: Zusammenfassende Darstellung - Ableitungen aus den Ergebnissen der Tests unter Laborbedingungen

### **6.4.3 Testablauf Teststrecken Innen- und Außenraum**

Um die in der Tabelle 28: Zusammenfassende Darstellung - Ableitungen aus den Ergebnissen der Tests unter Laborbedingungen benannten Kriterien zu qualifizieren, werden auf den Außen- und Innenraumstrecken jeweils die folgenden Probandentests bzw. Befragungen durchgeführt.

#### Durchgang 1 und 2

- Test Erkennen der Teststreifen nach Reaktionszeiten
- Test Bewerten der Teststreifen nach Schulnoten
- Test Erkennen der Teststreifen in der Bewegung
- Durchführung von Befragungen

#### Durchgang 3 und 4

- Test Materialvergleiche
- Durchführung von Befragungen

#### Durchgang 5

- Test Materialvergleiche hell – dunkel
- Durchführung von Befragungen  
(wurde nur auf der Innenraumteststrecke durchgeführt)

Der Ablauf der Tests wird im Folgenden näher erläutert.

#### *6.4.3.1 Test Erkennen der Teststreifen nach Reaktionszeiten*

Bei den zwei Durchgängen zum Erkennen des sich vom Grundmaterial abhebenden Teststreifens stehen die Probanden mittig vor insgesamt acht Feldern je Durchgang. Jede Materialkombination wird von zwei Seiten betrachtet, um Fehlerquellen wie Blendung, Schattenbildung, etc. zu minimieren. Die Probanden betrachten demnach insgesamt 16 Testbilder (jedes der 8 Testbilder je zwei Mal in unterschiedlicher Reihenfolge). Die zu bewertende Materialkombination wird seitlich durch schwarze Teppichstreifen abgegrenzt und ist mit einem schwarzen Tuch abgedeckt. Sobald das Tuch vom Testfeld gezogen wird, gibt der Proband die Lage des Materialstreifens (links, mitte oder rechts) per OMBEA Audience Response System über eine kleine Fernbedienung ein. Dabei werden die Reaktionszeit und die Richtigkeit der Antwort erfasst.



#### 6.4.3.2 Test Bewerten der Teststreifen nach Schulnoten

Unmittelbar nach der Messung der Reaktionszeiten bewerten die Probanden die Erkennbarkeit des Teststreifens in jedem der 16 präsentierten Testbilder (zwei Durchgänge) nach dem Schulnotensystem (Note 1 = sehr gut erkennbar, Note 6 = überhaupt nicht erkennbar). Nach Abgabe der Note wird der Proband/in nach einer Begründung für die abgegebene Note befragt.

#### 6.4.3.3 Test Erkennen der Teststreifen in der Bewegung

Unmittelbar nach dem Test Bewerten nach Schulnoten begehen die Probanden das Testbild. Dabei befindet sich ein Bein beim Laufen auf dem Teststreifen, das andere Bein auf dem Grundmaterial. Hier wird der Einfluss der Bewegung auf das Erkennen von sich in der Oberflächen- sowie der inneren Materialstruktur und Helligkeiten unterscheidenden Materialpaaren erfasst. Die Probanden geben an, ob sie den Teststreifen in der Bewegung besser oder schlechter erkennen können oder ob keine Veränderung festzustellen ist und nach einer Begründung für ihre Entscheidung befragt.



Abbildung 106: Vorbereitung der Teststrecke, mit einem Tuch abgedeckte Materialfelder im Innenraum, Foto: Stefanie Kreiser



Abbildung 107: Aufdecken des Testfeldes, Foto: Thea Seifert

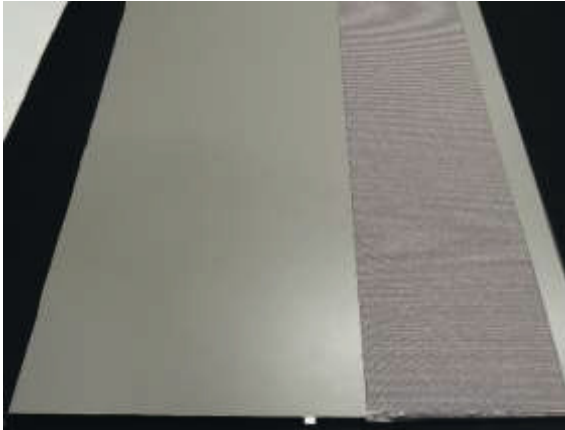


Abbildung 108: Testfeld aus dem Blickwinkel des Probanden im Innenraum. Erkennbarkeit des Materialstreifens



Abbildung 109: Testfeld aus dem Blickwinkel des Probanden im Innenraum. Materialvergleiche



Abbildung 110: Visuelle Erkennbarkeit des Materialstreifens im Innenraum



Abbildung 111: Erkennbarkeit in der Bewegung im Innenraum

#### 6.4.3.4 Test Materialvergleiche

Die Probanden stehen mittig vor einem Testfeld, in dem zwei Teststreifen aufgedeckt sind. Es werden sechs Felder je Durchgang bewertet. Jede Vergleichskombination wird von zwei Seiten betrachtet, um Fehlerquellen wie Blendung, Schattenbildung, etc. zu minimieren. Die Probanden betrachten demnach insgesamt 16 Testbilder (jedes der 8 Testbilder je zwei Mal in unterschiedlicher Reihenfolge). Die zu bewertenden Materialkombinationen werden seitlich durch schwarze Teppichstreifen abgegrenzt. Die Probanden sollen hier angeben, welchen der beiden Materialstreifen sie in Bezug auf das Grundmaterial besser erkennen können. Wieder werden die Gründe für die gegebene Antwort erfragt. In dieser Testreihe werden die Flächen nicht begangen sondern rein visuell bewertet.



Abbildung 112: Materialvergleich hinsichtlich der Erkennbarkeit zu einem hellen Grundmaterial im Innenraum

#### 6.4.3.5 Test Materialvergleiche hell-dunkel

Aufgabe der Probanden war es, die Seite zu benennen, auf der sie den Teststreifen im Vergleich zur Grundfläche besser erkennen können.

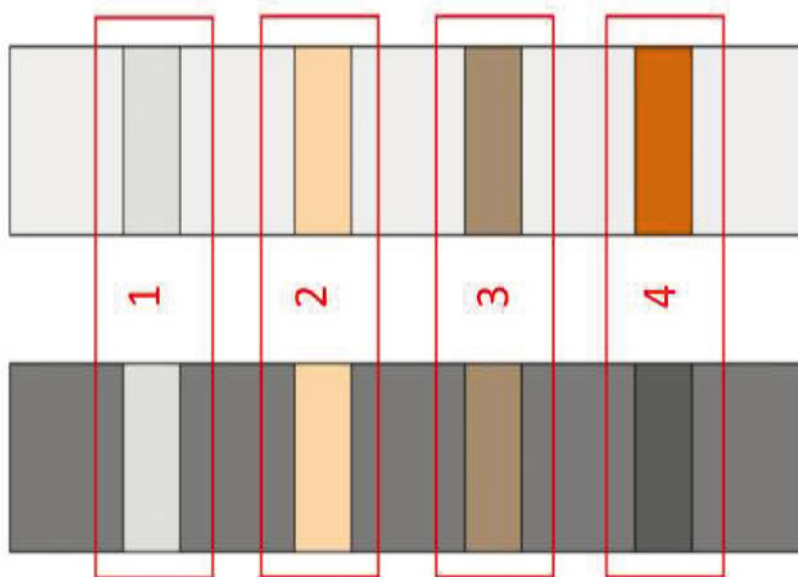


Abbildung 113: Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich



Abbildung 114: Vergleichsfeld 1

Aufgrund der Anordnung der Testflächen auf zwei geteilten Testbahnen wurde im Innenraum ein weiterer Vergleichstest durchgeführt. Bei diesem Test vergleichen die Probanden dieselben Materialstreifen, die jedoch einmal mit hellem Grundmaterial und einmal mit dunklem Grundmaterial dargeboten werden. Um auch im vierten Testbild einen Materialvergleich mit identischen Teststreifen zeigen zu können wird bei diesem Test der eingebaute dunkelgraue Teppichstreifen (Vorwerk 5R01) entsprechend mit orangem Linoleum (noraplan sentica 6514) verdeckt (Auflegen eines Materialstreifens, siehe Abbildung 115 linkes Bild). Damit konnte im Vergleich zur Materialkombination aus hellem und orangen Linoleum auch die Materialkombination aus dunklem und orangem Linoleum gezeigt werden.

Die Probanden stehen dabei im Mittelgang zwischen der Testflächenkonstruktion und sollen angeben, in welcher Fläche sie den Teststreifen besser erkennen können. Die zu bewertenden Materialkombinationen werden durch schwarze Teppichstreifen abgegrenzt.

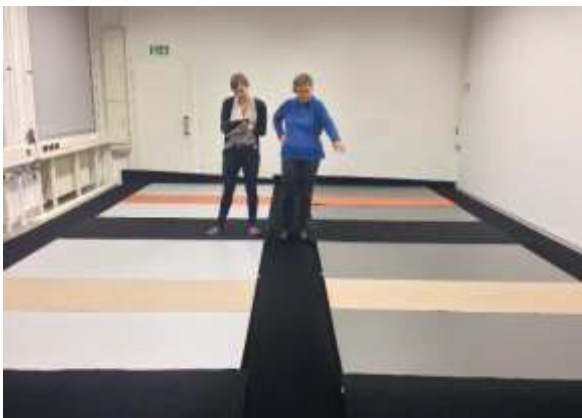


Abbildung 115: Materialvergleich Durchgang 3 im Innenraum

Im Folgenden ist der Testablauf für jeden einzelnen Probanden im Gesamtablauf zusammenfassend dargestellt.

Start an der Teststrecke im Innenraum

1. SZB Low Contrast Sensitivity Test nach Buser (siehe auch 12.2.2)
2. ggf. gemeinsames Ausfüllen des Fragebogens
3. Erklärung des Testablaufs
4. Durchgang 1 und 2
  - Test Erkennen der Teststreifen nach Reaktionszeiten
  - Test Bewerten der Teststreifen nach Schulnoten
  - Test Erkennen der Teststreifen in der Bewegung
5. Durchgang 3 und 4
  - Test Materialvergleiche
6. Durchgang 5
  - Test Materialvergleiche hell-dunkel
7. Gemeinsamer Wechsel zur Teststrecke im Außenraum
9. Durchgang 1 und 2
  - Test Erkennen der Teststreifen nach Reaktionszeiten
  - Test Bewerten der Teststreifen nach Schulnoten
  - Test Erkennen der Teststreifen in der Bewegung
10. Durchgang 3 und 4
  - Test Materialvergleiche

#### 6.4.4 Ergebnisse Teststrecke im Innenraum (TA)

##### 6.4.4.1 Hypothesen

Überprüfung der in den Probandentests unter Laborbedingungen erzielten ersten Ergebnisse zu weiteren Einflussfaktoren auf das Erkennen von Kontrasten.

##### *Merkmal Innere Materialstruktur:*

- Bei gleichen Kontrasten schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei Materialvergleichen bei Materialien mit starker innerer Struktur (Steinplatten) als bei Materialien mit homogener Materialstruktur
- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei Materialvergleichen bei hellem Teststreifen in dunklem Grundmaterial als bei dunklem Teststreifen in hellem Grundmaterial

##### *Merkmal Oberflächenrauigkeit*

Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei Materialvergleichen bei Teststreifen mit starker Oberflächenrauigkeit als bei homogenen, glatten Flächen

##### *Merkmal Farbigkeit*

- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei Materialvergleichen im Testbild mit orangefarbenem Teststreifen als bei den unbunten Teststreifen

##### *Merkmal Kontraste*

- Deutliche Korrelation der Reaktionszeiten, der Schulnotenbewertungen, bei der Priorisierung und bei den Materialvergleichen zu den dargebotenen Kontrasten

6.4.4.1.1 Ergebnisse Test Erkennen des Teststreifens nach Reaktionszeiten – Innenraum

Durchgang 1

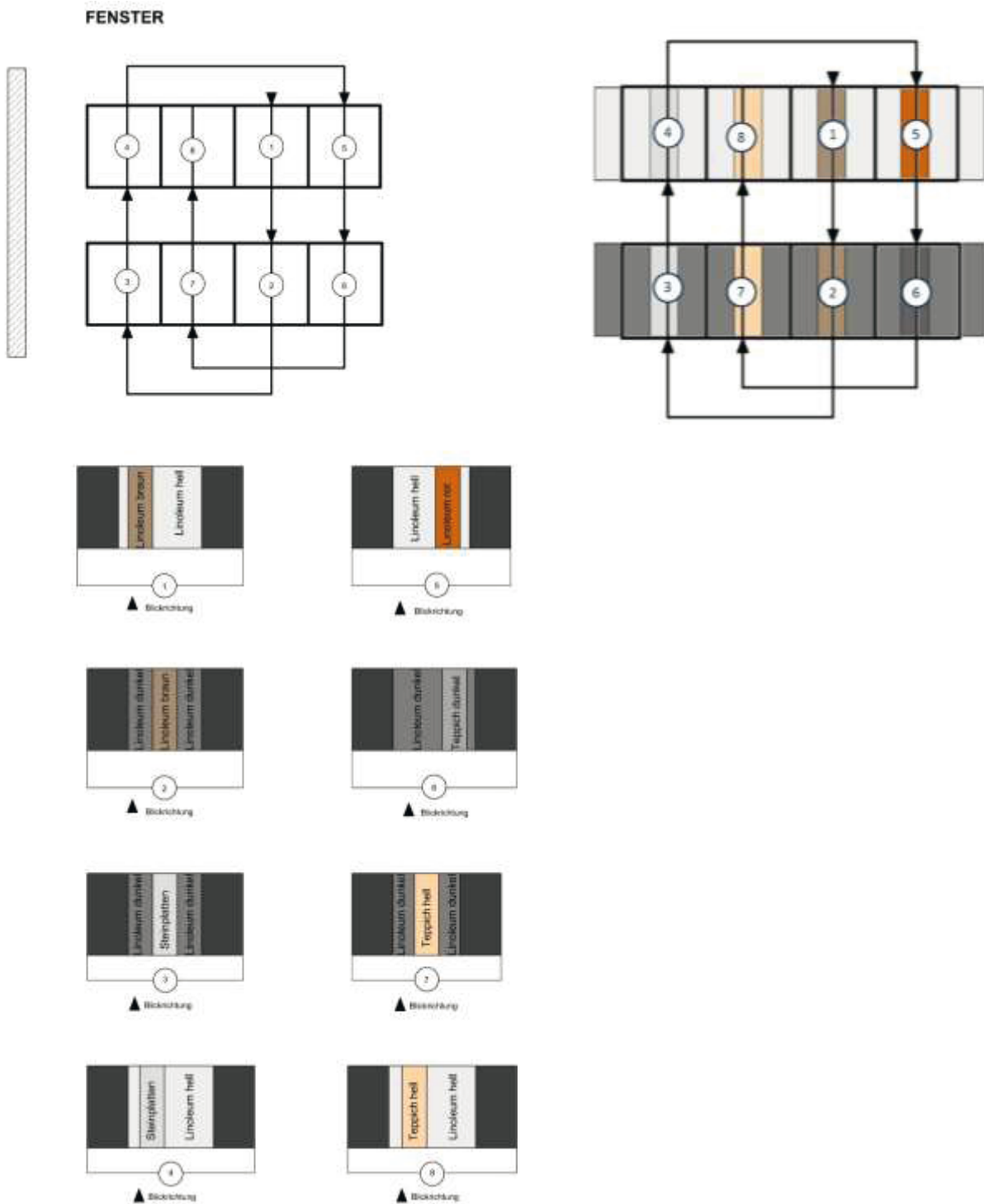


Abbildung 116. Darstellung Ablauf Innenraum Durchgang 1.

Durchgang 2



Abbildung 117. Darstellung Ablauf Innenraum Durchgang 2.



Für die Aufnahme der Antworten der Probanden inklusive der Reaktionszeiten wird bei den Durchgängen zum Erkennen des Teststreifens wieder das Audience Response System OM-  
BEA genutzt. Hierüber wird außerdem die Auswertung über richtige und falsche Antworten automatisiert abgebildet.

Zur Auswertung der Reaktionszeiten wurden die 16 Durchgänge, in denen jedes Testfeld je zweimal präsentiert wurde, analog zu den Labortests mittels einer Varianzanalyse (mit SPSS) ausgewertet.

Für die Auswertung des Tests wurden die Reaktionszeiten für die unterschiedlichen dargebotenen Oberflächen der Teststreifen herangezogen. Die Reaktionszeiten der Bilder wurden für beide Durchgänge (Betrachten der Testfelder von beiden Blickrichtungen) zusammengefasst, d.h. es wurde der Mittelwert der Reaktionszeit aller Probanden für jedes Testfeld gebildet.

Die präsentierten Testbilder wurden im Sinne der Übersichtlichkeit der Auswertung entsprechend wie folgt zusammengefasst betrachtet:

**Innen**

Bild 1 = Testfeld 1 & Testfeld 9

Bild 2 = Testfeld 2 & Testfeld 12

Bild 3 = Testfeld 3 & Testfeld 11

Bild 4 = Testfeld 4 & Testfeld 10

Bild 5 = Testfeld 5 & Testfeld 13

Bild 6 = Testfeld 6 & Testfeld 16

Bild 7 = Testfeld 7 & Testfeld 15

Bild 8 = Testfeld 8 & Testfeld 14

Tabelle 29: Übersicht der gezeigten Bilder der Teststrecke im Innenraum






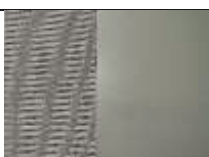
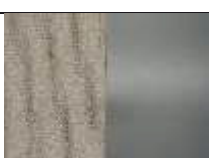
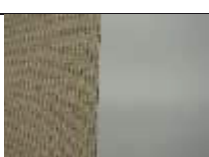
Bildtitel	Zugehöriges Foto der Materialkombination	Erläuterung der Materialien
Bild 1		Teststreifen Linoleum np sentica 6510 kombiniert mit Grundmaterial aus hellem Linoleum np sentica 6515, rechts im Bild Kontrast $K=0,15$
Bild 2		Teststreifen Linoleum np sentica 6510 kombiniert mit Grundmaterial aus dunklem Linoleum np sentica 6522, rechts im Bild Kontrast $K=0,28$
Bild 3		Teststreifen Steinplatten Godelmann kombiniert mit Grundmaterial aus dunklem Linoleum np sentica 6522, rechts im Bild Kontrast $K=0,49$
Bild 4		Teststreifen Steinplatten Godelmann kombiniert mit Grundmaterial aus hellem Linoleum np sentica 6515, rechts im Bild Kontrast $K=0,02$
Bild 5		Teststreifen Linoleum np sentica 6514 kombiniert mit Grundmaterial aus hellem Linoleum np sentica 6515, rechts im Bild Kontrast $K=0,32$
Bild 6		Teststreifen Teppich Vorwerk 5R01 kombiniert mit Grundmaterial aus dunklem Linoleum np sentica 6522, übersirechts im Bild Kontrast $K=0,08$
Bild 7		Teststreifen Teppich Vorwerk 8G35 kombiniert mit Grundmaterial aus dunklem Linoleum np sentica 6522, rechts im Bild Kontrast $K=0,28$
Bild 8		Teststreifen Teppich Vorwerk 8G35 kombiniert mit Grundmaterial aus hellem Linoleum np sentica 6515, rechts im Bild Kontrast $K=0,15$

Tabelle 30: Übersicht der Materialkombinationen je Auswertungsbild mit Materialerläuterung für Teststrecke Innenraum und Kontrastwerten in örtlicher Gegebenheit.

Die Lage des zu erkennenden Teststreifens (links, rechts, mittig) wurde dabei nicht berücksichtigt. Die Auswertungen erfolgten mit Hilfe von Varianzanalysen mit Messwiederholung. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen für die Kontraste separat vorgenommen.

Wie in der folgenden Abbildung 118 erkennbar ist, werden die Testbilder 8 und 5 bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial bzw. 7 und 2 bei den Testbildern mit dunklem Grundmaterial am schnellsten erkannt. Die Zeitmessung korreliert sehr deutlich mit einer geringeren Standardabweichung, das heißt ein großer Teil der Probanden (beispielsweise 11 von 18 Probanden bei Testbild 8) hat diese Bilder in einer unter dem jeweiligen Mittelwert liegenden Zeit erkannt (siehe Abbildung 178). Das Ergebnis zeigt nicht wie erwartet deutlich schnellere Reaktionszeiten bei den Testbildern mit hellem Hintergrund.

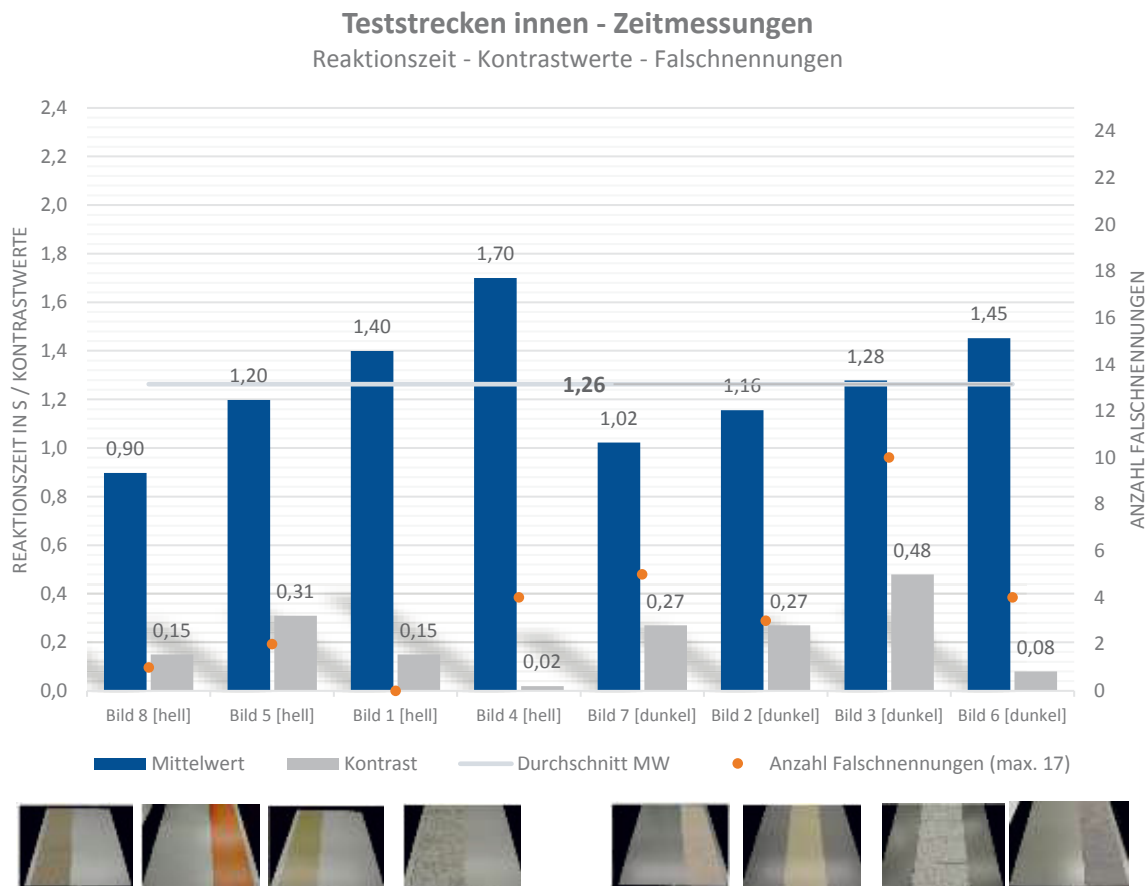
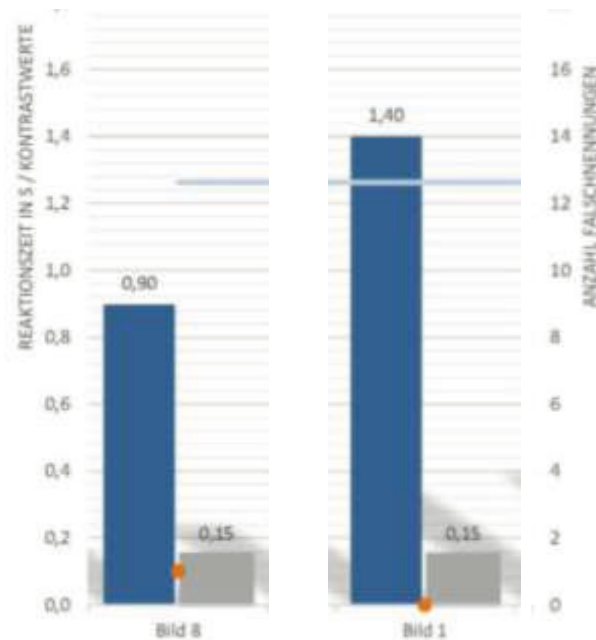


Abbildung 118: Reaktionszeiten, Falschnennungen und Kontraste je dargebotenem Bild

Abweichend zur Hypothese ist festzustellen, dass über alle Testbilder betrachtet keine deutliche Korrelation der Reaktionszeiten zu den dargebotenen Kontrasten festzustellen ist, sondern die am schnellsten erkannten Bilder relativ geringe Kontrastwerte aufweisen. Für das Testbild 8, das aus hellem Teppich und heller Grundfläche besteht, konnte die geringste Reaktionszeit festgestellt werden, obwohl dieses Bild einen vergleichsweise geringen Kontrast von  $K=0,15$  aufweist. Auf Platz 2 (Testbild 7) folgt die Kombination aus dem hellen Teppich mit dunklem homogenen Hintergrund mit Kontrast von  $K=0,27$  (zum Vergleich: höchster dargebotener Kontrast  $K=0,48$ ).

Die Korrelation zum Kontrast bildet sich demgegenüber sehr deutlich bei den sehr niedrigen Kontrasten ab (Testbild 4  $K=0,08$  und Testbild 6  $K=0,02$ ). Hier sind sehr lange Reaktionszeiten und hohe Standardabweichungen (siehe Abbildung 178 im Anhang) festzustellen. Die Merkmale innere Materialstruktur (Testbild 4 Steinplatten mit starker innerer Struktur) und Oberflächenrauigkeit (Testbild 6 Teppich) können in diesem sehr niedrigen Kontrastbereich nicht zu einer verbesserten Erkennbarkeit beitragen.

Bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial zeigt der deutliche Reaktionsunterschied zwischen den Testfeldern 8 mit Teststreifen aus Teppich und 1 mit Teststreifen aus Linoleum, die jeweils einen identischen Kontrast aufweisen, dass bei dem dargebotenen etwas höherem Kontrast von  $K=0,15$  offenbar die Teppichstruktur zu einer deutlich verbesserten Unterscheidbarkeit beiträgt (siehe Abbildung 119).



Testbild 8:

Kombination Teppich mit hellem Grundmaterial aus Linoleum



Testbild 1:

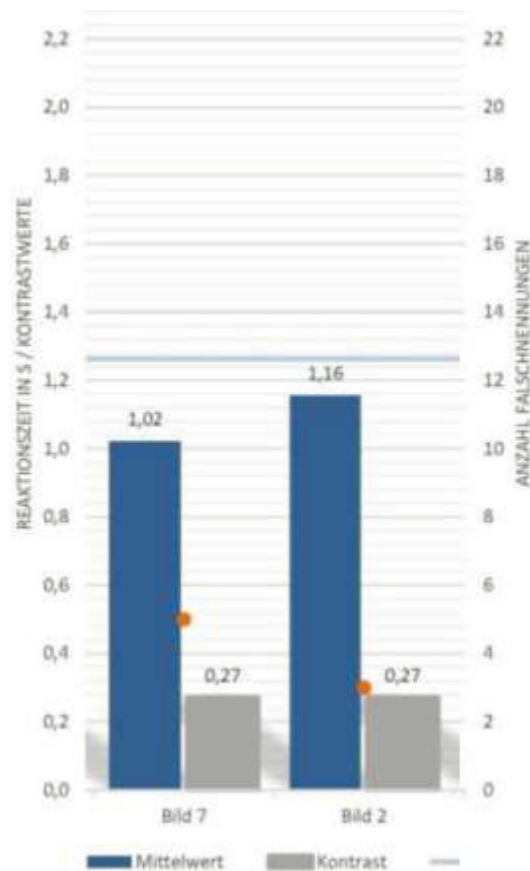
Kombination Linoleum mit hellem Grundmaterial aus Linoleum



Abbildung 119. Direkter Vergleich der Testbilder 8 (Rang 1 von 8) und 1 (Rang 6 von 8)

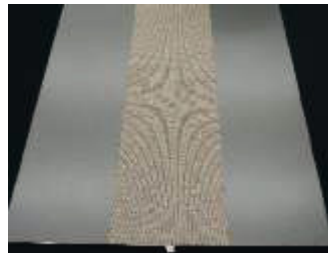
Auch bei den Testbildern mit dunklem Grundmaterial wurde bei gleichen gewählten Kontrasten das Testbild mit Teppichstruktur (Testbild 7) schneller erkannt als das Testbild mit

glattem Linoleum (Testbild 2). Allerdings liegen hier die Reaktionszeiten sehr eng beieinander, so dass nicht von einer deutlichen Verbesserung der Erkennbarkeit bei dem Testbild mit Teppichstruktur gesprochen werden kann.



Testbild 7:

Kombination Teppich mit dunklem Grundmaterial aus Linoleum



Testbild 2:

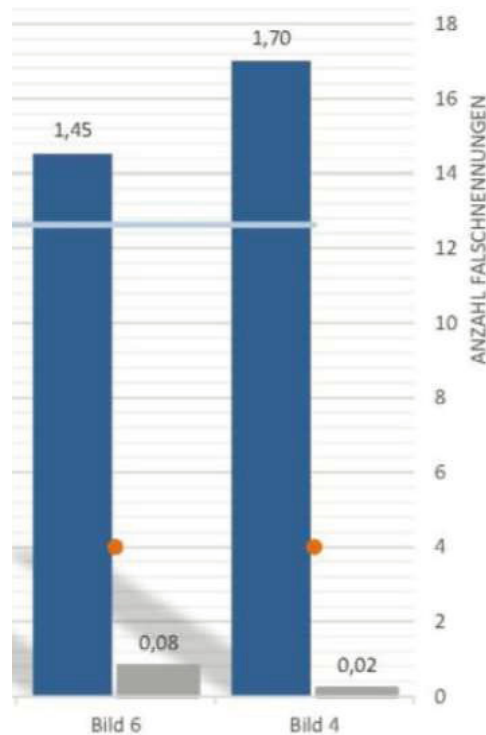
Kombination Linoleum mit dunklem Grundmaterial aus Linoleum



Abbildung 120: Testbild 7 (Rang 2 von 8) und Testbild 2 (Rang 3 von 8)

Demgegenüber lassen die Testbilder mit auffälliger innerer Struktur des Werksteins (Inhomogenitätsklasse 5) sowohl bei hellem als auch bei dunklem Grundmaterial keine Verbesserungen der Reaktionszeiten erkennen. Dieses ist bei Testbild 4 auf den sehr geringen Kontrast zurückzuführen. Das sehr kontrastreiche Testbild 3 zeigt im Ergebnis überraschenderweise langsame Reaktionszeiten und eine Häufung von Falschnennungen. Dieses ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass der Werkstreifen lieferungsbedingt breiter ausgeführt wurde als die übrigen Streifen. Damit war die

Unterschiedbarkeit des Streifens zum Grundmaterial möglicherweise vermindert. Dieses könnte bei den Probanden eine Irritation darüber ausgelöst haben, was als Teststreifen oder Grundmaterial zu werten ist.



Testbild 6:

Kombination Teppich mit dunklem Grundmaterial aus Linoleum



Testbild 4: Kombination Steinplatten mit innerer Struktur mit hellem Grundmaterial aus Linoleum

Abbildung 121. Direkter Vergleich der Testbilder 6 und 4

Die in den Vortests nachgewiesene leicht bessere Erkennbarkeit der farbigen Beläge mit hoher Sättigung konnte in der Auswertung der Teststrecken bedingt bestätigt werden. Die Reaktionszeiten liegen bei dem farbigen Testbild 5 nahe am Mittelwert (Rang 4 von 8 bei Vergleich aller Testbilder, Rang 2 von 4 bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial), zeigen jedoch vergleichsweise geringe Standardabweichungen.

#### *Auswertung unter Berücksichtigung der Kontrastsehfähigkeit der Probanden*

Die Auswertung der Reaktionszeiten differenziert nach Probanden mit und ohne Einschränkung der Kontrastsehfähigkeit zeigt überraschenderweise deutlich langsamere Reaktionszeiten bei den Probanden ohne Einschränkungen. Bei der Überprüfung der

konkreten Einschränkungen der beiden Gruppen ist beispielsweise keine Häufung von Probanden mit besonders geringem Visus oder ein besonders hoher Altersdurchschnitt in einer der beiden Gruppen festzustellen.

Die Ursache für die unterschiedlichen Reaktionszeiten kann demnach nicht abschließend erklärt werden.

Unabhängig davon ist festzustellen, dass die Reaktionszeiten der Probanden mit Einschränkungen der Kontrastsehfähigkeit gleichermaßen wie die Probanden ohne Einschränkungen keine deutliche Korrelation zum Kontrast zeigen.

Die Rangfolge ist bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial identisch zur Gruppe der Probanden ohne Einschränkung der Kontrastsehfähigkeit. Bei den Testbildern mit dunklem Grundmaterial sind die Reaktionszeiten durchgängig schneller, jedoch im Durchschnitt gleichermaßen langsamer als bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial.

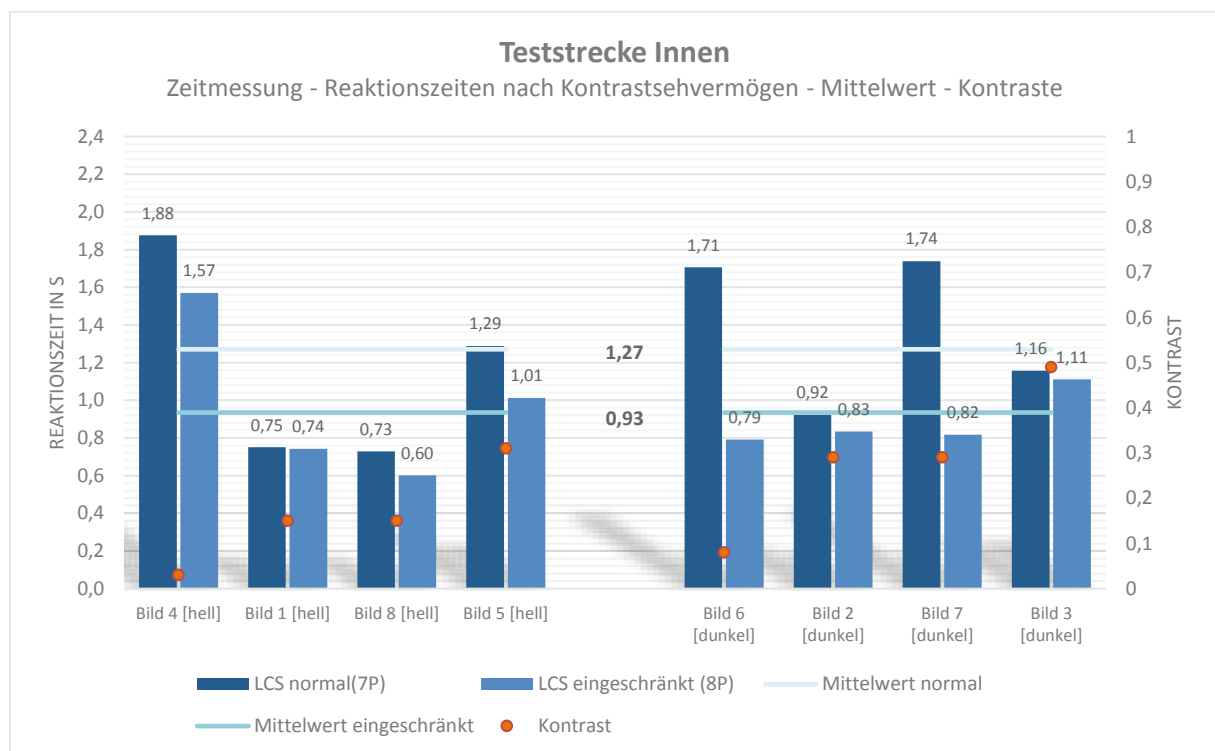


Abbildung 122. Auswertung der Reaktionszeiten im Zusammenhang mit der Kontrastsehemphindlichkeit n. Buser

*Fazit**Merkmal Innere Materialstruktur:*

- Entgegen der Hypothese zeigen die Teststreifen mit starker innerer Struktur und sehr geringem dargebotenen Kontrast (Steinplatten, Inhomogenitätsklasse 5) keine schnelleren Reaktionszeiten. Bei den Testbildern mit Teppichstruktur (Inhomogenitätsklasse 4) konnte die Hypothese der schnelleren Reaktionszeiten gegenüber homogenen Teststreifen zum Umgebungsbelag bestätigt werden.
- Die Hypothese schnellerer Reaktionszeiten bei hellen Teststreifen zu dunklem Grundmaterial kann bestätigt werden.

*Merkmal Oberflächenrauigkeit*

- Schnellere Reaktionszeiten konnten bei Testbildern mit starker Oberflächenrauigkeit (Teppich) zu homogenen, glatten Flächen (Linoleum) bei gleichem dargebotenem Kontrast insbesondere bei hellem Grundmaterial bestätigt werden.

*Merkmal Farbigkeit*

- Schnellere bzw. die schnellsten Reaktionszeiten im Testbild mit orangefarbenen Teststreifen im Vergleich zu unbunten Teststreifen konnten nicht bestätigt werden.

*Merkmal Kontraste*

- Die Hypothese, dass eine deutliche Korrelation der Reaktionszeiten zu den dargebotenen Kontrasten besteht, ist bei den Testbildern mit sehr geringen Kontrasten deutlich bestätigt. Bei den Testbildern mit höheren Kontrasten konnte diese Hypothese nicht bestätigt werden.



#### 6.4.4.1.2 Ergebnisse Test Bewerten mit Schulnoten - Innenraum

Das Ergebnis der Bewertung der Testbilder durch die Probanden nach dem Schulnotensystem (Qualitative Methode) zeigt eine teilweise andere Rangfolge als die Messung der Reaktionszeiten (Quantitative Methode). Die in den Vortests nachgewiesene leicht bessere Erkennbarkeit der farbigen Beläge mit hoher Sättigung wird in diesem Fall bestätigt, da das am besten bewertete Testbild einen Teststreifen aus orangefarbenen Linoleumbelag (Testbild 5) aufweist. In Verbindung mit dem dargebotenen vergleichsweise hohen Kontrast ist die gute Bewertung erwartungsgemäß.

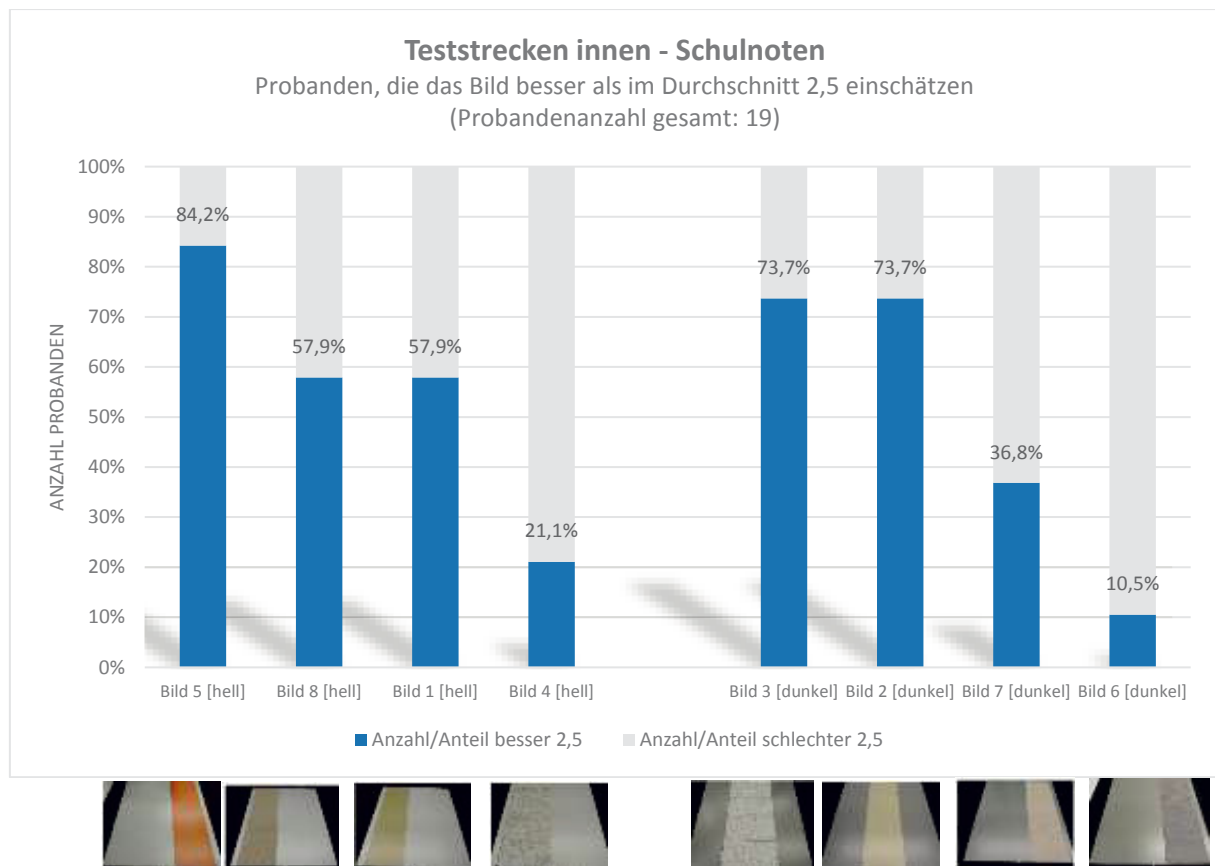


Abbildung 123: Anteile der Einschätzung mit Schulnoten besser als 2,5 für die Innenteststrecken

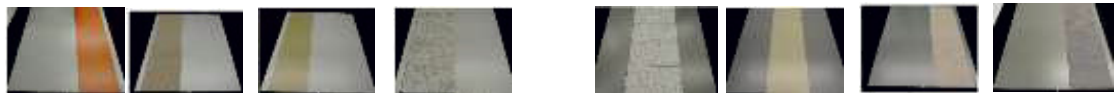
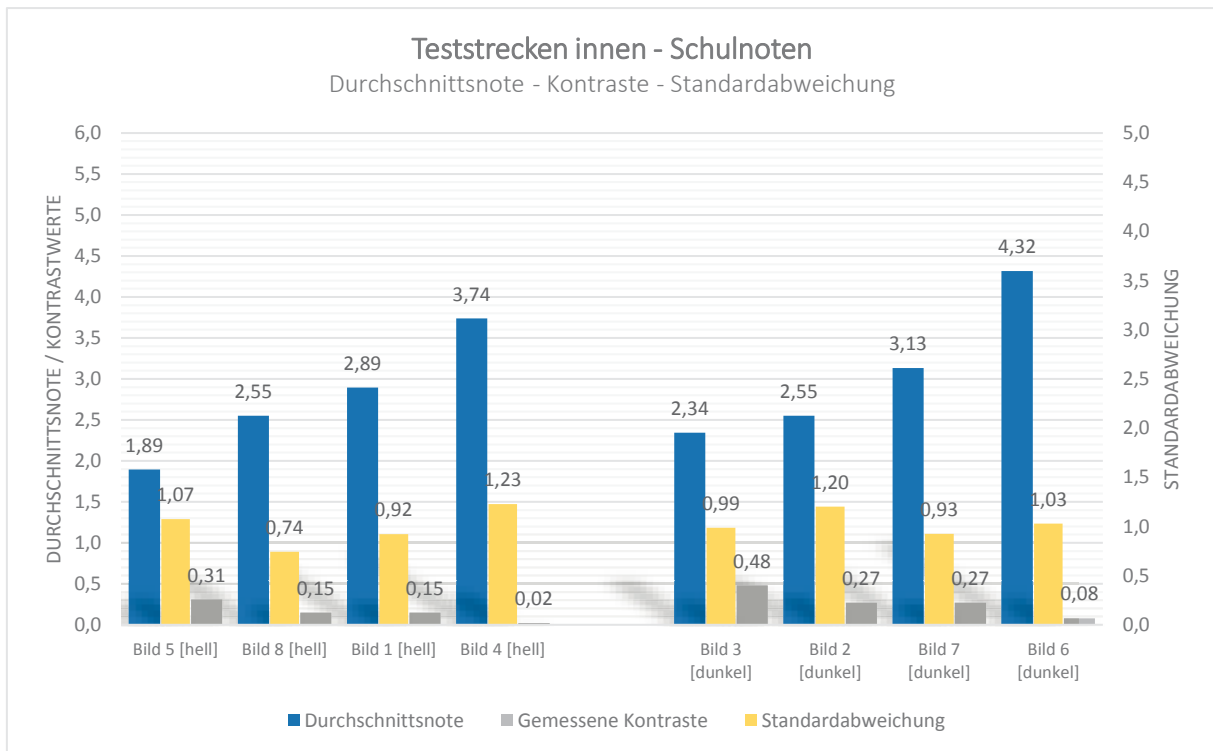


Abbildung 124: Durchschnittsnote für Testfelder im Innenraum mit Kontrast und Standardabweichung.

Testbilder mit hellem Hintergrund:

Rang	Reaktionszeiten	Durchschnittnoten	Anteil Nennungen < Note 2,5
<b>Rang 1</b>	Testbild 8	Testbild 5 (F)	Testbild 5 (F)
<b>Rang 2</b>	Testbild 5 (F)	Testbild 8	Testbild 8
<b>Rang 3</b>	Testbild 1	Testbild 1	Testbild 1
<b>Rang 4</b>	Testbild 4	Testbild 4	Testbild 4

Testbilder mit dunklem Hintergrund:

Rang	Reaktionszeiten	Durchschnittnoten	Anteil Nennungen < Note 2,5
<b>Rang 1</b>	Testbild 7	Testbild 3	Testbild 3
<b>Rang 2</b>	Testbild 2	Testbild 2	Testbild 2
<b>Rang 3</b>	Testbild 3	Testbild 7	Testbild 7
<b>Rang 4</b>	Testbild 6	Testbild 6	Testbild 6

Tabelle 31. Vergleich der Rangfolgen von Schulnoten und Reaktionszeiten auf der Teststrecke im Innenraum, mit F= Farbe

Die Testbilder mit dunklem Grundmaterial werden mit Ausnahme des Testbildes 6 besser bewertet (Bilder 2 und 3 von über 70 % der Probanden < 2,5 bewertet, siehe Abbildung 123) als die Bilder mit hellem Hintergrund. Hier ist deutlich eine Korrelation zu den dargebotenen Kontrasten festzustellen, die für die Testbilder mit dunklem Grundmaterial höher liegen. Entsprechend ist bei der Schulnotenbewertung anders als beim Test der Reaktionszeiten das Testbild 3, das den höchsten Kontrast aufweist, auch erwartungsgemäß besser bewertet worden und liegt in der Reihe der Bilder mit dunklem Grundmaterial auf Rang 1.

Analog zur Auswertung der Reaktionszeiten schneiden die Testbilder 4 (helles Grundmaterial) und 6 (dunkles Grundmaterial) aufgrund der sehr geringen dargebotenen Kontrasten von  $K=0,02$  bzw.  $K=0,08$  jeweils am schlechtesten ab.

Bei den Testbildern mit dunklem Grundmaterial ist das Testbild 2 mit Teststreifen aus Linoleum um eine ganze Note und somit deutlich besser bewertet worden als das Testbild 7, das den identischen Kontrast aufweist, jedoch einen Teststreifen aus Teppich zeigt. Zu vermuten ist, dass der Teppich aufgrund der inneren Struktur und aufgrund des Schattenwurfs durch die Schlaufentextur dunkler erscheint und sich somit der wahrgenommene Kontrast zu dem dunklen Grundmaterial verringert. Allerdings weicht in diesem Fall das Ergebnis von der Auswertung der Reaktionszeiten ab. Hier war das Testbild mit Teppich geringfügig schneller erkannt worden als das kontrastgleiche Bild mit Linoleum.

Bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial bestätigen die Ergebnisse der Schulnotenbewertung die Auswertung der Reaktionszeiten, wenn man den Sonderfall des orangefarbenen Linoleums nicht mit betrachtet. Unter den nicht farbigen Bildern liegt jeweils das Testbild 8 (Teppichstruktur) auf dem ersten Rang und damit vor dem kontrastgleichen Testbild mit Linoleum. Allerdings zeigt die Schulnotenbewertung hier im Gegensatz zur Auswertung der Reaktionszeiten, die einen deutlichen Vorsprung auswies, lediglich eine um 0,4 bessere Notenbewertung.

Dennoch ist festzustellen, dass die Teppichstruktur bei hellem Untergrund offenbar zu einer Verbesserung der Erkennbarkeit führt.

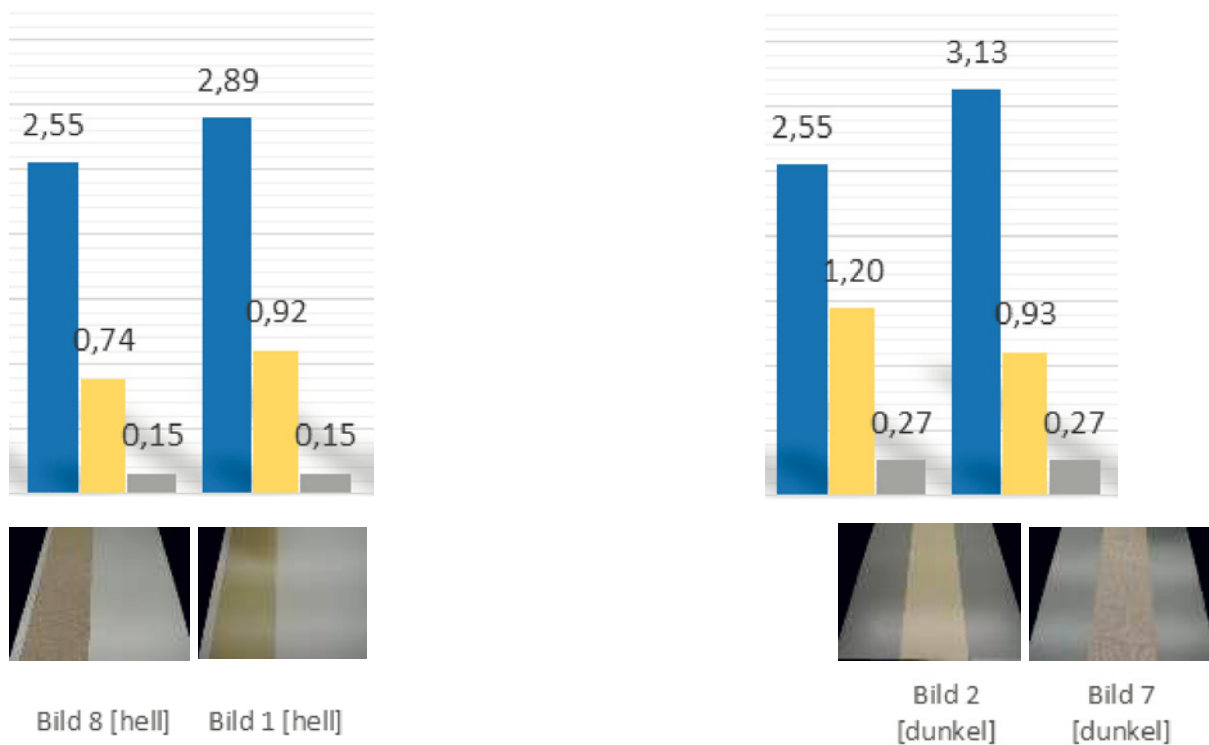


Abbildung 125. Bessere Erkennbarkeit durch Oberflächenrauigkeit/innere Struktur bei dunklen Grundflächen nicht bestätigt, bei heller Grundfläche analog zum Test Reaktionszeiten verbesserte Erkennbarkeit bei Teststreifen mit Teppichstruktur

### Fazit

#### Merkmal innere Struktur

- Entgegen der Hypothese zeigen die Teststreifen mit starker innerer Struktur (Steinplatten und bei dunklen Grundflächen auch bei Teppich mit Ausnahme des dunklen Teppichstreifens in hellem Grundbelag keine bessere Schulnotenbewertung
- Die Hypothese einer besseren Schulnotenbewertung bei hellen Teststreifen zu dunklem Grundmaterial kann teilweise bestätigt werden. Allerdings ist zu vermuten, dass die hellen Teststreifen in dunklem Grundmaterial aufgrund der insgesamt höher dargebotenen Kontraste schneller erkannt werden (siehe Merkmal Kontraste)

#### Merkmal Oberflächenrauigkeit

- Eine geringfügige bessere Bewertung konnte analog zum Test Reaktionszeiten bei Testbildern mit starker Oberflächenrauigkeit (Teppich) zu homogenen, glatten Flächen (Linoleum) bei gleichem dargebotenem Kontrast bei hellem Grundmaterial bestätigt werden. Bei dunklem Grundmaterial ist dieser Effekt deutlich geringer (Schattenwurf der Schlaufen = erscheint dunkler)

## Merkmal Farbigkeit

- Bessere Bewertung des Testbilds mit orangefarbenen Teststreifen als unbunte Teststreifen kann bestätigt werden.

## Merkmal Kontraste

- Die Hypothese einer Korrelation der Schulnotenbewertung zu den dargebotenen Kontrasten konnte bei den Testbildern bestätigt werden.

## 6.4.4.1.3 Ergebnisse Test Erkennen in der Bewegung - Innenraum

Die Ergebnisse zeigen, dass die Testbilder mit Oberflächenrauigkeit und innerer Struktur (Teppich Testbilder 6, 7 und 8) oder Steinplatten (Testbilder 3 und 4) von bis zu einem Drittel der Probanden besser bewertet wird. Die überwiegende Zahl der Probanden stellt jedoch keine Verbesserung in der Bewegung fest. Bei den Teststreifen aus Steinplatten beurteilt bis zu einem Drittel der Probanden die Situation bei der Bewegung über die Fläche schlechter. Hier wird die Irritation durch die innere Struktur des Belages von einem Probanden als Ursache genannt (siehe Tabelle 32).

	<b>Testbild 1</b> Linoleum		<b>Testbild 2</b> Linoleum		<b>Testbild 3</b> Steinpl.		<b>Testbild 4</b> Steinpl.		<b>Testbild 5</b> Linoleum (F)		<b>Testbild 6</b> Teppich		<b>Testbild 7</b> Teppich		<b>Testbild 8</b> Teppich	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Durchgang</b>																

**Zwischensumme je Durchgang**

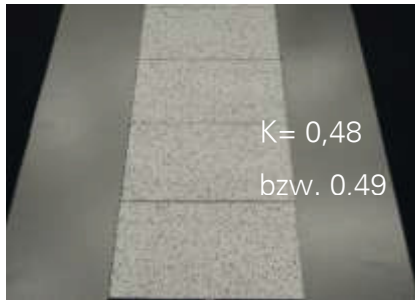
<b>besser</b>	1	0	3	1	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	2	1	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>gleich</b>	17	16	16	16	8	12	13	10	17	17	11	14	13	11	15	16
<b>Schlechter</b>	1	3	0	2	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	0	1	2	1	0	1	1	0

**Gesamtsumme**

<b>besser</b>	1	4	<b>9</b>	<b>9</b>	3	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>6</b>
<b>gleich</b>	33	32	20	23	34	25	24	31
<b>Schlechter</b>	4	2	<b>9</b>	<b>6</b>	1	3	1	2

Tabelle 32. Auswertung der Nennungen für das Erkennen in der Bewegung im Innenraum mit 1= besser, 0= gleich, 2= schlechter und F= Farbe

Testbild 3



Kombination aus Steinplatten mit innerer Materialstruktur und dunklem Linoleum als Grundmaterial. Diese Kombination wurde je einem Teil der Probanden besser und schlechter bewertet

Abbildung 126: Testbild 3 mit Kontrastwerten

Dennoch ist in Verbindung mit den Aussagen aus den Befragungen insgesamt festzustellen, dass sich die Erkennbarkeit des Materialstreifens in der Bewegung für einen relativ großen Anteil der Probanden verbessert, wenn dieser taktil, visuell und auch auditiv (Stein und Teppich klingen beim Begehen anders) gut von der Grundfläche unterscheidbar ist.

Die Aussagen bei den Befragungen ergaben auch, dass die Oberflächen jedoch nicht so uneben sein sollten, dass die Gefahr des Stolperns besteht bzw. schon beim Betreten ein Gefühl von Unsicherheit ausgelöst wird. Der Effekt des Verschwimmens zu einer Grundfläche bei sehr geringen Kontrasten wirkt sich in der Bewegung negativ auf die Erkennbarkeit der Materialstreifen aus.

Weiterhin zeigten die Befragungen, dass die Reflexion der Materialien unterschiedlich beurteilt wird. Jeweils ein Proband gab bei den Testbildern 2 und 6 an, dass die Reflexion des Linoleums in der Grundfläche die Erkennbarkeit beim Darübergehen verbessert. Eine Regelmäßigkeit kann aus dieser Aussage nicht abgeleitet werden, da bei dem Testbild 2 der Grundbelag mit eher stärker reflektierendem Linoleum, bei dem Testbild 6 mit Teppich kombiniert ist.

Einfluss von Reflexion auf das Erkennen in der Bewegung:



Abbildung 127: Testbild 2

Kombination aus Linoleum in dunklem Grundbelag aus Linoleum



Abbildung 128: Testbild 6

Kombination aus Teppich in hellem Grundbelag aus Linoleum

*Fazit*

Merkmal Innere Materialstruktur:

- Priorisierung bei der Begehung der Testbilder mit starker innerer Struktur (Steinplatten, Teppich) gegenüber Testbilder mit homogener Materialstruktur konnte nur bedingt bestätigt werden

Merkmal Oberflächenrauigkeit

- Priorisierung bei der Begehung von Testbildern mit starker Oberflächenrauigkeit (Teppich) zu homogenen, glatten Flächen (Linoleum) konnte bei hellem und dunklem Grundmaterial bedingt bestätigt werden.

6.4.4.1.4 Ergebnisse Test Materialvergleiche - Innenraum

Durchgang 1

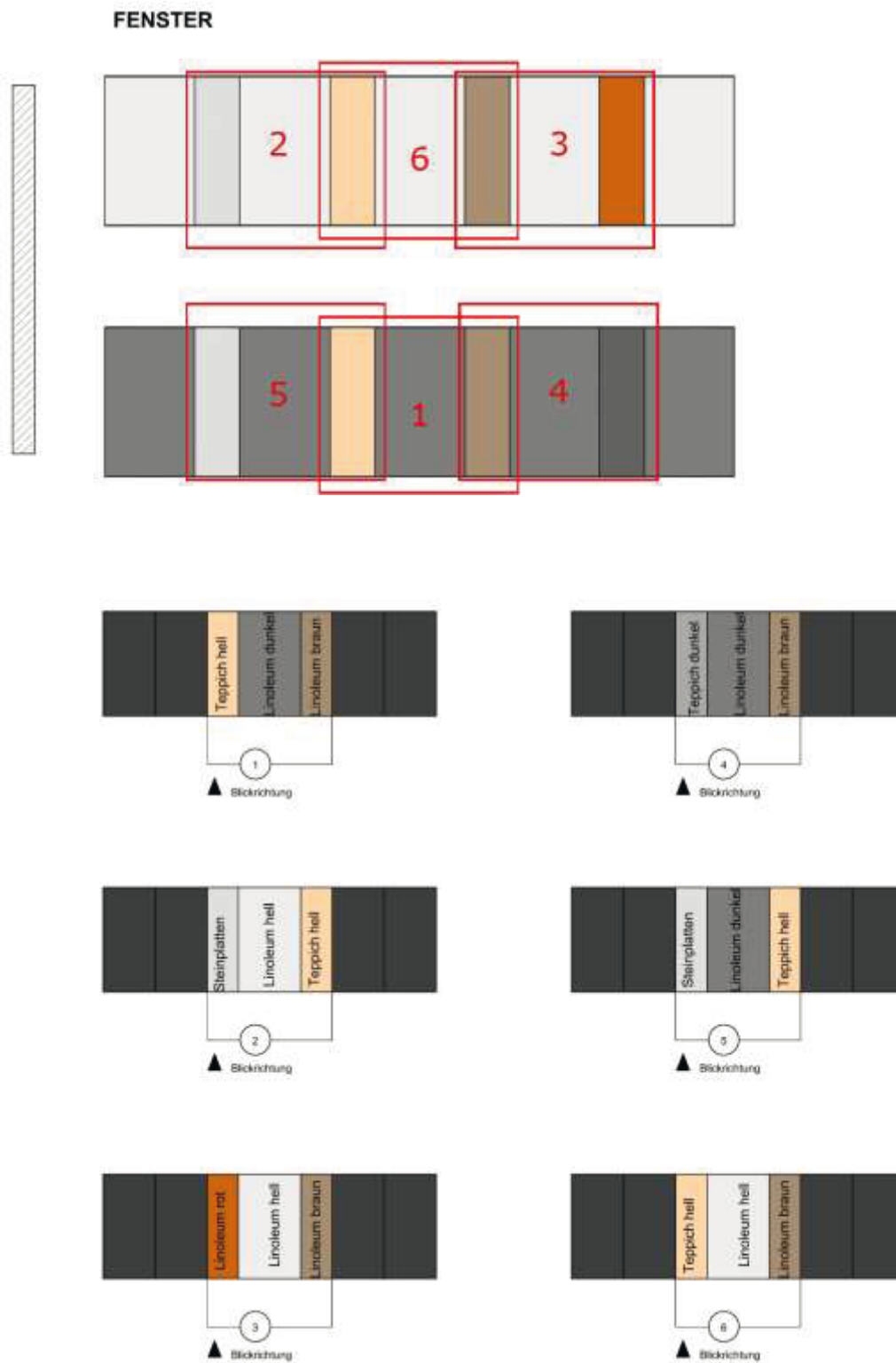


Abbildung 129. Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich Durchgang 1



Durchgang 2

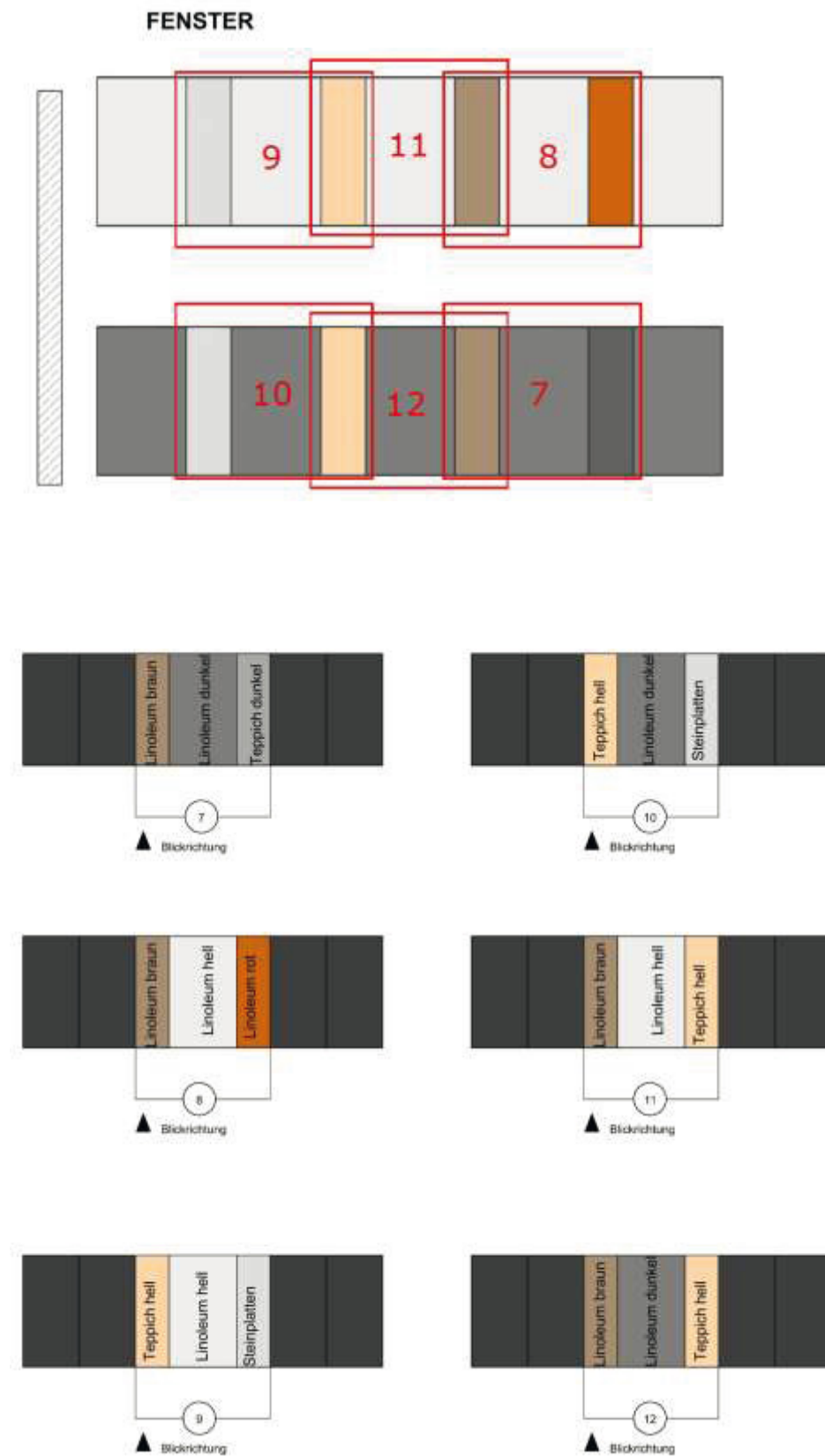


Abbildung 130. . Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich Durchgang 2

Vergleichsbilder mit dunklem Hintergrund und Teststreifen:

	Teppich	K	Linoleum	K	Steinplatten	K	Linoleum (F)	K	gleich
<b>Vergleichsbild 1</b>	12	0,29	13	0,28					13
<b>Vergleichsbild 4</b>	1	0,08	<b>27</b>	0,29					0
<b>Vergleichsbild 5</b>	10	0,29			<b>26</b>	0,49			2

Vergleichsfeld mit hellem Hintergrund und Teststreifen:

	Teppich	K	Linoleum	K	Steinplatten	K	Linoleum (F)	K	gleich
<b>Vergleichsbild 2</b>	<b>37</b>	0,15			0	0,03			1
<b>Vergleichsbild 6</b>	<b>20</b> (=53 %)	0,15	6	0,15					12
<b>Vergleichsbild 3 (F)</b>		0,15	2				<b>35</b>	0,31	

Tabelle 33. Ergebnisse Materialvergleiche Innenraumteststrecken, mit K= Kontrast und F= Farbe

Bei diesem Test wird die Anzahl der Entscheidung auf die Frage, welcher Teststreifen bei den dargebotenen Vergleichsbildern besser erkannt wird, ausgewertet (besser, schlechter, gleich). Die Antworten wurden für beide Durchgänge (Betrachten der Testfelder von beiden Blickrichtungen) zusammengefasst und in der Tabelle 33 dargestellt (siehe auch ausführliche Dokumentation unter 12.7.2).

Die präsentierten Vergleichsbilder wurden entsprechend wie folgt zusammengefasst betrachtet:

#### Innen

Vergleichsbild 1 = Vergleichsfeld 1 & 12

Vergleichsbild 2 = Vergleichsfeld 2 & 9

Vergleichsbild 3 = Vergleichsfeld 3 & 8

Vergleichsbild 4 = Vergleichsfeld 4 & 7

Vergleichsbild 5 = Vergleichsfeld 1 & 10

Vergleichsbild 6 = Vergleichsfeld 6 & 11

Tabelle 34: Übersicht der gezeigten Vergleichsbilder beim Test Materialvergleiche der Teststrecke im Innenraum




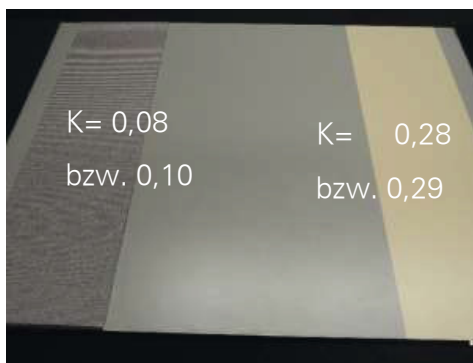
Bildtitel	Zugehöriges Foto der Materialkombination	Material links	Material rechts
Vergleichsbild 1		Teppich	Linoleum
Vergleichsbild 2		Betonstein	Teppich
Vergleichsbild 3		Linoleum	Linoleum
Vergleichsbild 4		Teppich	Linoleum
Vergleichsbild 5		Teppich	Betonstein
Vergleichsbild 6		Teppich	Linoleum

Abbildung 131: Übersicht aller Vergleichsbilder mit zugehörigem Foto der Kombinationen.

Bei den Materialvergleichen in Durchgang 1 und 2 ist festzustellen, dass die Probanden sich überwiegend für den Teststreifen mit höherem Kontrast zum Grundmaterial entscheiden, wenn Teststreifen mit unterschiedlichen Kontrasten dargeboten wurden (Vergleichsbilder 2, 4 und 5). Dieses gilt gleichermaßen bei den Vergleichsfeldern mit hellem als auch mit dunklem Grundmaterial. Im direkten Vergleich ist also der Hell-Dunkel-Kontrast das ausschlaggebende Entscheidungskriterium. Dieses gilt auch für das Vergleichsfeld mit farbigem Teststreifen (Vergleichsfeld 3). Allerdings ist hier zu vermuten, dass nicht nur der höhere Kontrast, sondern auch die kräftige Signalfarbe zu der Entscheidung beigetragen hat.

Dieses Ergebnis wird auch durch die Auswertung der Befragungen bestätigt. Der größere Helligkeitskontrast bzw. der größerer Farbkontrast werden bei nahezu allen Teststreifen, die von den Probanden als besser erkennbar benannt wurden, als Kriterium genannt.

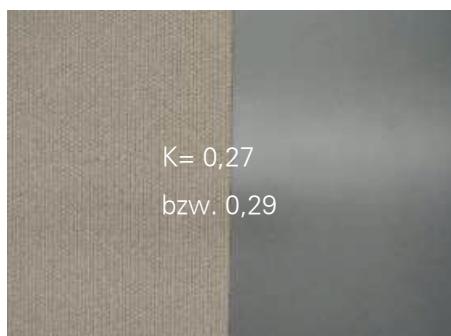


Vergleichsfeld 4: Linoleum und Teppich zu dunklem Grundmaterial

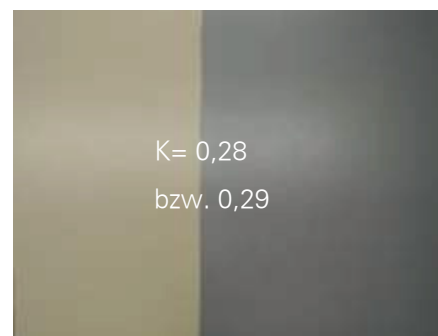
Das beige Linoleum erhielt 37 von 38 Nennungen. Nur ein Proband konnte den dunklen Teppich besser erkennen, da kein Blendeffekt auftritt

Abbildung 132: Vergleichsfeld 4 mit Kontrastwerten und Erläuterung

Vergleichsbild 1.: Linoleum und Teppich zu dunklem Grundmaterial: bei gleichem Kontrast ist bei dunklem Grundmaterial keine Präferenz festzustellen



Auf die Kombination aus dunklem Grundmaterial – heller Teppich fielen 12 von 38 Nennungen. Für den Teppich sprach der erkennbare Materialunterschied bzw. die innere Materialstruktur.



Auf die Kombination aus dunklem Untergrund mit hellem Linoleum fielen 13 von 38 Nennungen. Für das Linoleum sprach die Einheitlichkeit des Materialstreifens.

Abbildung 133: Vergleichsfeld 1 mit Kontrastwerten und Erläuterung.

Bei der Auswertung der Vergleichsbilder, die jeweils Teststreifen gleicher Kontraste zeigen (Vergleichsbild 1 und 6), lassen sich die Ergebnisse der Auswertung der Tests Reaktionszeiten und Schulnotenbewertung zum Einfluss der Oberflächenrauigkeit/inneren Struktur bestätigen. Bei hellen Teststreifen auf dunklem Grundmaterial werden bei gleichen dargebotenen Kontrasten Teppich und Linoleum von den Probanden gleich häufig ausgewählt (Vergleichsbild 1 – je 13 Nennungen Linoleum bzw. 12 Teppich, 13 gleich). Das Merkmal der Oberflächenrauigkeit/inneren Struktur des Teppichs scheint demnach bei hellem Teststreifen zu dunklem Grundmaterial und relativ hohem Kontrast von  $K = 0,29$  bei der Beurteilung der Erkennbarkeit offenbar kein die Entscheidung deutlich beeinflussendes Kriterium zu sein.

Bei dunklen Teststreifen auf hellem Grundmaterial (Vergleichsbild 6), das mit  $K = 0,15$  relativ geringe Kontraste aufweist, ist demgegenüber festzustellen, dass etwa die Hälfte der Nennungen die Teppichstruktur bevorzugt (53 % -20 Nennungen Teppich, 6 Linoleum, 12 gleich). Demnach kann der in den Probandentests unter Laborbedingungen und bei dem Test Schulnotenbewertung festgestellte Trend, dass in den geringen Kontrastbereichen, die Oberflächenstruktur eine die Erkennbarkeit unterstützende Wirkung haben kann, mit diesem Test teilweise bestätigt werden.

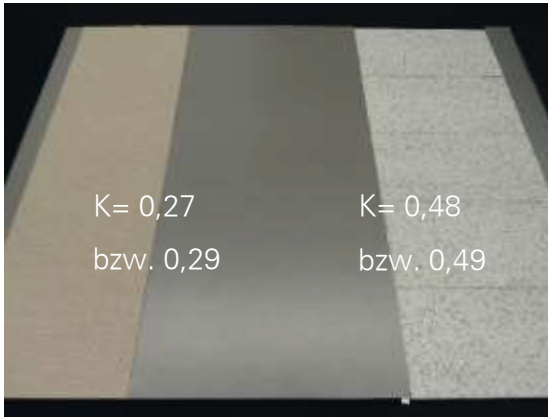


Vergleichsbild 6: Teppich und Linoleum zu hellem Grundmaterial

Auf die Kombination aus hellem Grundmaterial mit Teppich fielen 20 von 38 Nennungen (53 %) u.a. aufgrund der matten Oberfläche (keine Spiegelung).

Abbildung 134 : Vergleichsbild 6 mit Kontrastwerten und Erläuterung.

Bei den ergänzenden Befragungen wird deutlich, dass Unterschiede in den Reflexionseigenschaften der Materialien sich positiv auf die Erkennbarkeit auswirken können. Eine matte, nicht spiegelnde Oberfläche und das Ausbleiben von Blendung wurden bei den Vergleichsfeldern 1 bzw. 12 und 6 bzw. 11 (jeweils Begründung für die Wahl des Teppichs) in Bezug auf die bessere Erkennbarkeit genannt.



Vergleichsbild 5: Linoleum und Steinplatten zu dunklem Grundmaterial

Auf die Kombination Steinplatten mit innerer Struktur mit dunklem Grundmaterial aus Linoleum fielen 26 von 36 Nennungen.

Abbildung 135: Vergleichsbild 5 mit Kontrastwerten und Erläuterung.

## Fazit

### Merkmal Innere Materialstruktur:

- Priorisierung von Materialien mit starker innerer Struktur (Steinplatten /Teppich) gegenüber bei Materialien mit homogener Materialstruktur nur teilweise bestätigt.

### Merkmal Oberflächenrauigkeit

- Eine bessere Bewertung bei Testbildern mit starker Oberflächenrauigkeit (Teppich) zu homogenen, glatten Flächen (Linoleum) bei gleichem dargebotenem (vergleichsweise geringen) Kontrast konnte bei hellem Grundmaterial teilweise bestätigt werden. Bei dunklem Grundmaterial ist dieser Effekt nicht festzustellen (Schattenwurf der Schlaufen = erscheint dunkler)

### Merkmal Farbigkeit

- Bessere Bewertung des Testbilds mit orangefarbenen Teststreifen gegenüber unbunten Teststreifen

### Merkmal Kontraste

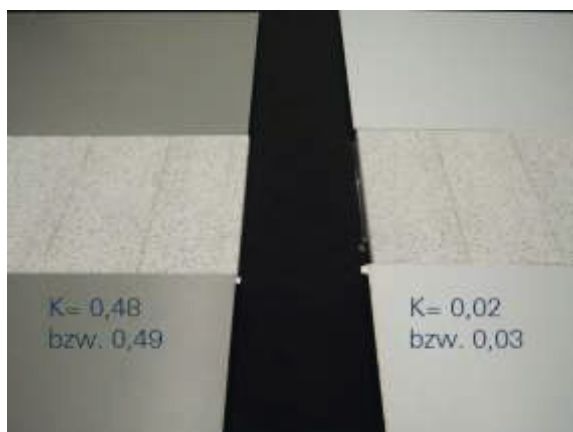
Die Hypothese einer deutliche Priorisierung des kontrastreichereren Teststreifens in direkten Materialvergleich konnte bestätigt werden.

## 6.4.4.1.5 Ergebnisse Test Materialvergleiche hell-dunkel - Innenraum

	Materialstreifen	K	Helle Grundfläche	K	Dunkle Grundfläche	Gleich
1	Steinplatten (n= 16)	0,02 bzw. 0,03	1	0,48 bzw. 0,49	15	0
2	Teppich (n= 16)	0,15	6	0,27 bzw. 0,29	6	4
3	Linoleum (n= 16)	0,15	2	0,28 bzw. 0,29	12	2
4	Linoleum (F) (n= 14)	0,31 bzw. 0,32	9	0,13 bzw. 0,14	4	1

Tabelle 35. Auswertung der Nennungen bei den Materialvergleichen 2 mit K= Kontrast und F= Farbe

Beim Materialvergleich hell-dunkel, bei dem identische Teststreifen jeweils kombiniert mit dem hellen und dem dunklen Grundmaterial zur Auswahl standen, wurden in drei von vier dargebotenen Bildern die Teststreifen mit dem jeweils höheren Kontrast als besser erkennbar eingestuft, wie beispielhaft in der folgenden Abbildung 136 dargestellt ist.



Teststreifen

Steinplatten mit innerer Struktur

Grundmaterial

Linoleum (dunkel, links)

Linoleum (hell, rechts)

Abbildung 136: Vergleichsbild 1, 15 von 15 Probanden entschieden sich für die linke Seite

Überraschenderweise haben sich jedoch bei dem Vergleichsbild 2 trotz des größeren, vor Ort gemessenen Leuchtdichtekontrasts des Teppichstreifens zum dunklen Linoleum gleich viele Probanden für die Materialkombination Teppichstreifen zu hellem Linoleum mit deutlich geringem Leuchtdichtekontrast entschieden.

Damit wird erneut die Tendenz der Ergebnisse vorangegangenen Tests mit Reaktionszeitmessungen, Schulnotenbewertung und Materialvergleich bestätigt. Demnach kann die Teppichstruktur bei hellem Grundmaterial und bei relativ geringen dargebotenen Kontrasten das Erkennen von Helligkeitsunterschieden unter den dargebotenen Beleuchtungsverhältnissen verbessern.

### *Fazit*

Merkmal Innere Materialstruktur:

- bessere Erkennbarkeit der Teststreifen mit starker innerer Materialstruktur (Teppich) gegenüber bei Materialien mit homogener Materialstruktur teilweise bei hellem Grundmaterial bestätigt.
- Die Hypothese einer besseren Bewertung bei hellen Teststreifen zu dunklem Grundmaterial kann bestätigt werden. Allerdings ist zu vermuten, dass die hellen Teststreifen in dunklem Grundmaterial aufgrund der insgesamt höher dargebotenen Kontraste schneller erkannt werden (siehe Merkmal Kontraste)

Merkmal Kontraste

Die Hypothese einer deutliche Priorisierung des kontrastreicheren Teststreifens in direktem Materialvergleich konnte bestätigt werden. Allerdings kann das Merkmal der inneren Struktur die Erkennbarkeit bei geringen Kontrasten bei einem Teil der Probanden kompensieren.

## **6.4.5 Ergebnisse Teststrecke im Außenraum (TB)**

### *6.4.5.1 Hypothesen*

- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei den Materialvergleichen bei diagonalem Fugenverband im Vergleich zum horizontalen Fugenverband
- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei Materialvergleichen bei hellem Teststreifen zu dunklem Grundmaterial als bei dunklen Teststreifen zu hellem Grundmaterial

### *Einfluss der Oberflächenrauigkeit*

- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei den Materialvergleichen bei großer Oberflächenrauigkeit



(bruchraues Material) im Vergleich zu Teststreifen mit geringer Oberflächenrauigkeit, da die Lichtbrechung sich vorteilhaft auf die Erkennbarkeit auswirkt

### *Einfluss der Fugenausprägung*

- Schnellere Reaktionszeiten, bessere Schulnotenbewertungen, Priorisierung bei der Begehung und bei den Materialvergleichen bei Fugenausprägung mit Hell-Dunkel-Kontrast (Verstärkung der Wahrnehmung des Fugenverbandes) und bei bruchrauem Material (größere Fugen) als bei den Flächenkontrast verstärkender Fugenausprägung ohne Hell-Dunkel-Kontrast

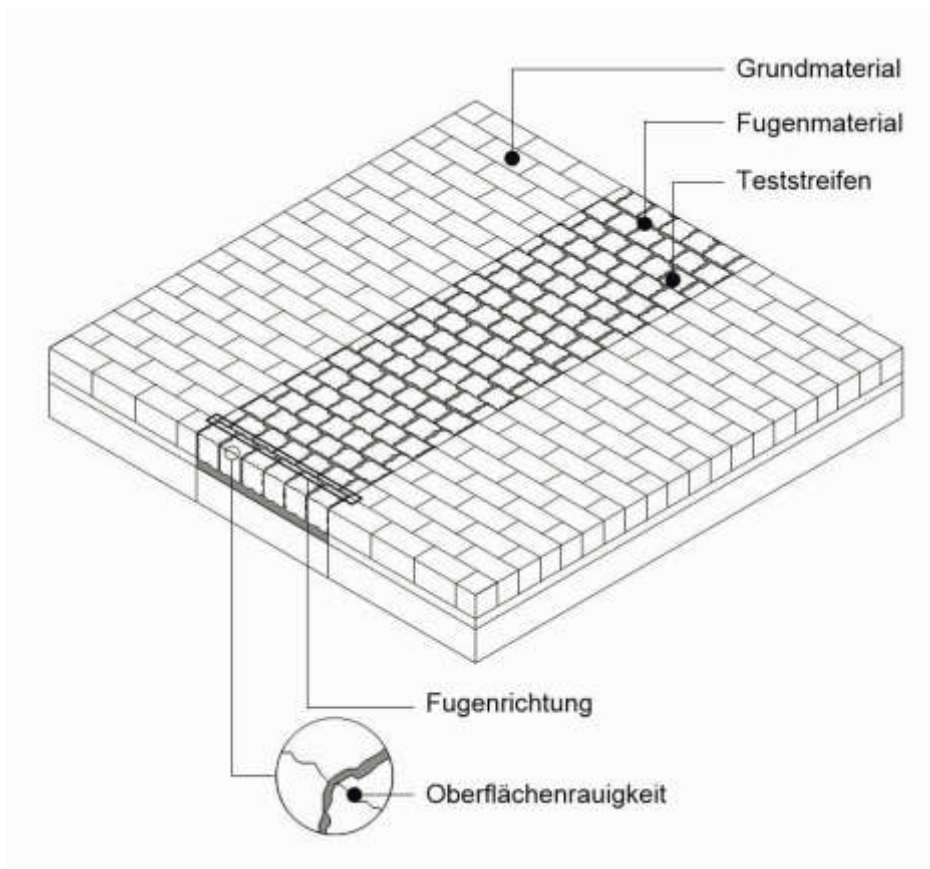


Abbildung 137: Schematische Darstellung eines Testfelds im Außenraum mit Zuordnung relevanter Begriffe

6.4.5.1.1 Ergebnisse Test Erkennen des Teststreifens nach Reaktionszeiten – Außenraum

Durchgang 1

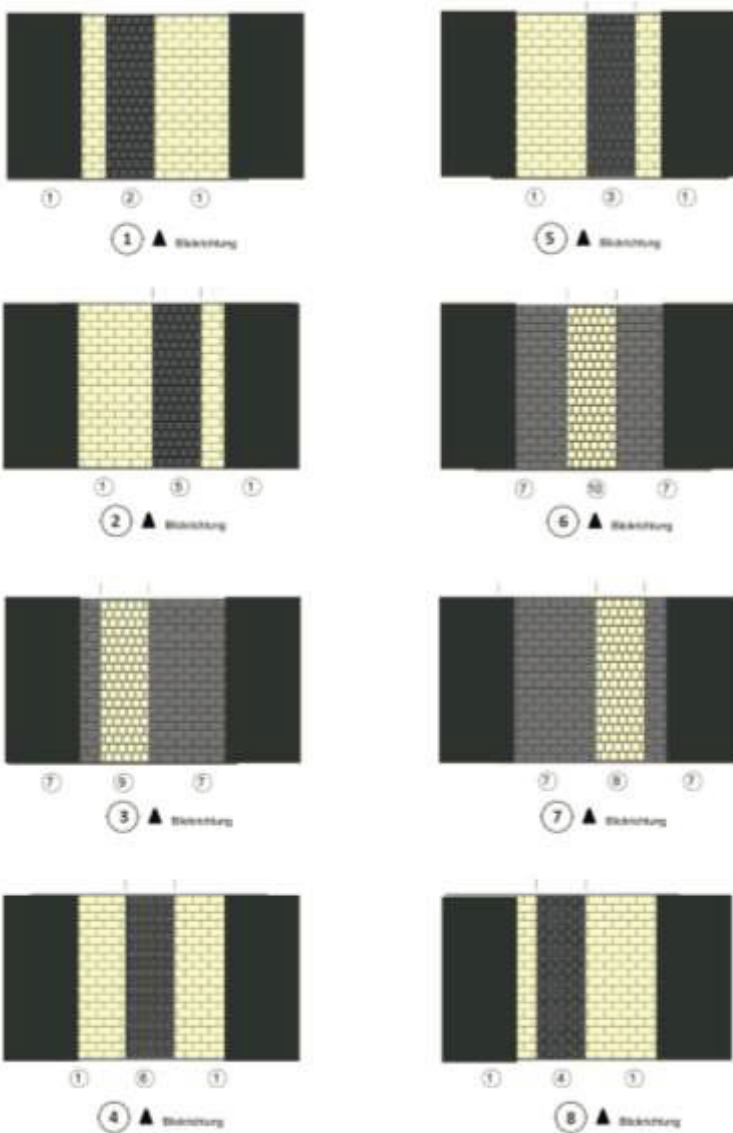
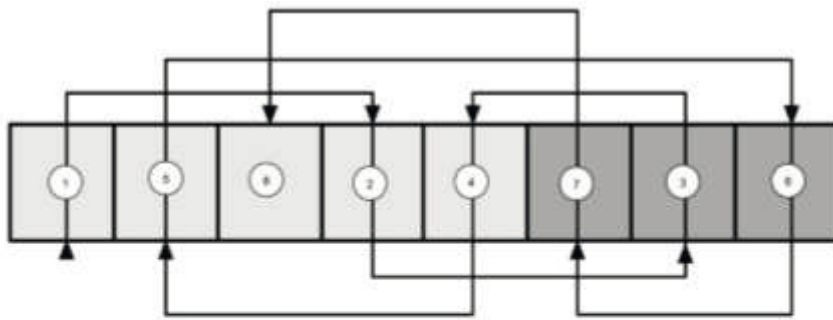


Abbildung 138. Darstellung Ablauf Außenraum Durchgang 1. Eigene Darstellung

Durchgang 2

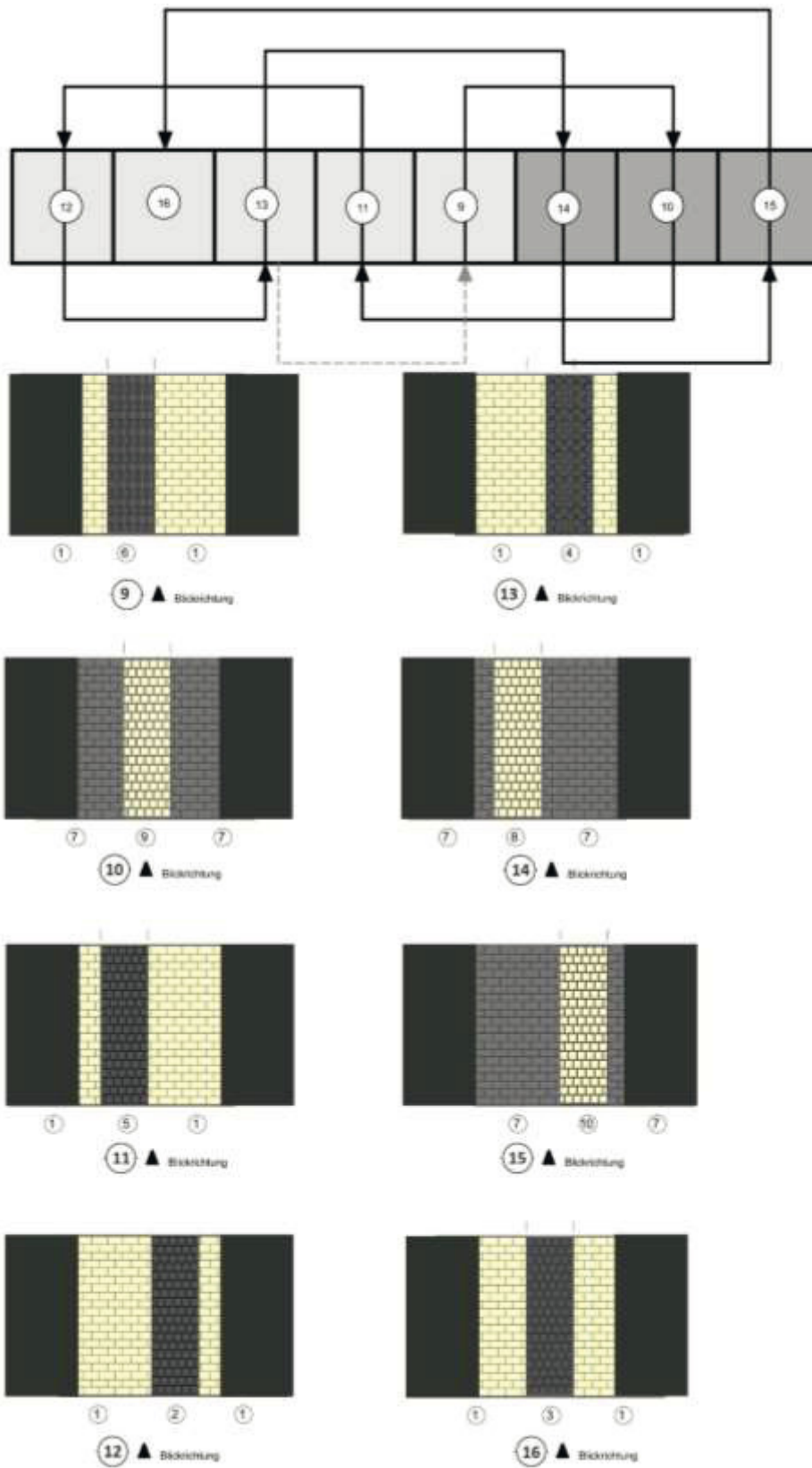


Abbildung 139. Darstellung Ablauf Außenraum Durchgang 2. Eigene Darstellung

Für die Aufnahme der Antworten der Probanden inklusive der Reaktionszeiten wird bei den Durchgängen zum Erkennen des Teststreifens wieder das Audience Response System OM-  
BEA genutzt. Hierüber werden die Auswertung über richtige und falsche Antworten sowie die Reaktionszeiten automatisiert abgebildet.

Die Auswertung der Testergebnisse erfolgte als einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung. Wegen der kleinen Stichprobenumfänge wurden die Auswertungen für die Kontraste separat vorgenommen. Dazu werden die Testbilder gleicher Ausprägung zusammengefasst (siehe Tabelle 36) und die Ergebnisse der Reaktionszeiten für die dann 8 Testbilder, die jeweils unterschiedliche Fugenausprägungen, Oberflächenrauigkeiten und Fugenrichtungen zeigen, verglichen. Dazu wurde der Mittelwert der Reaktionszeit aller Probanden für jedes Testfeld gebildet. Die Lage des zu erkennenden Materialstreifens (links, rechts, mittig) wurde dabei nicht berücksichtigt.

### Außen

Bild 1 = Testfeld 1 & Testfeld 12

Bild 2 = Testfeld 2 & Testfeld 11

Bild 3 = Testfeld 3 & Testfeld 10

Bild 4 = Testfeld 4 & Testfeld 9

Bild 5 = Testfeld 5 & Testfeld 16

Bild 6 = Testfeld 6 & Testfeld 15

Bild 7 = Testfeld 7 & Testfeld 14

Bild 8 = Testfeld 8 & Testfeld 13

Tabelle 36: Übersicht gezeigte Testbilder im Test Erkennen der Teststreifen der Teststrecke im Außenraum

Bildtitel	Zugehöriges Foto der Materialkombination	Erläuterung der Materialien
Bild 1		Teststreifen Grauwacke Oberfläche gesägt, Farbton dunkelgrau, Fugen dunkelgrau (analog Teststreifen), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflaster Rinn Rechteckpflaster Format 20 x 10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz, Farbton Beige mittel Nr. 783 Kontrast K=0,37
Bild 2		Teststreifen Grauwacke Oberfläche bruchrau, Farbton dunkelgrau, Fugen dunkelgrau (Farbton analog Teststreifen), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflaster Rinn Rechteckpflaster Format 20 x 10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz, Farbton Beige mittel Nr 783 Kontrast K=0,4




Bild 3		Teststreifen Sandstein Oberfläche, bruchrau, , Farbton hellbeige Fugen hellbeige (Farbton analog Teststreifen), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflasterplatten Rinn Magnum Pflaster ohne Fase Format 40 cm x 20 cm mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz Color Modell 2228 Kontrast $K=0,35$
Bild 4		Teststreifen Grauwacke Oberfläche bruchrau, Farbton dunkelgrau, Fugen hellbeige (Farbton analog Grundmaterial), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflaster Rinn Rechteckpflaster Format 20 x 10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz, Farbton Beige mittel Nr. 783 Kontrast $K=0,34$
Bild 5		Teststreifen Grauwacke Oberfläche gesägt, Farbton dunkelgrau, Fugen hellbeige (analog Grundmaterial), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflaster Rinn Rechteckpflaster Format 20 x 10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz, Farbton Beige mittel Nr. 783 $K=0,31$
Bild 6		Teststreifen Sandstein, Oberfläche bruchrau, Farbton hellbeige, Fugen dunkelgrau (analog Grundmaterial), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflasterplatten Rinn Magnum Pflaster ohne Fase Format 40 cm x 20 cm mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz Color Modell 2228 $K=0,22$
Bild 7		Teststreifen Sandstein Oberfläche gesägt, Farbton hellbeige, Fugen hellbeige (analog Teststreifen), Reihenverband Kombiniert mit Betonpflasterplatten Rinn Magnum Pflaster ohne Fase Format 40 cm x 20 cm mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz Color Modell 2228 $K=0,4$
Bild 8		Teststreifen Grauwacke Oberfläche gesägt, Farbton dunkelgrau, Fugen hellbeige (analog Grundmaterial), Diagonalverband Kombiniert mit Betonpflaster Rinn Rechteckpflaster Format 20 x 10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz, Farbton Beige mittel Nr 783 $K=0,34$

Tabelle 37: Übersicht der Materialkombinationen je Auswertungsbild mit Materialerläuterung für Teststrecke Außenraum.

Die Ergebnisse der Messung der Reaktionszeiten zeigen, dass analog zu den Labortests die Teststreifen in dunklem Grundmaterial im Durchschnitt schneller erkannt werden.

Die auch insgesamt am schnellsten erkannte Testbilder 3 und 6 (beide dunkles Grundmaterial und helle Teststreifen) weisen das zur Prüfung eingebrachte Merkmal Oberflächenrauigkeit (bruchrau) auf. Das Testbild 3, das die deutlich schnellsten Reaktionszeiten zeigte, ist mit

homogenen bzw. helleren Fugen zum hellen Teststreifenmaterial ausgebildet (hellbeiger Teststreifen – hellbeige Fugen).

Bei den Testbildern mit hellem Grundmaterial wird mit dem Testbild 5 eine Fläche mit einer gesägten Oberfläche und Fugen mit deutlichem Kontrast zum Teststreifen (hellebeige Fugen, dunkelgrauer Teststreifen) am schnellsten erkannt. Der nur in der hellen Grundmaterialvariante dargebotene diagonal verlegte Teststreifen (Testbild 8) zeigt unter den Testbildern mit hellem Grundmaterial die zweitschnellste Reaktionszeit (siehe Abbildung 140).

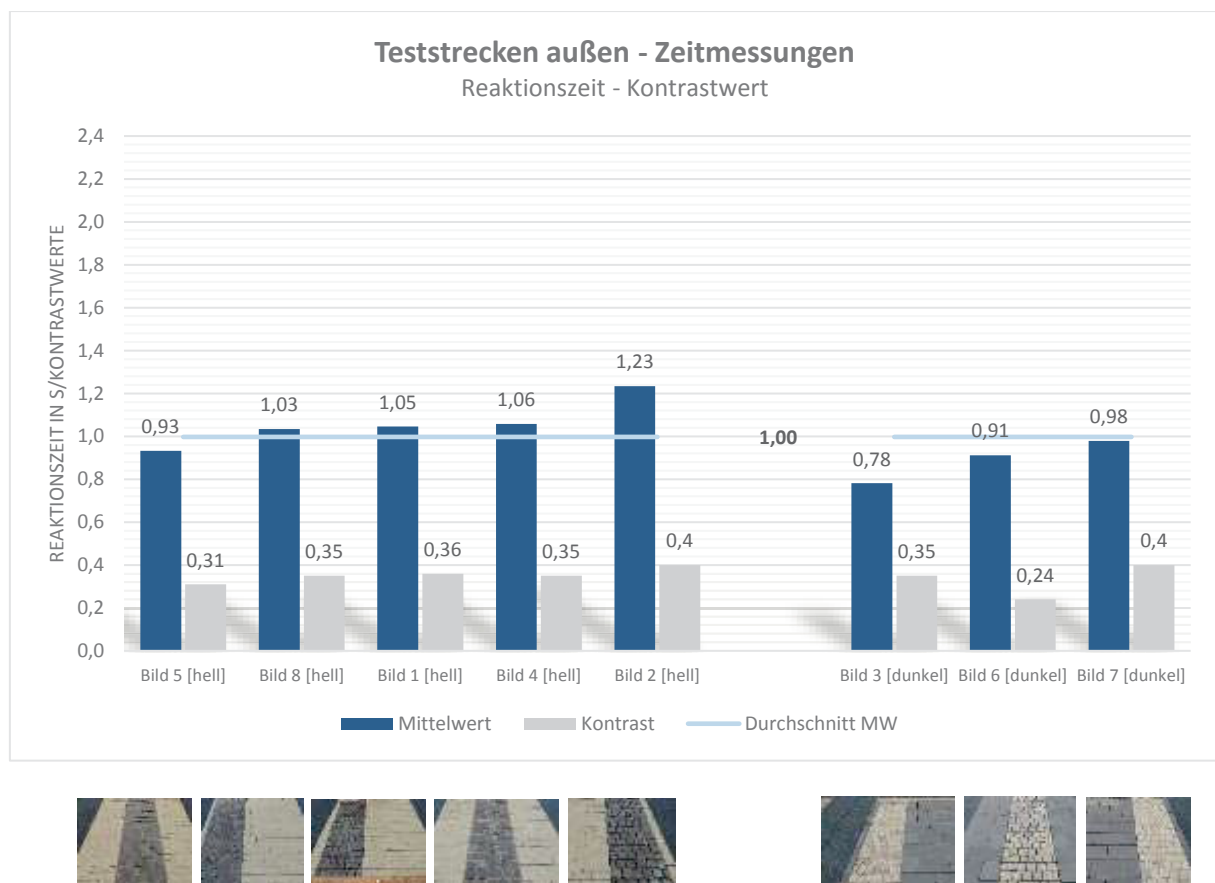


Abbildung 140: Reaktionszeiten für Teststrecke Aussen mit Kontrastwerten und Mittlerer Reaktionszeit.

#### *Auswertung unter Berücksichtigung der Kontrastsehfähigkeit der Probanden*

Die Auswertung der Reaktionszeiten differenziert nach Probanden mit und ohne Einschränkung der Kontrastsehfähigkeit liefert deutlich langsamere Reaktionszeiten bei den Probanden ohne Einschränkungen. Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass sich die Rangfolge bei den Testbildern mit hellem und dunklen Grundmaterial bei der Gruppe der Probanden mit und ohne Einschränkung der Kontrastsehfähigkeit identisch darstellt (siehe Abbildung 141).

Da bei diesem Test für alle Teststreifen identische Ausgangsmaterialien verwendet wurden, um den labortechnischen Kontrast als Testgrundlage einheitlich zu gestalten, spielt die Korrelation der Reaktionszeit zum dargebotenen Kontrast nur eine untergeordnete Rolle. Wie Abbildung 60 zu entnehmen ist bildet sich die gewählte unterschiedliche Oberflächenrauigkeit in den leicht variierenden Reflexionsgraden der Labormessungen ab. Bei den in Abbildung 141 dargestellten Kontrasten handelt es sich um die vor Ort per Leuchtdichtekamera aufgenommenen Kontraste, die entsprechend auch die Ausprägung des Fugenmaterials mitberücksichtigen und sich daher leicht unterschiedlich darstellen (zum Vergleich der Laborwerte und vor-Ort-Werte siehe Kapitel 12.11).

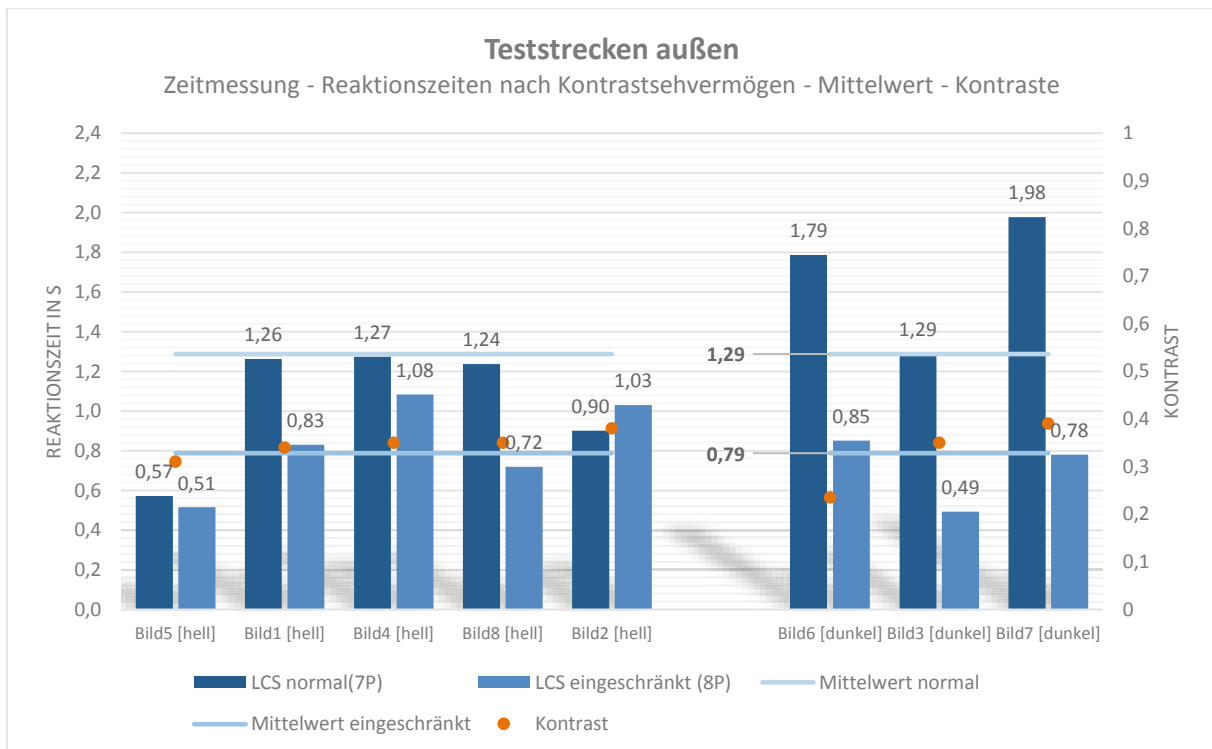


Abbildung 141. Auswertung der Reaktionszeiten im Zusammenhang mit der Kontrastsehempfindlichkeit n. Buser

## Fazit

## Einfluss der Fugenrichtung

- Relativ schnelle Reaktionszeiten bei diagonalem Fugenverband im Vergleich zu horizontalem Fugenverband können als Trend bestätigt werden (Testbild 8)
- Durchschnittlich schnellere Reaktionszeiten hellem Teststreifen zu dunklem Grundmaterial im Vergleich zu dunklem Teststreifen in hellem Grundmaterial können als Trend bestätigt werden.

## Einfluss der Oberflächenrauigkeit

- Schnellste Reaktionszeiten bei hellem bruchrauen Teststreifen, bei dunklen Teststreifen werden gesägte Oberflächen am schnellsten erkannt.

## Einfluss der Fugenausprägung

- Reaktionszeiten zeigen kein eindeutiges Ergebnis.

Rang	Reaktionszeiten	Fuge	OF	Durchschnittnoten	Fuge	OF	Anteil Nennungen < Note 2,5	Fugene	OF
<b>Helles GrundmaterialDunkler Teststreifen</b>									
<b>Rang 1</b>	Testbild 5	k	g	Bild 2		b	Bild 2		b
<b>Rang 2</b>	Bild 8 D	k	g	Bild 8 D	k	g	Bild 4	k	b
<b>Rang 3</b>	Bild 1		g	Bild 4	k	b	Bild 8 D	k	g
<b>Rang 4</b>	Bild 4	k	b	Bild 1		g	Bild 1		g
<b>Rang 5</b>	Bild 2		b	Bild 5	k	g	Bild 5	k	g
<b>Dunkles Grundmaterial, heller Teststreifen</b>									
<b>Rang 1</b>	Bild 3		b	Bild 7		g	Bild 7		g
<b>Rang 2</b>	Bild 6	k	b	Bild 3		b	Bild 3		b
<b>Rang 3</b>	Bild 7		g	Bild 6	k	b	Bild 6	k	b

Tabelle 38: Vergleich der Rangfolgen von Reaktionszeiten, Schulnoten (Durchschnitt und Anteil > Note 2,5) auf der Teststrecke im Außenraum, mit k=Fugen mit Kontrast hell-dunkel, g=gesägte Oberfläche, b=bruchraue Oberfläche, D=Diagonalverband



#### 6.4.5.1.2 Ergebnisse Test Bewerten mit Schulnoten - Außenraum

Nach der analog zum Innenraumtest vorgenommenen Schulnoteneinstufung durch die Probanden erhielten Testfelder, die mindestens eines oder beide Merkmale bruchrau oder diagonalen Fugenverband aufweisen, gute Bewertungen (Testbilder 2 und 8), jedoch handelt es sich um andere Testbilder als bei dem Reaktionszeittest festzustellen war. Auffällig ist auch, dass bei den Schulnoten, Testfelder mit hellem Grundmaterial hoch bewertet wurden (siehe Tabelle 39).

Unter ausschließlicher Betrachtung der hellen Proben gibt es bei der Probe 8 die größte Übereinstimmung zum Test nach Reaktionszeiten, die jeweils den Rang 2 einnimmt. Sie weist auch in beiden Tests übereinstimmend eine sehr geringe Standardabweichung auf (siehe 12.9, Abbildung 175 und Abbildung 176). -Dieses Testbild weist das Merkmal des diagonalen Fugenverbands aus, das offenbar zur schnelleren Erkennbarkeit beiträgt.

Der Test zur Bewertung nach Schulnoten wurde einerseits nach Durchschnittsnoten ausgewertet und darüber hinaus nach Anteil der Probanden, die das jeweilige Testbild besser als 2,5 bewerteten (siehe Abbildung 143 und Abbildung 142).

Dabei ergibt sich in der Rangfolge der Bewertungen bei getrennter Betrachtung der Testbilder mit hellem und dunklem Untergrund eine nahezu gleiche Reihenfolge. Allerdings sind die Ergebnisse in der Bewertung konträr zu den Ergebnissen bei der Messung der Reaktionszeiten. Beispielsweise wurden bei der Schulnotenauswertung anders als bei dem Test nach Reaktionszeiten bei den dunklen Teststreifen die bruchraue Oberfläche und bei den hellen Teststreifen die gesägte Oberfläche jeweils ohne Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen am besten bewertet (helle Fugen, heller Teststreifen). Wenn man den Sonderfall des Diagonalverbands außer Acht lässt, folgt bei den dunklen Teststreifen auf Rang 2 eine bruchraue Oberfläche allerdings mit Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen (helle Fugen, dunkle Teststreifen).

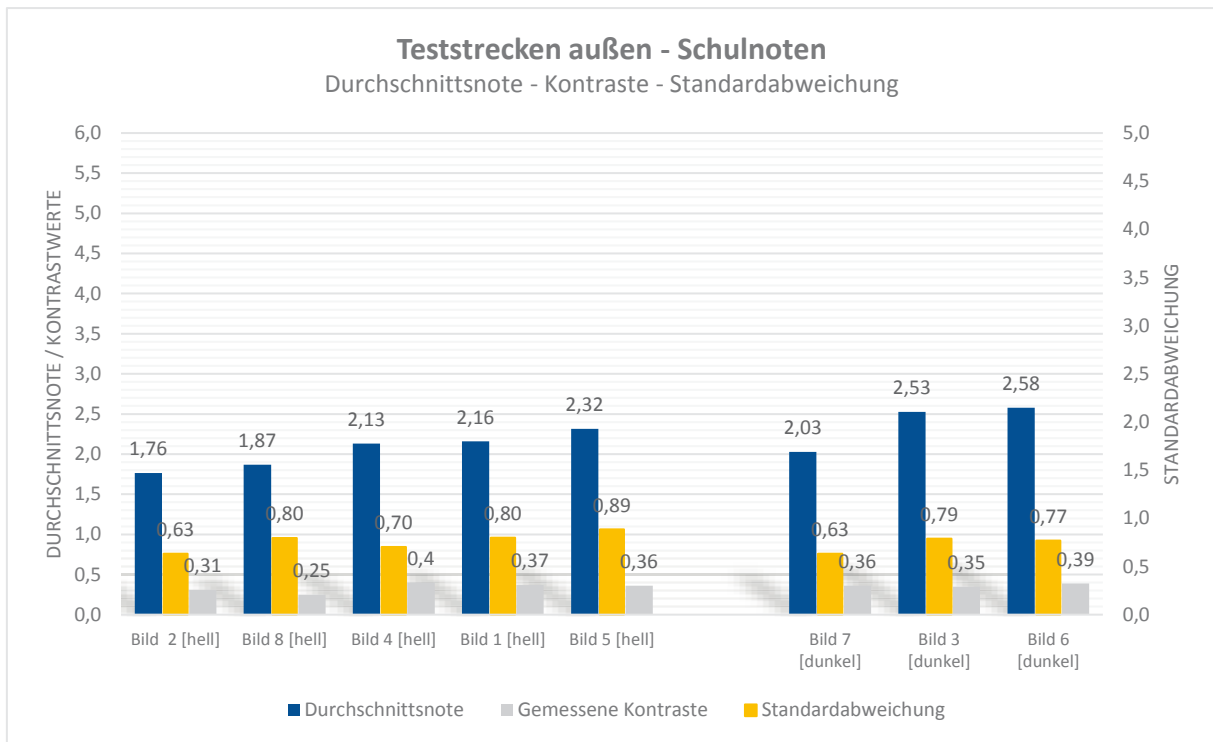


Abbildung 142: Durchschnittsnoten, Kontraste und Standardabweichungen für alle gezeigten Bilder der Außenteststrecken

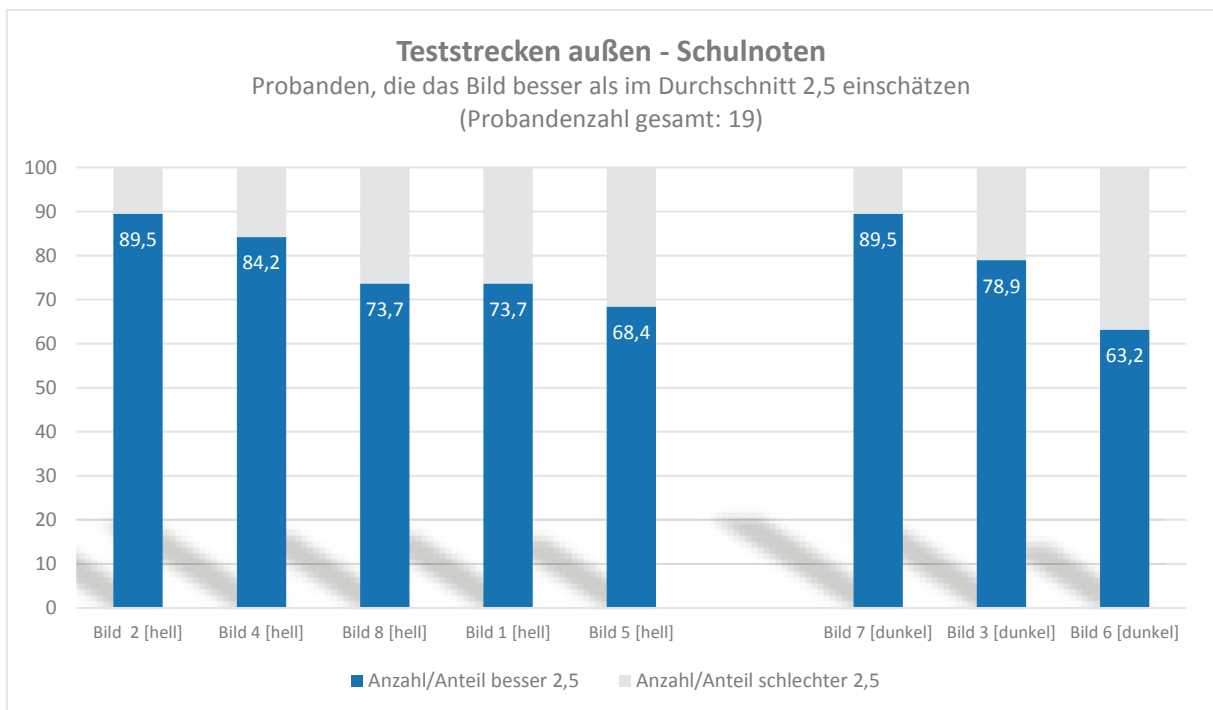


Abbildung 143: Anteile der Einschätzung mit Schulnoten besser als 2,5 für die Außenteststrecken.

#### Einfluss der Fugenrichtung

- bessere Schulnotenbewertungen bei diagonalem Fugenverband im Vergleich zum horizontalen Fugenverband konnte bestätigt werden.
- bessere Schulnotenbewertungen bei hellem Teststreifen zu dunklem Grundmaterial gegenüber dunklen Teststreifen in hellem Grundmaterial ist nicht eindeutig festzustellen.

#### Einfluss der Oberflächenrauigkeit

- bessere Schulnotenbewertungen bei dunklen Teststreifen mit bruchrauer Oberfläche, bei hellen Teststreifen mit gesägter (Konträr zum Ergebnis des Tests nach Reaktionszeiten)

#### Einfluss der Fugenausprägung

- Entgegen der Hypothese ist eine bessere Schulnotenbewertungen festzustellen, wenn das Fugenmaterial ohne Hell-Dunkel-Kontrast zum Teststreifen ausgeprägt ist (helle Fugen bei hellen Teststreifen und dunkle Fugen bei dunklen Teststreifen). Bei dem bevorzugten dunklen Teststreifen (Testbild 2) ist das Material bruchrau (größere Fugen), so dass das Fugengbild deutlicher in Erscheinung tritt.

#### *6.4.5.1.3 Ergebnisse Test Erkennen in der Bewegung – Außenraum*

Die Ergebnisse zeigen, dass drei der vier Testbilder mit bruchrauer Oberflächenstruktur (Testbilder 3, 4 und 6) von 26 bzw. 24 % der Probanden in der Bewegung besser bewertet werden. Mit Testbild 4 und 6 schneiden dabei die beiden Testbilder mit Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen leicht besser ab. Die überwiegende Zahl der Probanden stellt jedoch keine Verbesserung in der Bewegung fest (siehe Tabelle 39).

Bei den ergänzenden Befragungen gaben mehrere Probanden an, dass sich die Erkennbarkeit des Materialstreifens in der Bewegung in der Regel verbessert, wenn dieser taktil und visuell gut vom umgebenden Grundmaterial unterscheidbar ist. In den ergänzenden Befragungen wird benannt, dass die Oberflächen jedoch nicht so uneben sein sollten, dass die Gefahr des Stolperns besteht bzw. schon beim Betreten ein Gefühl von Unsicherheit ausgelöst wird. Eine glatte Gestaltung der Oberflächen sollte bei Flächen, auf denen die Fortbewegung im Gehen stattfindet, einer unebenen, rauhen Oberfläche vorgezogen werden. Denn auf glatten Oberflächen sind Unebenheiten besser erkennbar. Ein fester Untergrund ist für das Sicherheitsgefühl beim Gehen ebenfalls von Vorteil.

	<b>Testbild 1</b>		<b>Testbild 2</b>		<b>Testbild 3</b>		<b>Testbild 4</b>		<b>Testbild 5</b>		<b>Testbild 6</b>		<b>Testbild 7</b>		<b>Testbild 8 (D)</b>	
	Gesägt		Bruchrau		Bruchrau		Bruchrau		Gesägt		Bruchrau		Gesägt		Gesägt	
	Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge ohne Hell-Dunkel-kontrast		Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast		Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	
<b>Durchgang</b>	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

**Zwischensumme je Durchgang**

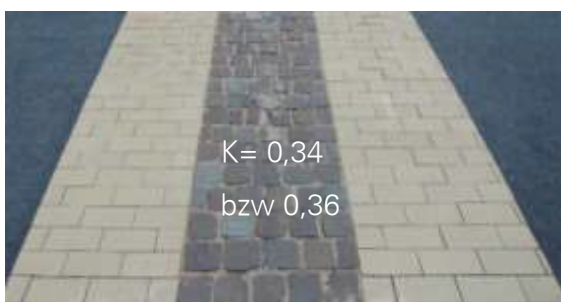
<b>besser</b>	1	1	3	2	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	2	2	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
<b>gleich</b>	18	15	14	16	13	15	12	13	16	16	12	13	17	18	17	18
<b>schlechter</b>	0	3	2	1	1	0	1	2	1	1	3	0	0	0	0	0

**Gesamtsumme**

<b>besser</b>	2	5	<b>9</b>	<b>10</b>	4	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>gleich</b>	33	30	28	25	32	25	35	35
<b>schlechter</b>	3	3	1	3	2	3	0	0

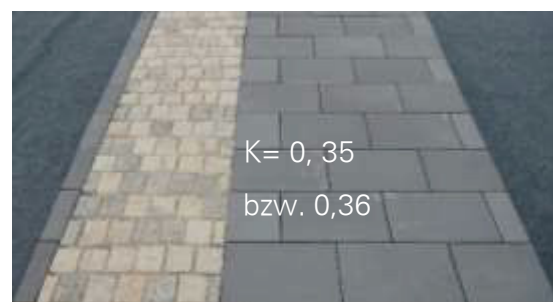
Tabelle 39. Auswertung der Nennungen für das Erkennen in der Bewegung im Außenraum in Anzahl der Nennungen, D=Diagonalverband

Testbild 4



Grundmaterial: Beton, hell  
 Teststreifen: Naturstein dunkel, bruchrau, helles Fugenmaterial

Testbild 3



Grundmaterial: Beton, dunkel  
 Teststreifen: Naturstein hell, bruchrau, helles Fugenmaterial

Abbildung 144: Teststreifen mit hellen und dunklen Materialien

*Fazit*

## Einfluss der Fugenrichtung

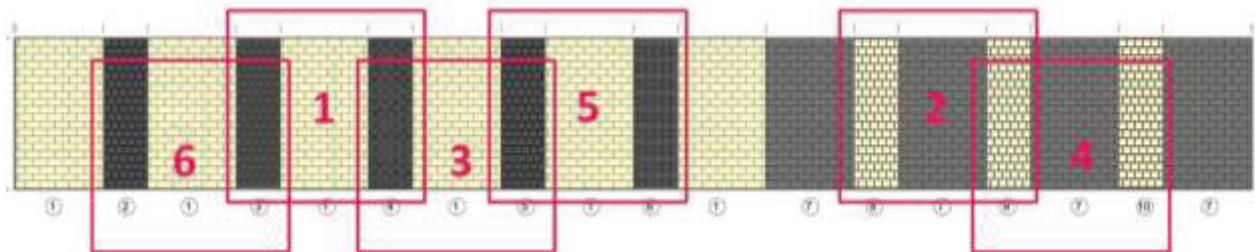
- Priorisierung bei diagonal verlegtem Pflaster konnte nicht bestätigt werden.

## Einfluss der Oberflächenrauigkeit

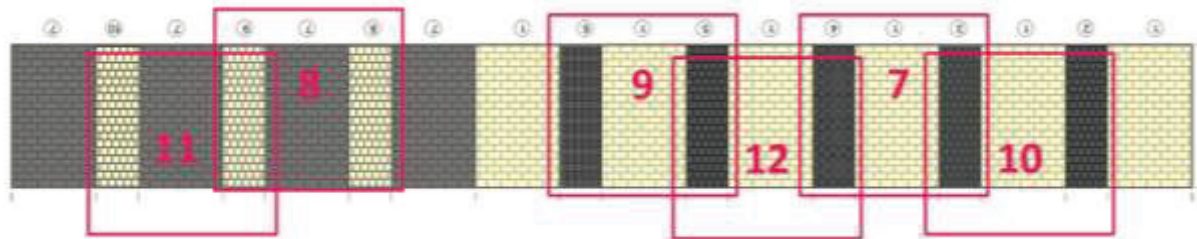
- Priorisierung von Teststreifen mit bruchrauer Oberfläche konnte bei der Begehung nicht bestätigt.

*6.4.5.1.4 Ergebnisse Test Materialvergleiche - Außenraum*

## Durchgang 1



## Durchgang 2



<b>Bildtitel</b>	<b>Zugehöriges Foto der Materialkombination</b>
Vergleichsbild 1	
Vergleichsbild 2	
Vergleichsbild 3	
Vergleichsbild 4	
Vergleichsbild 5	
Vergleichsbild 6	

Tabelle 40: Übersicht Vergleichsbilder mit zugehörigem Foto der Materialkombinationen

*Dunkles Grundmaterial, helle Teststreifen:*

	K	Gesägt Diagonal Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	Gesägt Reihe Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast	Gesägt Reihe Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	Bruchrau Reihe Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast	Bruchrau Reihe Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	gleich
<b>Bild V 2</b>	0,40 0,35		<b>30</b>		1		7
<b>Bild V 4</b>	0,35 0,22				<b>19</b>	15	3

*Helles Grundmaterial, dunkle Teststreifen:*

	K	Gesägt Diagonal Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	Gesägt Reihe Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast	Gesägt Reihe Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	Bruchrau Reihe Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast	Bruchrau Reihe Fuge mit Hell-Dunkel-Kontrast	gleich
<b>Bild V 3</b>	0,35 0,40	4			<b>26</b>		4
<b>Bild V 1</b>	0,35 0,30	16		3			11
<b>Bild V 5</b>	0,40 0,36				<b>32</b>	1	4
<b>Bild V 6</b>	0,37 0,31		<b>28</b>	1			9

Tabelle 41. Auswertung direkter Materialvergleich mit K= Kontrast

*Helles Grundmaterial, dunkle Teststreifen*

Die Übersicht in Tabelle 41. Auswertung direkter Materialvergleich mit K= Kontrast' zeigt, dass die zum direkten Vergleich zweier benachbarter Flächen aufgeforderten Probanden, sich bei den dunklen Teststreifen auf hellem Grundmaterial sehr deutlich jeweils für die identisch zum Material des Teststreifens in dunkel ausgeführte Fugenfüllung (Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast) ausgesprochen haben. Dieses ist beispielsweise bei den Vergleichen V 3, V 5 und V 6 deutlich zu festzustellen. Bei diesen dunklen Teststreifen führte die regennasse Situation darüber hinaus zu dunkleren Fugen, die sich somit besonders auffällig darstellten und zu einer Verstärkung des wahrgenommenen Kontrasts führten. Dieses bestätigen auch die örtlich mit einer Leuchtdichtekamera aufgenommen Kontraste der realisierten Flächen. Hier zeigen die Testbilder mit dunkeln Fugen (Fuge ohne Hell-Dunkel-Kontrast) deutlich erhöhte Werte (K 0,4 bzw. 0,37).

Auffällig ist auch, dass die beiden Teststreifen, die nicht nur dunkle, zum Teststreifen identischen Fugen, sondern auch eine bruchraue Oberfläche zeigten, von 76 bzw. 85 % der Probanden im direkten Vergleich bevorzugt wurden (V 3 und V 5). Beim Vergleich mit dem Test

Bewerten nach Schulnoten - Außenraum (Siehe 6.4.5.1.2) ist festzustellen, dass dort ebenfalls ein bruchrauer Belag mit dunklen Fugen das Feld bei den hellen Testbildern anführt (Testbild 2, siehe Abbildung 142.).

Beim direkten Vergleich der dargebotenen Fugenverbände diagonal und horizontal im Vergleichsbild 1 zeigt sich mit 53 % zu 10 % der Nennungen (bei 37 % der Nennungen „gleich“) eine leichte Bevorzugung des diagonalen Fugenverbands. Eine Beeinflussung durch andere Merkmale wie Oberflächenrauigkeit oder Fugenausprägung ist bei dieser Bewertung ausgeschlossen, da diese bei beiden Teststreifen gleich ausgeprägt sind. Beim Vergleichsbild 3 zeigt sich jedoch, dass das Merkmal Fugenverband offenbar in den Hintergrund tritt, wenn die Fugenausprägung (dunkle Fugen bei dunklem Teststreifen) den Flächenkontrast zwischen Teststreifen und umgebenden flächigen Grundmaterial verstärkt.

#### *Dunkles Grundmaterial, helle Teststreifen*

Bei den hellen Teststreifen umgeben von dunklem Grundmaterial wurde mit dem Bild V 4 ein unmittelbarer Vergleich zwischen Fugen mit und ohne Hell-Dunkel-Kontrast gezeigt. Hier stellte sich das Ergebnis einer eindeutigen Bevorzugung des Merkmals Fugen ohne Hell-Dunkel-Kontrast nicht ein. 19 von 38 möglichen Nennungen erfolgten zwar beim Vergleichsbild 4 (V 4) zugunsten der im Vergleich zum Teststreifen ausgeführten helleren Fugen (helle Fuge und helles Material Teststreifen bei dunklem umgebenden Grundmaterial), jedoch tendierten gleichermaßen 15 Nennungen zu den dunklen Fugen im hellen Teststreifen. Da beide Teststreifen als gebrochenes Material ausgebildet waren, sind hier ergänzende Einflüsse durch die Ausbildung der Oberflächenstruktur auszuschließen.

Im direkten Vergleich zweier heller Teststreifen (V 2) mit gesägter und gebrochener Oberfläche, jedoch in beiden Fällen ohne Hell-Dunkel-Kontrast zum Teststreifen ausgeführten Fugen entschieden sich 79 % der Probanden für die gesägte Oberfläche. Hier ist eine Übereinstimmung mit dem Ergebnis aus dem Test Bewerten nach Schulnoten – Außenraum (siehe 6.4.5.1.2) festzustellen. Hier lag das Testbild 7, dass Fugen ohne Hell-Dunkel-Kontrast und eine gesägte Oberfläche zeigte, auf Rang 1 der Bewertungen bezogen auf die Testbilder mit hellen Teststreifen und dunklem Grundmaterial (Siehe Abbildung 104).





Vergleichsbild 2:  
30 von 38 Nennungen der Probanden fielen auf den linken, gesägten Teststreifen, Teststreifen rechts: bruchrau



Vergleichsbild 4:  
19 von 37 Nennungen fielen auf den linken, bruchrauen Teststreifen. Allerdings fielen mit 15 Nennungen auch eine hohe Anzahl auf den rechten bruchrauen Teststreifen mit Hell-dunkel-Kontrast der Fugen.

Abbildung 145: Vergleichsbild 2 Testrecke Außenraum mit beiden Vergleichsfeldern und Erläuterungen.



Vergleichsbild 1:  
16 von 30 Nennungen für den Diagonalverband (rechts)  
Beide Teststreifen gesägt, mit Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen



Vergleichsbild 3:  
26 von 30 Nennungen für den Reihenverband (links) Teststreifen bruchrau ohne Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen,  
Teststreifen Diagonalverband (rechts) gesägt mit Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen  
Entscheidung für links aufgrund der größeren und dunkleren Fugen.

Abbildung 146: Vergleichsbild 3 Testrecke Außenraum mit beiden Vergleichsfeldern und Erläuterungen

Zusammenfassung der ergänzenden Kommentare der Probanden

Den ergänzenden Kommentaren der Probanden ist zu entnehmen, dass die Gleichmäßigkeit der Struktur des Teststreifens (Vergleichsbild 4) u.a. ausschlaggebend für die Entscheidung für den hellen, gesägten Naturstein mit hellem Fugenmaterial bei dunklem Grundmaterial war.

Der gebrochene dunkle Naturstein (Fugen ohne Hell-Dunkel-Kontrast) wurde in Vergleichsbild 3 u.a. aufgrund der besseren Unterscheidbarkeit durch die erhaben wirkende Oberfläche von einem Probanden gewählt.

Die Probanden betonten jedoch, dass das Sicherheitsempfinden beim Gehen auf einem Bodenbelag im Außenraum eine große Rolle spielt und unebene, ungleichmäßig erscheinende Oberflächen, bei denen beispielsweise dunklere Steine für Stufen gehalten werden könnten, gemieden werden.

Zudem war ein Entscheidungskriterium die bessere Erkennbarkeit der einzelnen Steine und damit der Fugenausprägung innerhalb des Teststreifens (z.B. in Vergleichsbild 3, 4, 5, 6).

### *Fazit*

Einfluss der Fugenrichtung

- Bevorzugung diagonal verlegtes Pflaster konnte nicht bestätigt werden.
- 

Einfluss der Oberflächenrauigkeit

- Entgegen der Hypothese und analog zum festgestellten Trend bei der Schulnotenbewertung bevorzugten die Probanden bei den hellen Teststreifen die gesägte Variante, bei den dunklen Teststreifen jedoch die bruchraue Ausprägung des Belages. Zu vermuten ist, dass bei dem hellen Material die gesägte Oberfläche heller wahrgenommen wird, da sie weniger dunklere Schattenwürfe zeigt, als die bruchraue Oberfläche. Bei den dunklen Teststreifen verweisen die Ergebnisse auf einen umgekehrter Effekt: Durch den Schattenwurf der bruchrauen Oberflächen dürfte der dunkle Effekt verstärkt werden. Dieses Ergebnis entspricht auch den örtlichen Messungen mit der Leuchtdichtekamera, die für die den dunklen Teststreifen mit bruchrauer Oberfläche einen höheren Kontrast als für die Teststreifen mit gesägter Oberfläche zeigen (bei identische Merkmale Fugenausrichtung und Fugenausprägung).

## Einfluss der Fugenausprägung

- Entgegen der Hypothese aber analog zur Schulnotenbewertung ist festzustellen, dass sowohl bei hellen als auch bei dunklen Teststreifen eine ohne Hell-Dunkel-Kontrast zum Material des Teststreifens ausgebildete Fugenausprägung und damit eine den wahrnehmbaren Kontrast zum Grundmaterial verstärkende Fugenausprägung tendenziell von den Probanden bevorzugt wird:
  - Bei dunklem Grundmaterial und hellem Teststreifen: Fugen heller/gleich Teststreifen
  - Bei hellem Grundmaterial und dunklem Teststreifen: Fugen dunkler/gleich TeststreifenAllerdings gibt es hier durchaus variierende Ergebnisse, die darauf hindeuten, dass das Erkennen der Fugenstruktur auch ein wichtiges, die Unterscheidbarkeit von Flächen verstärkendes Merkmal ist.
- Um das Merkmal Fugenverband, nicht zu negieren und die Fugen verschwimmen zu lassen, ist jedoch eine kontrastierende Fugenausprägung von Vorteil. (Fugen bei hellem Teststreifen heller, Fugen bei dunklem Teststreifen dunkler als das Teststreifenmaterial)

Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl dargebotener Testfelder und der geringen Anzahl der Probanden ist dieses Ergebnis als Trend zu werten, der einer vertiefenden Untersuchung durch weitergehende Tests, z.B. auch bei variierenden Belichtungsbedingungen bedarf.



Abbildung 147: Die Mehrzahl der Probanden bevorzugt eine den Flächenkontrast verstärkende Fugenausprägung (rechts) gegenüber einem den Fugenverband verstärkendem Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen.

## 6.5 Grenzen der Studien – Probandenuntersuchungen im Labor und auf Teststrecken

Es muss festgehalten werden, dass an den Untersuchungen im Innen- wie im Außenraum lediglich 25 bzw. 19 Probanden mit den unterschiedlichsten Fähigkeiten im Sehen (Wahrnehmung von Kontrasten wie auch Farben), des Restsehvermögens sowie der Blendempfindlichkeit teilgenommen haben.

Die Tabelle 42 zeigt für alle Tests im Überblick, welche Erkrankungen bzw. bei welchem Visus je Test die schnellsten bzw. die langsamsten Reaktionszeiten gemessen wurden. Die große Varianz der Ergebnisse zeigt, keine eindeutige Präferenz oder Benachteiligung bei einer Krankheit für alle Tests gleichermaßen sondern von Test zu Test eine Unterschiedlichkeit der Reaktionszeiten. Auch in Bezug auf den Visus ist nicht erkennbar, dass die Probanden mit dem geringsten Visus grundsätzlich die längsten Reaktionszeiten zeigen. Dieses Ergebnis kann darauf hindeuten, dass die untersuchten Merkmale für alle Teilnehmer eine Relevanz aufweisen. An dieser Stelle sei auch auf die Auswertung der Reaktionszeiten in Bezug auf das Alter, den Einfluss der Farbsehfähigkeit oder die Kontrastsehfähigkeit, die in einzelnen Test vorgenommen wurden, verwiesen, die ebenfalls keine eindeutigen Abhängigkeiten erkennen ließen (siehe z.B. Abbildung 141).

Entsprechend lässt sich konstatieren, dass die Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit eine sehr heterogene Gruppe bilden.

Diese Heterogenität ist mit den Probanden, die sich beteiligt haben, sehr gut abgebildet, die im Visus eine Bandbreite von 0,02 bis 0,8 zeigen. Ein Festlegen ausschließlich auf Probanden mit einem Visus von 0,1 (oder wie von uns zunächst beabsichtigt von 0,1 bis 0,3) wäre in diesem Sinne nicht zielführend. Es ist anzunehmen, dass die drei beteiligten Probanden mit einem Visus von  $>0,3$  subjektiv eine starke Sehschwäche aufweisen, da sie dem sehr gezielt formulierten Aufruf zur Beteiligung an dem Test gefolgt sind. Die Ergebnisse zeigen auch für diese Probanden keine Spitzenwerte in den Reaktionszeiten.

Vor diesem Hintergrund können die Ergebnisse durchaus im Sinne eines Trends als valide gewertet werden.

Tests	Einfluss des Fugenanteils (LA1)	Einfluss des Fugenverbandes (LA2)	Einfluss der Fugenkombination (LA3)	Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB)	Einfluss der inneren Materialstruktur (LC)	Teststrecken
Rangfolge nach Summe						
1	Hornhautentfernung, Hornhauttransplantation, rheumatoide Arthritis, Katarakt	Glaukom	Makulafleck, Glaukom, Atrophie der Sehzellen	Makulafleck, Glaukom, Atrophie der Sehzellen	Hornhautentfernung, Hornhauttransplantation, rheumatoide Arthritis, Katarakt	Juvenile Makuladystrophie
2	Makulafleck, Glaukom, Atrophie der Sehzellen	Makulafleck, Glaukom, Atrophie der Sehzellen	Retinitis pigmentosa (RP), Zapfen-Stäbchen-Dystrophie (ZSD)	Retinitis pigmentosa (RP), Zapfen-Stäbchen-Dystrophie (ZSD)	Makuladegeneration, Katarakt, Glaukom, Kurzsichtigkeit, Netzhautablösung (gelasert)	Glaukom
3	Altersabhängige Makuladegeneration	Trockene Altersabhängige Makuladegeneration	Glaukom	Trockene Altersabhängige Makuladegeneration	Trockene Altersabhängige Makuladegeneration	Kurzsichtigkeit
4	Trockene Altersabhängige Makuladegeneration	Katarakt (re), Einblutung, Netzhautablösung, Tumor (li)	Makuladegeneration, Katarakt, Glaukom, Kurzsichtigkeit, Netzhautablösung (gelasert)	Glaukom	Kurzsichtigkeit	Makuladystrophie
5	Katarakt (re), Einblutung, Netzhautablösung, Tumor (li)	Makuladegeneration, Katarakt, Glaukom, Kurzsichtigkeit, Netzhautablösung (gelasert)	Trockene Altersabhängige Makuladegeneration	Makuladegeneration	Altersabhängige Makuladegeneration	AMD

Tabelle 42: Sortierung der Krankheitsbilder je Test nach Summe der Reaktionszeiten von 1-5, wobei 1=längste Reaktionszeitensumme über gesamten Test (Gelb-Abstufungen belegt mit Krankheiten von Dunkel nach hell: Erkrankung der Netzhaut oder Linse, Hornhauterkrankungen, Glaukom-Erkrankungen, Makula-Erkrankungen, Kurzsichtigkeit)

	Einfluss des Fugenanteils (LA1)	Einfluss des Fugenverbandes (LA2)	Einfluss der Fugenkombination (LA3)	Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB)	Einfluss der inneren Materialstruktur (LC)	Teststrecken
Rangfolge nach Summe						
1	0,063 (Tafel) R: 0,063 (Unikl.) L: HBW (Unikl.)	0,04	0,02 (Tafel) 5-10% Restsehen, eigene Angabe	0,02 (Tafel) 5-10% Restsehen, eigene Angabe	0,063 (Tafel) R: 0,063 (Unikl.) L: HBW (Unikl.)	n.n.
2	0,02 (Tafel) 5-10% Restsehen, eigene Angabe	0,02 (Tafel) 5-10% Restsehen, eigene Angabe	HBW, erkennt nichts auf der Tafel	HBW, erkennt nichts auf der Tafel	0,063 (Tafel) 8% eigene Angabe	0,16
3	0,063 (Tafel) 0,3 eigene Aussage	0,032 (Tafel)	0,04	0,032 (Tafel)	0,032 (Tafel)	0,032
4	0,032 (Tafel)	0,16 (Tafel) R: 0,4 L: 0,05	0,063 (Tafel) 8% eigene Angabe	0,04	0,032 (Tafel) 5% besseres Auge n. Aussage	0,1
5	0,16 (Tafel) R: 0,4 L: 0,05	0,063 (Tafel) 8% eigene Angabe	0,032 (Tafel)	0,125 (Tafel)	0,063 (Tafel) 0,3 eigene Aussage	0,063

Tabelle 43: Sortierung des Visus je Test nach Summe der Reaktionszeiten von 1-5, wobei 1=längste Reaktionszeitensumme über gesamten Test (Gelb-Abstufungen belegt mit Visus-Stufen von Dunkel nach hell:  $\geq 0,1$ ; 0,05 bis 0,1; 0,03 bis 0,05;  $< 0,03$ )

*Fehlerbetrachtungen bei den Tests**Labortests*

Durch die Nutzung des OMBEA Audio-Response-Systems ergeben sich sowohl bei den Probandentests unter Laborbedingungen als auch bei den Teststrecken Nachteile für die Datenaufnahme. Die Größe der Fernbedienung des OMBEA-Systems wurde von knapp der Hälfte der Probanden als zu klein bemängelt. Weiterhin ist die Eingabe mit leichtem Druck zu tätigen, sodass das System einige zu leicht gedrückte Antworten nicht erfasst und der Versuchsleiter den Probanden zur nochmaligen Eingabe auffordern muss. Diese Reaktionszeiten sind somit länger und nicht verwertbar. Zwei Probanden gaben bei den Labortests die Antworten so schnell über die Fernbedienung ein, dass das OMBEA-System noch nicht zur Eingabe bereit war. Der Proband kann erst die Eingabe tätigen, wenn das System die Eingabe freigibt und das Eingaberechteck in der Präsentation grün erscheint. Somit wurden die Antworten dieser zwei Probanden verzerrt, da sie absichtlich langsamer gegeben wurden.

*Teststrecken*

Bei den Untersuchungen auf den Teststrecken müssen mehrere Fehlerquellen genannt werden. Es ist festzustellen, dass dem Ergebnis eine relativ geringe Probandenzahl (n=19 bzw. 17 aufgrund fehlender Daten) zugrunde liegt und darüber hinaus bei den gebauten Teststrecken mit größeren Messungenauigkeiten zu rechnen ist. Die dargebotenen Folien laufen nicht automatisch nach Eingabe der Probanden fort. Die Eröffnung der Präsentation zur Erfassung der Reaktionszeit und Richtigkeit der Antwort mit dem OMBEA Audio-Response-System musste daher je Testbild manuell per Eingabe am Laptop erfolgen. Daraus ergibt sich, dass bei den Untersuchungen auf den Teststrecken eine sekundengenaue Gleichzeitigkeit des manuellen Aufdeckens des Testfelds mit der manuellen Eröffnung der Präsentation nicht gegeben ist. Möglicherweise ergeben sich so kleine Verzögerungen in den Reaktionszeiten.

Im Innenraum war lieferungsbedingt der Materialstreifen bestehend aus Steinplatten breiter (80cm) als die Materialstreifen (60cm). Dadurch war für einige Probanden die Lage des schmäleren, sich von der Grundfläche abhebenden Materialstreifens nicht klar ersichtlich. Dies führte möglicherweise zu Falschnennungen bzw. Reaktionszeitverzögerungen.

Durch die Lage in der Freifläche war die Teststrecke der Witterung ausgesetzt. Das führte dazu, dass die Strecke zeitweise durch Regenereignissen nass war. Insgesamt konnten zwei der neunzehn Probanden die Testfelder im trockenen Zustand bewerten, 17 Probanden im nassen Zustand.

## 7. Zusammenschau der Ergebnisse

Aus der durchgeführten Auswertung der DIN-Normen sowie den Recherchen zum Stand der Forschung geht hervor, dass für den Einfluss u.a.

- der Größe (im Falle von bodengebundenen Leitelementen der Breite) von Leitelementen sowie
- der Form (Fugenbild, Fugenanteil),
- der räumlichen Anordnung (beispielsweise Unterbrechungen, Fugenverband),
- Betrachtungsabstand (Einfluss Beobachtungsgeometrie) und
- Belichtung/Beleuchtung (Einfluss Lichtfarbe / Beleuchtungsarten / Beleuchtungsgeometrie)

auf die Wahrnehmung von Kontrasten in Leitsystemen grundsätzlich keine validen Untersuchungen vorliegen, aus denen praxisorientierte Beschreibungsgrößen abgeleitet werden könnten. Daher wurde in Rahmen des Forschungsprojektes zunächst eine große Bandbreite von Tests bzw. weitere Untersuchungen durchgeführt, um die Relevanz dieser bisher nicht wissenschaftlich untersuchten Einflussgrößen für den Forschungsgegenstand der bodengebundenen Leitelemente zu überprüfen und möglicherweise bereits näher spezifizieren zu können. Als Grundlage für die Tests und Untersuchungen dienten Messungen und Aufnahmen einer gängigen Auswahl typischer Innen- und Außenraumbeläge, für die im Lichtlabor der TU Dresden nach dem Messverfahren in Anlehnung an die DIN 32984 systematisch die photometrischen Leuchtdichtekontraste, Reflexionsgrade und Strukturanteile gemessen wurden. Unabhängig von den Ergebnissen der weiteren durchgeführten Untersuchungen und Tests stehen diese Messergebnisse für eine große Anzahl von typischen Innen- und Außenraummaterialien nunmehr erstmalig auch als planerische Grundlage und Nachschlagewerk für Planer- und Planerinnen zur Verfügung.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die im folgenden dargelegten Ergebnisse der durchgeführten Probandentests unter typischen Tages- bzw. Kunstlichtbedingungen und nicht bei nächtlicher Beleuchtungssituation stattgefunden haben, die bei der Realisierung von Leitelementen ebenfalls zu berücksichtigen ist (DIN 32984 fordert in der Einleitung eine „ausreichende Beleuchtung“).

Die dargelegten Ergebnisse können vor diesem Hintergrund derzeit zu keiner Abweichung der in DIN 32984 dargelegten Anforderungen führen.

Gleichwohl weist die hier vorliegende Forschung wichtige Erkenntnisse bezüglich der Materialeigenschaften von Bodenmaterialien aus, die jedoch durch weitere Forschung konkretisiert werden müssen.

*Ergebnisse Untersuchungen zu Beleuchtungsspektrum / Beleuchtungs- und Beobachtungsgeometrie*

Die lichttechnischen Labormessungen an exemplarischen Bodenmaterialien aus dem Außen- und Innenraum zeigen deutlich den erheblichen Einfluss lichttechnischer als auch geometrischer (Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung) Merkmale auf die Kontrastwirkung von Bodenmaterialien. Dies unterstreicht den Bedarf an der Definition von einheitlichen Messbedingungen, um eine objektive Bewertung kontrastierender Wirkung von Bodenoberflächen erzielen zu können.

Für Oberflächenpaarungen mit bunten Flächen besteht ein bedeutsamer Einfluss des Spektrums des beleuchtenden Lichtes. Hier könnte durch die zwingende Bewertung mit den Normlichtarten A und D65 praktische Abhilfe getroffen werden. Kein solcher Einfluss zeigt sich erwartungsgemäß für rein unbunte Oberflächenkombinationen. Ein geringer und unter praktischen Gesichtspunkten vernachlässigbarer Einfluss besteht durch die spektrale Bewertung des Beobachters (2°-Kleinfeld- versus 10°-Großfeldbeobachter gemäß internationaler Normung).

Weiterhin übt die Kombination aus Beleuchtungs- und Beobachtungsrichtung einen großen Einfluss auf die praktische Kontrastwirkung gängiger Oberflächen aus. Insbesondere in Gegenüberstellung von Beleuchtung durch Gegenlicht (Licht primär von vorn) mit seitlicher oder von oben strahlender Beleuchtung zeigen sich die größten Unterschiede praktischer Kontrastwirkung. In vielen Fällen kommt es dabei sogar zu einer Kontrastumkehr der beteiligten Materialien und dies unabhängig davon, ob eine Paarung „normgemäße“ Kontraste aufweist oder nicht. Dabei ist festzustellen, dass auch geometrische Oberflächeneigenschaften (Struktur, Textur, Rauigkeit usw.) die praktische Kontrastwirkung bedeutsam beeinflussen.

Die in der Normung gewählte Messsituation charakterisiert die farblichen bzw. rein helligkeitsbezogenen Reflexionseigenschaften der Materialien. Geometrische Oberflächeneigenschaften sind bei dieser Form der Kontrastbewertung als Einfluss nahezu ausgeschlossen. Wie die Auswertungen der Messungen zu exemplarischen Situationen zeigen, beeinflussen diese jedoch die praktische Kontrastwirkung bedeutsam. Für einige Situationen determinieren sie



diese sogar. Um zukünftig eine größere Deckung zwischen „normgemäßem“, photometrischem Kontrast und „praktischer“ wahrnehmbarer Kontrastwirkung in typischen Anwendungssituationen herzustellen, bedarf es weiterer Forschung.

#### *Ergebnisse Untersuchungen zu spezifischen Merkmalen bodengebundener Leitelemente*

Die untersuchten Merkmale Fugenbilder, innere Struktur und Oberflächenrauigkeit können zur Verbesserung der Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelementen beitragen.

Die Ergebnisse der durchgeführten labortechnischen Untersuchungen, der Probandentests unter Laborbedingungen und auf Teststrecken zeigen in der Zusammenschau, dass Merkmale bodengebundener Leitelemente wie das Fugenbild, eine auffällige, streuungsreiche innere Struktur des Materials und die Oberflächenrauigkeit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Erkennbarkeit von Leitelementen leisten kann. Auch wenn die Signifikanz der Ergebnisse in den Probandentests mit Reaktionszeitmessungen aufgrund der geringen Probandenzahl nicht ganz klar nachgewiesen werden konnte, so lassen sich die Trends für die auf den Teststrecken näher untersuchten Merkmale Oberflächenrauigkeit, Fugenverband und Fugenausprägung durch die Anwendung methodisch variierender Tests teilweise bestätigen.

#### *Einfluss der inneren Struktur*

Anhand der lichttechnischen Messungen und darauf fußender Untersuchungen konnte ein Vorschlag für einen messtechnisch begründeten Kennwert zur Beschreibung der Inhomogenität einer inneren Materialstruktur erarbeitet werden. Die Wahrnehmungsversuche mit Probanden liefern zudem bedeutsame Hinweise darauf, dass die Unterscheidbarkeit benachbarter Flächen durch eine geeignete Kombination innerer Materialstrukturen neben der Leuchtdichtekontrastwirkung verbessert werden kann. Zukünftige Versuche können somit aussichtsreich dieses Thema weiterführend untersuchen.

#### *Fugenverband*

Die in den Probandentests unter Laborbedingungen ermittelten Trends einer verbesserten Erkennbarkeit von bodengebundenen Leitelementen bei Kombination homogener bzw. wenig durch Fugen gegliederter Flächen mit Flächen, die deutlich davon abweichende Fugenrichtungen und erhöhte Fugenanteile zeigen, konnte in den auf den Teststrecken im Außenraum durchgeführten Wahrnehmungstests (Reaktionszeiten, Schulnoten, Bewertung in der Bewegung und Materialvergleiche) teilweise bestätigt werden.

### *Fugenausprägung*

Bei der näheren Untersuchung der Fugenausprägung durch Wahrnehmungstests im Außenraum ist festzustellen (außer beim Test „Erkennen nach Reaktionszeiten“ für alle Test mit einheitlichem Ergebnis), dass bei in hellem Material ausgebildeten bodengebundenen Leitelementen (Teststreifen) tendenziell Fugenausprägungen, die heller oder annähernd gleich zum Teststreifenmaterial ausgebildet sind gegenüber einem deutlich Hell-Dunkel-Kontrast (dunkle anthrazifarbene Fugen zu beigem Teststreifenmaterial) zwischen Fuge und Material des Teststreifens bevorzugt werden. Bei in dunklem Material ausgebildeten bodengebundenen Leitelementen (Teststreifen) werden analog Fugenausprägungen, die dunkler als das dunkle Material des Teststreifens ausgebildet sind, besser bewertet. Damit wird tendenziell eine Fugenausbildung bevorzugt, die den wahrnehmbaren Kontrast der Fläche Teststreifen zum Fläche des Grundmaterials verstärkt. Aufgrund der begrenzten Anzahl der realisierten Teststrecken konnte nicht untersucht werden, ob sich dieser deutliche Trend auch bei höheren oder geringeren Kontrasten zwischen Grundmaterial und Teststreifen darstellen würde. Gleichmaßen konnte nicht untersucht werden, ob dieser Effekt bei größeren Formaten (im Test waren Steinformate 10 x 10 cm) ebenfalls auftritt. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

### *Einfluss der Oberflächenrauigkeit*

Die in den labortechnischen Messungen, also unter diffusen Lichtverhältnissen nachgewiesene Varianz der gemessenen Reflexionsgrade eines Materials bei unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung (Oberflächenrauigkeit) ist auch durch die Wahrnehmungstests auf den Teststrecken außen und innen als Einflussfaktor auf die Erkennbarkeit identifizierbar. Mit Ausnahme des Tests nach Reaktionszeiten zeigen die insgesamt vier durchgeführten Tests einheitliche Ergebnisse.

Demnach verbessert im Außenraum bei dunklen Teststreifen eine bruchraue Oberfläche und bei hellen Teststreifen eine gesägte Oberfläche die Unterscheidbarkeit. Offenbar wird bei dem hellen Material die gesägte Oberfläche heller wahrgenommen, da sie bei den für die Tests zu Grunde gelegten diffusen Lichtbedingungen weniger dunklere Schattenwürfe zeigt als eine bruchraue Oberfläche. Bei den dunklen Teststreifen verweisen die Ergebnisse auf einen umgekehrten Effekt: Durch den Schattenwurf der bruchrauen Oberflächen dürfte der dunkle Effekt verstärkt werden. Damit werden erneut die den wahrnehmbaren Kontrast der Flächen verstärkenden Merkmale bevorzugt.

Auch bei den vier im Innenraum durchgeführten Tests bestätigt sich für die Testflächen mit hellem Grundmaterial dieses Ergebnis. Demnach lässt sich Unterscheidbarkeit von Flächen

durch eine starke Oberflächenrauigkeit (Teppich) im Vergleich zu homogenen, glatten Flächen (Linoleum) bei gleichem dargebotenem photometrischen Kontrast zusätzlich erhöhen. Durch den Schattenwurf der Schlaufen erscheint der Teppich dunkler und verstärkt somit in Kombination mit einem hellen Grundmaterial den wahrgenommenen Kontrast.

Die Innenraumtests zeigen, dass bei der angenommenen typischen Intensität einer Innenraumbeleuchtung auch bei dem relativ geringen dargebotenen Kontrast von  $K\ 0,15$  ein bedeutsamer Einfluss der Oberflächenrauigkeit (verbunden innerer Struktur) nachgewiesen werden konnte. Die Mehrzahl der Tests zeigt, dass dieser Effekt bei dunklem Grundmaterial deutlich geringer ausgeprägt ist. (Schattenwurf der Schlaufen = erscheint dunkler = wahrnehmbarer Kontrast wird im Vergleich zum dunklen Grundmaterial verringert).

#### *Merkmal Farbigkeit*

Die Probandentests unter Laborbedingungen zeigen, dass rote und insbesondere gelbe Beläge mit hoher Farbsättigung schneller erkannt werden als kontrastgleiche unbunte Paare.

Allerdings konnte, möglicherweise aufgrund der geringen Anzahl der Probanden, keine bedeutsam schlechtere Bewertung der farbigen Testbilder mit hoher Farbsättigung durch Probanden mit Farbsehschwäche nachgewiesen werden. Erwartungsgemäß beeinflussen offenbar primär die Helligkeitskontraste die Erkennbarkeit.

Bei Farbtönen mit geringer Sättigung (z.B. für Innen- und Außenraumbeläge häufig verwendete Beigetöne) sind im Vergleich zu kontrastgleichen unbunten Kombinationen keine bedeutsamen Unterschiede der Reaktionszeiten festzustellen. Auch die vergleichende Betrachtung der Bewertung durch Probanden mit und ohne Farbsehschwäche zeigte keine auffälligen Unterschiede.

#### *Einfluss der Breite von Leitelementen*

Mit dem Test „Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen“ konnte bei einer zu Grunde gelegten für Leitelemente typischen Betrachtungssituation ein sehr deutlicher Trend dargelegt werden, dass Leitelemente in den Breiten von 20 cm, 30 und 60 cm in den dargebotenden Kontraststufen von  $K\ 0,33$  bis  $0,6$  durchgängig die schnellsten Reaktionszeiten zeigten. Anders als in der DIN 32984, die Leitelemente in Breiten von 30 bis 60 cm vorsieht, bestätigt auch die interferenzstatistische Auswertung, dass das 20 cm breite Leitelement im Durchschnitt der genannten Kontrastbereiche die schnellsten Reaktionszeiten zeigt. Anzumerken ist, dass im Außenraum mindestens 30 cm breite Leitelemente erforderlich sind, um die taktile Erfassbarkeit sicherzustellen.

*Einfluss der Merkmale bei unterschiedlichen photometrischen Kontrasten*

Sowohl die durchgeführten Wahrnehmungstests unter Laborbedingungen als auch auf den Teststrecken, zeigen deutlich, dass Merkmale wie Fugenausprägung und Oberflächenrauigkeit die Unterscheidbarkeit von Belagsflächen verbessern, wenn ihre Ausprägung zu einer Verstärkung der Wahrnehmung von Kontrasten führt.

Auch wenn die Signifikanz aufgrund der geringen Probandenzahlen rechnerisch nicht ganz klar nachgewiesen werden konnte, zeigen die Tests „Innere Materialstruktur“, „Fugenanteil“, „Fugenausrichtung“ und „Kombination von Fugenmustern“ ebenso wie der Test zum Einfluss der Größe von Leitlinien und die Auswertung des Innenraumtests übereinstimmend den Trend, dass diese Merkmale bei niedrigen Kontrasten (bei den dargebotenen Beleuchtungsintensitäten im Bereich bis  $K = 0,25$ ) eine hohe Relevanz besitzen und zu einer verbesserten Erkennbarkeit führen können. Ab einem bestimmten dargebotenen Kontrastwert ist unabhängig von den dargebotenen Kontrasten keine bedeutsame Zunahme der Reaktionszeiten feststellbar. Entsprechend kann gefolgert werden, dass die untersuchten Merkmale bei hohen Kontrasten keinen bzw. einen geringen Einfluss auf die Erkennbarkeit haben dürften und zusätzliche Merkmale für die Erkennbarkeit umso wichtiger sind, je niedriger der photometrische Kontrast ist.

Als unerwarteter Nebentrend hat sich gezeigt, dass ab einem bestimmten Mindestkontrast unabhängig von der Zunahme des dargebotenen photometrischen Leuchtdichtekontrasts grundsätzlich gleichbleibend geringe Reaktionszeiten feststellbar sind. Vor dem Hintergrund dieser Trends werden weitere Untersuchungen zu den Kontrastschwellenwerten im Innen- und Außenraum empfohlen.

Aufgrund der Vielzahl der durchgeführten Tests, die zunächst der grundsätzlichen Überprüfung der bisher wissenschaftlich nicht untersuchter Einflussfaktoren auf das Kontrastsehen dienten, konnte kein Test bei nächtlichen Beleuchtungssituationen durchgeführt werden. Zu bemerken ist in diesem Zusammenhang auch, dass in den einschlägigen DIN-Normen (z.B. DIN 32975, DIN 32984) derzeit keine Bezugsbeleuchtung, die mindestens bei der Realisierung der geforderten Kontraste erfüllt sein muss, beschrieben ist. Entsprechend sind weitergehende Forschungen für den Anwendungsfall der bodengebundenen Leitelemente zu empfehlen, u.a. um die Befunde zur Wirksamkeit der Merkmale in niedrigen Kontrastbereichen bei unterschiedlichen Beleuchtungssituationen (Tageslicht (Blendung) und Kunstlicht Innen und Außen) vertiefend und valide zu prüfen. Möglicherweise könnten auf diese Weise anwendungsbezogene Leuchtdichtekontraste für bodengebundene Leitelemente abgeleitet werden. Da im Außenraum bei Um- oder Neubau in den für bodengebundene Leitelemente typischen

Anwendungsfällen derzeit in der Regel relativ hohe bzw. anpassbare Intensitäten für die nächtliche Beleuchtung eingesetzt werden, könnte durch weitergehenden Forschungen ermittelt werden, welche Leuchtdichtekontraste in Dämmerungs- und Abendstunden bei angepasster Beleuchtungsstärke ggf. auch durch witterungsabhängige Schaltungen zur Anwendung kommen können.

#### *Hinweise zur Messtechnischen Definition von Kontrast*

Die Zusammenschau der deutschen und internationalen Normen zeigt, dass die Definition von „Kontrast“ in den einschlägigen Normen überwiegend als Leuchtdichtekontrast in der Formel nach Michelson erfolgt. Es zeigt sich jedoch auch, dass die darüber hinaus für eine Messung zwingend notwendigen geometrischen und lichttechnischen Randbedingungen nicht einheitlich sind und im Falle mehrerer Normen sogar komplett fehlen. Dies trifft in gleicher Weise auf das Materialkriterium „Reflexionsgrad“ zu. Eine einheitliche oder vielfach auch nur objektive messtechnische Bewertung ist daher in Lesart der Normenlage sehr erschwert und sollte vereinheitlicht werden, da für die Orientierung von Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit bei ungünstigen Belichtungs- und Beleuchtungsverhältnissen einen wichtigen Faktor darstellt.

#### *Hinweise zur Zielgruppe visueller Barrierefreiheit*

Sowohl die Zusammenschau der nationalen und internationalen Literatur als auch die Gespräche der beiden, mit unterschiedlichsten Experten durchgeführten Workshops zeigten, dass neben der Sehschärfe auch Gesichtsfeldeinschränkungen und reduziertes Farbsehvermögen sowie geminderte Kontrastempfindlichkeit als relevante Merkmale für die Definition der Zielgruppe visuell barrierefreier Gestaltung wichtig sind. Diese Aspekte werden in der nationalen und internationalen Normung bislang nicht explizit reflektiert.

Da die Auswertung der Test unter Berücksichtigung des Visus der Probanden (Visus 0,02 bis 0,3 Probandentests Teststrecken, bzw. bis 0,8 Probandentest unter Laborbedingungen) keine deutliche Korrelation zu den Bewertungen zeigte, bestätigt sich, dass die bislang an einzelnen Stellen verwendeten Beschreibungsgrößen nicht ausreichend sind. Beispielsweise legt DIN 32975 für eine barrierefreie Gestaltung einen zu berücksichtigenden Visus von 0,1 zu Grunde. Dabei sind jedoch nach den vorliegenden Ergebnissen visuelle Kontraste auch für Menschen mit deutlich geringerem Visus bedeutsam. Die Auswertung der Probandendaten im Vergleich zu den Testergebnissen mit Reaktionszeiten zeigt keine deutliche Korrelation zum Alter. Mög-

licherweise deutet der Befund darauf hin, dass bei durch Kennwerte beschriebenem Sehvermögen (u.a. Visus) das Alter keinen eigenen Einfluss auf die Wahrnehmung mehr hat. Dieser Befund bietet ebenfalls Anlass für weitere Forschungen.

Überraschend ist auch, dass die Auswertung der Probandentests auf den Teststrecken differenziert nach der Gruppe der Probanden mit und ohne Einschränkung der Kontrastsehvermögens nahezu durchgängig schnellere Reaktionszeiten der Gruppe der Kontrastsehingeschränkten zeigte, ohne dass nennenswerte Unterschiede der Gruppen in Bezug auf Visus und Alter bestehen. Möglicherweise besteht hier die Konfundierung mit anderen Merkmalen, so dass der tatsächliche Einfluss der Kontrastempfindlichkeit nicht erkennbar wird.

Auch wenn aufgrund der insgesamt geringen Probandenzahlen diese Aussagen nicht als valide eingestuft werden können, kann dennoch insgesamt schlussgefolgert werden, dass belastbare Befunde sowohl zum Umfang der für eine Beschreibung notwendigen oder hinreichenden Bereiche des Sehleistungsvermögens (z.B. geometrisches Auflösungsvermögen, Gesichtsfeldmerkmale, Blendempfindlichkeit, Farb- und Helligkeitsunterscheidungsvermögen) als auch zu den jeweils dabei anzuwendenden Beschreibungsgrößen oder Mindestbeziehungweise Höchstausprägungen fehlen.

Wie Literatursauswertung, berichtete praktische Erfahrung und exemplarische theoretische Kalkulationen deutlich zeigen, besteht ein erheblicher Einfluss der Güte des komplexen Sehvermögens auf die Art der visuellen Orientierung (z.B. welche Merkmale in welchen Entfernungen genutzt werden können). Die Nichtdefinition eines solchen „Nutzerprofils“ erschwert sowohl die wissenschaftliche Untersuchung anhand geeigneter Probanden als auch die theoretische Fundierung konkreter Gestaltungsanforderungen. Hierzu sind demnach weitere Forschungsbemühungen mit Nachdruck anzuregen.

#### *Hinweise zu den Nutzeranforderungen*

Neben den oft nur implizit definierten Nutzermerkmalen zeigt die Zusammenschau der Literatur auch Unschärfen in der Definition komplexer Anforderungen visueller Barrierefreiheit.

So können die in den einschlägigen Normen enthaltenen Anwendungs- und Gestaltungsempfehlungen „visuell barrierefreier Ausführung“ vielfach nicht ohne ergänzende Interpretationen mit objektiven Kriterien oder Merkmalen verbunden werden. Dies trifft beispielsweise auf die Gestaltung von vielen Flächen für den Fußverkehr zu. Damit im Zusammenhang steht die Erkenntnis, dass für viele der alltäglichen Wege von Menschen mit Seheinschränkungen nur unzureichendes Wissen darüber besteht, in welchen Situationen welche Infrastrukturmerkmale welchen Beitrag zur visuellen Orientierung liefern (können). Die Komponente „semantischer“ Aspekte visuell barrierefreier Gestaltung (Verständlichkeit, Klarheit, Interpretierbarkeit,

Auffälligkeit usw.) ist bislang in der einschlägigen Literatur und Forschung über vereinzelte Erfahrungsberichte hinaus praktisch nicht abgebildet. Aller momentan begrenzten Erkenntnis über diesen Aspekt nach kann die Bedeutung jedoch als sehr hoch angenommen werden.

Daraus entsteht in Anwendung der Normen eine erhebliche Unsicherheit sowie im Einzelfall ein größerer Einfluss situativer oder individueller Interpretationen aller Beteiligten. Beispielhaft seien die Aspekte „Wegekette“, „visuelle Information“ sowie „Warn-, Informations- und Leitelemente“ benannt. Zu diesen Begriffen sind die verfügbaren Definitionen nicht ausreichend funktional und zudem in vielen Fällen nicht einheitlich im einschlägigen Normen- und Empfehlungswerk. Das umfasst auch das Fehlen klarer Festlegungen dazu, bei welchen situativen Merkmalen welche Kriterien im Sinne der visuellen Barrierefreiheit gesondert planerisch berücksichtigt werden müssen. Hierdurch wird auch der damit beabsichtigte Umstand an sich (im Sinne „Schutzziel“ als Funktion aus Nutzersicht) berührt. Um hier zu einer objektiven Verallgemeinerung kommen zu können, ist weiterführende und darauf gezielt abstellende Forschung dringend erforderlich.

## 8. Empfehlungen für die Planungspraxis

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden für gängige Bodenmaterialien Labormessungen zum photometrischen Leuchtdichtekontrast und zum Reflexionsgrad durchgeführt. Diese Messergebnisse für eine große Anzahl von typischen Innen- und Außenraummaterialien stehen nunmehr erstmalig auch als planerische Grundlage zur Verfügung.

Mit dem vorliegenden Forschungsbericht können darüber hinaus erste Hinweise zum planerischen Umgang mit weiteren, den wahrnehmbaren Kontrast von bodengebundener Leitelemente beeinflussenden Merkmalen getroffen werden:

### *Gestaltungsmöglichkeiten visueller Kontraste bei bodengebundenen Leitelementen*

Wie die Tabelle 47 und Tabelle 48 anschaulich darlegen (siehe Kapitel 12.11), ist die Auswahl der Materialien, die den aktuell in der DIN 32984 bzw. 18040-3 geforderten Leuchtdichtekontrast von mindestens 0,4 und den Mindestreflexionsgrad von 0,5 erfüllen und die analog auch für sogenannte Sonstige Leitelemente (auch bodengebundene Leitelemente) anzuwenden sind, sehr gering. Wie in der Einführung zum Forschungsprojekt dargelegt, führt dieses bei Planern und Auftraggebern zu einer geringen Akzeptanz bei der Umsetzung der barrierefreien visuellen Kontraste bzw. gerade bei Umbauten und in Bestandssituationen zu Schwierigkeiten.

Da bodengebundene Leitelemente im Außenraum überwiegend bei der Umgestaltung von innerörtlichen Geschäftsstraßen und Fußgängerzonen eingesetzt werden, werden aus geschäftsfördernden Gründen in der Regel überdurchschnittliche gestalterische Anforderungen gestellt. Aus stadtgestalterischen, denkmalpflegerisch-historischen Gründen und aus Gründen der Nachhaltigkeit und der Optimierung des Erhaltungsaufwandes wird dabei oftmals auf einen orts- oder regionaltypischen, vielfach jeweils sehr individuellen Materialkanon zurückgegriffen.

In der Praxis dieser Anwendungssituation und vor dem Hintergrund der eingeschränkten Auswahl von Materialien, die die Anforderungen der DIN zu Kontrasten und Reflexionsgrad erfüllen, wird daher häufig die Frage von Materialverwendungen im Bereich der geforderten Mindestkontraste diskutiert.

Der gezielte planerische Umgang mit Merkmalen, die die Wahrnehmung von Kontrasten beeinflussen, eröffnet in diesem Zusammenhang gestalterische Spielräume und kann gleichermaßen zu einer verbesserten visuellen Barrierefreiheit beitragen.



*Kontrastwahrnehmung verstärkende Merkmale bodengebundener Leitelemente*

Folgende Merkmale können bei bodengebundenen Leitelementen zu einer Verstärkung der Wahrnehmung von Kontrasten und damit zu einer besseren Unterscheidbarkeit beitragen.

*Oberflächenrauigkeit*

Bei Wahl eines hellen Belags für bodengebundene Leitelemente verstärkt eine ebenflächige Oberfläche (z.B. gesägter Naturstein oder Linoleum) den wahrnehmbaren Kontrast

Bei Wahl eines dunklen Belags für das bodengebundene Leitelement verstärkt eine raue Oberfläche (z.B. bruchrauer Naturstein oder Teppichstruktur) den wahrnehmbaren Kontrast

Labormessungen des Reflexionsgrades von Natursteinen mit unterschiedlichen Oberflächenbearbeitungen zeigten beispielsweise bei identischen Materialien um bis zu 0,1 variierende Reflexionsgrade. Entsprechend kann bei Natursteinen je nach Wahl der Oberflächenbearbeitung der Kontrast zu benachbarten Materialien zu bedeutsamen Auswirkungen auf die Kontraste kommen. Die durchgeführten Stichprobenmessungen lassen erwarten, dass bei Graniten die Reflexionsgrade durch aufrauende Oberflächenbearbeitungen wie Stocken oder Scharrieren erhöht werden. Bei Sedimentgesteinen wie Sandstein und Grauwacke ist dem gegenüber eine Reduzierung des Reflexionsgrades durch aufrauende Oberflächenbearbeitungen festgestellt worden. Allerdings ist unklar, ob diese Erhöhung bzw. Reduzierung der Reflexionsgrade und damit die Kontraste wie von der DIN verlangt im Gebrauch tatsächlich dauerhaft erhalten bleiben können. Grundsätzlich ist also in der Planungspraxis das für bodengebundene Leitelemente vorgesehene Material in der zur Anwendung kommen Oberflächenbearbeitung der Kontrastmessung unterzogen werden.

Bei der Übertragung von Empfehlungen in die Planungspraxis ist zu berücksichtigen, dass Leitelemente gleichermaßen die Anforderungen von Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit als auch von blinden Menschen erfüllen müssen. Daher sind bei ihrer Gestaltung sowohl visuelle als auch taktile Kontraste zu realisieren (z.B. bruchraue Oberflächen). Raue bzw. profilierte Oberflächen, die den taktilen Anforderungen an Bodenindikatoren entsprechen, können demnach bei den hellen Leitelementen erforderlich werden, um die Anforderungen an den taktilen Kontrast zu erfüllen.

*Fugenausprägung*

Bei Wahl eines hellen Belags für bodengebundene Leitelemente und Wahl eines hohen Fugenteils Ausbildung der Fugen mit Postitivkontrast (Fuge heller als das Material des Leitelements)

Bei Wahl eines dunklen Belags für das bodengebundene Leitelement und Wahl eine hohen Fugenanteils Ausbildung der Fugen mit Negativkontrast (dunkler als das dunkle Material des Leitelements).

Eine Erhaltung der Ausprägung ist durch entsprechende Nachverfugungen sicher zu stellen.

Die örtlichen Kontrollmessungen zur Leuchtdichte, die die Fugenausprägung und Oberflächenbearbeitung/struktur mit erfassten, zeigten beispielsweise im Außenraum bei hellen Fugen in hellem Belag und gesägter Oberfläche des Leitelements um bis zu 0,1 erhöhte Kontraste im Vergleich zu den reinen Materialkontrasten gemäß Labormessung. In Verbindung mit den Ergebnissen der Probandentests wird deutlich, dass das Merkmal Fugenausprägung geeignet ist, im Labor gemessene photometrische Kontraste bzw. Reflexionsgrade zu erhöhen bzw. je nach Ausprägung auch zu reduzieren.

Demnach ist es möglicherweise denkbar, dass im Labor gemessene geringere Materialkontraste als 0,4 in gewissem Maße durch das Merkmal Fugenausprägung ausgeglichen und angehoben werden kann.

Da der Grad der möglichen Kontrastbeeinflussung vom gewählten Fugenmaterial und von der Fugenbreite und der gewählten Oberfläche abhängig ist, sind im Rahmen der bei solchen Bauvorhaben üblichen Bemusterungen vergleichende örtliche Leuchtdichtemessungen an Musterflächen mit und ohne Fugen empfehlenswert. Denkbar ist auch die Berücksichtigung des Fugeneinflusses bei Labormessungen.

#### *Innere Struktur*

Es ist zu erwarten, dass eine auffällige und streuungsreiche innere Struktur einer Fläche wie dieses bei Materialien wie Natursteinen, Werksteinen oder Teppichen zu erzielen ist, kombiniert mit homogenen Belägen zu einer besseren Erkennbarkeit von Leitelementen beiträgt. Auch wenn mit dem entwickelten Inhomogenitätsmaß bereits eine praxisnahe Möglichkeit zur Definition dieses Merkmals vorliegt, kann aus den derzeit vorliegenden Testergebnissen keine abschließende Anwendungsempfehlung abgeleitet werden. Entsprechend sind weitere vertiefende Forschungen zu empfehlen.

#### *Fugenbild*

Nach den vorliegenden ersten Ergebnissen sind diagonal bzw. gegenläufig zur Gehrichtung ausgerichtete Fugenbilder mit vorzugsweise mittlerem bis erhöhtem Fugenanteil des Leitelements kombiniert mit einem Grundbelag ohne oder mit geringem Fugenanteil vorteilhaft für die Unterscheidbarkeit von Leitelementen.

Es ist davon auszugehen, dass darüber hinaus die Wirksamkeit dieses Merkmals gesteigert werden kann, wenn die semantische Einordnung in die jeweiligen räumlichen Situationen eingängig ist und hinlänglich kommuniziert wird (Mobilitätstraining, Angebot Wahrnehmungstraining für mit Menschen mit starken Seheinschränkungen).

#### *Breite von bodengebundenen Leitelementen*

Der Test zur Breite von bodengebundenen Leitelementen zeigt den deutlichen Trend, dass bodengebundene Leitelemente in einer Breite von 20 bis 60cm sehr gut erkannt werden. Insbesondere die bisher in der DIN 32984 nicht abgebildete Breite von 20 cm Schnitt in den getesteten Kontraststufen von K 0,19 bis 0,6 bei Tageslicht durchgängig gut ab. Bei der Übertragung dieser Ergebnisse in die Planungspraxis ist zu berücksichtigen, dass Leitelemente gleichermaßen die Anforderungen von Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit als auch von blinden Menschen erfüllen müssen. In Bezug auf die ertastbarkeit von Leitelementen sieht die DIN 32984 Breiten von 30 bis 60 cm vor. Denkbar ist in diesem Zusammenhang auch die unmittelbare Benachbarung taktil und visuell kontrastierender Leitelemente. Die Untersuchungsergebnisse können daher für den Außenbereich nicht zu einer Abweichung von der in DIN 32984 geforderten Breite von mindestens 30 cm führen.

Aus den Interviews ging deutlich hervor, dass über längere Strecken durchgehende bodengebundene Leitelemente als alleiniges Merkmal als nachteilig eingeschätzt werden, wenn zur Orientierung beitragende ergänzende Merkpunkte fehlen.

Da dem Test zur Breite von Leitelementen auch Hinweise zu entnehmen sind, dass Unterbrechungen nicht zur Verschlechterung der Erkennbarkeit führen, wäre es denkbar, dass gezielte Unterbrechungen von Leitelementen zu einer besseren Orientierung beitragen können, wenn im baulichen Umfeld markante Punkte fehlen. Die Durchgängigkeit eines taktilen Elements muss dabei nicht in Frage stehen.

Aus den Interviews ging darüber hinaus hervor, dass klare semantische Bezüge und die Unverwechselbarkeit in der jeweiligen räumlichen Situation eine wichtige Voraussetzung für die Erkennbarkeit von Leitelementen ist. Dieses sollte bei der Erarbeitung durchgängiger Leitsysteme für funktional zusammenhängende Bereiche (z.B. Fußgängerzonen) gewährleistet werden, um selbst für Besucher eine leichte Erlernbarkeit zu gewährleisten.

*Weitere Hinweise zur Planung barrierefreier Kontraste*

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die sichere Planung visueller Barrierefreiheit nicht ausschließlich durch die Einhaltung der in der DIN geforderten Mindestkontraste und des Mindestreflexionsgrades zu erreichen ist. Vielmehr ist in der Regel die Entwicklung eines Gesamtkonzeptes eines Leit- und Orientierungssystems für einen räumlich und funktional zusammenhängenden Bereich erforderlich. Dieses ist auch dann erforderlich, wenn zunächst nur Teilbereiche realisiert werden, da mit dem ersten Realisierungsabschnitt die Semantik eines erlernbaren Leitsystems definiert wird und damit Merkmale wie Durchgängigkeit, Unterbrechungen, Breite, Oberflächenrauigkeit, Fugenbild festgelegt werden.

Die Entscheidungen sind stark von der jeweiligen räumlichen und örtlichen Situation abhängig. Daher wird empfohlen, dass grundsätzlich die Entwicklung von Leit- und Orientierungssystemen nach dem im „Leitfaden Barrierefreies Bauen“ verankerten Nachweis Barrierefreiheit erfolgen sollte. Damit ist sichergestellt, dass die Entwicklung durch alle Leistungsphasen bearbeitet wird. Bei Bedarf können auch Sachverständige für Barrierefreiheit (Innen- und Außenraum) einbezogen werden. Darüber hinaus sollte bei komplexen Situationen wie Fußgängerzonen oder Eingängen zu publikumswirksamen Gebäuden grundsätzlich eine Bemusterung des Leitsystems vor der Ausschreibung erfolgen. Somit kann die Funktionstüchtigkeit projektspezifisch definierter Kontraste oder die Wahrnehmung von kontrastverstärkenden Merkmalen überprüft und ggf. angepasst werden.

*Dauerhafte Erhaltung des visuellen Kontrasts von bodengebundenen Leitelementen*

Die Erhaltung eines im neuen Materialzustand ermittelten Kontrastes ist bei materialgerechter Pflege im Innenraum bei den meisten Natursteinen, Linoleum und Teppichbelägen erzielbar. Stärkere Veränderungen sind bei Holzbelägen und Betonwerksteinen zu erwarten.

Außenraummaterialien verändern im Gebrauch und witterungsbedingt dagegen in der Regel stärker ihren Leuchtdichtekontrast gegenüber dem Neubauzustand, der der Kontrastermittlung zu Grunde gelegt wird.

*Alterung*

Durch eine gezielte Auswahl von Materialien bzw. gezielte Ausschreibungsanforderungen kann einer Verringerung der Kontraste durch Alterungsprozesse entgegengewirkt werden. Hierbei geht es in erster Linie darum Materialien zu definieren, die auch bei dauerhaften Witterungseinflüssen wie Frost, Tausalz und/oder UV-Strahlung keine Kontrastveränderung erwarten lassen.

*Hinweise zur Ausschreibung von Bodenmaterialien für Leitelemente*

Um die Erhaltung definierter Kontraste sicherzustellen sind Kenntnisse über das Alterungsverhalten gängiger Bodenmaterialien und die Veränderung der Leuchtdichten erforderlich. Hierzu liegen keine Daten/Messungen, sondern lediglich Erfahrungswerte vor. Aufgrund der umfangreicher als geplant durchgeführten Tests waren im Rahmen dieses Projektes keine entsprechenden Probemessungen möglich.

Da die Dauerhaftigkeit eines definierten Leuchtdichtekontrastes jedoch die Entscheidung für oder gegen ein Material gerade bei den geringeren Kontrasten maßgeblich beeinflussen könnte, ist dringend zu empfehlen solche Messungen im Rahmen eines weiterführenden Forschungsprojektes durchzuführen. Die Recherchen haben ergeben, dass auch bei den Herstellern hierzu kaum Informationen vorliegen.

*Naturstein*

Naturstein gilt in der Regel im Innen- und im Außenbereich als Material, das geringe Alterungsspuren durch Witterungs- oder Gebrauchseinflüsse zeigt. Planer können vor der Ausschreibung mit dem jeweiligen Material realisierte und bereits gealterte Referenzprojekte heranziehen und ggf. örtliche Kontrastmessungen durchführen lassen.

Tatsächlich ist jedoch seit ca. 10 Jahren eine große Bandbreite von Natursteinmaterialien auf dem Markt (China, Vietnam, Indien), für die oftmals noch keine gealterten Referenzprojekte vorliegen. Möglichweise können hier gezielte Labortests analog zur Prüfung der Frostbeständigkeit den Alterungsprozess simulieren (ggf. auch auf andere Materialien anwendbar).

*Klinker*

Bodenklinker gehören erfahrungsgemäß zu den farbstabilsten Materialien. Entsprechend sind auch dauerhaft konstante Kontrastwerte zu erwarten. Aufgrund der hohen Dichte des Materials sind beispielsweise im Außenraum auch bei intensiver Nutzung kaum Alterungsprozesse festzustellen. Allerdings ist das Spektrum der erhältlichen Farben aufgrund des Grundmaterials Ton gerade in helleren Farbtönen eingeschränkt.

*Betonwerkstein*

Die Dauerhaftigkeit der Leuchtdichte bei Betonwerksteinen kann durch eine präzise Definition der Zuschlagstoffe aus Naturstein beeinflusst werden. Einen nicht unerheblichen Einfluss haben jedoch auch die Zusatzstoffe des Zementleims, die zum Färben eingesetzt werden.

Zur Herstellung dunkler Farbtöne werden nach wie vor vielfach Ruße eingesetzt, die nicht UV beständig sind und dazu führen, dass dunkle Betonflächen im Laufe der Zeit deutlich heller

werden. Um die avisierten Kontraste dauerhaft sicherzustellen, sollten daher anstellen von Ruß u.ä. Oxide als Pigmentzusätze eingesetzt werden. Darüber hinaus ist der Einsatz von Weißzement (Eisenoxidarme Portlandzemente) bei hellen Farbtönen zu empfehlen da dieser mit Farbpigmenten färbbarer ist als Betone mit grauem Zement. Für die Farbgebung ist darüber hinaus auch der Farbton des eingesetzten Sandes wichtig.

Da die Hersteller die Betonrezepturen im Detail in der Regel nicht bekanntgeben, kann dem nur durch entsprechende weitere Forschungen und Spezifizierung der Rezepturen bei Anforderungen des Materials an die visuelle Barrierefreiheit begegnet werden.

Eisenoxid gelb, rot, schwarz sind mögl. (treten so auf)

Eisenoxide sind in der Natur vorkommende Oxide oder Hydroxide von Eisen.

Titanoxid weiß

Titandioxid wird mit Hilfe chemischer Reaktionen aus dem natürlich vorkommenden Eisenerz Ilmenit (Titaneisen) gewonnen.<sup>3</sup>

### *Wartung*

Eine optisch wahrnehmbare Aufhellung von dunklen Materialien entsteht durch Ablagerungen von i.d.R. vergleichsweise helleren Stäuben (aus Luft). In diesen Situationen erscheint der Belag heller, kann jedoch durch Reinigung vom Schmutz befreit werden und erscheint danach wieder dunkler. Bei hellen Materialien führen Schmutzablagerungen dagegen vielfach zur Verminderung der Helligkeit. Hier gilt es die Reinigungsverfahren der Beläge näher zu analysieren und hinsichtlich der dauerhaften Erhaltung der visuellen Kontraste zu spezifizieren.

Sowohl im Innen- als auch im Außenraum liegen derzeit keine systematischen Kenntnisse zur Auswirkung unterschiedlicher Pflege- und Wartungsverfahren auf die Entwicklung von Kontrasten vor. Hier wird dringend die systematische Erhebung von Informationen empfohlen.

### *Informationen zur Semantik von Leitsystemen*

Sowohl aus den Interviews als auch aus den Expertengesprächen geht hervor, dass ein großer Handlungsbedarf in der gezielten Information zur jeweiligen Semantik von Leitsystemen besteht. Für Menschen mit Seheinschränkungen könnte diese Information durch gezielte Einspeisung in die gezielt von und für diese Zielgruppe entwickelten Navigationsapps Verbreitung

---

<sup>3</sup> [http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/44.e171\\_titandioxid.html](http://www.zusatzstoffe-online.de/zusatzstoffe/44.e171_titandioxid.html).

finden. Weiterhin zeigen die Interviews deutlich, dass auch die gezielte Integration in die Mobilitätstrainings bzw. das Angebot von Wahrnehmungstrainings für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit eine entscheidende Rolle spielt. Nach ersten Einschätzungen scheint dieses nach Neugestaltungen mit integrierten Leitsystemen aus sonstigen Leitelementen nicht konsequent zu erfolgen. Die Schnittstellen konnten in diesem Forschungsprojekt nicht detailliert untersucht werden, stellen aber möglicherweise eine Schlüsselrolle in der Nutzbarkeit barrierefreier Gestaltungen dar.





## 9. Literaturverzeichnis

Biastoch, O. (2014): Studienarbeit zum Thema Näherungsweise Ermittlung von Kenngrößen visueller Barrierefreiheit. TU Dresden. Fakultät für Verkehrswissenschaften. Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr. Professur für Verkehrspsychologie.

BMG (Hrsg.) (1996): Verbesserung von visuellen Informationen im öffentlichen Raum: Handbuch für Planer und Praktiker zur bürgerfreundlichen und behindertengerechten Gestaltung des Kontrasts, der Helligkeit, der Farbe und der Form von optischen Zeichen und Markierungen in Verkehrsräumen und Gebäuden. Bonn: Bundesministerium für Gesundheit.

BMUB (Hrsg.) (2016): Leitfaden Barrierefreies Bauen. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

BMVIT (Hrsg.) (2003): Strassenraum für alle – Planung für geh- und sehbehinderte Menschen. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Böhringer, D. (2012): Barrierefreie Gestaltung von Kontrasten und Beschriftungen. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. Untersuchung im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr 634.0/2008-01-21/138.

Bright, K.; Cook, G. (2010): The Colour, Light and Contrast Manual. Designing and Managing Inclusive Built Environments. Oxford: Wiley-Blackwell.

Buser (2008): Verbesserte Lesbarkeit von Bildschirminformationen für Sehbehinderte im öffentlichen Verkehr.

Buser, F. (2013): Vortrag. Low Vision

Dalke et al. (2003): Research with users: color design and lighting for public transport, prison and health care environments. In: Proceedings of Include. Inclusive Design for Society and Business. London: Royal College of Art

Dalke et al. (2009): Measurement for a more visible world: colour contrast and visual 134 Impairment. In: National Physical Laboratory. MINET Conference: Measurement, Sensation and Cognition.

Dalke et al. (2004a): Building Research and Information, Future Integrated Transport - The Role of Colour and Lighting in Inter-Modal Transport Environments.

Dalke, H. (2004b): Inclusive Transport Environments: Colour Design, Lighting and Visual Impairment. In: Department for Transport. Future Integrated Transport Programme. Progress and Results.

Dalke et al. (2005): Inclusive transport environments: colour design and visual impairment. In: Include 2005. London: Royal College of Art.

Dalke et al. (2010): A colour contrast assessment system: design for people with visual impairment. In: Langdon, P.; Clarkson, P. J.; Robinson, P. (Hrsg.). Designing Inclusive Interactions. London u. a.: Springer.

Dalke et al. (2003): Research with users: color design and lighting for public transport, prison and health care environments. In: Proceedings of Include. Inclusive Design for Society and Business. London: Royal College of Art

Darius, S. et al. (2010): Beurteilung der Kontrastempfindlichkeit – Ein Methodenvergleich . Prakt. Arb.med. 21: 28-31

DBSV (2012): Sehbehinderung im Alter Informationen zu Sehbehinderungen, Hilfen und Maßnahmen. Aus der Reihe Sehen im Alter. Verfügbar unter: [http://www.dbsv.org/fileadmin/publikationen/20\\_265\\_Testwarenkorb/DBSV\\_Brosch\\_Pflegepersonal.pdf](http://www.dbsv.org/fileadmin/publikationen/20_265_Testwarenkorb/DBSV_Brosch_Pflegepersonal.pdf) (Zugriff am 15.12.2015).

DIN EN 12665:2011-09 Licht und Beleuchtung – Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung.

DIN EN 12464-1:2011-08 Beleuchtung von Arbeitsstätten – Arbeitsstätten in Innenräumen.

DIN 32975:2009-12. Gestaltung visueller Informationen im öffentlichen Raum zur barrierefreien Nutzung.

DIN 5036-3:1979-11. Strahlungsphysikalische und lichttechnische Eigenschaften von Materialien; Messverfahren für lichttechnische und spektrale strahlungsphysikalische Kennzahlen.

DIN 32984: 2011-10. Bodenindikatoren im öffentlichen Raum.

DIN 18040-1:2010-10. Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude.

DIN 18040-3:2014-12. Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 3: Öffentlicher Verkehrs- und Freiraum.

Echterhoff, W. et al. (1994) Orientierungshilfen für Sehbehinderte im öffentlichen Bereich durch Verbesserung der visuellen Kontraste. Abschlussbericht Kontrastoptimierung. Bundesministerium für Familie und Senioren.

Finger, R.P.; Fimmers, R.; Holz, F. G.; Scholl H. P. N. (2011) Incidence of blindness and severe visual impairment in Germany: projections for 2030. Invest Ophthalmol Vis Sci. 52(7):4381-4389

Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen (Bundesbehindertengleichstellungsgesetz – BGG)

Hagen, K. (2009) Untersuchung der Kontrastforderungen nach E-DIN 32975 an Haltestellen. Diplomarbeit an der Fachhochschule Jena. Fachbereich SciTec Augenoptik.

Joos, R. et al. (2012) Bericht „Eruierung des für Seheingeschränkte relevanten Blickwinkels auf Objekte im öffentlichen Verkehr bezüglich Kontrolle des gesetzlich geforderten Kontrastes“ erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr. Institut für Optometrie – Hochschule für Technik – Fachhochschule Nordwestschweiz.

Land Salzburg, Abteilung Soziales (HRSG) (2008): Barrierefrei Bauen-Wohnen Arbeiten Einkaufen Unterwegs. Land Salzburg, Abteilung Soziales

Lang et al. (2004) Studie. Lesbarkeit von dynamischen Informationsanzeigen mit LED- und LCD Technologie im ÖPNV für Personen mit und ohne Sehbeeinträchtigungen / -behinderungen.

Loeschke, G.; Marx, L.; Pourat, D. (2011) Barrierefreies Bauen Band 1. Kommentar zu DIN 18040-1. Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Lüder, A.; Böckelmann I. (2011) Beurteilung des Zusammenhangs zwischen dem dynamischen Sehen und den Parametern statischer Visus sowie Kontrastempfindlichkeit. Prakt. Arb.med. 21: 22-27

Methling, D. (2006). Messverfahren einschließlich Bewertungsmethodik zur Beurteilung des Kontrastsehvermögens unter Berücksichtigung des Visus. In: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH. 5-2006. Heidelberg: DOZ.

Methling (2013) Bestimmen von Sehhilfen. 3. vollständige überarb. u. erw. Auflage. Stuttgart u.a.: Thieme.

NS 11005.E:2011-10 Universal design of developed outdoor areas-requirements and recommendations

ÖNORM B 1600:2012-02-15 Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen

Pont, U.; Maringer, M.; Wolosiuk, D.; Hofstätter, H.; Hauck, N.; Mahdavi, A. (2016) Das VIDEA-Projekt: Visual Design for All. Angenommen zur Publikation in: Forschungstag 2016. Wien: Fakultät für Arch & RPL (Hrsg.) herausgegeben von der Tu Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung. Forschungstag 2016.

RAL gemeinnützige GmbH (2007) RAL D2 Design. In: Biastoch, O. (2014).

Rau, U. (2012) barrierefrei. Bauen für die Zukunft. 3. vollständig überarbeitet Auflage. Berlin u.a.: Beuth Verlag GmbH.

Schmidt, E. (2013) Auswertung Umfrage Leitliniensystem im Hauptbahnhof Zürich. Zürich: Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen. Umfrage Betroffene.

Schmidt, E.; Buser, F. (2014): Planung und Bestimmung visueller Kontraste. Richtlinien (Vorabzug). Zürich: Schweizerische Fachstelle für behindertengerechtes Bauen (Hrsg.).

SN 521 500:2009 Hindernisfreie Bauten

SN 640 075:2014-12 Fussgängerverkehr-Hindernisfreier Verkehrsraum

SN 640 852:2005 Markierungen – Taktil-visuelle Markierungen für blinde und sehbehinderte Fussgänger

Sozialgesetzbuch (SGB) - Das Zwölfte Buch Sozialgesetzbuch – Sozialhilfe – (Artikel 1 des Gesetzes vom 27. Dezember 2003, BGBl. I S. 3022, 3023), das durch Artikel 3 des Gesetzes vom 31. Juli 2016 (BGBl. I S. 1939) geändert worden ist

STBA (2015): Bevölkerung Deutschlands. 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt (Hrsg.).

Stiebich, A. (2007): Untersuchungen an Treppenmarkierungen zur Umsetzbarkeit von Kontrastforderungen der E-DIN 32975. Diplomarbeit an der Fachhochschule Jena. Fachbereich SciTec Augenoptik.

universalRAUM GmbH (Hrsg.) (2012) Evidenzbasiertes Planungshandbuch EPH Barrierefreiheit. Reihe: EPH. Band 2. 1. Auflage.

VDI/VDE-Richtlinie 6008 Blatt 3. Barrierefreie Lebensräume - Möglichkeiten der Elektrotechnik und Gebäudeautomation.

Wolfram, C.; Pfeiffer, N. (2012) Weißbuch zur Situation der ophthalmologischen Versorgung in Deutschland. München: DOG (Hrsg.).

Wolosiuk, D.; Hofstätter, H.; Pont, U.; Maringer, M.; Schuss, M.; Hauck, N.; Mahdavi, A. (2015) Supporting visual design for all: The videa approach. In: Proceedings of BS2015: 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, Hyderabad, India, Dec. 7-9. 1488-1492.

## 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektablaufplan .....	18
Abbildung 2: Ursachen für Erblindung in Deutschland nach Finger (2011) .....	20
Abbildung 3: Vereinfachtes Modell lichttechnischer Größen nach Buser (2013) .....	22
Abbildung 4. Leuchtdichtekontrast und Reflexionsgrad (Schmidt, Buser 2014) (Anmerkung: Weder in der gedruckten noch in der digitalen Ausfertigung können diese Werte richtig wiedergegeben werden) .....	25
Abbildung 5. Links: Unabhängigkeit von lichttechnisch bestimmtem Kontrast und Beleuchtung. Rechts: Leuchtdichteunterschiede eines Materials durch Schattenwurf bei gleichzeitiger Überblendung des Leitelementes(Schmidt, Buser 2014) .....	28
Abbildung 6. Hartmann-Sehzeichen. Eigene Darstellung. ....	77
Abbildung 7: Diagramm zur Korrelation zwischen Betrachtungsabstand und geometrischer Breite für zwei Sehwinkel.....	79
Abbildung 8. Ausbildung von Leitlinien in der Schweiz (Schmidt, Buser 2014) .....	87
Abbildung 9. Ausbildung von taktil-visuellen Sicherheitslinien in der Schweiz (Schmidt, Buser 2014) .....	87
Abbildung 10. Versuchsaufbau in den Labortests von Dalke (Dalke et al. 2010) .....	91
Abbildung 11. Ausgewählter Betrachtungsbereich (Wolosiuk et al. 2015) .....	93
Abbildung 12. Analyse lichttechnischer Parameter (Wolosiuk et al. 2015 .....	93
Abbildung 13: Fußgängerzone in Minden mit hellem Grundbelag und deutlich kontrastierendem dunklem Leitelement (Bodenindikator) .....	97
Abbildung 14: Fußgängerzone in Herford: Zonierung in Lauf- und Ausstattungzone, Helligkeitskontrast zwischen den Zonen dienen in Verbindung mit Bodenindikatoren als Leitelement.....	97
Abbildung 15: Deutlicher Materialkontrast zwischen Randzone und Platzteppich in Emsdetten .....	98
Abbildung 16: Fußgängerzone Meppen: Leitelement mit Helligkeitskontrast zum dunklen fugenreicher Klinker .....	98
Abbildung 17: Diagramm zum Zusammenhang von Betrachtungsabstand und auflösbarer Detailgröße im Sehoptimum unter Berücksichtigung drei verschiedener Definitionen von Sehbehinderung .....	105
Abbildung 18: Diagramm zum Zusammenhang von Betrachtungsabstand und erfassbarem Schausschnitt unter Berücksichtigung zwei verschiedener Gesichtsfeldgrößen .....	106

Abbildung 19: Zur Veranschaulichung des Einflusses sollen vier exemplarische Darstellungen für den Einfluss der Farbtemperaturen 2000 K, 4000 K, 5800 K und 12000 K (v.l.n.r.) auf eine Materialkombination dienen. Eigene Darstellung. ....	109
Abbildung 20: spektrale Emissionsverteilungen der berücksichtigten Lichtarten .....	110
Abbildung 21: diffuse Beleuchtung mittels Ulbrichtscher Kugel und Beobachtung 45° gegenüber Probenoberfläche .....	111
Abbildung 22: Klassierte Kontrastverteilung der 741 Oberflächenpaarungen für den Außenraum bei Normlichtart A .....	112
Abbildung 23: Kontrast von Außenraumboberflächen mit größtem beobachteten Einfluss der Lichtart .....	113
Abbildung 24: Klassierte Kontrastverteilung der 120 Oberflächenpaarungen für den Innenraum bei Normlichtart A .....	114
Abbildung 25: Kontrast von Innenraumboberflächen (Proben 41 und 43) mit größtem beobachtetem Einfluss der Lichtart .....	115
Abbildung 26: spektrale Hellbewertungsfunktion für Kleinfeld- und Großfeldnormalbeobachter .....	117
Abbildung 27: Beleuchtungs- und Beobachtungsvariation für Labormessungen .....	120
Abbildung 28: Situation A-1, Licht von oben .....	121
Abbildung 29: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-1 .....	122
Abbildung 30: Situation A-2, Licht schräg von vorn .....	123
Abbildung 31: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-2 .....	123
Abbildung 32: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-2 .....	124
Abbildung 33: Situation A-3, Licht flach von vorn .....	124
Abbildung 34: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-3 .....	125
Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-3 .....	125
Abbildung 36: Situation A-4, Licht schräg seitlich (unterer Abbildungsteil: Draufsicht) .....	126
Abbildung 37: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-4 .....	126
Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-4 .....	127
Abbildung 39: Situation A-5, Licht schräg von hinten (unterer Abbildungsteil: Draufsicht) ..	128
Abbildung 40: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation A-5 .....	128
Abbildung 41: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation A-5 .....	129



Abbildung 42: Situation I-1, Licht von oben.....	130
Abbildung 43: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-1 .....	130
Abbildung 44: Situation I-2, Licht von vorn.....	131
Abbildung 45: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-2 .....	132
Abbildung 46: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation I-2 .....	132
Abbildung 47: Situation I-3, Licht seitlich .....	133
Abbildung 48: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-3 .....	133
Abbildung 49: Situation I-4, Licht schräg von hinten .....	134
Abbildung 50: Verteilung auftretender Kontraständerungen in der Situation I-4 .....	135
Abbildung 51: Häufigkeitsverteilung der Probenpaare mit Kontrastumkehr geordnet nach Normkontrast der jeweiligen Paarung in Situation I-4 .....	135
Abbildung 52: Oberflächenbeispiele mit unterschiedlich homogener innerer Materialstrukturen .....	137
Abbildung 53: orts aufgelöste Verteilungen des Reflexionsgrades $p_{\text{dif}/45}$ zweier Oberflächen für je drei Versionen des Auflösungsvermögens (Darstellung der Reflexionsgradskala in Pseudocolorierung).....	140
Abbildung 54: Streubreite der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens .....	141
Abbildung 55: Standardabweichung der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens.....	141
Abbildung 56: Mittelwert der Reflexionsgrade innerhalb einer Oberfläche für 11 Proben, getrennt für je drei Versionen des räumlichen Auflösungsvermögens.....	141
Abbildung 57: Oberflächenbeispiele mit unterschiedlich homogener innerer Materialstrukturen und zugeordneter Standardabweichung der kleinflächig bestimmten Reflexionsgradverteilung .....	142
Abbildung 58: Häufigkeitsverteilung der Zuordnung der untersuchten Bodenmaterialien zu Inhomogenitätsklassen.....	143
Abbildung 59: sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung .....	143
Abbildung 60: diffuser Reflexionsgrad der sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung .....	144
Abbildung 61: Inhomogenitätscharakterisierung der inneren Materialstruktur der sechs Seiten eines Granitwürfels mit unterschiedlicher Oberflächenbearbeitung.....	145
Abbildung 62. Nahbereich nach Bright & Cook (2010) .....	149

Abbildung 63: Übersicht zur Verteilung des Visus über 26 Probanden der ‚Tests unter Laborbedingungen‘ (HBW=Handbewegung) .....	152
Abbildung 64. Testaufbau in Berlin, Betrachtungsabstand 4m.....	154
Abbildung 65. Testaufbau in Dresden, Betrachtungsabstand 2 m.....	154
Abbildung 66: Erläuterung der Nutzung des Audience Response Systems. ....	154
Abbildung 67: Entscheidungsmöglichkeiten für Probanden bei der Benutzung des Audience Response Systems. ....	155
Abbildung 68: Unsicherheitsfaktor, Bilder ohne Fugenanteile.....	158
Abbildung 69: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Untergrund .	160
Abbildung 70: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit hellem Untergrund ....	161
Abbildung 71: Reaktionszeiten für alle Bilder.....	162
Abbildung 72: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Untergrund .	167
Abbildung 73: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit hellem Untergrund ....	168
Abbildung 74: Reaktionszeiten kombiniert für Bilder mit hellem und dunklem Untergrund.	169
Abbildung 75: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit dunklem Hintergrund	173
Abbildung 76: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit mit hellem Hintergrund .....	174
Abbildung 77: Reaktionszeiten kombiniert für Bilder mit hellem und dunklem Untergrund.	175
Abbildung 78: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Breite bodengebunderener Leitelemente‘ .....	179
Abbildung 79 Entscheidungsmöglichkeiten für Probanden bei der Auswahl von bodengebundenen Leitelementen.....	180
Abbildung 80 Fußgängerstraße ohne bodengebundenes Leitelement.....	180
Abbildung 81 Versuchsaufbau .....	180
Abbildung 82: Mittlere Reaktionszeiten über die gezeigten Kontraststufen mit Trend (pol. 4. Gr.) über die mittleren Reaktionszeiten. ....	183
Abbildung 83: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder aller dargebotenen Breiten, Stern bei 100 cm $K=0,4$ steht für eine auffällige Probe mit unerklärlich hoher Fehlerquote bei nur einer Ausrichtung der drei gezeigten. ....	184
Abbildung 84: Betrachtungsausschnitt für $K > 0,2$ und Breite $> 5$ cm .....	185
Abbildung 85: Testbild mit unterbrochener Leitlinie der Breite 30 cm und $K=0,3$ .....	186
Abbildung 86: Testbild mit unterbrochener Leitlinie der Breite 100 cm und $K=0,3$ .....	186
Abbildung 87: Reaktionszeiten und Falschnennungen für Bilder mit unterbrochenen und durchgängigen Leitstreifen mit Breiten 30 cm und 100 cm .....	187

Abbildung 88: Einfluss der Variable Unterbrechung für den Betrachtungsausschnitt $K > 0,2$ und Breite $b > 30$ cm.....	188
Abbildung 89: Kontraste und mittlere Reaktionszeiten über alle Probanden mit Trendlinie über die mittleren Reaktionszeiten für alle dargebotenen Bilder .....	197
Abbildung 90: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder ohne Farbanteile für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur.....	199
Abbildung 91: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit hellgelbem Farbanteil für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur .....	200
Abbildung 92: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit gelben Farbanteilen für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur .....	201
Abbildung 93: Reaktionszeiten nach Farbseheinschränkungen für Bilder mit roten Farbanteilen für Test unter Laborbedingungen Innere Materialstruktur .....	202
Abbildung 94: Paar-Vergleich der Mittleren Reaktionszeiten von Testbildern mit Strukturiertem Partner und Testbildern mit zwei homogenen Partnern mit annähernd gleichen Kontrasten je Vergleichs-Paar .....	203
Abbildung 95: Vergleich strukturierte und homogene Testbilder nach Reaktionszeiten und Kontrast sowie der Mittelwerte je Gruppe.....	204
Abbildung 96: Vergleich strukturierte und homogene Testbilder nach Reaktionszeiten und Inhomogenitätsklassen.....	205
Abbildung 97: Reaktionszeiten, Standardabweichungen und Kontraste für Bilder mit Teppichstrukturen .....	206
Abbildung 98: Reaktionszeiten und Kontraste für Bilder mit Holz-Anteilen .....	207
Abbildung 99: Übersicht Probandenverteilung nach auswertungsrelevanten Visusgruppen	210
<i>Abbildung 100: Verlegung der Materialien im Innenraum, eigene Darstellung.....</i>	<i>214</i>
Abbildung 101: Grundriss des Beyer-Baus, Kennzeichnung Raum 80 (Quelle: Campus Navigator TU Dresden) .....	215
Abbildung 102: Teststrecke im Innenraum, Fotos: Stefanie Kreiser.....	215
Abbildung 103. Verlegung der Materialien im Außenraum.....	217
Abbildung 104: Teststrecke im Außenraum mit ausgeprägten Trocknungsbereichen .....	217
Abbildung 105: Teststrecke im Außenraum im abgetrockneten Zustand.....	217
Abbildung 106 Vorbereitung der Teststrecke, mit einem Tuch abgedeckte Materialfelder im Innenraum, Foto: Stefanie Kreiser .....	223
Abbildung 107 Aufdecken des Testfeldes, Foto: Thea Seifert .....	223
Abbildung 108 Testfeld aus dem Blickwinkel des Probanden im Innenraum. Erkennbarkeit des Materialstreifens .....	224

Abbildung 109 Testfeld aus dem Blickwinkel des Probanden im Innenraum. Materialvergleiche .....	224
Abbildung 110 Visuelle Erkennbarkeit des Materialstreifens im Innenraum.....	224
Abbildung 111 Erkennbarkeit in der Bewegung im Innenraum .....	224
Abbildung 112. Materialvergleich hinsichtlich der Erkennbarkeit zu einem hellen Grundmaterial im Innenraum .....	225
Abbildung 113: Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich .....	225
Abbildung 114. Vergleichsfeld 1 .....	226
Abbildung 115: Materialvergleich Durchgang 3 im Innenraum.....	226
Abbildung 116. Darstellung Ablauf Innenraum Durchgang 1.....	229
Abbildung 117. Darstellung Ablauf Innenraum Durchgang 2.....	230
Abbildung 118: Reaktionszeiten, Falschnennungen und Kontraste je dargebotem Bild ..	233
Abbildung 119. Direkter Vergleich der Testbilder 8 (Rang 1 von 8) und 1 (Rang 6 von 8) ....	234
Abbildung 120: Testbild 7 (Rang 2 von 8) und Testbild 2 (Rang 3 von 8) .....	235
Abbildung 121. Direkter Vergleich der Testbilder 6 und 4 .....	236
Abbildung 122. Auswertung der Reaktionszeiten im Zusammenhang mit der Kontrastsehempfindlichkeit n. Buser .....	237
Abbildung 123: Anteile der Einschätzung mit Schulnoten besser als 2,5 für die Innenteststrecken .....	239
Abbildung 124: Durchschnittsnote für Testfelder im Innenraum mit Kontrast und Standardabweichung.....	240
Abbildung 125. Bessere Erkennbarkeit durch Oberflächenrauigkeit/innere Struktur bei dunklen Grundflächen nicht bestätigt, bei heller Grundfläche analog zum Test Reaktionszeiten verbesserte Erkennbarkeit bei Teststreifen mit Teppichstruktur.....	242
Abbildung 126: Testbild 3 mit Kontrastwerten.....	244
Abbildung 127:Testbild 2 .....	244
Abbildung 128: Testbild 6 .....	244
Abbildung 129. Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich Durchgang 1 .....	246
Abbildung 130. . Darstellung Ablauf Innen Materialvergleich Durchgang 2 .....	247
Abbildung 131: Übersicht aller Vergleichsbilder mit zugehörigem Foto der Kombinationen. ....	249
Abbildung 132: Vergleichsfeld 4 mit Kontrastwerten und Erläuterung .....	250
Abbildung 133: Vergleichsfeld 1 mit Kontrastwerten und Erläuterung. ....	250
Abbildung 134 : Vergleichsbild 6 mit Kontrastwerten und Erläuterung. ....	251
Abbildung 135: Vergleichsbild 5 mit Kontrastwerten und Erläuterung. ....	252

Abbildung 136: Vergleichsbild 1, 15 von 15 Probandenentschieden sich für die linke Seite	253
Abbildung 137: Schematische Darstellung eines Testfelds im Außenraum mit Zuordnung relevanter Begriffe.....	255
Abbildung 138. Darstellung Ablauf Außenraum Durchgang 1. Eigene Darstellung.....	256
Abbildung 139. Darstellung Ablauf Außenraum Durchgang 2. Eigene Darstellung.....	257
Abbildung 140: Reaktionszeiten für Teststrecke Aussen mit Kontrastwerten und Mittlerer Reaktionszeit.....	260
Abbildung 141. Auswertung der Reaktionszeiten im Zusammenhang mit der Kontrastsehempfindlichkeit n. Buser.....	261
Abbildung 142: Durchschnittsnoten, Kontraste und Standardabweichungen für alle gezeigten Bilder der Außenteststrecken.....	264
Abbildung 143: Anteile der Einschätzung mit Schulnoten besser als 2,5 für die Außenteststrecken.....	264
Abbildung 144: Teststreifen mit hellen und dunklen Materialien .....	266
Abbildung 145: Vergleichsbild 2 Teststrecke Außenraum mit beiden Vergleichsfeldern und Erläuterungen.....	271
Abbildung 146: Vergleichsbild 3 Teststrecke Außenraum mit beiden Vergleichsfeldern und Erläuterungen.....	271
Abbildung 147: Die Mehrzahl der Probanden bevorzugt eine den Flächenkontrast verstärkende Fugenausprägung (rechts) gegenüber einem den Fugenverband verstärkendem Hell-Dunkel-Kontrast der Fugen.....	273
Abbildung 148. Testkarten mit Landolt-Ringen des SZB Tests nach Buser. Quelle: <a href="https://szb.abacuscity.ch/de/A~51.041/LCS-Test-SZB">https://szb.abacuscity.ch/de/A~51.041/LCS-Test-SZB</a> (Zugriff am 07.07.2017).....	331
Abbildung 149: Fußgängerzone in Limburg a.d. Lahn mit deutlich abgesetztem Leitstreifen und Unterscheidung im Format .....	342
Abbildung 150: Entwässerungsrinne als Leitelement mit Beschattung in der Fußgängerzone Bergisch-Gladbach, Foto: Margot Gottschling .....	343
Abbildung 151: Abdeckung der Entwässerungsrinne als Leitelement für Blinde und Sehbehinderte, Foto: <a href="http://www.birco.de">www.birco.de</a> .....	343
Abbildung 152: Ertastbare Abdeckung der Entwässerungsrinne als Leitelement für Blinde und Sehbehinderte, Foto: <a href="http://www.birco.de">www.birco.de</a> .....	343
Abbildung 153: Pflanzelement mit schmalem linienhaften Element in der Fußgängerzone in Flensburg, Foto: <a href="http://kessler.kraemer.com">kessler.kraemer</a> Landschaftsarchitekten (links).....	345
Abbildung 154: kontrastreiche Abflussrinnen in der Fußgängerzone in Flensburg, Foto: <a href="http://kessler.kraemer.com">kessler.kraemer</a> Landschaftsarchitekten (rechts).....	345

---

Abbildung 155: Fußgängerzone in Wesel mit Einrichtungsband und farblich abgesetztem Gehbereich.....	347
Abbildung 156: deutlich farbliche Unterschiede in der zonierten Fußgängerzone in Herford (links).....	349
Abbildung 157: durch dunklen Belag abgesetzte Leitelemente und Gehbahnen mit deutlich hellerem großformatigen Belag in der Fußgängerzone in Herford (rechts).....	349
Abbildung 158: Fußgängerzone in Minden mit hellem Grundbelag und deutlich kontrastierendem dunklem Leitelement.....	350
Abbildung 159: Deutlicher Materialkontrast zwischen Randzone und Platzteppich in Emsdetten (links).....	352
Abbildung 160: Unterbrechung des Zonierungsprinzips an einer Kreuzungssituation in Emsdetten (rechts).....	352
Abbildung 161: Fassadenansicht mit Vorzone aus Klinkerbelag und hell abgesetztem Leitelement (links).....	354
Abbildung 162: Platzsituation aus Klinkerbelag mit zwei Verlegearten und hell abgesetztem Klinkerbelag (rechts).....	354
Abbildung 163: Kontrastierend vom Umgebungsbelag abgesetzte Gehbahnen und kleinformatige, bruchraue Randzonen in der Fußgängerzone in Warburg (rechts) .....	356
Abbildung 164: Großformatige Fahrzone mit rechts- und linkseitiger kontrastierender Gehbahn farblich und materiell abgesetzt.....	356
Abbildung 165: Durch dunklen Klinker abgesetzter Leitstreifen in hellem homogenen großformatigem Belag (links).....	357
Abbildung 166: Durch dunklen Klinker abgesetzter Leitstreifen in hellem homogenen großformatigem Belag (rechts).....	357
Abbildung 167: Test Fugenanteil: Standardabweichungen der Reaktionszeit für Bilder mit dunklem Untergrund .....	385
Abbildung 168: Test Fugenanteil: Standardabweichungen der Reaktionszeit für Bilder mit hellem Hintergrund.....	385
Abbildung 169: Test Fugenverband: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit dunklem Untergrund .....	386
Abbildung 170: Test Fugenverband: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit hellem Untergrund .....	386
Abbildung 171: Test Fugenkombination: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit dunklem Untergrund .....	387

Abbildung 172: Test Fugenkombination: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit hellem Untergrund .....	387
Abbildung 173: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder aller dargebotenen Breiten .....	388
Abbildung 174. Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit unterbrochenen und durchgängigen Leitstreifen mit Breiten 30 cm und 100 cm .....	388
Abbildung 175. Leuchtdichtekontraste der Materialkombinationen im Innenraum.....	427
Abbildung 176. Leuchtdichtekontraste der Materialkombinationen im Außenraum .....	430
Abbildung 177. Messung der Leuchtdichtekontraste im Außenraum .....	431
Abbildung 178: Standardabweichungen und Reaktionszeitenmittel je dargebotener Bilder	434
Abbildung 179: Reaktionszeiten und Standardabweichungen für alle gezeigten Bilder der Außenteststrecken.....	436





## 11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für Leuchtdichten (Joos et al. 2012) .....	23
Tabelle 2: Übersicht über typische Beleuchtungsstärken durch natürliche und künstliche Lichtquellen.....	29
Tabelle 3: Einteilung der Lichtfarben nach Farbtemperatur .....	30
Tabelle 4: Übersicht über typische Lichtfarben natürlicher und künstlicher Lichtquellen.....	30
Tabelle 5: Zusammenstellung visueller und taktiler Eigenschaften von Bodenindikatoren nach DIN 32984:2011-10 .....	52
Tabelle 6: Länderspezifische Übersicht für Beispiele 'Sonstiger Leitelemente' .....	56
Tabelle 7: Länderspezifischer Vergleich der Anforderungen zur Planung von Kontrasten .....	59
Tabelle 8: Lichttechnische Begriffe im Vergleich der DIN-Normen DIN 18040-1 und -3, DIN 32984 und DIN 32975 .....	63
Tabelle 9. Übersicht des "Drei-Prioritäten-Modells" mit empfohlenen Werten für Kontraste, Leuchtdichten und Seh winkeln nach BMG (1996). .....	76
Tabelle 10. Größe und Kontraste der eingeblendeten Leitlinien im Labortest von 1994 (Echterhoff et al. 1994). .....	79
Tabelle 11:Übersicht zu analysierten realisierten Projekten (BI = Bodenindikator, EW = Entwässerungsrinne, Struktur = Innere Struktur, Fugen = Fugenanteil, R = Reflexionsgrad, K = Kontrast.....	100
Tabelle 12: Übersicht Untersuchungsgegenstände mit Qualifizierungsbedarf und Untersuchungsmethode.....	104
Tabelle 13: Vorschlag für eine reflexionsgradbasierte Inhomogenitätsklassierung von Bodenmaterialien .....	142
<i>Tabelle 14: Übersicht der durchgeführten Rekrutierungsmaßnahmen mit resultierender Anzahl an Probanden .....</i>	<i>150</i>
Tabelle 15: Beispielhafte Untersuchungsstruktur des Test Einfluss des Fugenanteils.....	157
Tabelle 16: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser für drei Kontraststufen jeweils für hellen und dunklen Hintergrund der Labortests Fugenanteil .....	159
Tabelle 17: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Fugenverband‘ .....	164
Tabelle 18: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser für drei Kontraststufen jeweils für hellen und dunklen Hintergrund der Labortests Fugenverband .....	166
Tabelle 19: Übersicht zur Untersuchungsstruktur des Labortests ‚Fugenkombination‘ .....	171
Tabelle 20: Übersicht Mittelwerte Reaktionszeiten gegliedert nach Test und Hintergrund .	176
Tabelle 21: Übersicht der gezeigten Testbilder je geplanten Kontraststufen.....	181

Tabelle 22: Übersicht F-Wert und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser je Kontraststufe .....	182
Tabelle 23: F-Werte und Signifikanzen nach Greenhouse-Geisser je Kontraststufen. ....	187
Tabelle 24: Übersicht aller gezeigten Testbilder mit zwei realen Materialbildern für den Test 'Innere Materialstruktur' unter Laborbedingungen inkl. der Angabe des Kontrastes anhand der im Labor ermittelten Reflexionsgrade der Einzelproben (erster Wert mit K=) und dem in der Testumgebung ermittelten Kontrastwert (zweiter Wert mit K=). Grau unterlegte Testbilder sind nicht ausgewertet worden.....	194
Tabelle 25: Übersicht aller gezeigten Testbilder mit einem realen Materialbild und einer homogen grauen Fläche für den Test 'Innere Materialstruktur' unter Laborbedingungen inkl. der Angabe des Kontrastes anhand der im Labor ermittelten Reflexionsgrade der Einzelproben der Materialproben (erster Wert mit K=) und dem in der Testumgebung ermittelten Kontrastwert (zweiter Wert mit K=). Grau unterlegte Testbilder sind nicht ausgewertet worden. ....	196
Tabelle 26: Übersicht über die mittleren Reaktionszeiten für die Probandengruppen 'uneingeschränktes Farbsehvermögen', 'eingeschränktes Farbsehvermögen' und 'farbenblind für fünf Bildergruppen.....	199
Tabelle 27: Übersicht der Probandenakquisitionen mit resultierender Anzahl an Probanden .....	209
Tabelle 28: Zusammenfassende Darstellung - Ableitungen aus den Ergebnissen der Tests unter Laborbedingungen .....	221
Tabelle 29: Übersicht der gezeigten Bilder der Teststrecke im Innenraum .....	231
Tabelle 30: Übersicht der Materialkombinationen je Auswertungsbild mit Materialerläuterung für Teststrecke Innenraum und Kontrastwerten in örtlicher Gegebenheit.....	232
Tabelle 31. Vergleich der Rangfolgen von Schulnoten und Reaktionszeiten auf der Teststrecke im Innenraum, mit F= Farbe .....	240
Tabelle 32. Auswertung der Nennungen für das Erkennen in der Bewegung im Innenraum mit 1= besser, 0= gleich, 2= schlechter und F= Farbe .....	243
Tabelle 33. Ergebnisse Materialvergleiche Innenraumteststrecken, mit K= Kontrast und F= Farbe .....	248
Tabelle 34: Übersicht der gezeigten Vergleichsbilder beim Test Materialvergleiche der Teststrecke im Innenraum.....	248
Tabelle 35. Auswertung der Nennungen bei den Materialvergleichen 2 mit K= Kontrast und F= Farbe.....	253

---

Tabelle 36: Übersicht gezeigte Testbilder im Test Erkennen der Teststreifen der Teststrecke im Außenraum .....	258
Tabelle 37: Übersicht der Materialkombinationen je Auswertungsbild mit Materialerläuterung für Teststrecke Außenraum.....	259
Tabelle 38: Vergleich der Rangfolgen von Reaktionszeiten, Schulnoten (Durchschnitt und Anteil > Note 2,5) auf der Teststrecke im Außenraum, mit k=Fugen mit Kontrast hell-dunkel, g=gesägte Oberfläche, b=bruchraue Oberfläche, D=Diagonalverband .....	262
Tabelle 39. Auswertung der Nennungen für das Erkennen in der Bewegung im Außenraum in Anzahl der Nennungen,D=Diagonalverband .....	266
Tabelle 40: Übersicht Vergleichsbilder mit zugehörigem Foto der Materialkombinationen..	268
Tabelle 41. Auswertung direkter Materialvergleich mit K= Kontrast .....	269
Tabelle 42: Sortierung der Krankheitsbilder je Test nach Summe der Reaktionszeiten von 1-5, wobei 1=längste Reaktionszeitensumme über gesamten Test (Gelb-Abstufungen belegt mit Krankheiten von Dunkel nach hell: Erkrankung der Netzhaut oder Linse, Hornhauterkrankungen, Glaukom-Erkrankungen, Makula-Erkrankungen, Kurzsichtigkeit) .....	275
Tabelle 43: Sortierung des Visus je Test nach Summe der Reaktionszeiten von 1-5, wobei 1=längste Reaktionszeitensumme über gesamten Test (Gelb-Abstufungen belegt mit Visus-Stufen von Dunkel nach hell: $\geq 0,1$ ; 0,05 bis 0,1; 0,03 bis 0,05; $< 0,03$ ) .....	275
Tabelle 44 Probandenübersicht aller Probanden für Labortests und Teststrecken mit Zuordnung Visus und Zuordnung der Teilnahme an Tests .....	329
Tabelle 45: Gesamttabelle labortechnisch erfasster Proben mit zugehörigem Reflexionsgrad und deren Zuordnung zu den Tests. ....	440
Tabelle 46: Probenübersicht mit Zuordnung der Inhomogenitätsklassen für den Test 'Einfluss der inneren Materialstruktur'. ....	442
Tabelle 47: Übersicht aller im Projekt unter Laborbedingungen erfassten Reflexionsgrade mit Markierung der möglichen Kontrastpartner mit einem Kontrast nach DIN $K > 0,4$ und der Erfüllung des Kriteriums Mindestreflexionsgrad der helleren Fläche $R > 0,5$ . ....	443
Tabelle 48: Übersicht aller im Projekt unter Laborbedingungen erfassten Reflexionsgrade mit Markierung der möglichen Kontrastpartner mit einem Kontrast nach DIN $K > 0,4$ ohne die zusätzliche Erfüllung des Mindestreflexionsgrad $R > 0,5$ als blau markiert. ....	444



## 12. Anhang

### 12.1 Expertenworkshops

#### 12.1.1 Expertenworkshop I

Um die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projektverlauf, die vorliegenden Zwischenergebnisse sowie den geplanten Fortgang des Projektes kritisch zu diskutieren fand am 19. Juli 2016 ein Expertenworkshop statt. Die Veranstaltung wurde vom Forschungsteam in den Räumlichkeiten der TU Dresden organisiert. Zu der Veranstaltung wurden Fachleute auf dem Gebiet der Barrierefreiheit aus Deutschland und der Schweiz als Teilnehmer angefragt.

Von den eingeladenen Experten nahmen teil:

- Dietmar Böhringer, u.a. Beauftragter für barrierefreies Gestalten des Verbandes für Blinden- und Sehbehindertenpädagogik e.V. (VBS)
- Fritz Buser, Low Vision Buser
- Hilke Groenewold, DBSV - Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e. V.
- Erika Mühlthaler, Architektin
- Michael Müller, Sachverständiger für barrierefreies Planen, Club Behinderter und ihrer Freunde Darmstadt e. V., Behindertenbeauftragter der Stadt Darmstadt für barrierefreies Bauen und Mobilität
- Prof. Dipl.-Ing. Axel Stockmar, Hochschule Hannover, Innenarchitektur, Lehrgebiet Lichttechnik

Eingeladen, jedoch verhindert, waren weiterhin:

- Knut Junge, ift Rosenheim GmbH
- Anuschka Hesse-Germann, Projektbüro Mobilität und Verkehr (bis zum 31.12.2015 geleitet von Prof. Dr. Wilfried Echterhoff)
- Univ.-Prof. Dr. sc. nat. habil. Christoph Schierz, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik
- Nadine Metlitzky, Architektin

Von dem Forschungsteam nahmen teil:

- Prof. Dipl.-Ing. Irene Lohaus, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Sören Meyer, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Stefanie Kreiser, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Dipl.-Psych. Christoph Schulze, Professur für Verkehrspsychologie
- Šárka Voríšková, universalRAUM GmbH. Institut für evidenzbasierte Architektur im Gesundheitswesen

Der Veranstaltungstag war in einen Vormittags- und einen Nachmittagsblock gegliedert. Am Vormittag wurden durch das Forschungsteam die Projektziele, das Vorgehen und die Methodik der bereits abgelaufenen Projektmonate sowie erste Ergebnisse aus den Labortests, die sich zu dieser Zeit in einer vorläufigen Auswertungsphase befanden, erläutert. Im Anschluss daran wurden aufbauend auf den vorgestellten Ergebnissen mögliche Gestaltungskriterien visueller Barrierefreiheit von sonstigen Leitelementen diskutiert.

Der Nachmittagsblock begann mit der Vorstellung von Ergebnissen lichttechnischer Messungen von Bodenmaterialien durch das Forschungsteam. Anschließend wurden die durchgeführten Untersuchungen zu alternativen Messverfahren von Kontrasten dargestellt. Zum Abschluss wurden die erläuterten Inhalte beider Veranstaltungsteile diskutiert und eingeschätzt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Einschätzung zusammengefasst wiedergegeben.

#### *Zum Stand der Forschung*

Es wird von der Expertenrunde angeregt, auf die Darstellung älterer, auch methodisch und fachlich ggf. inzwischen überholter Forschungsergebnisse zu verzichten (wie z. B. Prof. Echterhoff et al. aus dem Jahr 1996). Das Forschungsteam erachtet die dargestellten Arbeiten jedoch sowohl als frühe als auch als sehr umfangreiche Veröffentlichung, welche das Themenfeld zunächst für weitere Forschungen eröffnet hat. Hinweise zu weiteren Publikationen werden aufgenommen und in die Auswertung einbezogen.

#### *Projektziele und Methodik*

Die Methodik und die vorgesehenen Labor- und Probandentests werden durchgängig als zielführend und nachvollziehbar erachtet. Es wird der Hinweise gegeben, dass zur Vertiefung der Forschungsthemen möglicherweise Optometristen mit einzubeziehen wären, um die physiologischen Aspekte des Sehens, z.B. beim Test zur inneren Struktur von Materialien, mit einzubeziehen. Zudem wird auf das Projekt „Eruierung des für seheingeschränkte relevanten Blickwinkels auf Objekte im öffentlichen Verkehr bezüglich Kontrolle des gesetzlich geforderten Kontrastes“ (erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr 2012) verwiesen, welches zeigt, dass die situative Orientierung sehr stark vom Betrachtungswinkel der Personen selbst abhängt. Es wird zudem auf den Ansatz hingewiesen, dass barrierefreie Lösungen nur dann gut funktionieren, wenn auch Normalsehende von der Lösung profitieren. In diesem Sinne solle nach Meinung einiger Experten auch das Projekt bearbeitet werden.

*Erste Ergebnisse aus den Probandentests*

Das Forschungsteam erläutert kurz die Labortests mit Probanden. Dabei werden zum einen der Weg hin zum Testaufbau und den Inhalten, zum anderen das Testdesign vorgestellt, welches letztlich angewandt wurde. Abschließend werden die ersten Ergebnisse der bereits abgeschlossenen Untersuchungen in Berlin präsentiert.

Hierzu gab es einige konstruktive Anmerkungen der Workshop-Teilnehmer, welche entsprechend in der Runde zur Diskussion gestellt wurden. Allgemeine Kritik gab es zunächst bspw. zu den Laborbedingungen, die das Team vorsieht. So wird nach Meinung eines Experten durch die abgedunkelte Situation ein Dämmerungs- oder Nachtzustand simuliert, was aber nicht explizit als Forschungsfrage formuliert ist. Des Weiteren wird die Darbietungsart hinterfragt, da durch die Projektion kein realer Betrachtungswinkel abgebildet wird. Zudem wird der Abstraktionsgrad der Darstellungen kritisiert. Mehrere Experten schätzen den Grad der Abstraktion als zu hoch und damit nicht passend zu den gestellten Fragen ein. Als Verbesserungsvorschläge werden bedruckte Karten oder ein in den Tisch eingebauter Monitor, besser noch eine Projektion auf den Boden angetragen. Diese Kritikpunkte konnten jedoch in der Diskussion der Vor- und Nachteile weitgehend ausgeräumt werden. Die Abstraktion dient der Fokussierung auf zu untersuchende Einzelaspekte. Da die Bilder durch die Projektion in einer tageslichtähnlichen Situation gezeigt werden, empfinden die Teilnehmer das gezeigte nicht als Dämmerungs-, sondern als labortypische Testsituation. Der reale Betrachtungswinkel wird bei den Teststrecken mitbetrachtet.

Um die Kriterien der Probandenauswahl abzusichern, werden auch diese den Experten zur Diskussion gestellt. Primäre Dissonanz bringt das vom Forschungsteam eingesetzte Kriterium des Visus zwischen 0,1 und 0,3. Bei dieser Auswahl würden nach Expertenmeinung potentielle Teilnehmer ausgeschlossen. Besser sei demnach die selbstständige Bewegung im Stadtraum als oberstes Kriterium der Auswahl anzusetzen, was in der Folge auch Probanden mit einem geringeren Visus einschließen kann. Tatsächlich hatten die teilnehmenden Probanden einen Visus zwischen 0,02 und 0,9 (auf dem besseren Auge) so dass eine sehr große Bandbreite an Sehschärfegraden mit den Tests abgedeckt ist. Weiter wird vorgeschlagen, mit allen Probanden vor den Untersuchungen einen Kontrastsehtest durchzuführen, um später Bezüge zu den gewonnenen Daten im Hinblick auf das Kontrastsehvermögen aufmachen zu können. Der Vorschlag wird aufgegriffen und bei der Durchführung der Probandentests auf Teststrecken umgesetzt.

Weiterhin kommt es zu einem regen Austausch zu Erfahrungen mit Probandentests auf Teststrecken, die nützliche Hinweise zu der weiteren Konzipierung und Umsetzung der Teststrecken im Rahmen dieses Forschungsprojektes lieferten.

Im weiteren Verlauf werden die Tests im Einzelnen konkreter diskutiert und durch die Experten eingeschätzt. Durch die Anmerkungen können einige positive Erkenntnisse, auch für die Weiterbearbeitung des Projektes gewonnen werden. Häufig wird dabei der Praxisbezug der Tests und den daraus generierten Aussagen hinterfragt. Beispielsweise wird die Sorge geäußert, dass aus Ergebnissen der Test mit Fugenbezug Hinweise an Planer resultieren könnten, dass kontrastierende Fugen als einziges Kriterium für eine kontrastreiche Gestaltung gelten könnten. Diese Bedenken konnten ausgeräumt werden, da sowohl die Laborbedingungen als auch der Abstraktionsgrad und das Testdesign dazu beitragen, bestimmte Kriterien zunächst präzise und isoliert zu untersuchen. Dies ist auch das Ziel insbesondere der Labortests. Auch die Aussage einiger Experten, dass die Blickrichtung und damit die wechselnde Ausrichtung vermutlich einen relevanten Einfluss auf die Kontrast-Wahrnehmung haben, ist richtig und nachvollziehbar. Doch auch hier muss auf das Test-Design mit dem Ziel der isolierten Untersuchung einzelner Kriterien hingewiesen werden. Der Hinweis, dass die Teststreifen bei den präsentierten Richtungen „rechts“ und „links“ eingebettet in den homogene Fläche und nicht am äußersten Rand angelagert gezeigt werden sollten, um die Fokussierung auf die Linie zwischen den präsentierten Flächen zu vermeiden wird aufgegriffen und in den Teststrecken umgesetzt.

#### *Ergebnisse zu lichttechnischen Messungen von Bodenmaterialien*

Nach der Vorstellung der Ergebnisse der lichttechnischen Untersuchung von Bodenmaterialien wird in erster Linie der Beobachtungswinkel, unter dem Leuchtdichtmessungen im Labor durchgeführt werden, diskutiert. Ebendiese Auswirkungen unterschiedlicher Messwinkel sind auch Gegenstand der Untersuchungen. Durch Testmessungen im Lichtlabor werden die Auswirkungen von verschiedenen Beobachtungswinkeln und verschiedenen Beleuchtungsarten auf die Kontraste von Materialien untersucht.

#### *Untersuchungen zu alternativen Messverfahren von Kontrasten*

Zu dem Punkt der alternativen Messmethoden ist festzustellen, dass durch die verschiedenen Hintergründe und Tätigkeiten der Experten ein sehr umfangreiches und teilweise stark divergierendes Meinungsbild vorherrscht. Folglich nimmt dieser Punkt viel Raum in der Diskussionsrunde ein.

Angesprochen werden beispielsweise in Entwicklung befindliche Apps oder Messungen mittels Farbfächer. Einigkeit herrscht bei den Experten vor allem darüber, dass bisher keine adäquate Methode verfügbar ist. Dabei wird aber immer wieder der Vorteil von In Situ-Messungen



betont. Diese sind vor allem wichtig, um Messungen in verschiedenen Zeitzuständen durchführen zu können. Dafür ist die zukünftige Entwicklung von mobilen Messgeräten nach geschlossener Experten-Meinung unerlässlich. Dies würde auch den Planern und späteren Nutzern Sicherheit in der Handhabung der Thematik Barrierefreiheit durch Kontraste verschaffen. In Bezug auf ebendiese mobile Lösung wird der LRV (*Light Reflectance Value*) als möglicher Alternativ-Wert zum Leuchtdichtekontrast angesprochen. Hintergrund sind die hier bereits weiter fortgeschrittenen Entwicklungen zu Messgeräten. Jedoch wird diese Variante sehr kontrovers und ohne abschließendes Ergebnis diskutiert.

### *Abschlussdiskussion*

Ebenso wirft die Abschlussdiskussion des aufschlussreichen Tages einige Fragen auf, die nicht abschließend beantwortet werden können, die jedoch teilweise in dem vorliegenden Forschungsvorhaben weitergehend betrachtet werden.

Eine große Frage des Workshops ist die Messung von Kontrasten zum Beispiel für dreidimensional ausgeprägte sonstige Leitelemente. Ein Beispiel hierfür ist ‚Drei-Seiten-Kontrast‘ von Wand zu Hallenboden zu Wand aus der DIN 18032, die in der Form in einer gebauten Situation nicht überprüft werden kann und dennoch gefordert wird.

Ein weiterer Punkt der Abschlussdiskussion ist die Frage nach der Gewichtung des Reflexionsgrades für die Planung und den Einsatz bodengebundener Materialien im Außenraum. Nach Einschätzung der Experten ist ein Reflexionsgrad der helleren Fläche von 0,5 als weiteres Kriterium eine große Hürde für Außenraummaterialien und hat ebenso Einfluss auf die herrschende Unsicherheit zu barrierefreien Kontrasten. An dieser Stelle kommt ebenso eine intensive Diskussion über den Reflexionsgrad auf. Hier überwiegt die Meinung, dass dieser im Bereich der Schriftzeichen in der in der DIN dargelegten Form und für Gefahrenstellen Relevanz hat, während der Mindestreflexionsgrad pauschal für alle sonstige Leitelemente nach DIN zu hinterfragen ist. Insgesamt bleibt aber die Frage der Bewertung von Messung im Verhältnis zur Unterschiedlichkeit der Wahrnehmungssituation bestehen.

### *Fazit*

Als Ergebnis des Workshops bleibt einvernehmlich stehen, dass aktuell nicht jede Situation, die planerisch beurteilt werden muss, durch eine Norm abgebildet werden kann. Ebenso reicht allein die Messung des Leuchtdichtekontrastes nach Meinung der Experten nicht aus, um die Funktionstüchtigkeit der visuellen Barrierefreiheit abzubilden, sondern dass weitere Kriterien, wie diese z.B. in diesem Forschungsprojekt näher spezifiziert werden sollen, einzubeziehen

sind. Konstatiert wird auch, dass in Bezug auf weitere Kriterien, die nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes sind, ebenfalls noch weiterer Forschungsbedarf besteht wie zu Messverfahren, Wahrnehmungsmustern von Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit und der Orientierungsfunktion bestimmter Elemente im stadträumlichen und baulichen Kontext gibt. Diese Fragestellung fließt auch ein in das Problem der Interaktion von Flächen, die Einfluss auf die Kontrastwahrnehmung haben. Wie kann diese Interaktion zukünftig bewertet werden und wie kann man bestimmte Einflüsse bspw. Beleuchtung in die Betrachtung, Bewertung und letztlich auch Planungspraxis einbeziehen.

Hier tritt dann der Konflikt zu Tage, dass einerseits die Präzision und die genormten Bedingungen einer Laboruntersuchung notwendig sind, um einheitliche Werte für die Beurteilung von Kontrasten zu generieren, andererseits aber bspw. die Lichtbedingungen und Beobachtungswinkel einer realen Situation für die Beurteilung unerlässlich sind, im Labor aber kaum in Gänze abgebildet werden können. Vor diesem Hintergrund wird auch eine Priorisierung bzw. Differenzierung der Kontrastwerte wie in den schweizerischen Richtlinien zur Barrierefreiheit für Deutschland als sinnvoll erachtet.

Die Experteneinschätzung macht ebenso klar, dass der Planungsprozess und die Forderung der Barrierefreiheit noch enger verknüpft werden müssen.

### 12.1.2 Expertenworkshop II

Um die gewonnenen Erkenntnisse aus den durchgeführten Test unter Laborbedingungen und auf Teststrecken, wie schon im Sommer 2016 für die Zwischenergebnisse und den Projektfortgang durchgeführt, kritisch zu diskutieren, fand am 6. April 2017 der zweite Expertenworkshop statt. Die Veranstaltung wurde wiederum vom Forschungsteam in den Räumlichkeiten der TU Dresden organisiert, zu der Fachleute auf dem Gebiet der Barrierefreiheit aus Deutschland und der Schweiz als Teilnehmer angefragt wurden.

Von den eingeladenen Experten nahmen teil:

- Dietmar Böhringer, u.a. Beauftragter für barrierefreies Gestalten des Verbandes für Blinden- und Sehbehindertenpädagogik e.V. (VBS)
- Fritz Buser, Low Vision Buser
- Hilke Groenewold, DBSV - Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e. V.
- Nadine Metlitzky, Architektin
- Erika Mühlthaler, Architektin
- Univ.-Prof. Dr. sc. nat. habil. Christoph Schierz, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Eingeladen, jedoch verhindert, waren weiterhin:

- Michael Müller, Sachverständiger für barrierefreies Planen, Club Behinderter und ihrer Freunde Darmstadt e. V., Behindertenbeauftragter der Stadt Darmstadt für barrierefreies Bauen und Mobilität
- Anuschka Hesse-Germann, Projektbüro Mobilität und Verkehr (bis zum 31.12.2015 geleitet von Prof. Dr. Wilfried Echterhoff)
- Prof. Dipl.-Ing. Axel Stockmar, Hochschule Hannover, Innenarchitektur, Lehrgebiet Lichttechnik

Von dem Forschungsteam nahmen teil:

- Prof. Dipl.-Ing. Irene Lohaus, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Sören Meyer, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Stefanie Kreiser, Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau
- Dipl.-Ing. Dipl.-Psych. Christoph Schulze, Professur für Verkehrspsychologie
- Šárka Voríšková, universalRAUM GmbH. Institut für evidenzbasierte Architektur im Gesundheitswesen

Der Veranstaltungstag war in einen Vormittags- und einen Nachmittagsblock gegliedert. Am Vormittag wurden durch das Forschungsteam das letztendliche Vorgehen und die Methodik der durchgeführten Tests nach dem Expertenworkshop I erläutert. Anschließend wurden die Ergebnisse testweise vorgestellt und diskutiert. Im Anschluss daran wurden mögliche Gestaltungskriterien visueller Barrierefreiheit insbesondere von sonstigen Leitelementen aufbauend auf den Testergebnissen diskutiert.

Der Nachmittagsblock beinhaltete die Untersuchungsergebnisse zu den geometrischen Aspekten des Sehvermögens. Daran anschließend wurden die möglichen Auswirkungen auf die Gestaltung diskutiert. Im Anschluss wurden die Ergebnisse der Arbeiten zum Beobachterspektrum und der Kontrastwirkung vorgestellt. Aufbauend darauf wurden Untersuchungen zur Kontrastwirkung in exemplarischen Beobachtungssituationen vorgestellt und diskutiert. Ein wesentlicher Bestandteil des Nachmittagsprogramms war die Vorstellung der Ergebnisse zur Inhomogenitätsbewertung auf Basis einer Reflexionsgradverteilung. Zum Abschluss wurden die erläuterten Inhalte beider Veranstaltungsteile diskutiert und eingeschätzt. Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Einschätzung zusammengefasst wiedergegeben.

#### *Kontrastwerte bei der Herstellung von Flächen und deren Dauerhaftigkeit*

Über den Test zum Einfluss von Fugenbilder und im speziellen der Frage deren Übertragbarkeit in die Planungspraxis wird eine Diskussion zum Thema der Verschmutzung von Wegebelägen und Verkehrsflächen angeregt. Hier werden ebenso Themen wie die Pflege von Belägen, der Erhalt eines bestimmten Zustandes sowie die Alterung der Materialien und die Frage einer fachgerechten Ausschreibung besprochen. Das Team und die Experten sind sich einig, dass die Nutzung von Flächen, besonders in intensiv genutzten Bereichen wie Fußgängerzonen, einen erheblichen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit von Kontrasten hat. Weiter wird gemeinsam konstatiert, dass die Wissenslage zu Alterungs- und Verschmutzungsverhalten verschiedener Materialien, auch in Bezug auf die Ausprägung von Oberflächen, zu erweitern ist. Eine weitergehende Forschung ist in diesem Arbeitsfeld sehr zu begrüßen. Es wird empfohlen, bei ggf. besserer Kenntnis des Alterungsverhaltens einen Wert einzuführen, der den gewünschten Mindestkontrast in einer Situation sicherstellt. Kontrovers wird dabei diskutiert, ob es sich dabei um einen Faktor handelt, der im Herstellungszustand aufgeschlagen wird (ggf. als Verschmutzungsfaktor bezeichnet) oder der eine Reinigung einer Fläche veranlasst, sobald er erreicht wird, um den Ursprungszustand wieder herzustellen (ggf. als Wertungswert bezeichnet). Sicher ist jedoch, dass in einer Form ein wie auch immer gearteter Wert in Abhän-

gigkeit des vom Planer gewählten Materials zur Verfügung stehen muss, um eine entsprechend korrekte Ausschreibung sowohl für den Bau als auch die spätere Pflege durchführen zu können und damit dauerhaft die Schutzziele sicherzustellen.

#### *Vorkenntnis von Leitsystemen*

Besonders im Zusammenhang mit den Tests unter Laborbedingungen konstatieren die Experten, dass sich eine gewisse Erwartungshaltung bei den Probanden gegenüber der zu erfüllenden Aufgaben in den Tests einstellt. Somit wird zum Teil das Vorgehen hinterfragt. Sicher ist jedoch, dass aus methodischer Sicht über das Einarbeiten von Unsicherheitsfaktoren und die zufällig gewählten Reihenfolgen der Bilder eine angemessene Aufgabenstellung und Anforderung vorlag. Aus Gründen der vom Forschungsteam gewünschten Isolation einzelner Einflussfaktoren auf das Erkennen von Situationen, musste ein derartiges Forschungsdesign angewendet werden. Allerdings wurde mit dieser Kritik auf einer höheren Ebene ein Themenfeld angeschnitten, das unter allen Experten bereits häufiger angedacht und zum Teil auch öffentlich diskutiert wurde. Die Vorkenntnis in Bezug auf örtliche Gegebenheiten oder Leitsysteme und die entsprechende Erwartungshaltung spielen eine wesentliche Rolle bei der Orientierung. Dabei ist man sich einig, dass ein Vorwissen bspw. zur Funktionsweise eines Leitsystems in einer Innenstadt, wesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit und Sicherheit hat, mit der sich betroffenen Personen bewegen. Die Frage, ob man diese Vorkenntnis, die tatsächlich bei jedem Nutzer eines Leitsystems unterschiedlich ausfallen kann und auch vom kognitiven Vermögen abhängt, voraussetzen darf, wird dabei diskutiert. Man ist sich einig, dass man alles tun sollte, um Nutzern von Leitsystemen eine möglichst gute Basis für die spätere Nutzung zu gewährleisten. Das kann im Wesentlichen über eine nutzerspezifische Vermittlung von Inhalten passieren, zum Beispiel über Apps. Nach einvernehmlicher Meinung sollte darauf geachtet werden, dass die Systeme anpassbar auf den Nutzer sind (bspw. für Nutzer mit Farbseheinschränkungen) und in gängige Formen der heute bereits bestehenden Informationsvermittlung eingebunden werden (Mobilitätstrainings). Dies gilt besonders für Forschungsarbeiten, die in diesem Themenfeld zweifelsohne notwendig sind, um einen sinnvollen Weg für die Nutzer von Leitsystemen zu beschreiten.

#### *Breite bodengebundener Leitelemente*

Über die Diskussion zu Vorkenntnis und Parametern von Leitsystem sowie der Vorstellung der Ergebnisse des Tests zur Breite von bodengebundenen Leitelementen kommt die Expertenrunde zum Thema ebendieser Breite. Man ist sich einig, dass die in dem Test verwendete Breite von 100 cm, so wie die Ergebnisse auch zeigten, nicht in den Bereich eines linienhaften

Elementes fallen, sondern eher als Fläche wahrgenommen werden. Über diesen Konsens hinaus und vor allem im Zusammenhang mit dem Begriff Leitlinie und Leitstreifen wird über die Begrifflichkeiten und deren Definition diskutiert. Die Expertenrunde kommt zu dem Schluss, dass in Bezug auf die Begriffe ein der Normung der Barrierefreiheit in Unschärfe besteht, die dringend verbessert werden sollte. Es wird als gemeinsamer Konsens vorgeschlagen, den Begriff ‚bodengebundenen Leitelemente‘ für den im Forschungsvorhaben untersuchten Forschungsgegenstand zu verwenden.

#### *Leiten und Orientieren vs. Gefahrensituationen*

Nachdem das Forschungsteam eine mögliche Weiterverwertung der Ergebnisse zur Diskussion stellt, kommt das Thema der Anwendbarkeit einer denkbaren Kontrastreduzierung auf. Hier ist sich das Expertengremium einig, dass grundsätzlich an dem mit viel Mühe eingeführten Kontrastwert von  $K=0,4$  und Mindestreflexionsgrad von  $R=0,5$  keine Änderungen forciert werden sollten. Es ist jedoch durchaus denkbar, dass unter der Berücksichtigung besonderer Rahmenbedingungen eine Reduzierung von Kontrastwerten für das Orientieren möglich sein könnte. Dabei ist sehr deutlich darauf hinzuweisen, dass dies nicht für Gefahrensituationen gilt. Es wird durch die Experten empfohlen, dies auch sehr deutlich in den Bericht zu formulieren. Ein gemeinsamer Konsens zwischen Experten und Forschungsteam findet sich in der Möglichkeit wieder, für bestimmte Planungsaufgaben konkrete Rahmenbedingungen abzustechen, auf deren Grundlagen eine Planung vorgenommen werden kann, die tatsächlich ein Leitsystem beinhalten kann, welches sich durch einen geringen Kontrast als  $K=0,4$  auszeichnet. Dieser Vorschlag wird auch positiv unterstützt durch die gemeinsame Auffassung, dass es bei der Orientierung lediglich um die Erkennbarkeit und nicht um die Auffälligkeit geht. Dies ist implizit mit einer größeren Zeitspanne die dem Nutzer zur Verfügung stehen kann, um sich in der Situation zurecht zu finden. Ein solcher Handlungsspielraum hätte zur Folge, dass man wesentlich weitreichender eine barrierefreie Umwelt schaffen könnte, als das bisher der Fall ist.

Nach einem nach dem Expertengespräch geführten intensivem Mailaustausch zu diesem Themenfeld und vor dem Hintergrund, dass die Tests zwar unter typischen Tages- bzw. Kunstlichtbedingungen und nicht bei nächtlicher Beleuchtungssituation stattgefunden haben, verständigen sich die Experten und die Forschergruppe darauf, dass die vorliegenden Ergebnisse noch zu keiner Abweichung der in DIN 32984 dargelegten Anforderungen führen können. Experten und Forschergruppe sind sich jedoch darüber einig, dass in Zukunft mit geeigneten Belichtungs- oder Beleuchtungsverhältnissen und Materialkombinationen auch geringere Kontraste statthaft sein könnten.

Hier müssen in weitergehenden Forschungen genaue Werte ermittelt werden, mit welchen optimierten Bedingungen um wieviel der minimale Kontrast vermindert werden könnte.

### *Planungsfragen*

Die oben beschriebene Diskussion führt direkt zu einer weiteren Frage, die zudem eng mit dem Problem der Sicherstellung von Kontrasten und der Vermittlung von Vorwissen zusammenhängt. Wie kann man einen Planungsprozess implizieren, der ebendiese Fragestellungen kontrolliert zu einem sinnvollen und nutzerfreundlichen Ergebnis führt. Die Teilnehmer sind sich einig, dass der Prozess der Leitsystementwicklung zu einem qualifizierten Verfahren der Leitsystemplanung gehoben werden muss, um alle Aspekte und alle Nutzeransprüche zusammenführen zu können. Dies bedarf zudem, und auch dies ist Konsens aller, dem Einsatz von Sachverständigen. Es wird vorgeschlagen auch diesen Weg, hin zu der Einsetzung von Sachverständigen mit einem Zertifizierungssystem zu belegen, sodass der Planungsprozess für Barrierefreiheit auf einem einheitlichen Niveau stattfinden kann.

### *Fazit*

Es wird auch in Teil zwei der Expertengespräche deutlich, dass insbesondere die Situationen, in denen es primär um Orientierung geht, nicht ausreichend durch die Definitionen in der Normung abgebildet werden. Auch werden die Einschätzung aus dem ersten Experten Workshop bestätigt, dass es zahlreiche Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung und folglich die Orientierung gibt, die entsprechend untersucht werden müssen. Als Ergebnis des zweiten Workshops sind insbesondere die Diskussion um den Planungsprozess und der Vorschlag eines Zertifizierungssystems hervorzuheben. Die Diskussion bestätigt, dass es erheblichen Bedarf in der Vereinheitlichung des Planungsprozess der Barrierefreiheit gibt, die von der Forschergruppe bereits mit dem Leitfaden Barrierefreies Bauen initiiert wurde (siehe BMUB 2016). Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Informationsvermittlung und Vorkenntnis bei den Nutzern. Hier gibt es erheblichen Forschungsbedarf. Ebenso wie zu Alterungsverhalten von Materialien und der damit zusammenhängenden Sicherstellung von dauerhaften Kontrastwerten und dem Erhalt der Funktionsfähigkeit der gestalteten barrierefreien Umwelt. Wichtig zu erwähnen ist hier, dass es nach Auffassung aller Teilnehmer denkbar ist, unter Angabe von Rahmenbedingungen einer Planungsaufgabe, bspw. der Sicherstellung eines definierten Beleuchtungsniveaus, den Kontrastwert von 0,4 zu unterschreiten, mit dem Ziel eine noch weitreichenderen barrierefreien Ausbau zu ermöglichen (siehe auch Punkt *Leiten und Orientieren vs. Gefahrensituationen*).

## 12.2 Probandenbeschreibung

### 12.2.1 Probandentests unter Laborbedingungen

Vorliegende Augenerkrankungen, zum Teil Mehrfacherkrankungen:

Makuladegeneration: 5 Probanden

Diabetische Retinopathie: 1 Proband

Retinitis pigmentosa (RP): 2 Probanden

Glaukom: 8 Probanden

Katarakt: 6 Probanden

Myopie (Kurzsichtigkeit): 2 Probanden

X-chromosomale Blauzapfenmonochromasie: 2 Probanden

Weitere vorliegende Erkrankungen waren: Optikusneuritis, Zapfen-Stäbchen-Dystrophie (ZSD), Nystakmus, Mikrophthalmus, Atrophie der Sehzellen, Zapfendystrophie, Netzhautablösungen, rheumatoide Arthritis und Hornhauterkrankungen.

#### *Angaben zu Gesichtsfeldausfällen:*

16 der insgesamt 26 Probanden gaben an einen vollständigen oder überwiegenden Gesichtsfeldausfall in einem oder mehreren Quadranten zu haben, 1 Proband machte dazu keine Angabe. 5 Probanden hatten konzentrische Einschränkungen des Gesichtsfelds. Bei 9 Teilnehmern waren die Gesichtsfeldeinschränkungen unregelmäßig, 5 konnten dazu keine Angabe machen.

Einteilung der Probanden nach der persönlichen Einschätzung der Blendempfindlichkeit:

Sehr empfindlich	15 Probanden
Empfindlich	4 Probanden
Mittel empfindlich	3 Probanden
Kaum empfindlich	1 Proband
Überhaupt nicht empfindlich	0 Probanden

Einteilung nach der persönlichen Einschätzung des Kontrastsehens:

uneingeschränkt:	3 Probanden
eingeschränkt:	19 Probanden
nicht untersucht:	2 Probanden



Hierbei gab es eine Mehrfachnennung, ein Proband gab ein eingeschränktes Kontrastsehen, welches nicht untersucht ist, an.

Angaben zur Orientierung in bekannter Entfernung im Innenraum:

im Nahbereich (bis ca. 2m): 7 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 10 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 6 Probanden

keine Angabe: 2 Probanden

Hierbei gab es drei Mehrfachnennungen, ein Proband gab an sich in dunklen Räumen im Nahbereich zu orientieren und bei hellem Licht in mittlerer Entfernung. Ein weiterer gab an, sich im Nahbereich und in mittlerer Entfernung zu orientieren.

Angaben zur Orientierung in unbekannter Entfernung im Innenraum

im Nahbereich (bis ca. 2m): 11 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 9 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 5 Probanden

Drei Probanden gaben an, nie alleine in unbekannter Umgebung im Innenraum unterwegs zu sein. Es gab Mehrfachnennungen, ein Proband gab an sich in dunklen Räumen im Nahbereich zu orientieren und bei hellem Licht in mittlerer Entfernung. Ein Teilnehmer gab an, sich im Wechsel im Nahbereich und in mittlerer Entfernung zu orientieren. Zwei weitere Probanden gaben an, sich im Nahbereich und in mittlerer Entfernung zu orientieren.

Angaben zur Orientierung in bekannter Entfernung im Außenraum:

im Nahbereich (bis ca. 2m): 5 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 10 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 9 Probanden

keine Angabe: 1 Proband

Hierbei gab es Mehrfachnennungen, ein Proband gab an sich im Wechsel im Nahbereich und in mittlerer Entfernung zu orientieren. Ein weiterer Proband gab an, sich im Nahbereich und in mittlerer Entfernung zu orientieren.

Probanden-Nummer	Visus	Teilnahme Labortests	Teilnahme Testsrecke
1	0,125	X	
2	0,1	X	
3	0,1	x	x
4	0,1	X	
5	0,063	X	
6	0,032	x	X
7	0,063	x	X
8	0,02	X	
9	0,063	X	
10	0,05	X	
11	0,16	X	
12	0,16	X	
13	0,5	X	
14	0,032	X	
15	0,063	X	
16	0,04	X	
17	0,025	X	
18	HBW	X	
19	0,02	X	
20	0,16	X	
21	0,8	X	
22	0,032	X	
23	0,063	X	
24	0,4	X	
25	2%	x	
26	0,063	x	
27	0,063		X
28	0,16		X
29	0,1		X
30	0,02		X
31	0,252		X
32	0,126		X

33	0,063		X
34	0,063		X
35	0,252		X
36	0,0315		X
37	0,04		X
38	0,16		X
39	0,16		X
40	0,3-0,5%		X
41	0,16		X
42	0,02		X

Tabelle 44 Probandenübersicht aller Probanden für Labortests und Teststrecken mit Zuordnung Visus und Zuordnung der Teilnahme an Tests

### 12.2.2 Probandentests auf Teststrecken

#### *Teilnehmerzahl*

Es habe an den Probandentest auf den Teststrecken 19 Probanden teilgenommen.

#### *Vorliegende Augenerkrankungen, zum Teil Mehrfacherkrankungen:*

Makuladegeneration:	4 Probanden
Makuladystrophie:	4 Probanden
Glaukom (grüner Star):	2 Probanden
Katarakt (grauer Star):	2 Probanden
Retinitis pigmentosa:	1 Proband

Weitere vorliegende Erkrankungen waren: Kurzsichtigkeit, Myopie Nystagmus, Morbus Stargard, Netzhautablösungen, X-chromosomale Blauzapfenmonochromasie, Fuchs'scher Fleck und anteriore ischämische Optikusneuropathie (Augeninfarkt).

#### *Angaben zu Gesichtsfeldausfällen:*

Überwiegende oder vollständige Gesichtsfeldausfälle in einem oder mehreren Quadranten bzw. zentral lagen bei zehn Probanden vor. Zwei Teilnehmer konnten dazu keine Angabe machen. Acht Teilnehmer hatten konzentrische Gesichtsfeldausfälle, vier konnten dazu keine Aussagen treffen. Bei sieben Probanden waren die Ausfälle im Gesichtsfeld unregelmäßig, acht Teilnehmer machten keine Angabe dazu.

*Einteilung der Probanden nach Blendempfindlichkeit (gem. eigener Einschätzung):*

Sehr empfindlich: 10 Probanden

Empfindlich: 6 Probanden

Mittel empfindlich: 3 Probanden

Kaum empfindlich: 0 Probanden

Überhaupt nicht empfindlich: 0 Probanden

*Einteilung der Probanden nach Kontrastsehen (gem. eigener Einschätzung):*

Uneingeschränkt: 2 Probanden

Eingeschränkt: 14 Probanden

Nicht untersucht: 4 Probanden

Hier gab es eine Mehrfachnennung. Ein Proband gab an ein eingeschränktes Kontrastsehen zu haben, das nicht untersucht ist.

*Einteilung nach dem Kontrastsehvermögen (SZB Test n. Buser)*

Normales Kontrastsehvermögen (LCS normal): 8 Probanden

Eingeschränktes Kontrastsehvermögen (LCS eingeschränkt): 8 Probanden

Schlechtes Kontrastsehvermögen (LCS schlecht): 0 Probanden

Kein Testergebnis: 3 Probanden

Erläuterung zu ‚SZB Low Contrast Sensitivity Test nach Buser‘

Der von Fritz Buser (Dipl. Augenoptiker SBAO) entwickelte Test untersucht den Einflussfaktor der ‚Empfindlichkeit für schwache Kontraste‘ auf die Sehleistung. Der Test besteht aus vier und zwei Test-Karten mit aufgebrachten Sehzeichen in Form von Landolt-Ringen und wird bei guter Beleuchtung durchgeführt, da das Kontrastsehen wesentlich von der Beleuchtung abhängt. Auf Vorder- und Rückseite der vier Karte stehen sich jeweils ein schwarzer und ein grauer Ring mit Kontrast  $K=0,1$  gegenüber. Der graue Landolt-Ring ist dabei um zwei logarithmische Stufen grösser als der Schwarze. Die zusätzlichen zwei Karten sind ausschließlich mit grauen Landolt-Ringen versehen. Die Größen der Sehzeichen entsprechen einer Normalentfernung von 40 bis 2,5 Metern.



Abbildung 148. Testkarten mit Landolt-Ringen des SZB Tests nach Buser. Quelle: <https://szb.abacuscity.ch/de/A~51.041/LCS-Test-SZB> (Zugriff am 07.07.2017)

Die Abstufungen der sich im Test ergebenden Visus-Stufen sind dabei logarithmisch. Es ergibt sich eine direkte Korrelation zwischen Distanz und Visus. Somit entspricht die Veränderung der Testdistanz um eine logarithmische Stufe auch der Visus-Veränderung um eine logarithmische Stufe.

Für die Durchführung des Tests werden Markierungen auf einem Metermaß in logarithmischen Stufen aufgebracht, nach denen sich der Versuchsleiter dem Probanden annähert.

Der Test ist in zwei Phasen gegliedert. In der ersten Phase wird im Testverlauf die Sehschärfe bestimmt. Dabei wird das größte nicht erkennbare Sehzeichen in zwei Metern Entfernung ermittelt und anschließend die Distanz entlang des markierten Metermaßes verkürzt, bis das Sehzeichen erkannt ist (= Testentfernung). Dieses Vorgehen wird in drei Durchgängen wiederholt, mit jeweils unterschiedlicher Lage der Öffnung des Sehzeichens. Über eine Formel wird im Anschluss die Sehschärfe ( $\text{Visus} = \text{Testentfernung} / \text{Normalentfernung}$ ) errechnet.

Im Anschluss wird die Empfindlichkeit für schwache Kontraste bestimmt. Dabei gilt als Grundvoraussetzung das Wissen, dass bei normalem Kontrastsehen die Sehschärfe im schwachen Kontrast um zwei logarithmische Stufen geringer ist als im normalen Kontrast.

Bei der nun folgenden zweiten Testphase zur Ermittlung der Kontrastempfindlichkeit steht der Versuchsleiter im Abstand der kritischen Distanz, in der das normale Sehzeichen in Testphase 1 sicher erkannt wurde. Die Karte wird nun auf das graue Sehzeichen umgedreht. Wird auch das graue Sehzeichen sicher erkannt, liegt bei der Testperson ein normales Kontrastsehen vor. Ist das nicht der Fall, wird sich mit dem grauen Sehzeichen der Testperson in den Schritten des Metermaßes angenähert, bis dieses sicher erkannt ist. Anhand der Anzahl der Annäherungsschritte lässt sich einschätzen, inwieweit die Empfindlichkeit für schwache Kontraste

beeinträchtigt ist. Dabei werden folgende Stufen für die Einschätzung vorgegeben: LCS normal, LCS eingeschränkt, LCS schlecht.

*Angaben zur Orientierung in bekannter Entfernung im Innenraum:*

im Nahbereich (bis ca. 2m): 8 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 7 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 4 Probanden

keine Angabe: 1 Proband

Es gab eine Mehrfachnennung. Ein Proband gab an sich im Nahbereich sowie in mittlerer Entfernung zu orientieren.

*Angaben zur Orientierung in unbekannter Entfernung im Innenraum:*

im Nahbereich (bis ca. 2m): 8 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 7 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 3 Probanden

keine Angabe: 1 Proband

*Angaben zur Orientierung in bekannter Entfernung im Außenraum:*

im Nahbereich (bis ca. 2m): 6 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 6 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 10 Probanden

Es gab eine Mehrfachnennung. Ein Proband gab an sich im Nahbereich, in mittlerer Entfernung und in der Ferne zu orientieren.

*Angaben zur Orientierung in unbekannter Entfernung im Außenraum:*

im Nahbereich (bis ca. 2m): 8 Probanden

in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m): 8 Probanden

in der Ferne (bis ca.10m): 5 Probanden

Es gab eine Mehrfachnennung. Ein Proband gab an sich im Nahbereich, in mittlerer Entfernung und in der Ferne zu orientieren.

## 12.3 Probandeninformationen und Fragebogen

Vor den Testuntersuchungen unter Laborbedingungen, den Begehungen auf den Teststrecken und zur Evaluation der gebauten Beispiele erhielten alle Teilnehmer die nachfolgenden Informationen gemeinsam mit einem Fragebogen.

*Beispiel der Probandeninformationen für die Tests unter Laborbedingungen und auf den Teststrecken*

Liebe potentielle Probanden,

in dem vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) geförderten Forschungsprojekt „Visuelle Barrierefreiheit“ beschäftigen wir uns mit der Frage, wie belastbare Informationen über die praktische Orientierungswirkung von Bodenmaterialien im Innen- und Außenraum gewonnen werden können. Dabei spielen veränderte Lichtverhältnisse, Witterungseinwirkungen oder Materialstrukturen eine Rolle.

Unser interdisziplinäres Forschungsteam setzt sich zusammen aus der Professur für Landschaftsbau und der Professur für Verkehrspsychologie der Technischen Universität Dresden sowie der universalRAUM GmbH, Institut für evidenzbasierte Architektur im Gesundheitswesen.

### **Ziel der Studie**

Ziel ist es, Bewertungskriterien zu entwickeln, die zur Verbesserung der Planung visueller Barrierefreiheit über Bodenbeläge im Innen- und Außenraum beitragen.

### **Ablauf der Studie**

Es werden Ihnen von uns bearbeitete Bilder bzw. Sehzeichen über eine Beamerprojektion präsentiert. Für die Tests müssen Sie ca. 60min einplanen.

### **Risiken**

Durch die Teilnahme entstehen für Sie keine Risiken oder Zufallsbefunde.

### **Nutzen**

Mit Ihrer Teilnahme helfen Sie mit, die Orientierungs- und Leitsysteme im öffentlichen Raum zu verbessern. Die gewonnenen Erkenntnisse können dazu beitragen, Kriterien für die visuelle

Barrierefreiheit für Menschen mit Seheinschränkungen zu schärfen und im Ergebnis verlässlicher in zukünftigen Planungen von Bodenbelägen im Innen- und Außenraum umzusetzen.

### **Ein- und Ausschlusskriterien**

Die Probandengruppe soll möglichst die Verteilung der Seherkrankungen in der Allgemeinbevölkerung widerspiegeln, daher werden keine Seherkrankungen ausgeschlossen.

Sie können an der Studie teilnehmen, wenn

Sie einen Visus von 0,3 bis 0,1 (auf dem besseren Auge, mit Korrektur) und/oder eine Gesichtsfeldeinschränkung haben, unabhängig von der Art der Seherkrankung

Sie sich eigenständig im Stadtraum bewegen, das heißt ohne Blindenstock, Blindenhund oder fremde Hilfe durch eine zweite Person.

Sie können an der Studie nicht teilnehmen, wenn

Sie blind sind (d. h. Restsehvermögen < 2%)

kognitiv eingeschränkt sind.

### **Versicherung**

Wir weisen darauf hin, dass für die Studie leider weder eine Probanden- noch eine Wegeunfallversicherung abgeschlossen werden kann.

### **Datenschutz**

Vor den Tests werden von Ihnen persönliche Daten zu Ihrer Seherkrankung auf einem Fragebogen erfasst. Die Tests erfolgen anschließend anonym und lassen keine Rückschlüsse auf einzelne Personen zu. Die Daten werden ausschließlich für den angegebenen Zweck im Rahmen des Projekts „Visuelle Barrierefreiheit“ ausgewertet.

### **Freiwilligkeit**

Die Teilnahme an den Tests ist selbstverständlich freiwillig. Sie können Ihre Einwilligung zur Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne, dass sich daraus Nachteile für Sie ergeben, widerrufen. Bitte richten Sie Ihren Widerruf an: Stefanie Kreiser, E-Mail: stefanie.kreiser@tu-dresden.de, Tel.: 0351-463 38629.



**Aufwandsentschädigung**

Für Ihre Teilnahme erhalten Sie 10 Euro je Stunde sowie 10 Euro pauschal für Ihre Anfahrtszeit. Die Vergütung erhalten Sie direkt nach den Testuntersuchungen vor Ort. Sollten Sie eine Fahrtkostenerstattung benötigen, teilen Sie uns diese bitte im Vorfeld mit.

**Zeitraum und Ort**

Die Tests finden Anfang bis Mitte Juli 2016 an der Professur für Verkehrspsychologie der TU Dresden, Hettnerstraße 1-3, Raum S-70-B, 01069 Dresden statt. Der Raum befindet sich im Untergeschoss des (Gerhart-) Potthof-Baus nahe der Biomensa „U-Boot“.

**Anfahrt**

Die Bushaltestelle „Technische Universität“ erreichen Sie per ÖPNV mit der Linie 61 und 66. Wenn Sie uns Ihre Ankunftszeit im Vorfeld mitteilen, holen wir Sie gern an der Bushaltestelle ab.

**Anmeldung bis 08.07.2016 und Rückfragemöglichkeiten**

Bei Interesse an einer Teilnahme oder Fragen können Sie sich jederzeit an die Projektmitarbeiter der Professur für Landschaftsbau (Stefanie Kreiser Tel.: 0351-463 38629, E-Mail: stefanie.kreiser@tu-dresden.de oder Sören Meyer Tel.: 0351 463-33452, E-Mail: soeren.meyer@tu-dresden.de) wenden.

Wir würden uns freuen, wenn Sie unsere wissenschaftliche Arbeit unterstützen.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dipl.-Ing. Irene Lohaus

Technische Universität Dresden

Fakultät Architektur

Institut für Landschaftsarchitektur

Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsbau

## Einwilligungserklärung zum Datenschutz

Studie „Visuelle Barrierefreiheit“

Ich wurde schriftlich und mündlich über die o. g. Studie aufgeklärt und alle meine Fragen wurden beantwortet.

Ich nehme freiwillig an dieser Studie teil.

Ich weiß, dass ich meine Einwilligung zur Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile zu haben widerrufen kann.

Ich weiß, dass für diese Studie keine Probanden- und keine Wegeunfallversicherung abgeschlossen wurden.

Eine Kopie der Informationsschrift und der unterschriebenen Einwilligungserklärung habe ich erhalten.

Ich willige ein, dass im Rahmen dieser Studie erhobene Daten/Krankheitsdaten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und in verschlüsselter Form (ohne Namens- und Initialiennennung) weitergegeben werden an den Auftraggeber\* der Studie zur wissenschaftlichen Auswertung, die Ethikkommission an der TU Dresden, soweit dies zur Überprüfung der ordnungsgemäßen Durchführung der Studie erforderlich ist.

\*Anschrift des Auftraggebers:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Referat II 3, Forschung im Bauwesen und Gebäudemanagement

Deichmanns Aue 31-37

53179 Bonn

Außerdem willige ich ein, dass ein autorisierter und zur Verschwiegenheit verpflichteter Beauftragter des Auftraggebers und der Ethikkommission in meine beim Prüfarzt vorhandenen personenbezogenen Daten Einsicht nimmt, soweit dies für die Überprüfung der Studie notwendig ist. Für diese Maßnahme entbinde ich den Prüfarzt von der ärztlichen Schweigepflicht.

.....

.....  
Ort, Datum

.....  
Unterschrift Teilnehmer

.....  
Name in Druckbuchstaben



<sub>2</sub> hochgradig sehbehindert (Sehrest  $\leq 10$  %)

<sub>3</sub> blind (Sehrest  $\leq 2$  %)

Haben Sie einen vollständigen oder überwiegenden Gesichtsfeldausfall in einem oder mehreren Quadranten (Viertel)?

<sub>1</sub> ja und zwar:

<sub>1</sub> links oben

<sub>2</sub> rechts oben

<sub>3</sub> rechts unten

<sub>4</sub> links unten

<sub>2</sub> nein

Haben Sie konzentrische Gesichtsfeldeinschränkungen?

<sub>1</sub> ja. .... ° (Grad) nicht sichtbarer Bereich ausgehend von der Mitte

<sub>2</sub> nein

Haben Sie unregelmäßige Gesichtsfeldeinschränkungen?

<sub>1</sub> ja. Bitte geben Sie die Ausdehnung des größten zusammenhängenden Gesichtsfeldbereichs an:

..... ° (Grad)

<sub>2</sub> nein

Haben Sie bereits ein Mobilitätstraining (Umgang mit dem Langstock, Strategien und Techniken zum selbstständigen Bewegen im Wohnumfeld oder in unbekannter Umgebung, etc.) absolviert?

<sub>1</sub> ja, im Jahr.....

<sub>2</sub> nein

Haben Sie andere Beeinträchtigungen/Behinderungen?

<sub>1</sub> nein

<sub>2</sub> ja und zwar:

.....

Konnten Sie sich früher hauptsächlich mit Hilfe Ihres Sehsinns im öffentlichen Raum orientieren?

<sub>1</sub> ja, bis zum Jahr.....

<sub>2</sub> nein

Nutzen Sie regelmäßig Hilfsmittel auf Ihren Wegen?

<sub>1</sub> nein

<sub>2</sub> ja und zwar:

Bitte alle zutreffenden Antworten ankreuzen.

<sub>1</sub> Langstock

<sub>1</sub> Sehhilfen (Brille, Lupe, etc.)

<sub>1</sub> Blindenführhund

<sub>1</sub> Begleitperson

<sub>1</sub> andere: .....

In welcher Entfernung orientieren (orientieren meint z. B. die richtige Richtung finden, sich in einer unbekanntem Umgebung zurechtfinden) Sie sich im Außenraum?

a) In bekannter Umgebung:

<sub>1</sub> im Nahbereich (bis ca. 2m)

<sub>2</sub> in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m)

<sub>3</sub> in der Ferne (bis ca. 10m)

b) In unbekannter Umgebung:

<sub>1</sub> im Nahbereich (bis ca. 2m)

<sub>2</sub> in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m)

<sub>3</sub> in der Ferne (bis ca. 10m)

In welcher Entfernung orientieren (orientieren meint z. B. die richtige Richtung finden, sich in einer unbekanntem Umgebung zurechtfinden) Sie sich im Innenraum?

In bekannter Umgebung:

<sub>1</sub> im Nahbereich (bis ca. 2m)

<sub>2</sub> in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m)

<sub>3</sub> in der Ferne (bis ca. 10m)

b) In unbekannter Umgebung:

<sub>1</sub> im Nahbereich (bis ca. 2m)

<sub>2</sub> in mittlerer Entfernung (bis ca. 5m)

<sub>3</sub> in der Ferne (bis ca. 10m)

## 12.4 Untersuchung realisierter Projekte

### 12.4.1 Limburg a.d. Lahn

Mit der Umsetzung der Planungen zur Neugestaltung der Stadt Limburg a.d. Lahn wurde im Jahr 2011 begonnen. Die Fertigstellung erfolgte im Mai 2015.

In diesem Objekt werden die Anforderungen an die Barrierefreiheit für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit unter anderem durch einen durchgängigen, visuell und taktil kontrastierenden Leitstreifen berücksichtigt. Der Belag ist insgesamt einheitlich als heller Belag gewählt, während das Leitelement farblich dunkler abgesetzt ist. Die beiden Materialien weisen eine deutliche innere Materialstruktur auf. Die beiden Beläge haben einen Kontrast von  $K=0,30$ , wobei der hellere Partner einen Reflexionsgrad von  $R=0,43$  aufweist. Die an den Leitstreifen angrenzende Laufzone ist als Gehbereich mit einem großformatigen engfugigen Belag ausgebildet. Getrennt durch den Leitstreifen grenzt eine Zone an, die zwar im identischen Material wie die Laufzone, jedoch in deutlich kleinteiligerem Fugenbild ausgebildet ist. Diese Zone nimmt Ausstattungselemente wie Sitzbänke, Pflanzgefäße oder Leuchten auf. Die Ausstattungselemente weisen einen deutlichen Leuchtdichtekontrast zum umliegenden Belag auf. Die Randzone zu angrenzenden Gebäuden der Fußgängerzone ist ebenfalls als kleinformatiges Pflaster ausgebildet. Die Kenntlichmachung der Nebenbereich des Gehbandes erfolgt hier über andere Merkmale als den Kontrast.

Leitelement	Leistreifen
Ausprägung	Bodenindikator
Dimension	Breite 30 cm
Material Leitelement	Betonwerkstein, Hersteller Metten Stein+Design
Farbigkeit	rötlich (Herstellerangabe: CorTen)
Fugenteil	gering (großformatige Elemente im Reihenverband)
Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	stark
Rauigkeit/Taktilität	hoch (Rippenstruktur nach DIN 32984)
Materialien Fläche	Betonwerkstein Pflaster, Hersteller Metten Stein+Design
Farbigkeit	hellbeige (Herstellerangabe: Granit-beige)
Fugenteil	eine Seite gering (großformatiges Pflaster im Reihenverband), eine Seite mittel (mittelformatiges Pflaster im Reihenverband)

Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	stark
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering (Herstellerangabe: Oberfläche Umbriano)
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung

Kontrast	$K=0,30$ (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,43$ (hellerer Partner)



Abbildung 149: Fußgängerzone in Limburg a.d. Lahn mit deutlich abgesetztem Leitelement und Unterscheidung im Format

#### 12.4.2 Bergisch-Gladbach – Stadtmitte West

Ausgehend vom Konrad-Adenauer-Platz, als zentraler Stadt- und Marktplatz Bergisch-Gladbachs, verläuft die Hauptstraße in westlicher und östlicher Richtung. Als städtisches „Rückgrat“ hat sie eine einheitliche Gestaltung erhalten und verknüpft heute die innerstädtischen Quartiere. Die Gestaltung des Bodenbelages ist analog der übergeordneten, inneren Stadtentwicklung erfolgt. Eine von außen umlaufende Vorzone rahmt den Belag der Kernzone. Mittig eingelegt in diese Flächenkonzeption ist das eine Entwässerungsrinne mit einer Metallabdeckung, die als „Sonstiges Leitelement“ konzipiert ist. Dieses Gestaltungsprinzip setzt sich in den angrenzenden Seitenstraßen konsequent von innen bis an die äußeren Grenzen des Zentrums fort.

Die Realisierung des Projektes erfolgt im Zeitraum von August 2011 bis Mai 2013.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Entwässerungsrinne mit Metallabdeckung
Material Leitelement	Metall



Farbigkeit	dunkel-grau bis schwarz
Fugenteil	gering
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	-
Rauigkeit/Taktilität	hoch (starke Profilierung der Rinnenabdeckung, da auch als taktiler Leitelement nutzbar)
Material Fläche	Betonwerkstein
Farbigkeit	mittelgrau
Fugenteil	mittel (großformatiges Pflaster im Reihenverband mit Versatz)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Laufrichtung
Innere Struktur	fein (Betonwerksteinoberfläche mit geringen Anteilen Grobkorn)
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering (glatte Betonwerksteinoberfläche)

## Fugenausrichtungen

im Vergleich

Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung



Abbildung 150: Entwässerungsrinne als Leitelement mit Beschattung in der Fußgängerzone Bergisch-Gladbach, Foto: Margot Gottschling



Abbildung 151: Abdeckung der Entwässerungsrinne als Leitelement für Blinde und Sehbehinderte, Foto: www.birco.de

Abbildung 152: Ertastbare Abdeckung der Entwässerungsrinne als Leitelement für Blinde und Sehbehinderte, Foto: www.birco.de

### 12.4.3 Flensburg

Wesentliches Gestaltungsmerkmal der 2008 fertiggestellten Fußgängerzone in Flensburg ist eine homogene Oberfläche aus geflammten grau-roten Granitpflasterplatten in Kombination mit einer asymmetrisch im Straßenraum angeordneten gusseisernen Rinne, die als Sonstiges Leitelement dient. Der verbaute Naturstein weist mit gestockter Oberfläche einen Reflexionsgrad von  $R=0,45$ . Auf der gegenüberliegenden Straßenseite ist parallel zu den Fassaden ein wesentlich schmalerer Streifen integriert, der zwar nicht ausdrücklich als Leitelemente konzipiert ist, jedoch ggf. als solche von örtlichen sehbehinderten Nutzern verwendet werden kann. Ergänzend hierzu ist ein sogenanntes ‚Möblierungsband‘ (Zonierungsprinzip) für die gesamten Ausstattungselemente des öffentlichen Raumes vorhanden.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Entwässerungsrinne mit Metallabdeckung
Dimension	Breite Rinne 35 cm
Material Leitelement	Metall
Farbigkeit	dunkel-braun-anthrazit
Fugenanteil	gering
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	-
Rauigkeit/Taktilität	hoch (stark profilierte Rinnenabdeckung)
Material Fläche	Natursteinpflaster Granit ( $R=0,45$ )
Dimension	16/16 cm bis 24/32 cm
Farbigkeit	hellgrau bis beige-rötlich
Fugenanteil	mittel (mittelformatiges Pflaster im Reihenverband)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zu Laufrichtung mit Versatz
Innere Struktur	mittel bis stark (typische Granitstruktur)
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung



Abbildung 153: Pflanzelement mit schmalen linienhaften Elementen in der Fußgängerzone in Flensburg, Foto: kessler.krämer Landschaftsarchitekten (links)



Abbildung 154: kontrastreiche Abflussrinnen in der Fußgängerzone in Flensburg, Foto: kessler.krämer Landschaftsarchitekten (rechts)

#### 12.4.4 Wesel

Die Neugestaltung der Fußgängerzone der Stadt Wesel erfolgt in vier Bauabschnitten. Der erste Bauabschnitt wurde in 2011 realisiert.

Schwerpunkte der Konzeption sind die Aufwertung der innerstädtischen Fußgängerzone mit funktionalen und ästhetisch ansprechenden Angeboten, Stärkung der axialen Wirkung, Hervorhebung der Sichtachsen und architektonisch-historischen Bezügen. Die Fußgängerzone ist in einen Aufenthalts- und Promenierbereich zониert. Der durchgängige, visuell kontrastierende Belagswechsel zwischen Aufenthaltsbereich und Laufzonen könnte als Leitlinie für Menschen mit visuellen Einschränkungen gewertet werden. Der anhand der Labormesswerte ermittelte Kontrast für die Partner der anthrazitfarbenen Aufenthaltsfläche zu den changierend in zwei Farben ausgeführten Laufzonen beträgt zu Farbe V1  $K=0,19$  und zu Farbe V2  $K=0,4$ . Kein Partner der helleren Fläche liefert den inzwischen geforderten Mindestreflexionsgrad von  $R=0,5$  (DIN 18040-3, 2014). Auf der anderen Straßenseite ist darüber hinaus die aus hellgelbem Material hergestellte Laufzone durch ein anthrazitfarbenes, ca. 25 cm breites Band gegliedert, in das Schriftzüge eingelassen sind. Da es gleichzeitig als Funktionszone für Ausstattungselemente dient (Leuchten), ist durch die Befragungen vor Ort zu klären, ob das Band möglicherweise dennoch als Leitelement genutzt werden kann.

Die Beläge weisen insgesamt einen geringen taktilen Kontrast auf, sodass zu erwarten ist, dass Menschen mit geringer Sehfähigkeit, die auf einen Langstock angewiesen sind, Schwierigkeiten in der Nutzung haben werden.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Belagswechsel als Leitlinie bzw. Leitstreifen, Zonierung in Lauf- und Ausstattungszonen
Dimension	Breite Streifen 30 cm, Breite Gehbahn 300 cm
Material Streifen	Granit Padang dunkel Klasse 1
Farbigkeit	dunkel-grau
Fugenanteil	gering (großformatiger Belag mit 5mm Fuge)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	fein bis mittel
Rauigkeit/Taktilität	gering bis mittel (die 2mm erhabenen Buchstaben sind poliert, die restlichen Aufsichtsflächen fein gestockt)
Material Aktionsband	Betonwerkstein Pflaster (Herstellerangabe: Assano anthrazit), Hersteller Metten Stein+Design
Dimension	30x15 cm
Farbigkeit	dunkel-grau anthrazit
Fugenanteil	gering (großformatiger Belag mit 5mm Fuge)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	fein
Rauigkeit/Taktilität	gering (fein gestockte Oberfläche Herstellerangabe: samtiert, ohne cleantop, ohne Fase)
Zusätzliches Material	Fallschutzbelag, wasserundurchlässig, Polyurethan geschüttet, EPDM Granulat
Material Fläche	Betonwerkstein Pflasterplatte, (Herstellertyp: Modeno classic Typ BZ), Hersteller Klausmann
Dimension	30x20 cm
Farbigkeit	beige bis hellgrau (Herstellerangabe: Farbe V1 und V2)
Fugenanteil	mittel (5mm Fugenbreite, Reihenverband mit versetzten Fugen)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering bis mittel (Herstellerangabe: mikro-rau, geschliffen und gestrahlt)

Material Auslagen	Kleinsteinpflaster Granit
Dimension	9/11 cm
Farbigkeit	dunkel-grau
Fugenanteil	hoch
Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	mittel
Rauigkeit	hoch (starke taktile Wirkung)
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Kontrast	$K=0,19$ bzw. $0,40$ (mögliches Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,35$ (hellerer Partner)



Abbildung 155: Fußgängerzone in Wesel mit Einrichtungsband und farblich abgesetztem Gehbereich

#### 12.4.5 Herford

Die Fußgängerzone in Herford wurde im Jahr 2015 fertiggestellt. Der Straßenraum ist durch anthrazitfarbene Bänder in Auslagenzonen entlang der Fassaden und einer mittig angeordneten Laufzone gegliedert. Eines der Bänder ist mit einer Breite von 30 cm ausgeführt. Ein weiteres Band ist ca. 150 cm breit und dient gleichzeitig der Aufnahme aller Ausstattungselemente. Das Ausstattungsband ist an der Laufbandseite mit einem taktilen Leitstreifen begleitet. Für Sehbehinderte dient der Belagswechsel als Leitlinie. Durch die Befragungen ist zu prüfen, ob sich Menschen mit geringeren visuellen Einschränkungen ebenfalls vornehmlich an den mit einem Bodenindikator ergänzten Leitstreifen orientieren oder ob die zwei Belägsbänder Leitfunktionen übernehmen.

Der Leuchtdichtekontrast zwischen Laufzone und dem Grauwackebelag der Bänder ist mit  $K=0,40$  gewährleistet. Der Granit als hellerer Partner weist dabei einen Reflexionsgrad von  $R=0,4$  auf. Mit Ausnahme der Profilierung des Bodenindikators sind glatte Materialoberflächen mit geringer innerer Struktur verwendet worden. Die Bänderungen zeigen ausgeprägte Längsfugen. Im Mittelband sind großformatige Beläge im Reihenverband quer zur Laufrichtung verwendet worden und in den Auslagenzonen entlang der Fassaden mittlere Pflasterformate in gleicher Ausrichtung.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Belagswechsel als Leitlinie bzw. Leitstreifen, Zonierung in Lauf- und Ausstattungszonen
Dimension	Breite Leitstreifen 30 cm, Breite Laufzone 300 cm
Material Leitelement	Bergische Grauwacke
Farbigkeit	dunkel-grau changierend
Fugenteil	gering (großformatiger Belag im Reihenverband mit versetzten Fugen)
Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zu Gehrichtung
Innere Struktur	homogen bis fein
Rauigkeit/Taktilität	gering (gesägte und geflammte Oberfläche)
Material Laufzone/Auslagen	Granit
Dimension	Breiten 24 cm und 30 cm, freie Länge zw. 30-50 cm und Breiten 12 cm und 15 cm, freie Längen gleich
Farbigkeit	hellbeige
Fugenteil	gering bis mittel (großformatiger Belag der Gehbahn, Auslagenzone in mittleren Formaten)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	mittel (strukturiert durch die Granitbestandteile)
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering bis mittel (gestockte Oberfläche, leicht rau)
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Kontrast	$K=0,40$ (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,40$ (hellerer Partner)



Abbildung 156: deutlich farbliche Unterschiede in der zonierte Fußgängerzone in Herford (links)

Abbildung 157: durch dunklen Belag abgesetzte Leitelemente und Gehbahnen mit deutlich hellerem großformatigen Belag in der Fußgängerzone in Herford (rechts)

#### 12.4.6 Minden

Die Umgestaltung der Fußgängerzone der Stadt Minden ist in mehreren Bauabschnitten seit 2012 vollzogen worden. Die Maßnahme hatte drei prioritäre Ziele. Die Steigerung der Aufenthaltsqualität, die Nutzungsoptimierung für Veranstaltungen und Gastronomie sowie den barrierefreien Ausbau mit Hintergrund der Profilierung als barrierefreie Stadt.

Das Barrierefreiheits-Element des Entwurfes ist ein dunkler Leitstreifen in einem sonst ruhigen Belag mit hellem Farbton. Der Leitstreifen kombiniert die Anforderungen der taktilen Barrierefreiheit mit denen der visuellen Barrierefreiheit. So ist das Element als 30 cm breiter Streifen mittels Rippenplatten ausgeprägt. Besonderheit dieses Projektes ist die baubegleitende Betreuung der Materialauswahl durch ein Projektbüro für Barrierefreiheit. Teil der Betreuung waren auch Leuchtdichtemessungen vorausgewählter Materialien. Der Reflexionsgrad des helleren Partners liegt bei 0,38. . Der Kontrast der beiden Partner lag bei  $K=0,72$  (gem. dem vorliegenden Prüfprotokoll für die Kombination der zwei verwendeten Materialien im trockenen Zustand).

Leitelement	Leitstreifen
Ausprägung	Rippenplatte
Dimension	Breite Leitstreifen 30 cm, Format 30/30 cm
Material Leitelement	Betonwerkstein Rippenplatte, Hersteller REC
Farbigkeit	dunkelgrau (Herstellerangabe: Farbton grau 11)
Fugenanteil	gering
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Taktilität	hoch (stark profiliert gem. Anforderungen an Rippenplatten)

---

Material Fläche	Betonwerkstein Pflaster, Hersteller: Metten Stein+Design
Dimension	Formate 50/25, 25/25, 30/15, 20/15 cm
Farbigkeit	beige (Herstellerangabe: Granitbeige)
Fugenteil	mittel (mittelformatiger Belag im Reihenverband mit versetzten Fugen)
Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	fein
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering (Herstellerangabe: Umbriano)
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Kontrast	$K=0,72$ (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,38$ (hellerer Partner)



Abbildung 158: Fußgängerzone in Minden mit hellem Grundbelag und deutlich kontrastierendem dunklem Leitelement.



### 12.4.7 Emsdetten

Weite Teile der Innenstadt von Emsdetten wurden in den Jahren bis 2010 umgebaut. Dabei wurden die seinerzeit gültigen Grundsätze zum Barrierefreien Bauen berücksichtigt, die jedoch noch nicht explizit Anforderungen für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit nach heutigem Standard einbezogen. Die Innenstadtgestaltung umfasste sowohl Platzräume als auch Straßenräume mit Nutzung als Fußgängerzone und Anliegerstraße. Alle Bereiche sind durchgängig in einem einheitlichen Materialkanon hergestellt worden. Die Straßen- und Platzräume wurden durch großflächige Pflasterteppiche in Laufzonen bzw. Zonen für Platzaktivitäten und Auslage- bzw. Aufenthaltsbereiche zониert. Unterbrochen sind diese an den Kreuzungssituationen von Straßen bzw. Straßen zu Plätzen. Damit ist auch der potentiell als Leitlinien (sonstiges Leitelement) für Sehbehinderte nutzbaren Belagswechsel im Straßenverlauf unterbrochen. Durch die Befragungen ist zu überprüfen, ob und inwieweit die visuell kontrastreichen, klar strukturierten Teppiche von Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit zur Orientierung genutzt werden können und die Unterbrechung im Sinne des Bojenprinzips die Ableitung der der weiteren Wegeführung durch die Nutzer zulässt.

Die Pflasterteppiche sind aus mittelformartigen, hellgrauen Granitwerksteinen mit gestockter Oberfläche und deutlicher innerer Materialstruktur hergestellt. Diese sind in homogene Flächen aus kleinformatigem Klinker eingebettet. Die Fugen der Granitflächen verlaufen rechtwinklig zur Gehrichtung. Die Klinkerflächen sind im Ellenbogenverband diagonal dazu verlegt.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Zonierung durch breite Gehbahn
Dimension	Gehbahn in je nach Straßenraum variierenden Breiten, ca. 350 cm Breite
Material Gehbahn	Betonwerkstein
Farbigkeit	hellgrau-rötlich
Fugenteil	mittel (mittelformatiger Belag im Reihenverband mit versetzten Fugen)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Innere Struktur	stark
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering bis mittel (gestockte Oberfläche)
Materialien Streifen	Klinker

Dimension	24/11,5 cm
Farbigkeit	rot, leicht changierend
Fugenteil	mittel
Fugenausrichtung	Fugen diagonal zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Taktilität	gering
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement mit Fugen diagonal zu Gehrichtung und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung



Abbildung 159: Deutlicher Materialkontrast zwischen Randzone und Platzteppich in Emsdetten (links)

Abbildung 160: Unterbrechung des Zonierungsprinzips an einer Kreuzungssituation in Emsdetten (rechts)

#### 12.4.8 Meppen

Der Marktplatz in Meppen wurde im Jahr 2013 fertiggestellt. Die Situation ist geprägt durch eine Platzfolge mit sich teilweise in eine Straßenraumbreite verengenden und weit geöffneten Stadträumen. Bei der Umgestaltung wurde ein durchgängiges Leitsystem aus sonstigen Leitelementen realisiert. Dazu wird der insgesamt homogen mit dunkelrotem Klinker gepflasterte Platzraum beidseitig in einem gleichbleibenden Abstand parallel zur Fassade von einem 30 cm breiten Leitstreifen gegliedert. Der Leitstreifen besteht aus großformatigen, homogenen, sandsteinfarbenen Betonplatten. Der Reflexionsgrad des Leitstreifens als heller Partner beträgt  $R=0,40$ . Der Kontrast zum Klinker als dunklen Partner in der Kombination beträgt  $K=0,41$ . Der Klinker ist im Gegensatz zum ruhigen Fugenbild des Leitstreifens in einem diagonal verlegten Fischgrätverband hergestellt. Die schmalen Klinkerriemchen bilden daher einen auffälligen Fugenkontrast zu den Leitstreifen aus, der als taktiler Kontrast gewertet werden kann. Auffäl-

lig ist, dass die an den Platz angrenzenden Fassaden überwiegend ebenfalls aus Klinkermaterial bestehen und damit anders als die anderen untersuchten Projekte keinen bzw. einen geringen visuellen Kontrast zum Platzbelag zeigen.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Leitstreifen
Dimension	Breite Leitstreifen 30 cm
Material Leitelemente	Betonwerkstein
Farbigkeit	hellbeige (Herstellerangabe: Sandstein)
Fugenteil	gering (großformatiger Belag)
Fugenausrichtung	Fugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Taktilität	gering
Materialien Fläche	Klinker
Dimension	31,2/5,2 cm
Farbigkeit	dunkel-rot-braun, changierend
Fugenteil	mittel bis hoch (lange, schmale Formate, Fischgrätverband)
Fugenausrichtung	Fugen Diagonal zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	mittel
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement mit Querfugen senkrecht zur Gehrichtung und Fläche mit Fugen diagonal zu Gehrichtung
Kontrast	$K=0,41$ (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,40$ (hellerer Partner)



Abbildung 161: Fassadenansicht mit Vorzone aus Klinkerbelag und hell abgesetztem Leitelement (links)



Abbildung 162: Platzsituation aus Klinkerbelag mit zwei Verlegearten und hell abgesetztem Klinkerbelag (rechts)

#### 12.4.9 Warburg

Die Planungen zur Umgestaltung des historischen Stadtkerns von Warburg bauen auf einem Gesamtmasterplan aus dem Jahr 2009 auf, der als Modellprojekt Barrierefreie Innenstadt entwickelt wurde. Seit 2011 sind inzwischen insgesamt fünf von neun Bauabschnitten realisiert. Alle Straßenräume dienen auch der Erschließung der Anlieger bzw. Ladennutzungen im Erdgeschoss (verkehrsberuhigte Zone). Lediglich eine Teilstraße wird nachmittags für den Verkehr gesperrt und als Fußgängerzone genutzt. Bei der Umgestaltung wurde ein durchgängiges Leitsystem aus sonstigen Leitelementen realisiert. Dieses besteht aus einer visuell zum Umgebungsbelag kontrastierenden Gehbahn, die von taktile kontrastierenden Ober- und Unterstreifen begleitet werden. Neben dem Helligkeitskontrast ist zwischen Gehbahn und umgebendem Belag ein auffälliger Fugenkontrast festzustellen.

Das hellere Band der Gehbahn besteht in einem Straßenabschnitt aus Dolomit (Naturstein) mit einer erkennbaren inneren Materialstruktur und in den weiteren Straßenabschnitt aus einem homogenen Betonstein. Die übrigen Bereiche bestehen einheitlich aus dunkler Grauwacke, die eine homogene Innenstruktur zeigt, jedoch farblich von Stein zu Stein leicht changiert. Der Leuchtdichtekontrast liegt nach Labormessungen bei 0,4 und entspricht damit den aktuellen DIN-Anforderungen. Der Dolomit als heller Partner weist einen Reflexionsgrad von  $R=0,47$  auf. Die Gehbahn ist mit mittelformatigen, gesägten und gleichgroßen Steinen im Diagonalverband verlegt. Damit unterscheidet sie sich im Fugenbild gebäudeseitig deutlich von

dem angrenzenden rauen Kleinpflaster im Reihenverband und fahrbahnseitig von dem Kleinsteinpflasterläufer bzw. der Fahrbahn aus größerformatigen Werksteinen aus Grauwacke.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Gehbahn mit Ober- und Unterstreifen
Dimension	Breite der Gehbahn 120 cm(12 x 12 cm)
Material Leitelement	Dolomit bzw. heller Betonstein 16/16 cm
Farbigkeit	hell-beige
Fugenteil	mittel (mittelformatig im Diagonalverband mit Kreuzfugen)
Fugenausrichtung	Fugen diagonal zur Gehrichtung
Innere Struktur	fein
Rauigkeit/Taktilität	gering
Materialien Fläche	Bergische Grauwacke
Dimension	Breiten 19 cm und 24 cm, frei Längen 30-50 cm
Farbigkeit	dunkel-grau changierend
Fugenteil	mittel bis hoch (eine Seite mittlere Formate, eine Seite kleine Formate)
Fugenausrichtung	Querfugen senkrecht zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen bis fein
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	mittel bis hoch (gebrochene Oberfläche)
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement mit Fugen diagonal zu Gehrichtung und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Kontrast	K=0,40 (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	R=0,47 (hellerer Partner)



Abbildung 163: Kontrastierend vom Umgebungsbelag abgesetzte Gehbahnen und kleinformatige, bruchraue Randzonen in der Fußgängerzone in Warburg (rechts)

Abbildung 164: Großformatige Fahrzone mit rechts- und linkseitiger kontrastierender Gehbahn farblich und materiell abgesetzt

#### 12.4.10 Verden – Reeperbahn

Der Umbau der verkehrsberuhigten Straße ‚Reeperbahn‘ erfolgte im Jahr 2013. Der Straßenraum dient als Anliegerstraße und als Erschließung für Stellplätze für Besucher der parallel verlaufenden Fußgängerzone. Die asphaltierte Fahrbahn ist einseitig durchgängig mit senkrecht angeordneten Stellplätzen gesäumt, die im Material einheitlich mit den Gehwegen ausgebildet sind. Der Gehweg wird an der einen Seite durchgängig von einer (Hochwasserschutz-)Mauer begleitet. Auf der anderen Straßenseite schließen wechselnde Grundstückseinfassungen an.

Bei der Umgestaltung wurde ein durchgängiges Leitsystem aus sonstigen Leitelementen realisiert. Auf der einen Gehwegseite könnte die Mauer von Sehbehinderten als Leitelement genutzt werden. Gleichermäßen könnte aber auch die Gehbahn, die beidseitig mit visuell kontrastierenden Streifen begleitet wird, von Sehbehinderten als Leitelement genutzt werden. Die begleitenden ca. 30 cm breiten Streifen können durch die Längsausrichtung der Fugen, durch die langen, schmalen Formate und die rauere Oberfläche auch als taktiler Kontrast gewertet werden.

Der Belag des Gehwegs besteht aus hellgelben, farblich leicht changierenden Betonplatten. Die begleitenden Streifen bestehen aus Klinker. Dieser weist Reflexionsgrade zwischen  $R=0,08$  und  $R=0,13$  auf. Der zugehörige Betonstein hat einen Reflexionsgrad von  $R=0,4$ . Somit ergeben sich Kontraste zwischen 0,5 und 0,66.

Leitelement	Sonstiges Leitelement
Ausprägung	Gehbahn begleitenden visuell und taktil kontrastierenden Streifen
Dimension	Breite der Gehbahn 180 cm
Materialien Streifen	Klinker
Farbigkeit	dunkelbraun bis dunkelrot changierend
Fugenteil	mittel (lange, schmale Formate, Reihenverband mit Versatz)
Fugenausrichtung	Querfugen parallel zur Gehrichtung
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Taktilität	gering
Material Gehbahn	Betonwerkstein
Dimension	37,5/25 cm
Farbigkeit	hellgelb-beige
Fugenteil	mittel (großformatig mit engen Fugen, Reihenverband quer zu Laufrichtung mit versetzten Fugen)
Fugenausrichtung	Querfuge senkrecht zur Gehbahn
Innere Struktur	homogen
Rauigkeit/Ebenflächigkeit	gering
Fugenausrichtungen im Vergleich	Leitelement mit Querfugen parallel zu Gehrichtung und Fläche mit Querfuge senkrecht zu Gehrichtung
Kontrast	$K=0,5$ bis $0,66$ (Leitelement zu umgebendem Belag)
Reflexionsgrad	$R=0,40$ (hellerer Partner)



Abbildung 165: Durch dunklen Klinker abgesetzter Leitstreifen in hellem homogenen großformatigem Belag (links)



Abbildung 166: Durch dunklen Klinker abgesetzter Leitstreifen in hellem homogenen großformatigem Belag (rechts)

### 12.4.11 Nutzerbefragung

#### 12.4.11.1 Meppen

Die Nutzerbefragung für die Fußgängerzone von Meppen fand am 8. September 2016 statt. Sieben Personen mit unterschiedlichen Seheinschränkungen haben sich an diesem Tag für die Gespräche Zeit genommen. Zu Beginn der Gesprächsrunde haben sich die Teilnehmer zu ihrem persönlichen Nutzungsverhalten im Untersuchungsbereich geäußert. Dabei stellte sich heraus, dass mehr als die Hälfte fast täglich in der Fußgängerzone unterwegs ist. Des Weiteren nutzen fast alle Interviewpartner das Gebiet sowohl mit als auch ohne Begleitung – zumindest zu Tageszeiten. In den Abendstunden reduziert sich die selbstständige Nutzung sehr. Wenn keine dringenden Gründe Anlass geben oder Begleitung zur Verfügung steht, wird der Bereich in dieser Zeit bewusst gemieden. In Dämmerungsstunden wird eine kontrastreiche Gestaltung der Bodenbeläge als besonders wichtig erachtet, Blendung durch sehr helle Materialien sollte auch Sicht der Teilnehmer vermieden werden. Eine Person gab an, in Dämmerungsverhältnissen aufgrund der reduzierten Blendung am besten zu sehen.

Gefragt wurde auch nach der Art der eigenständigen Bewegung und den verwendeten Hilfsmitteln. Vier der sieben Interviewteilnehmer nutzen regelmäßig den Blindenstock. Weiterhin verwenden viele das Smartphone und zugehörige Apps zur Navigation, um sich besser zu orientieren. Alle hatten zum Zeitpunkt des Gesprächs bereits ein Mobilitätstraining in der Heimatstadt sowie in weiteren Städten absolviert. Auf die Frage nach der Orientierung an bestimmten Objekten wurde deutlich, dass vor allem taktil spürbare Unterschiede beispielsweise zwischen Kopfstein- und Klinkerpflaster oder Aufkantungen den Teilnehmern bei der Orientierung helfen. In einer Umgebung ohne gestaltete Leitlinien dienen Entwässerungsrinnen oder Bordsteinkanten als Orientierungselemente. Es wurde jedoch betont, dass vor allem die Taktilität verschiedener Beläge und deren unterschiedlicher Klang zur Orientierung herangezogen werden. Bei der Nutzung einer Leitlinie, auch bei der Leitlinie in Meppen bewegen sich die Teilnehmer überwiegend auf der Linie, da sie alle Langstocknutzer sind.

Obwohl das Meppener Leitsystem nicht aus Bodenindikatoren mit Rippenstruktur besteht, berichteten auch die Teilnehmer, die aus der benachbarten Stadt Lingen angereist waren, dass sie sich am Bahnhof als Ankunftsort schnell mit dem spezifischen System in Meppen vertraut machen konnten. Dazu trägt nach den Aussagen der Interviewpartner vor allen Dingen der Wechsel von rauem Grundbelag des Klinkers als Grundmaterial (das mit dem Fischgrätmuster einen auffälligen Fugenverband aufweist – Anmerkung der Interviewerin) und glattem Belag des Leitstreifens, der auch als Entwässerungselement dient.



Es wurde berichtet, dass der Leitstreifen 8 mm tiefer liegt als der umgebende Belag. Demnach wird der glatte Leitstreifen beidseitig vom 8 mm erhöhten Grundbelag umgeben. Diese werden taktil unproblematisch erkannt. Die Teilnehmer sehen die größte Gefahrenquelle darin, dass dieses Leitsystem von den angrenzenden Geschäften oder Gastronomiebetrieben versehentlich missachtet und möbliert wird.

Da die Semantik des Leitstreifens nicht allgemeinverständlich ist, kann es zu kritischen Situationen kommen. Dieses sei aber durch regelmäßige Aufklärungsarbeit zu vermeiden.

Durch die Umgestaltung der Fußgängerzone in Meppen hat sich die Wahrnehmbarkeit von Höhenunterschieden wie beispielsweise bei Bordsteinkanten verbessert. Glatte Bodenpartien in dem ansonsten homogenen Belag wie bei Kanalabdeckungen sind laut der Interviewpartner problematisch und sollten rauer gestaltet sein.

Weiteren Untersuchungsbedarf zu visueller Barrierefreiheit sehen die Teilnehmer in der Gestaltung von Leitlinien in öffentlichen Gebäuden, da dort bisher vor allem lediglich auf die Treppegestaltung geachtet werde. Dekorative Wand- oder Bodengestaltung kann unterstützend wirken, kann jedoch auch zu Irritationen führen.

#### *12.4.11.2 Emsdetten*

Am Nachmittag des 8. September 2016 wurden Probanden in Emsdetten zur visuellen Barrierefreiheit der neugestalteten Innenstadtsituation in Emsdetten interviewt. Fünf Teilnehmer mit unterschiedlichen Seheinschränkungen standen für ein Gespräch zur Verfügung. Anders als in Meppen bewegen sich alle Teilnehmer in Emsdetten ohne Blindenstock und weisen noch ein vergleichsweise hohes Restsehvermögen auf. Zu Beginn der Gesprächsrunde haben sich die Teilnehmer zu ihrem persönlichen Nutzungsverhalten in der Fußgängerzone geäußert. Alle sind mindestens zwei Mal in der Woche oder häufiger dort unterwegs und nutzen technische Hilfsmittel wie Smartphone oder Tablet zur Unterstützung bei der Orientierung (Vergrößerung von Beschriftungen, Sprachsteuerung). Auf großen Platzflächen ist u.a. aufgrund des hohen Aufkommens von Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern oder Fahrradfahrern sowie fehlender Orientierungs- bzw. Abgrenzungselemente wie Bordsteine oder Häuserkanten die Orientierung erschwert. Ein Teilnehmer meidet den Bereich um das Rathaus, da dort ähnliche Steinfarben des Bodenbelags von Rampen und dem der Treppen vorliegen. Weiterhin ist für drei der fünf Interviewpartner der Bereich des Brunnens auf dem Platz nicht gut nutzbar, da dort Höhenunterschiede vorhanden sind und Möglichkeiten zur Orientierung fehlen. Auch

der Bahnhof kann von allen trotz Leitsystem nur schwer genutzt werden. Ausstattungselemente wie Bänke oder Poller sollen kontrastreich zu ihrem Hintergrund gestaltet sein und nicht im Bereich der Wegeführung platziert sein, um keine Gefahrenquelle darzustellen. Ausstattungselemente aus Edelstahl werden besonders kritisch erachtet, da sie sich homogen zu einer grauen Umgebung darstellen. Weiterhin sind in der Stadt im Boden eingelassene Wasserspiele für die Teilnehmer schlecht erkennbar. Eine Orientierung anhand von Baumreihen findet nicht statt. Hierbei wird auf die Gefahr durch die sich mit der Zeit veränderte Wurzelbildung und somit Stolperfallen durch schadhafte Bodenbeläge hingewiesen.

Bei Dämmerungsverhältnissen sind vor allem im Bodenbelag eingelassene Beleuchtungsmittel aufgrund der Blendung problematisch. Weiterhin bereitet den Interviewpartnern die Schattenbildung von Vegetation oder Objekten sowie sehr helles Licht Schwierigkeiten. Aufgrund der verminderten Kontrastwirkung werden helle Materialien und gute Beleuchtungsbedingungen von einem Teilnehmer als hilfreich beschrieben. Die Teilnehmer orientieren sich insgesamt weniger an Bodenbelägen, sondern nutzen beispielsweise bestimmte Abstände von Gebäuden, um sich auf ihren Wegen zurechtzufinden. Eine geradlinige Wegeführung ohne Hindernisse bietet eine sichere und gute Orientierung. Weiterhin sei die Durchgängigkeit von Leitsystemen, auch bei der Nutzung von Gebäuden oder Bereichen aus verschiedenen Richtungen kommend, wichtig.

Für die Gesprächspartner ist es aktuell nicht klar erkennbar, ob eine Wege- bzw. Bodengestaltung aus Gründen der visuellen Barrierefreiheit und gemäß den dazu in der DIN beschriebenen Kriterien ausgeführt wurde. So können sie sich derzeit bei der Orientierung an Bodenbelägen nicht auf die vorliegende Gestaltung verlassen. Allerdings ist anzumerken, dass die Teilnehmer in Emsdetten aufgrund ihres relativ großen Restsehvermögens nicht auf eine Orientierung mit einem bodengebundenen Leitsystem angewiesen sind. Dennoch wird deutlich, dass dieses insbesondere in unübersichtlichen Situationen wie dem Bahnhof genutzt wird. Ansonsten findet die Orientierung im Schwerpunkt mit Hilfe der Gebäudestrukturen statt. Bodengebundene Strukturen werden von den Teilnehmern in Emsdetten nicht genutzt da sie sich nicht darauf verlassen können, dass diese durchgängig als Leitsystem funktionieren könnten.

#### *12.4.11.3 Minden*

Das Interview zur Situation in Minden fand am 19. November 2016 mit drei Personen statt. Zwei davon sind in ihrer Sehfähigkeit eingeschränkt, bei der dritten Person handelt es sich um

die Kontraktperson, den Vorsitzenden des Beirats für Menschen mit Behinderung. Ein Teilnehmer ist nie ohne Begleitperson in der Innenstadt unterwegs und auch in bekannter Umgebung aufgrund der Gefährdung durch andere Verkehrsteilnehmer auf Hilfe durch eine zweite Person angewiesen. Technik wird orientierungsunterstützend nicht genutzt. Beide Gesprächspartner hatten bereits ein bzw. mehrere Mobilitätstrainings absolviert.

Leitlinien aus Bodenindikatoren werden von den anwesenden Teilnehmern derzeit nicht zur visuellen Orientierung genutzt. Diese erfolgt vor allen anhand von bekannten Gebäuden bzw. Geschäften. Das Zusammenspiel von alter und neuer Gestaltung wird nicht als problematisch wahrgenommen, da die Orientierung bei den Interviewpartnern trotz starker Seheinschränkung und Langstocknutzung anhand von bestimmten Orientierungspunkten funktioniert. Der aktuelle Bodenbelag ist im Vergleich zum vorherigen Kopfsteinpflaster für die Teilnehmer aufgrund der glatteren Oberfläche und der damit einhergehenden verminderten Stolpergefahr und erhöhter Gehsicherheit besser. Gefahrenstellen sind vor allem Bereiche mit Stufen und Hauptverkehrsstraßen.

Die Materialität und Oberflächenbeschaffenheit der Leitlinie und des Aufmerksamkeitsfeldes wurde beim Begehen eines Teilnehmers gut mit den Füßen wahrgenommen und als sehr angenehm empfunden. Die Zusatzinformation des Belagwechsels wirkt unterstützend, ebenso wie die Auswahl der Oberflächen und Fugen.

Auch hier ist festzustellen, dass die Teilnehmern mit der Semantik des vorhandenen Leitsystems (noch) nicht vertraut sind, da sie sich entweder nicht eigenständig in der Innenstadt bewegen bzw. sich im Schwerpunkt auf eingeübten Wegen bewegen. Die Orientierung erfolgt dann im Schwerpunkt an markanten räumlichen Punkten wie auffällige Gebäudefassaden oder Läden.

#### *12.4.11.4 Herford*

Der Termin für ein Gespräch mit einer Ortsansässigen und zwei Teilnehmern aus dem benachbarten Ort (die stellvertretende Leiterin und der Beisitzer der Fachgruppe Umwelt, Verkehr und Mobilität der Blinden- und Sehbehindertenvereinen in Nordrhein-Westfalen) fand am 19. November 2016 statt. Das Interview wurde bei einem gemeinsamen Gang vom Bahnhof zur umgestalteten Fußgängerzone geführt. Die insgesamt drei Teilnehmer nutzen alle einen Langstock sowie Smartphones (Apps wie Navigon oder Blindsquare und Spracherkennung und -verarbeitung). Zwei Teilnehmer geben an die Innenstadt von Herford hin und wieder

eigenständig aufzusuchen. Sie besuchen auf Reisen auch andere Innenstädte. Eine Teilnehmerin gibt an regelmäßig in Begleitung die Innenstadt zu besuchen und derzeit ein Mobilitätstraining zu absolvieren, um dazu auch wieder eigenständig in der Lage zu sein. Auf bekannten Wegen und in bekannten Umgebungen können sich alle gut zurechtfinden. In unbekannter Umgebung spielen taktile und auditive und olfaktorische Eindrücke sowie der Straßenverlauf (das Erfassen von Raumbegrenzungen) eine große Rolle. Wenn das Leitsystem gefunden wurde, wird die Bewegung gestartet.

Eine taktile und farbliche Gestaltung (z.B. die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit und Farbigkeit bei Belagswechseln) unterstützt die Orientierung. Für die Teilnehmer gut wahrnehmbare Kontraste sind weiterhin ein entscheidendes Kriterium. Eine erlernte Abfolge von unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheiten von Materialien und Bodenbelägen sowie von Wegeverläufen und Ausstattungselementen erleichtert die Wegfindung.

Die Teilnehmer nutzen in unbekannter Umgebung keine Häuserkanten, an denen sie sich orientieren. Unter anderem, weil Unterbrechungen von einer Hauskante als Sonstiges Leitelement für die Wegfindung hinderlich sind. Entwässerungsrinnen werden von den Teilnehmern nur ungern genutzt, da sie vor allem bei Regen und in Wintermonaten als nicht ausreichend sichere Leitlinie angesehen werden. Glätte oder stehendes Wasser werden hier angesprochen. Für die Orientierung förderlich hingegen ist ein guter Kontrast zwischen dem Bodenbelag und den angrenzenden Häuserfassaden, so dass eine klare Raumkante erfasst werden kann.

Die Leitstreifen von 30cm Breite empfinden alle drei auf dem gemeinsam gegangenen Weg als sehr schmal. Eine Teilnehmerin geht mit dem Langstock entlang der Bodenindikatoren und nicht direkt auf dem Leitstreifen, da diese ein sehr unangenehmes Gehgefühl verursachen. Ein Teilnehmer nutzt beim Gehen in einer Fußgängerzone ohne konkretes Ziel die Leitlinie, steuert er jedoch ein bestimmtes Ziel an, geht er auf der jeweiligen Straßenseite an den Gebäuden entlang.

Ein Teilnehmer orientiert sich vorzugsweise an Bordsteinkanten (im Übrigen auch an sehr wie in der Begehung praktiziert an sehr stark befahrenen Straßen). Er unterbricht die Bewegung bei abgesenkten Bordsteinen. 3cm hohe Borde sind für alle ein wichtiges Element zur Orientierung. Dabei ist die Unterscheidung zwischen abgesenkten Bordsteinkanten aufgrund von Grundstücksüberfahrten und aufgrund von Zebrastreifen oder anderen Querungsstellen schwierig.

Die bei der Begehung verwendeten Borde weisen nur einen geringen Kontrast auf. Da dieser als taktiles Element mit dem Langstock genutzt wird, ist dennoch eine unproblematische Nutzung des Leitelementes möglich.

Es ist bei der Begehung zu beobachten, dass keiner der Teilnehmer kontinuierlich den Bordstein als Leitelement mit dem Leitstock nutzt, sondern dieser von Zeit zu Zeit zur Ausrichtung der Laufrichtung eingesetzt wird.

Es wurde von allen Interviewpartnern betont, dass die Durchgängigkeit von Leitsystemen, egal aus welchen Leitelementen diese bestehen, für die Orientierung zwingend erforderlich ist. Auch Einfahrten bergen Gefahrenpotential, wenn sie visuell und taktil nicht eindeutig erfasst werden können.

Sich in Gehbereichen befindliche Ausstattungselemente erschweren die Bewegung und stellen Gefahrenstellen dar, besonders nachts können diese nicht gesehen werden. Zu diesem Gestaltungspunkt würde eine klare Zonierung von allen drei Teilnehmern begrüßt werden.

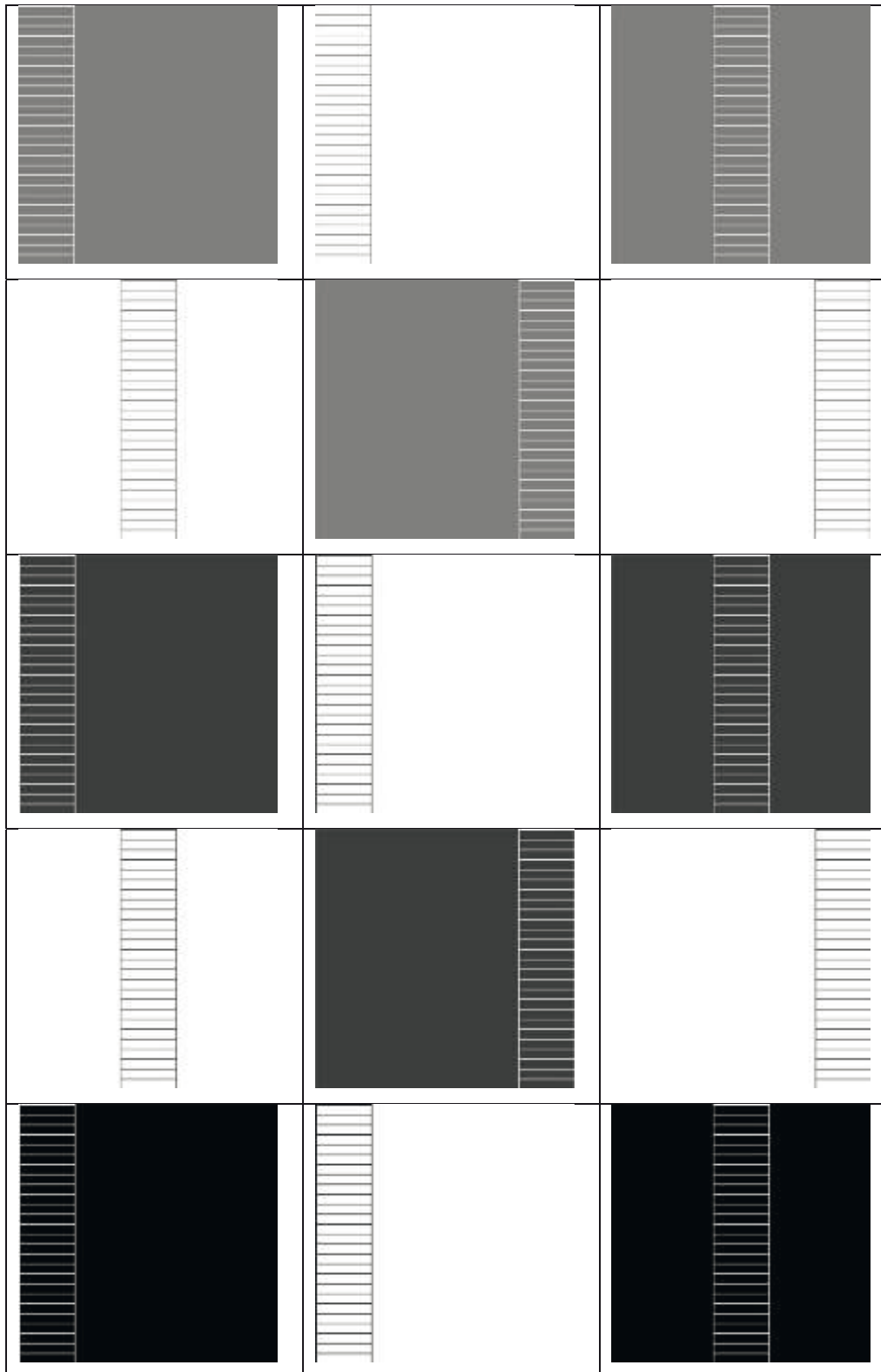
Ein Teilnehmer orientiert sich weiterhin an allgemeinen Referenzpunkten bzw. Landmarken, dies kann beispielsweise auch eine längsgeneigte Wegeführung sein (Bergauf- oder Bergabgehen). Für einen Teilnehmer sind Stufen ein Erkennungsmerkmal für Ladeneingänge. Durch die teilweise Erneuerung der stufenfreien Eingangssituation von Geschäften, fallen diese eingepprägten Referenzpunkte für ihn weg.

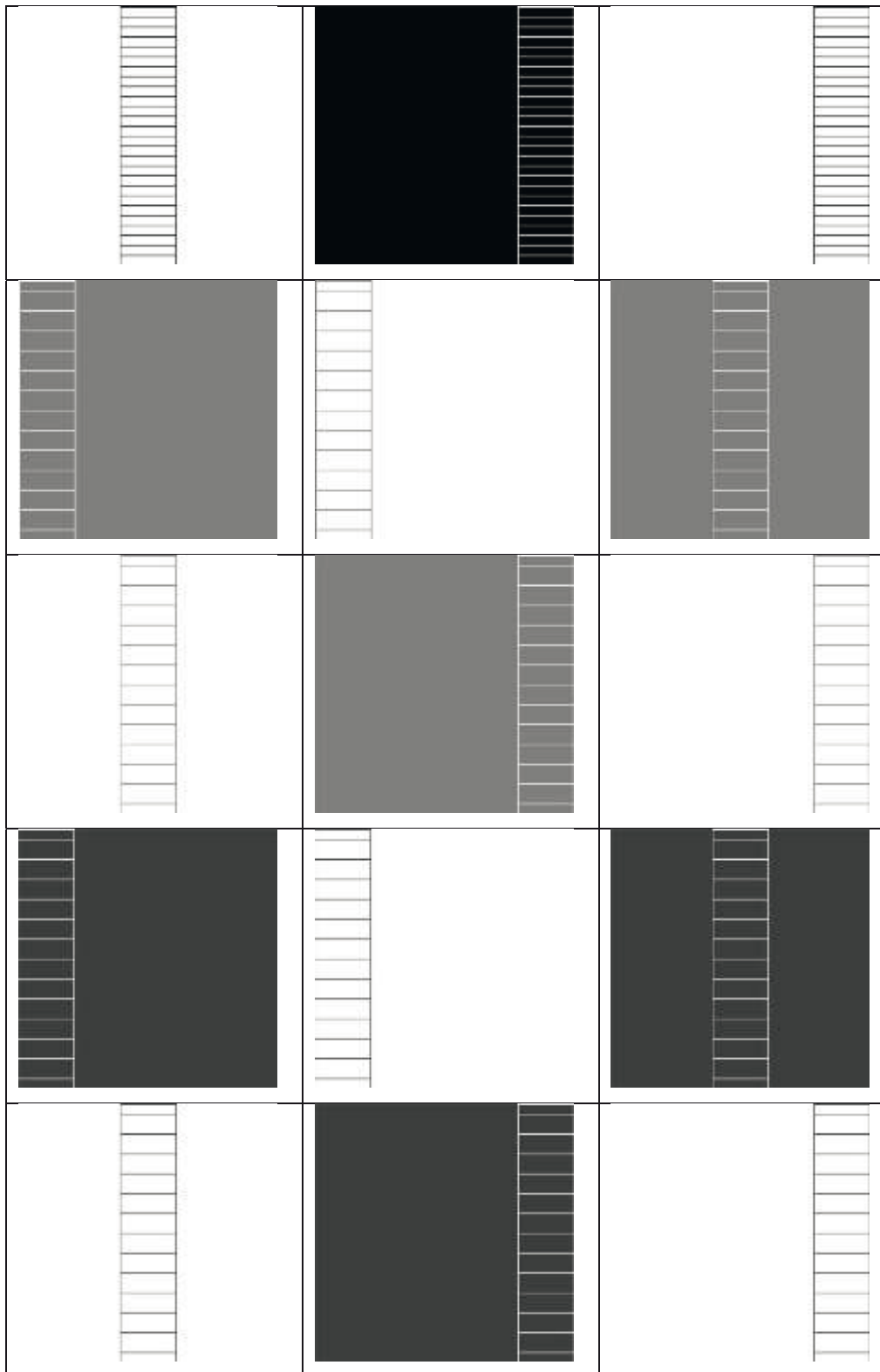
Das Leitsystem in dem neu gestalteten Bereich in Herford wurde von den beiden Teilnehmern, die selten in Herford unterwegs sind, nicht unmittelbar erkannt (Obwohl die Materialien nach Labormessungen der TU Dresden den aktuellen Anforderungen der DIN hinsichtlich des Leuchtdichtekontrasts und des Mindestreflexionsgrades entspricht).

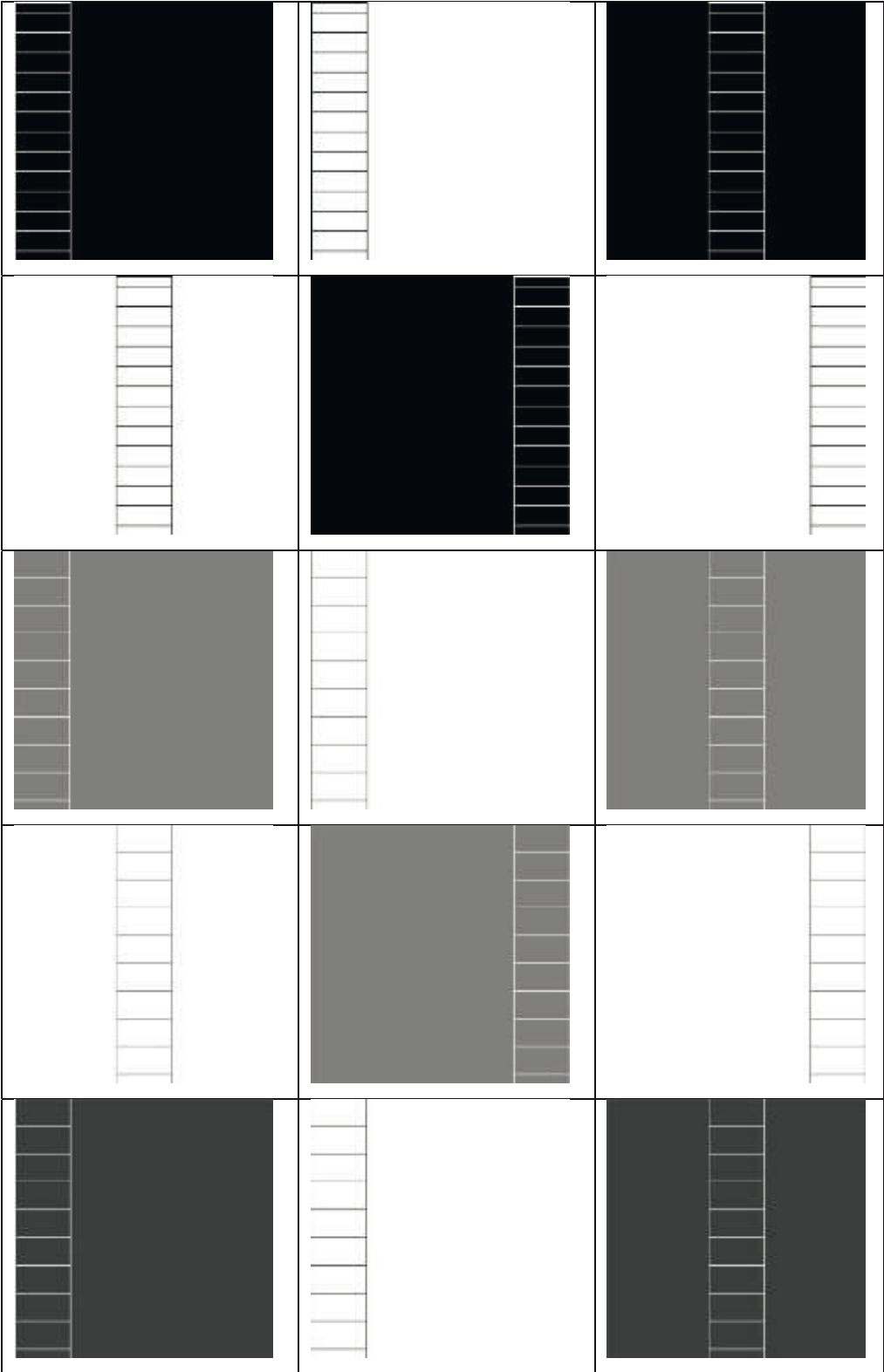
Ein in einer Stadt einheitliches und durchgängiges Leitsystem sei derzeit noch nicht umgesetzt und wie von den Teilnehmern vermutet auch nur schwer umsetzbar. So können sie sich derzeit bei der Orientierung an Bodenbelägen nicht auf die vorliegende Gestaltung verlassen. Schwierig für die Teilnehmer ist es auch, sich in unterschiedlichen Städten an das dort vorhandene Leitsystem anzupassen. Merkpunkte wie Aufmerksamkeitsfelder oder Querrinnen an größeren Geschäften oder wichtigen Referenzpunkten (besondere Gebäude im Stadtbild, Behörden, Poststelle, usw.) würden den drei Teilnehmern die Orientierung erleichtern.

## 12.5 Übersicht aller gezeigten Bilder für Labortests

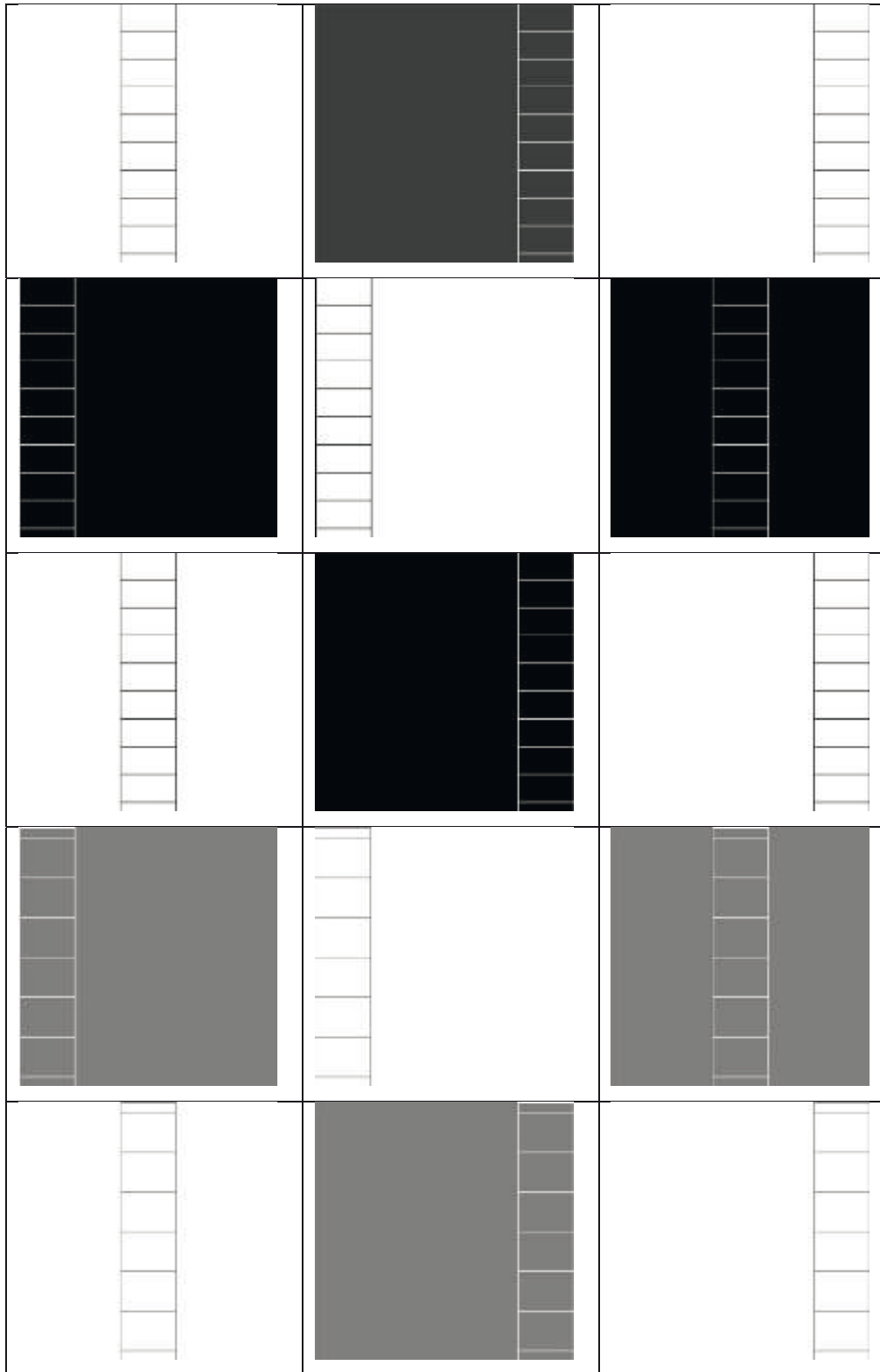
### 12.5.1 Labortest Einfluss des Fugenanteils (LA1)

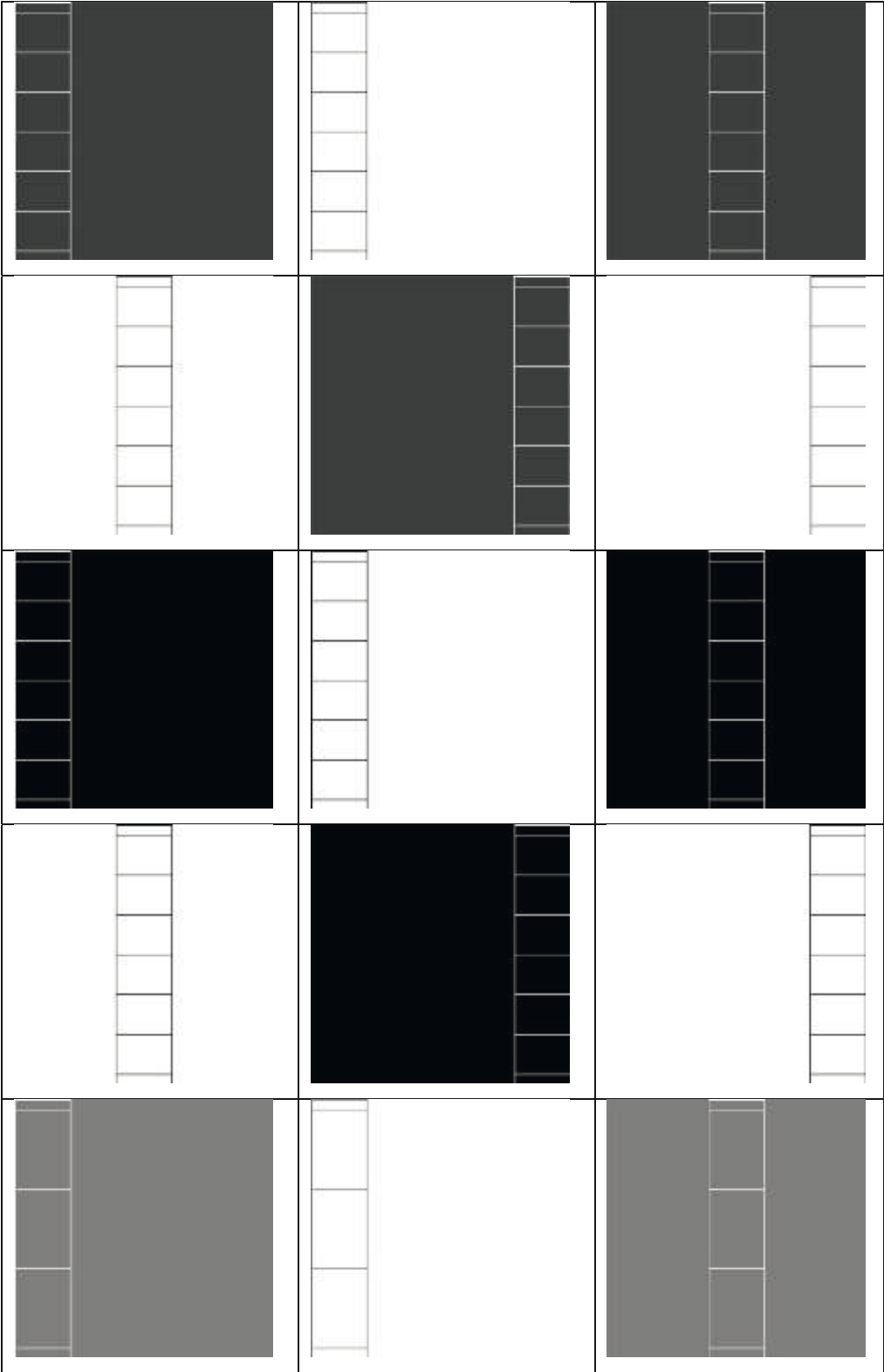


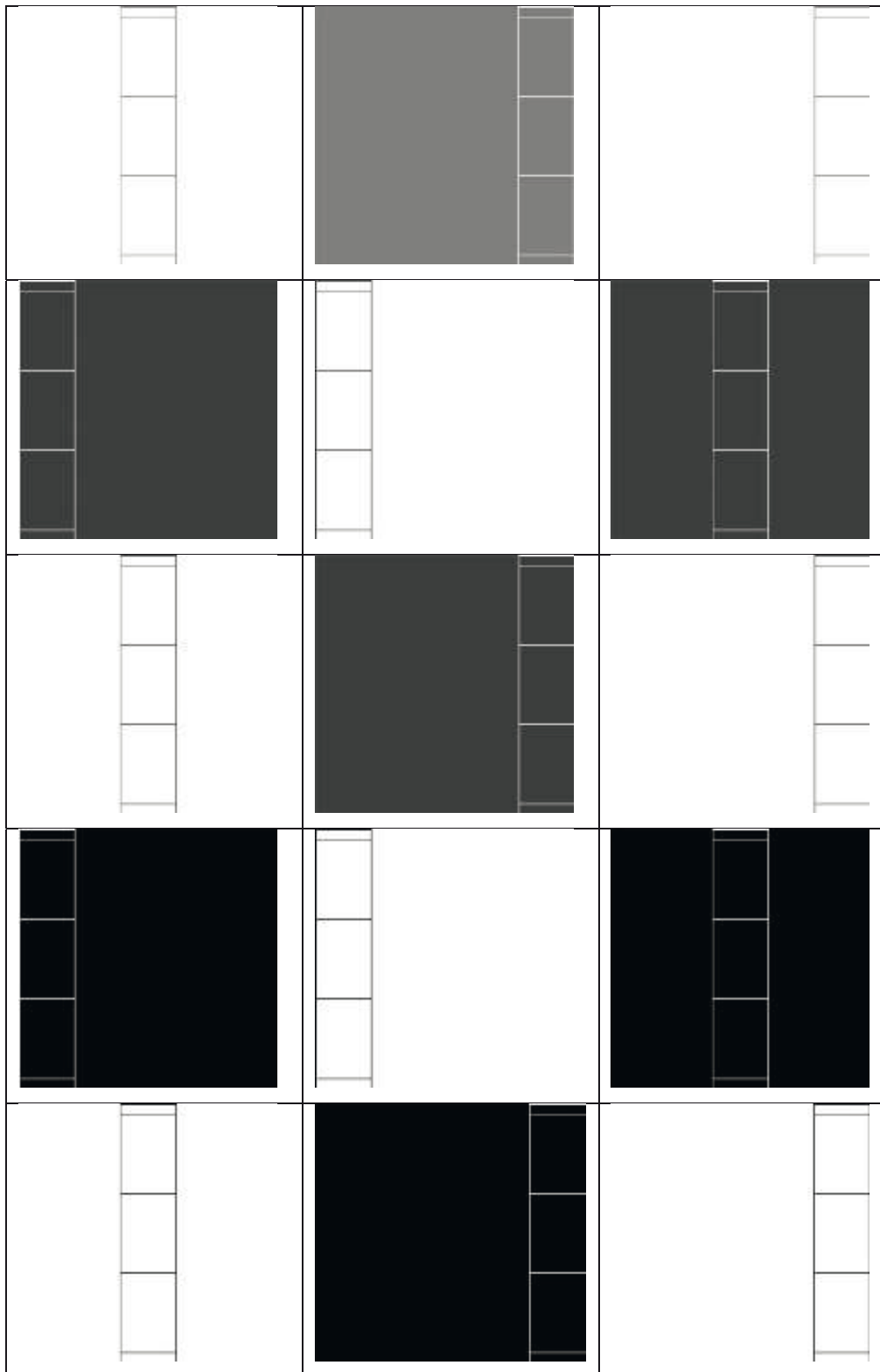




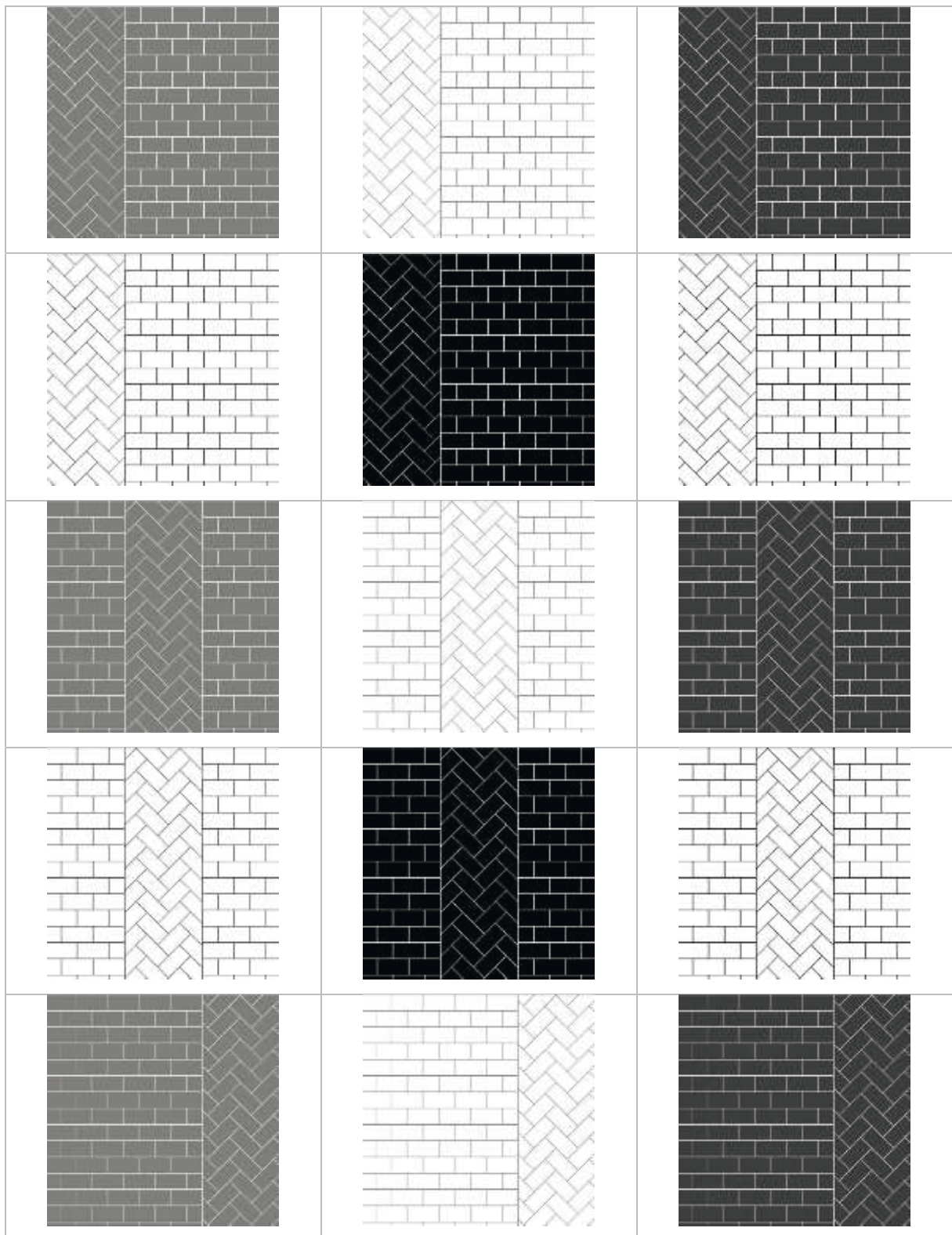


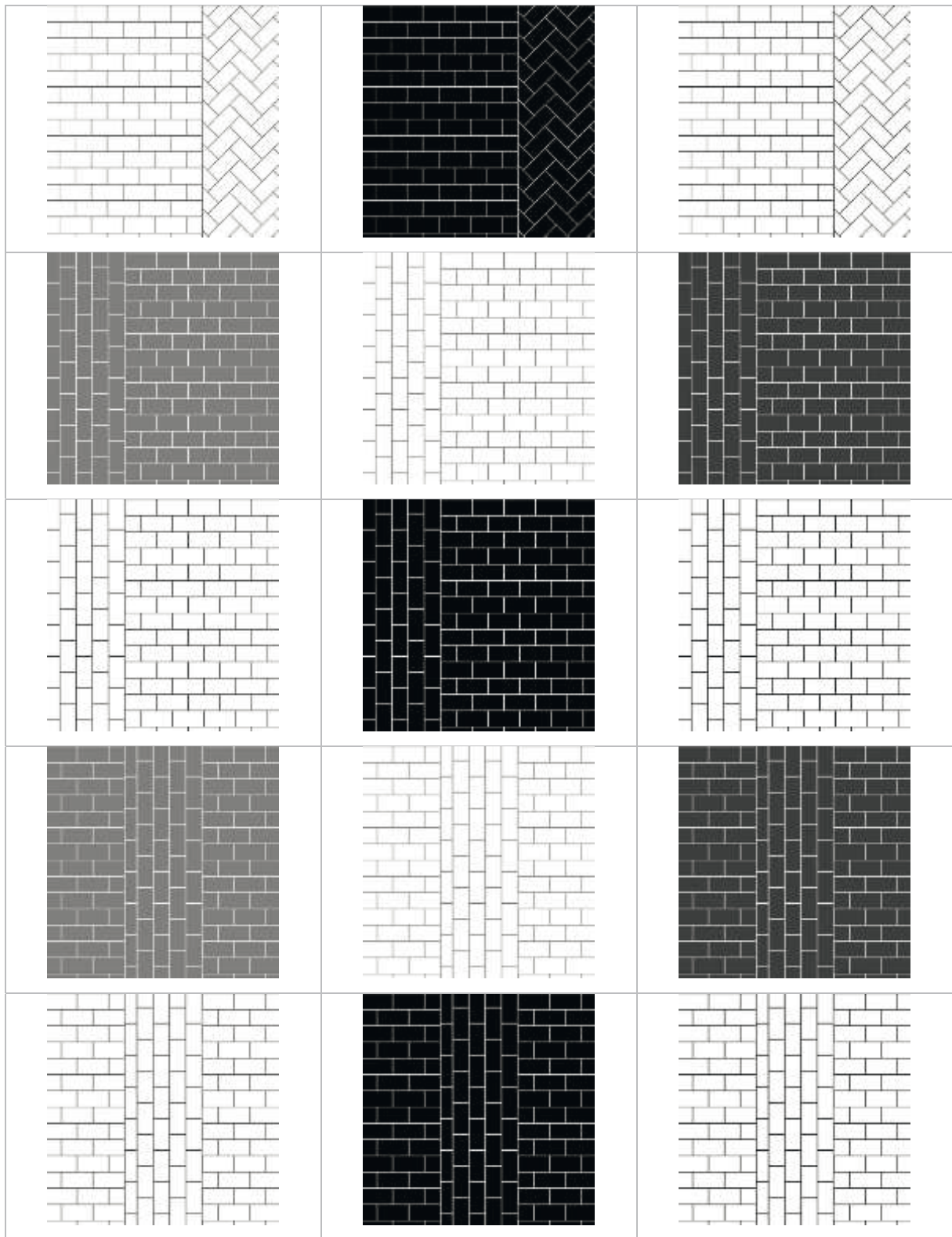


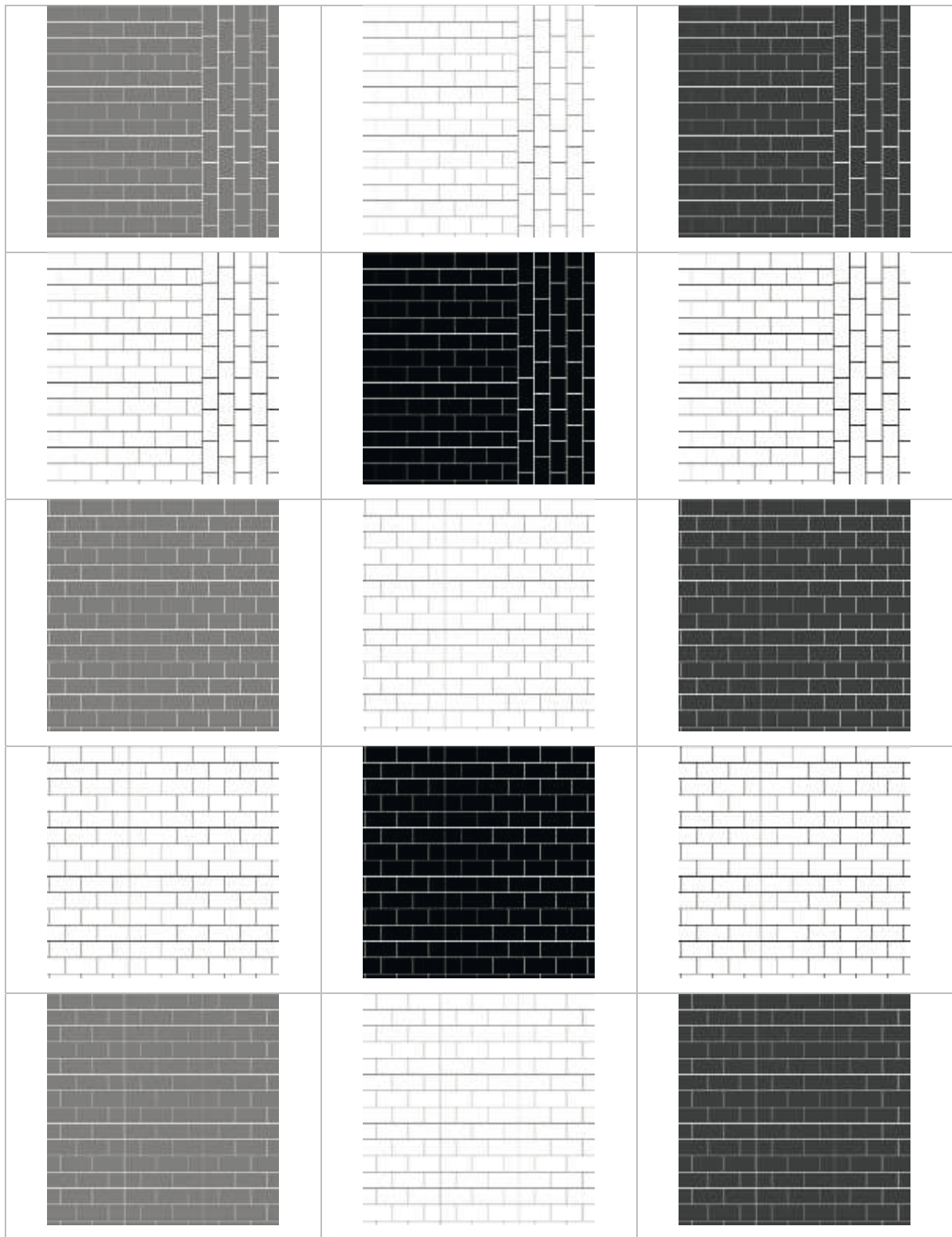


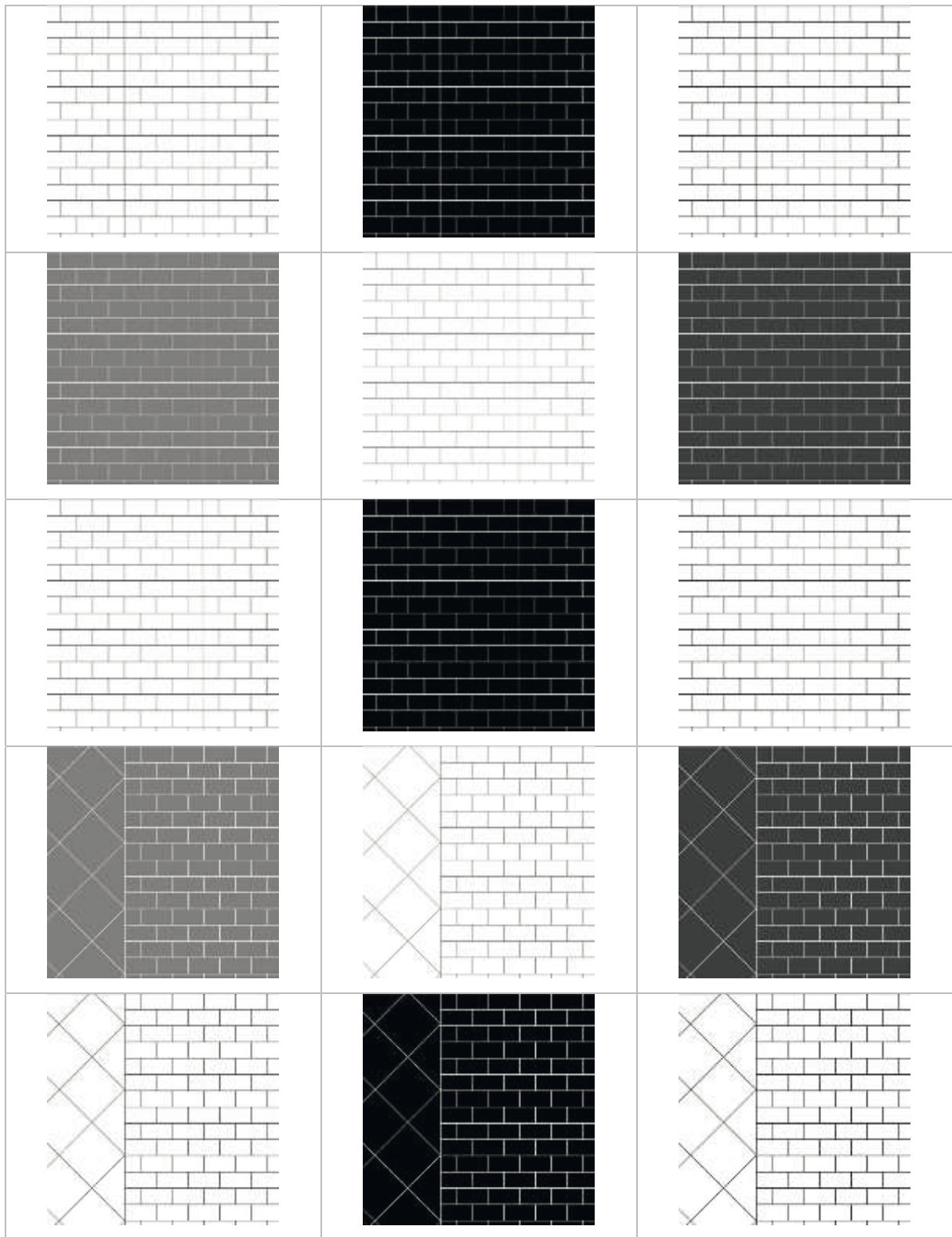


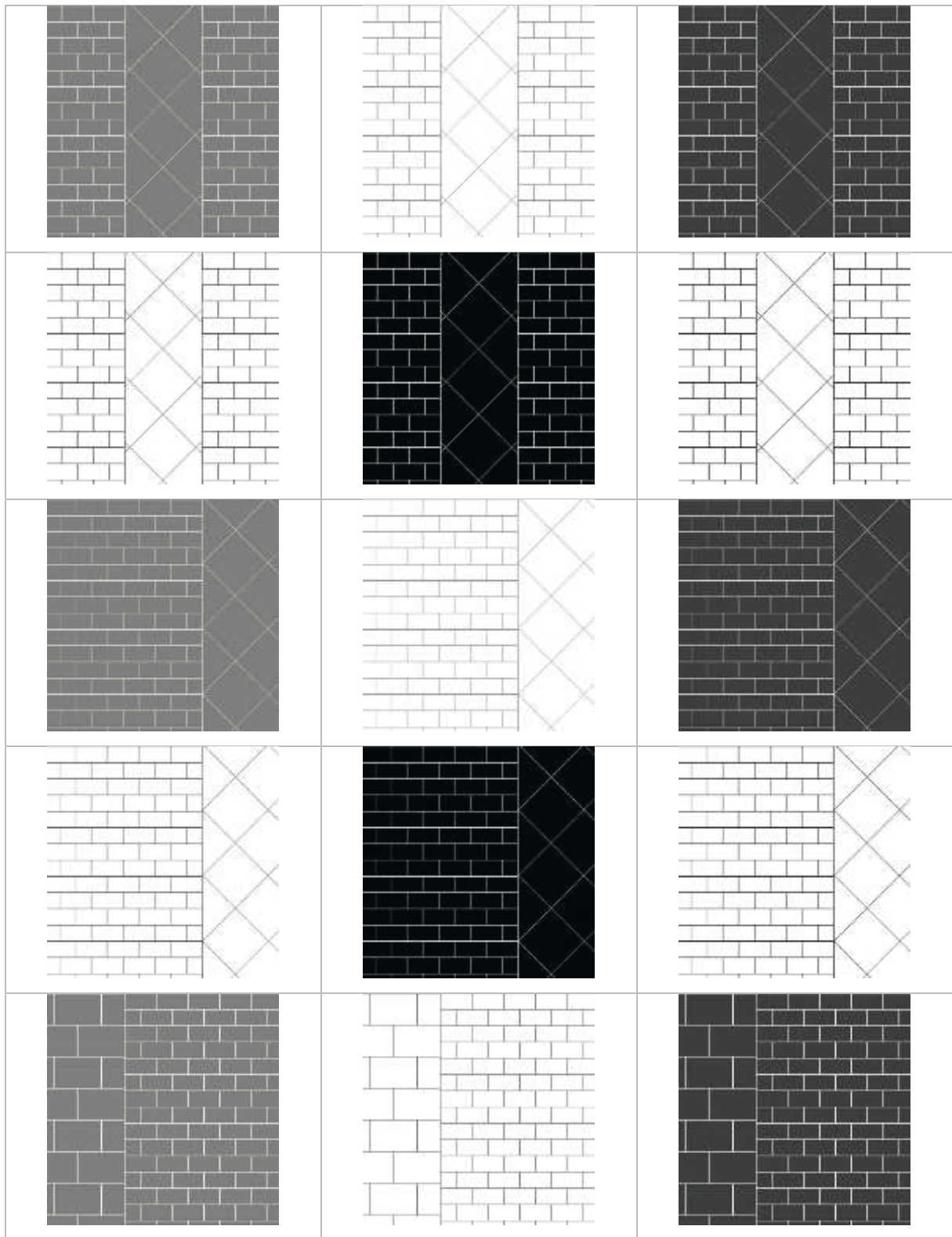
12.5.2 Labortest Fugenkombination (LA2)



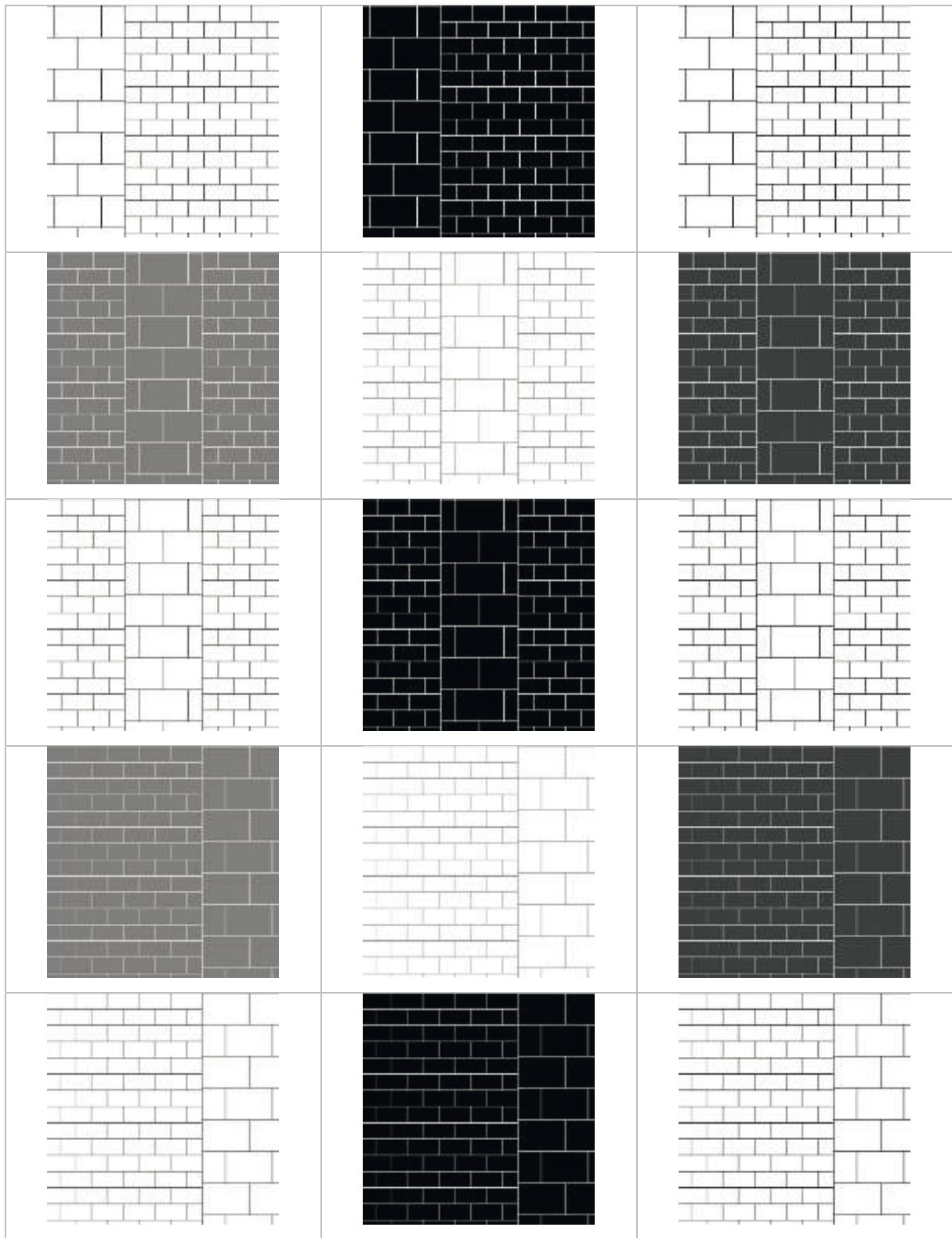




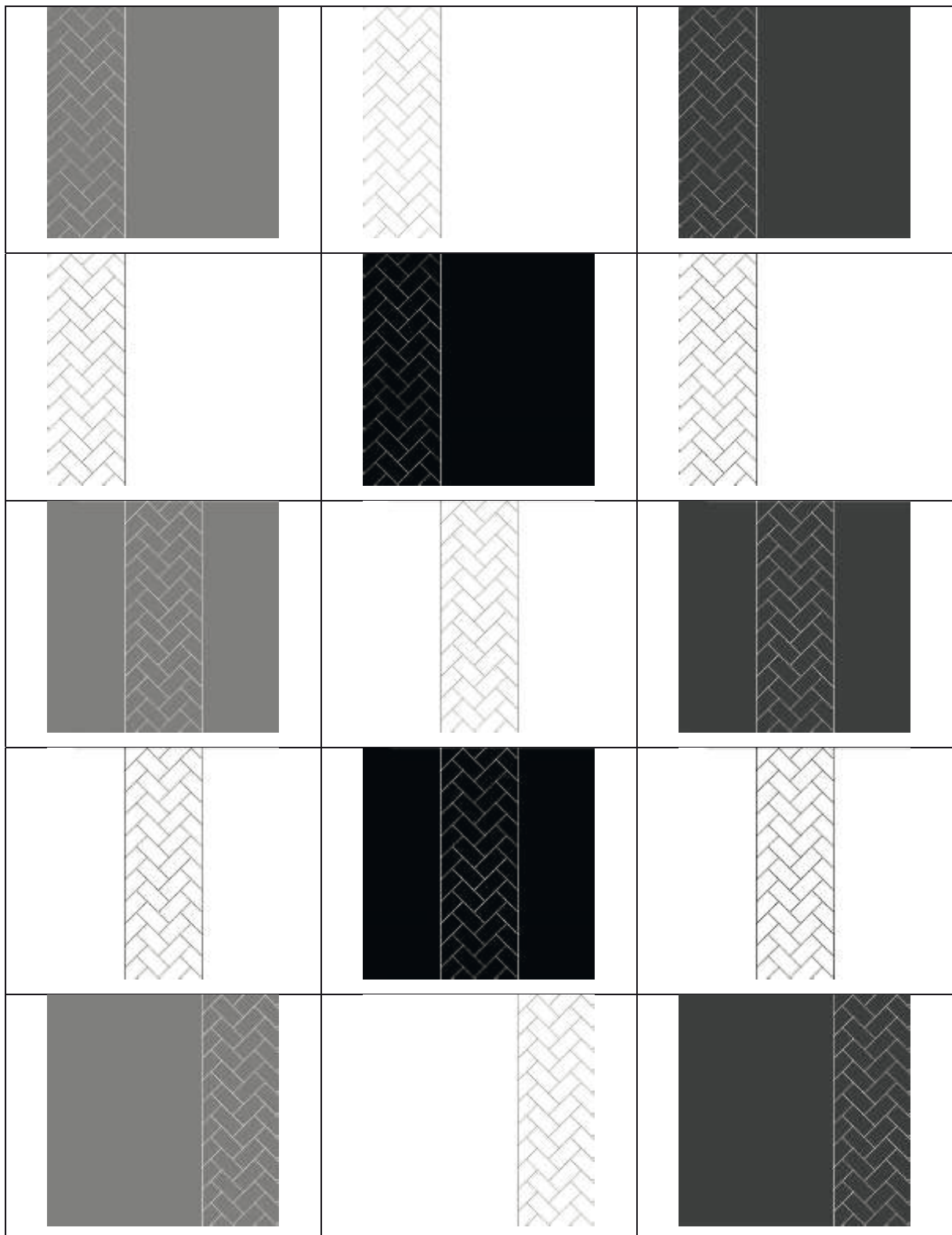


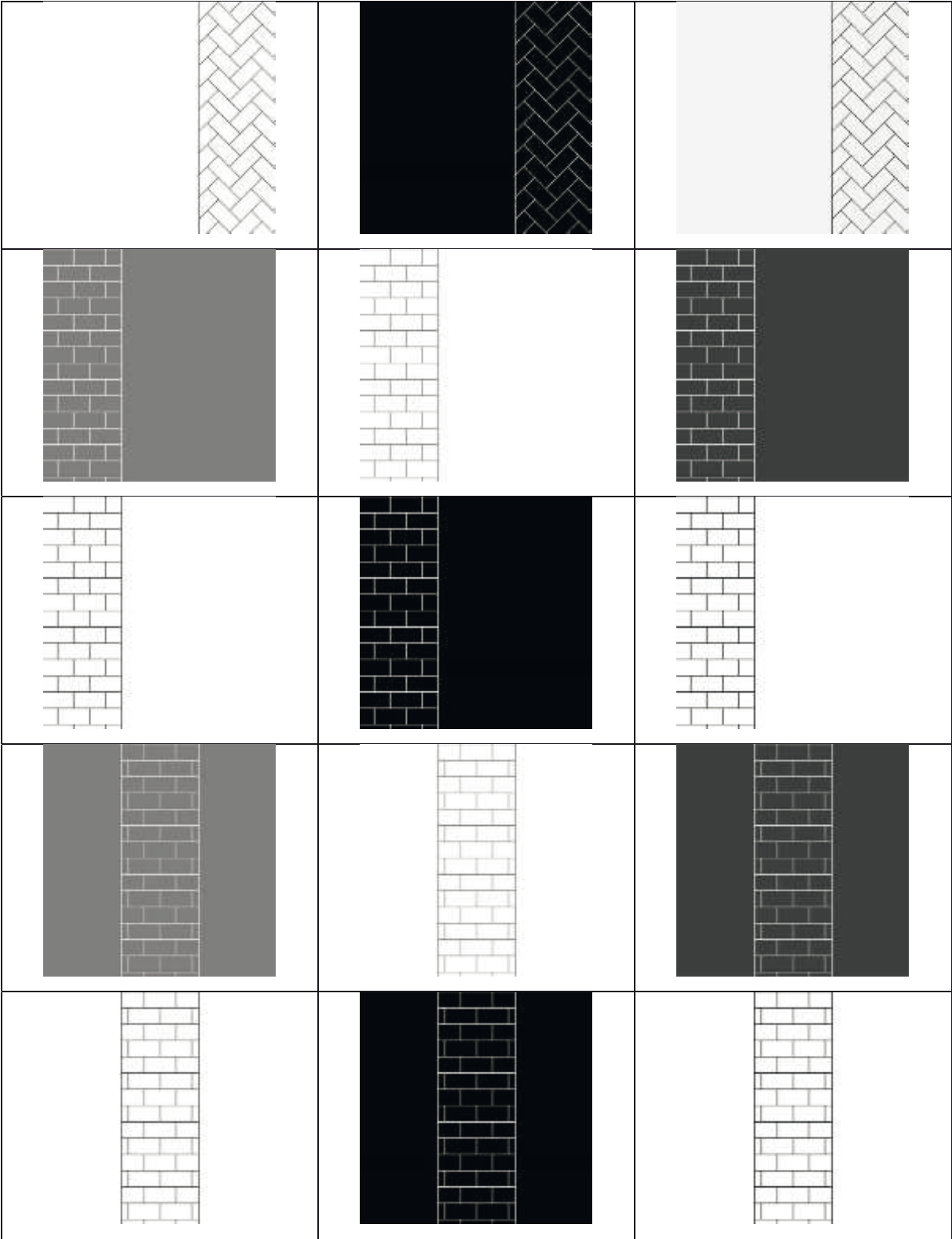


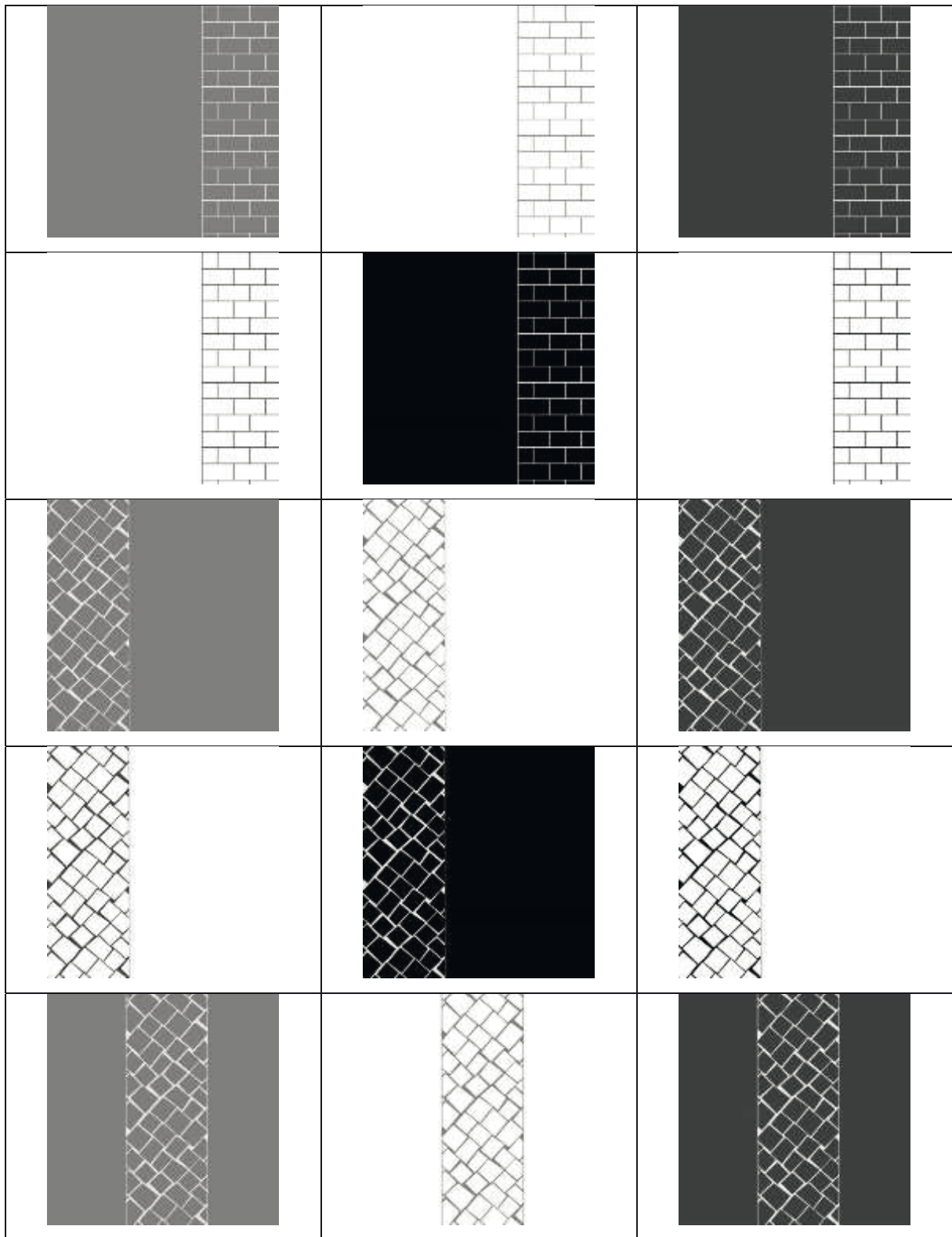


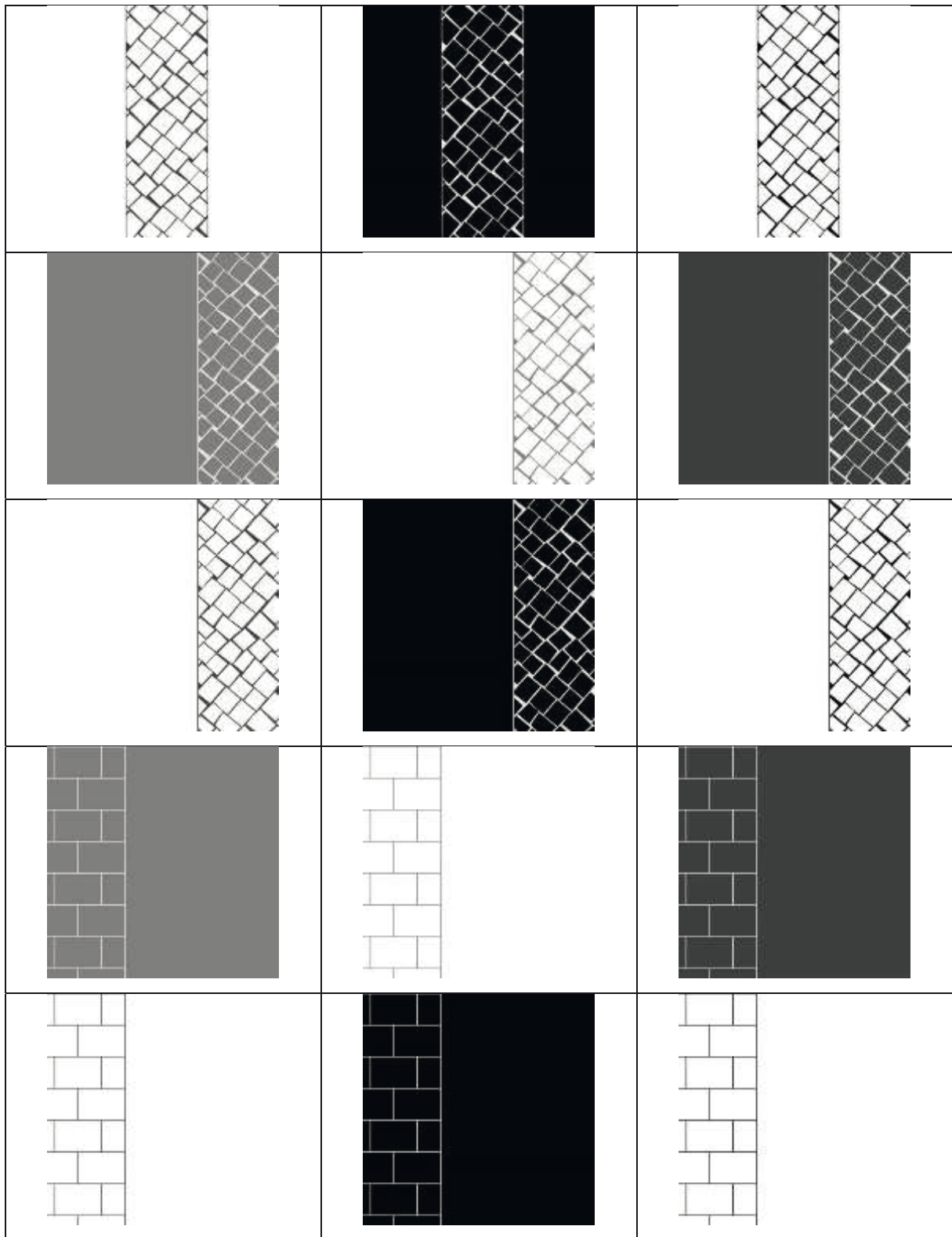


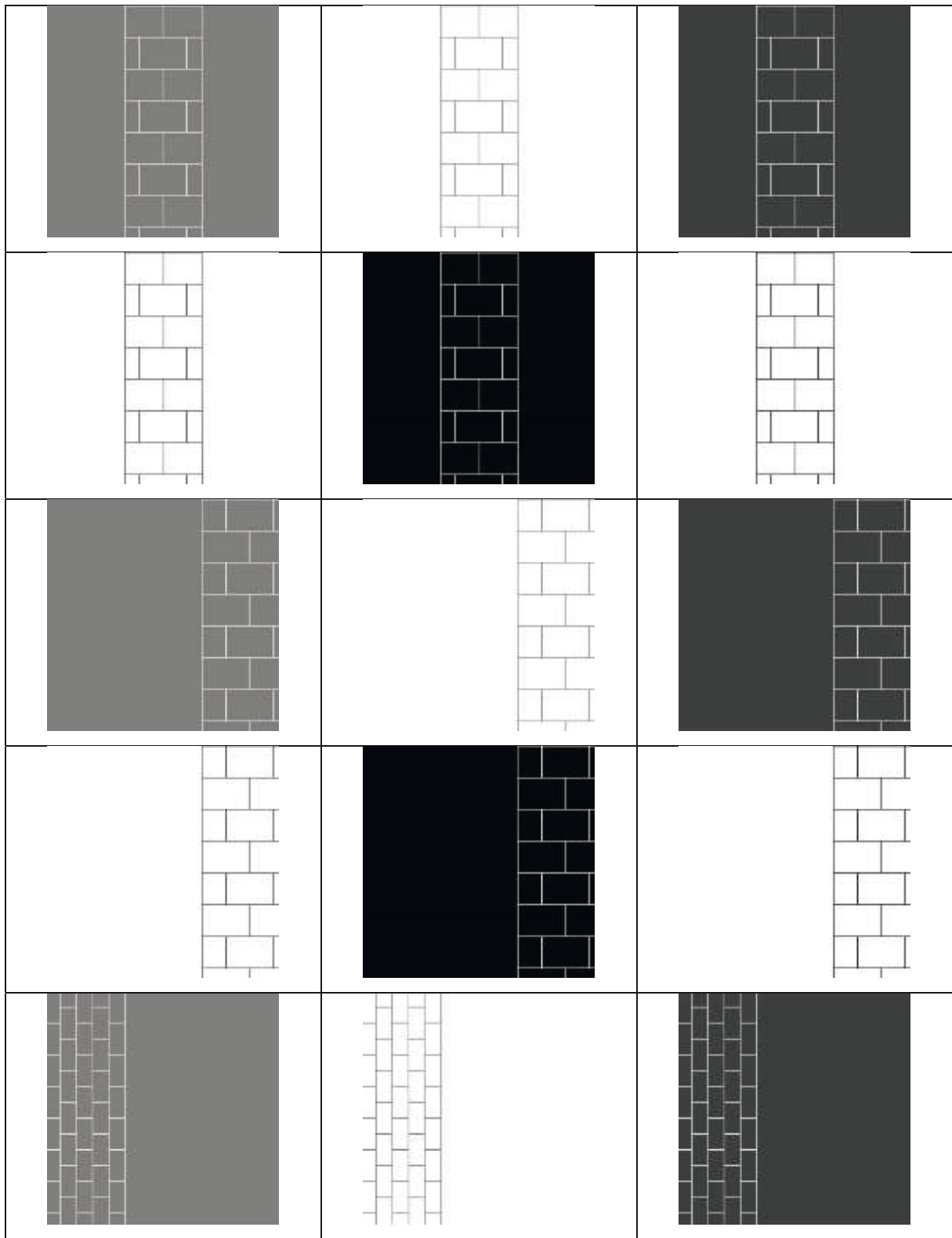
12.5.3 Labortest Einfluss der Fugenausrichtung (LA3)

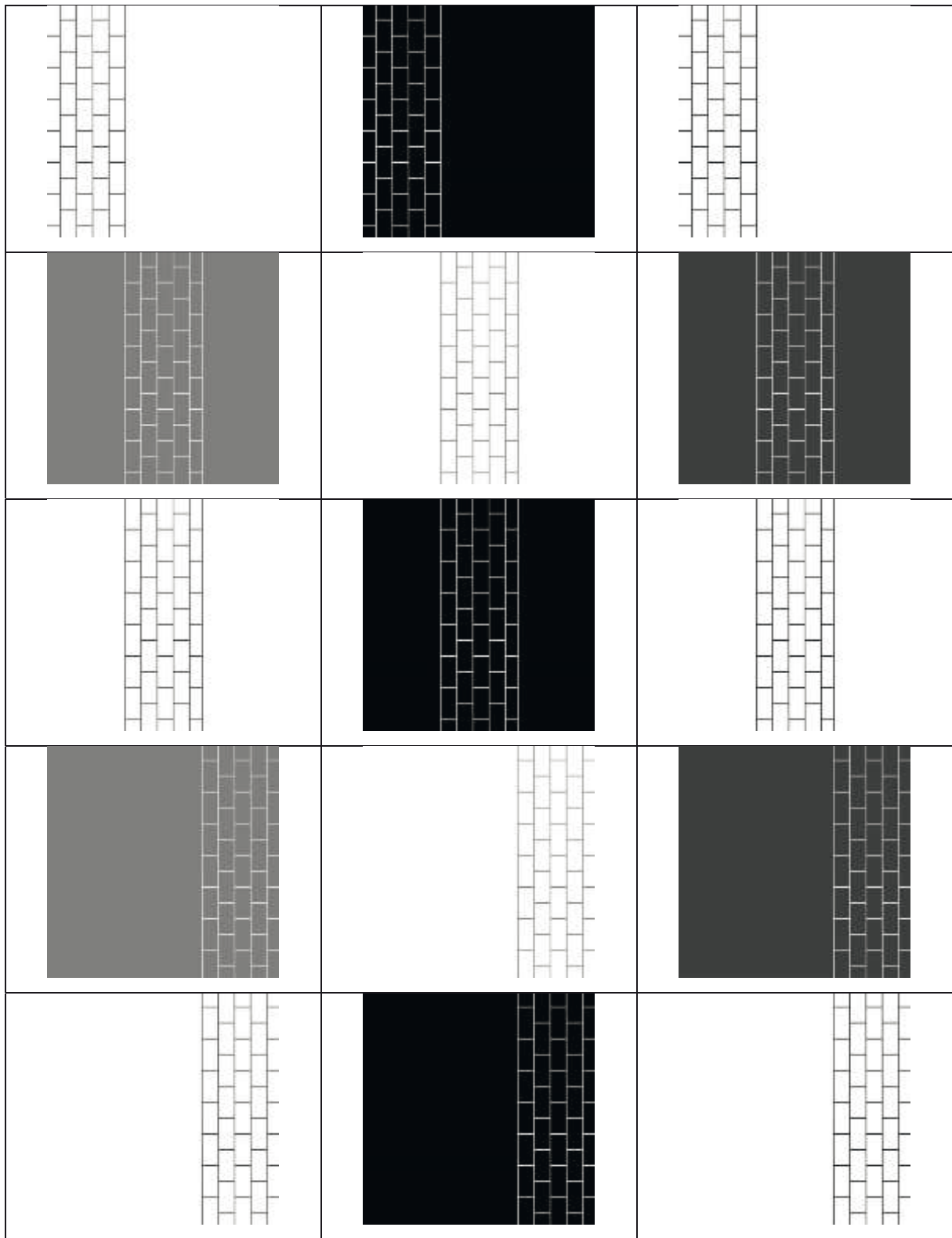






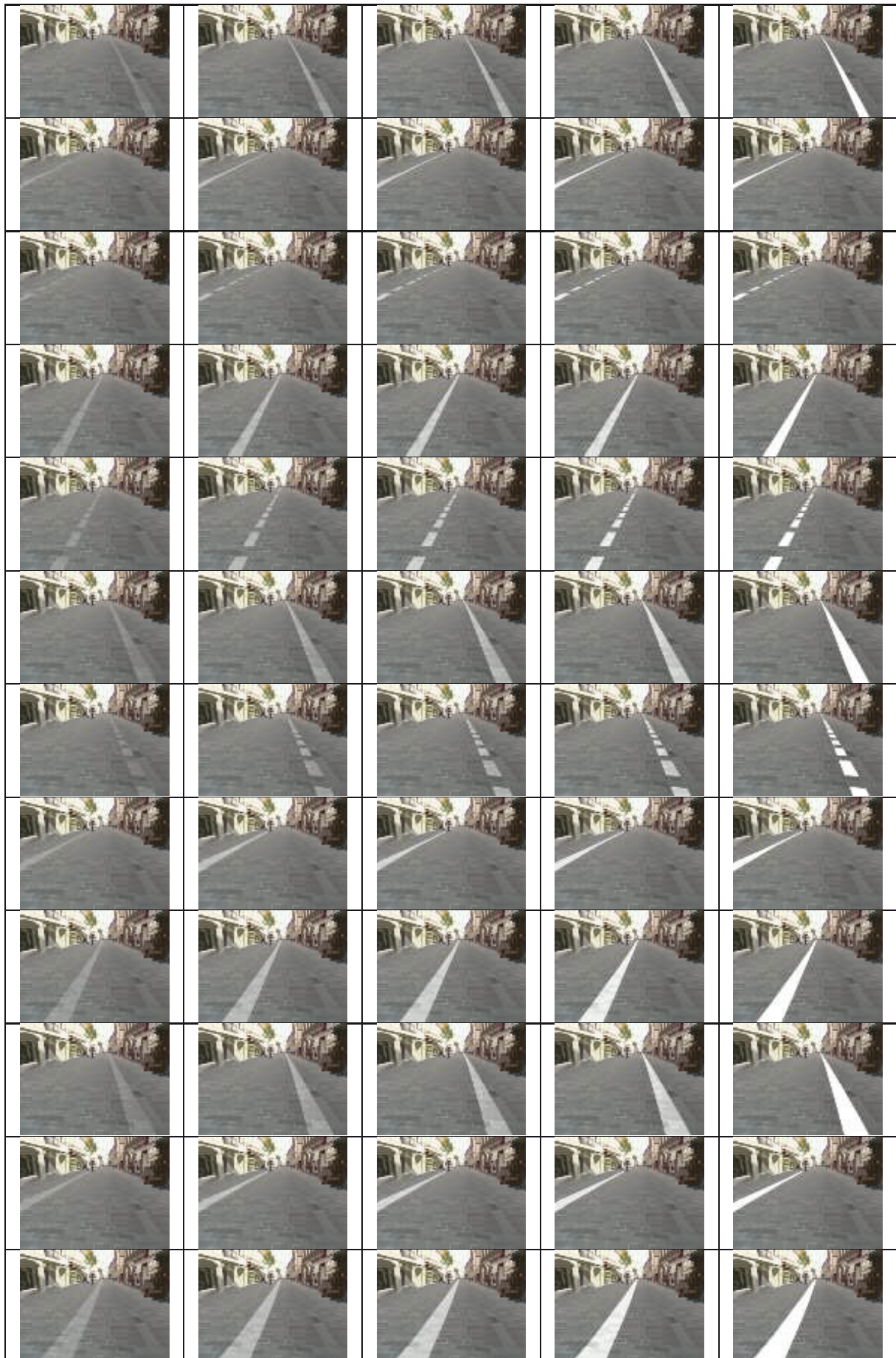






*12.5.4 Labortest Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen (LB)*







## 12.6 Standardabweichungen für Tests unter Laborbedingungen

### 12.6.1 Tests Einfluss von Fugenbildern

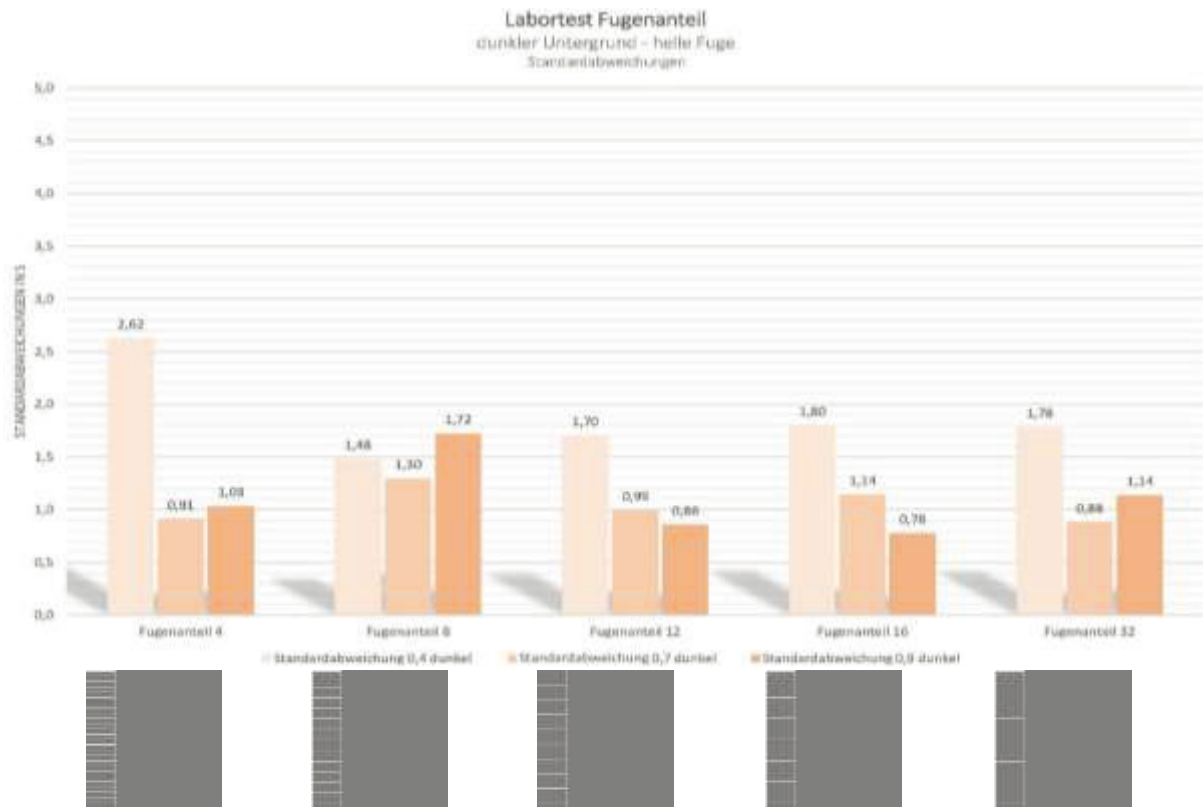


Abbildung 167: Test Fugenanteil: Standardabweichungen der Reaktionszeit für Bilder mit dunklem Untergrund

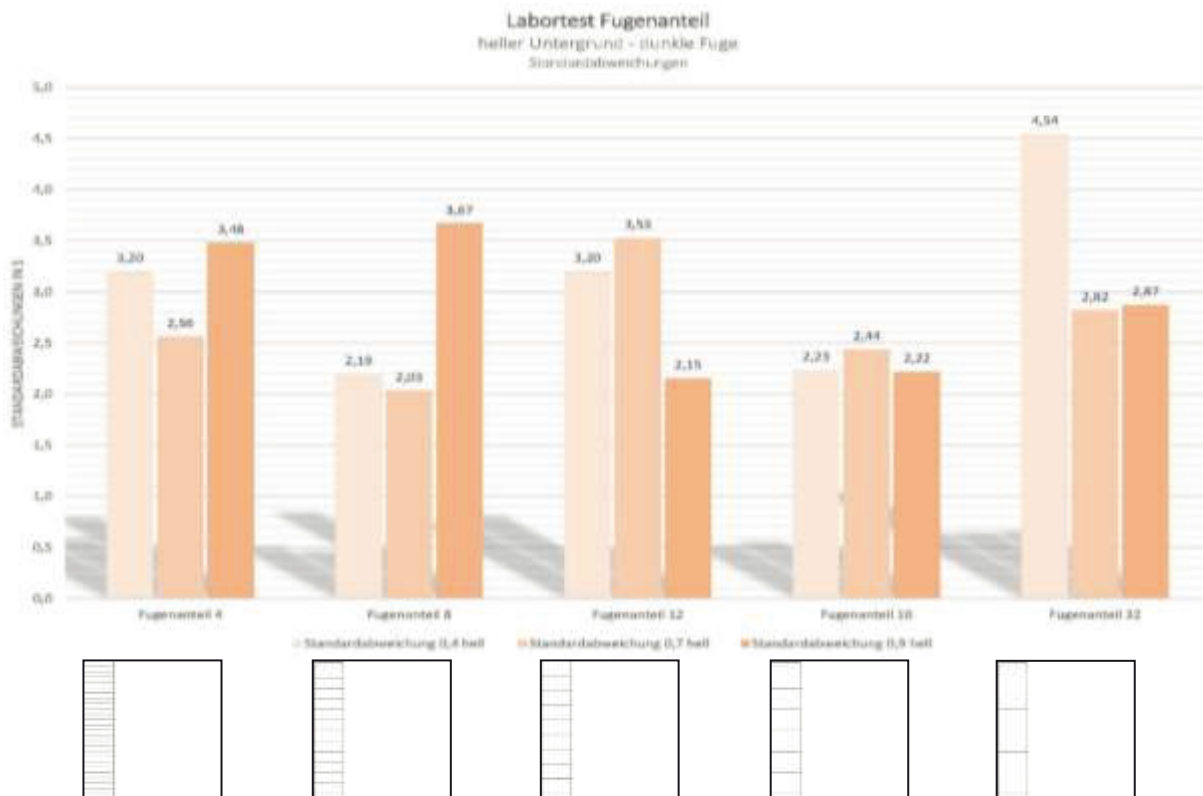


Abbildung 168: Test Fugenanteil: Standardabweichungen der Reaktionszeit für Bilder mit hellem Hintergrund

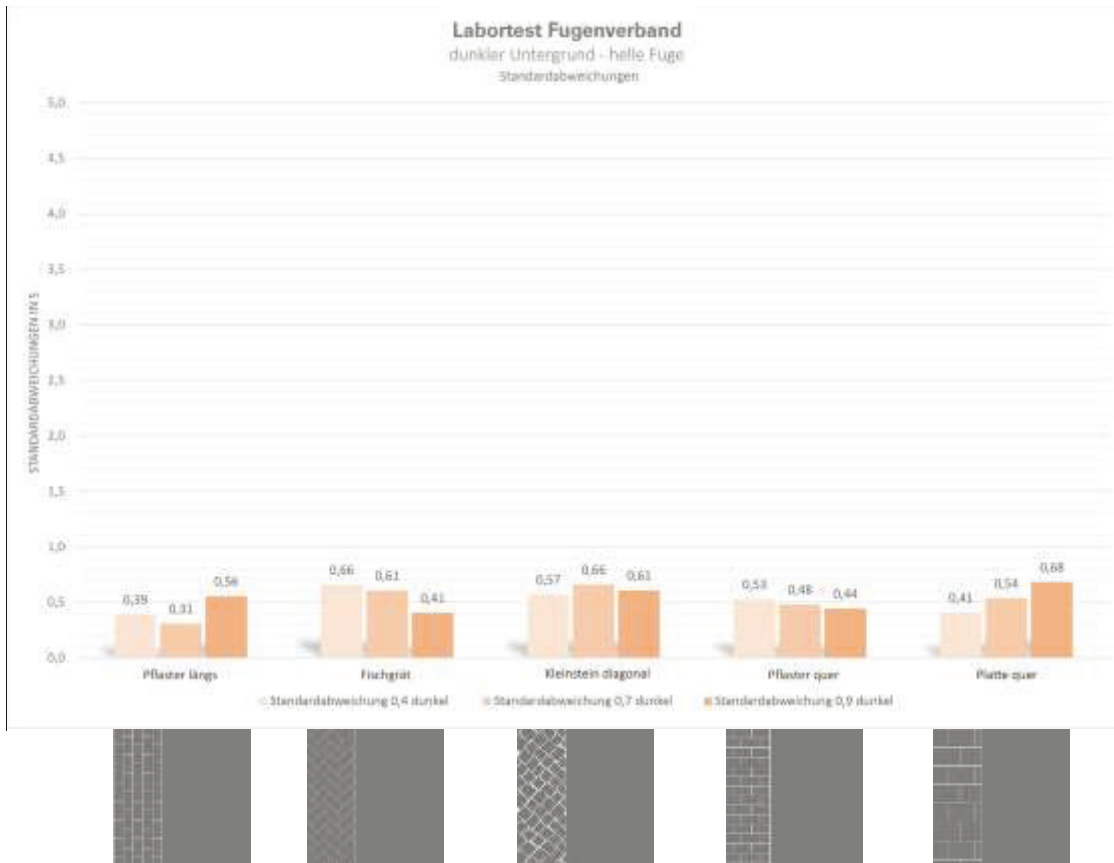


Abbildung 169: Test Fugenverband: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit dunklem Untergrund

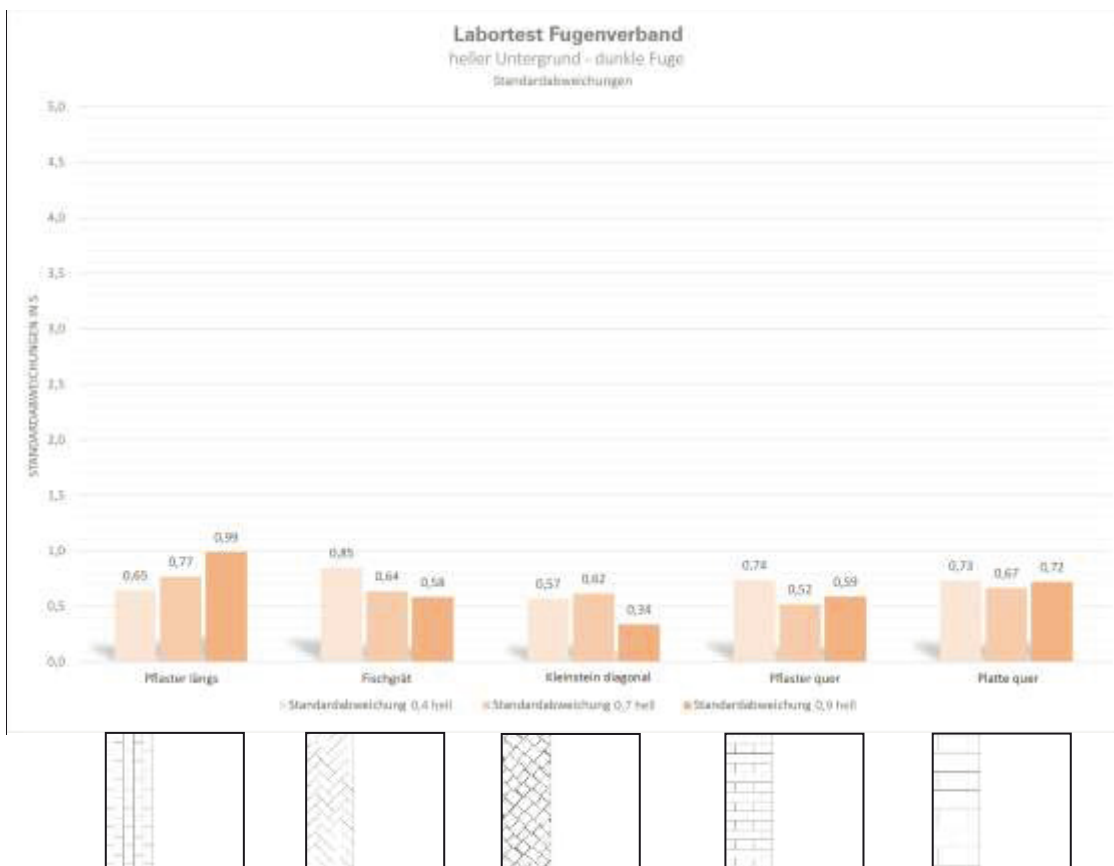


Abbildung 170: Test Fugenverband: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit hellem Untergrund

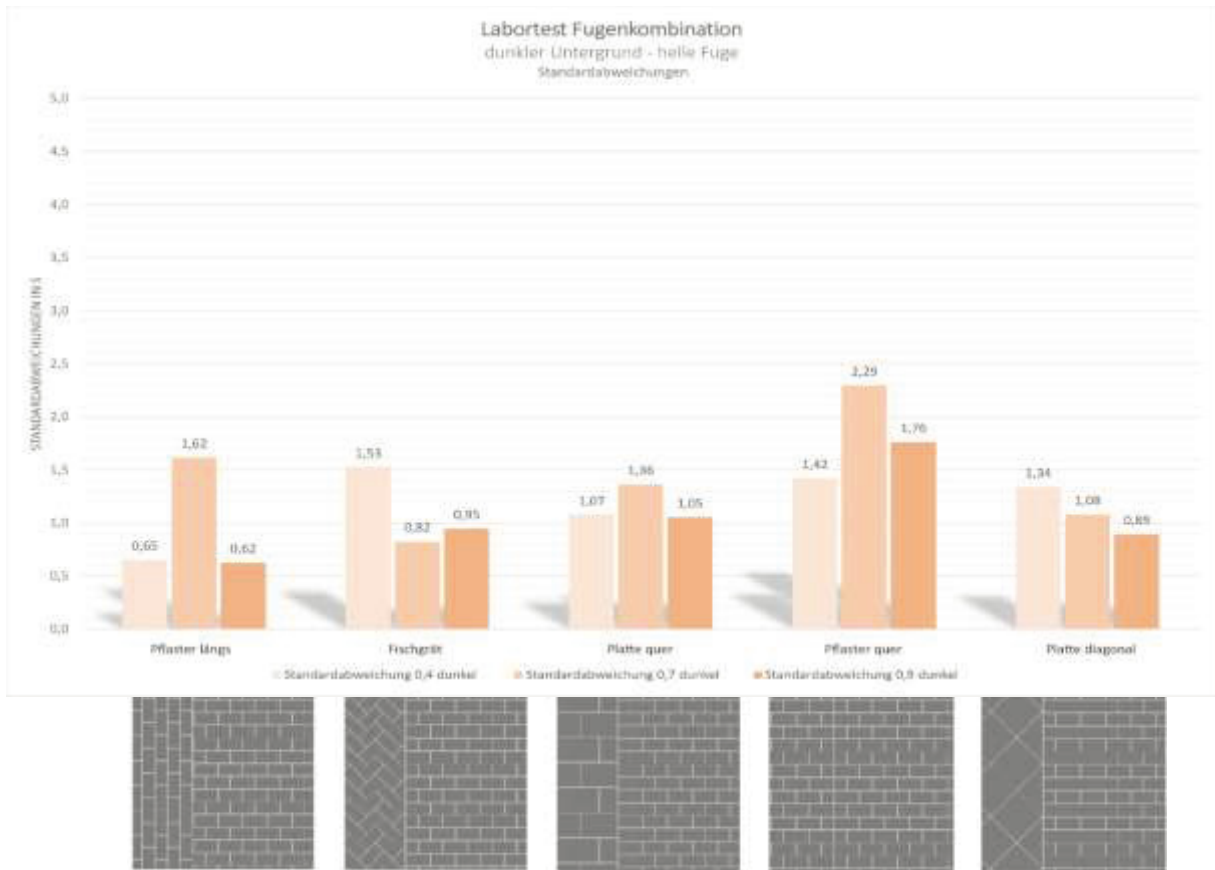


Abbildung 171: Test Fugenkombination: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit dunklem Untergrund

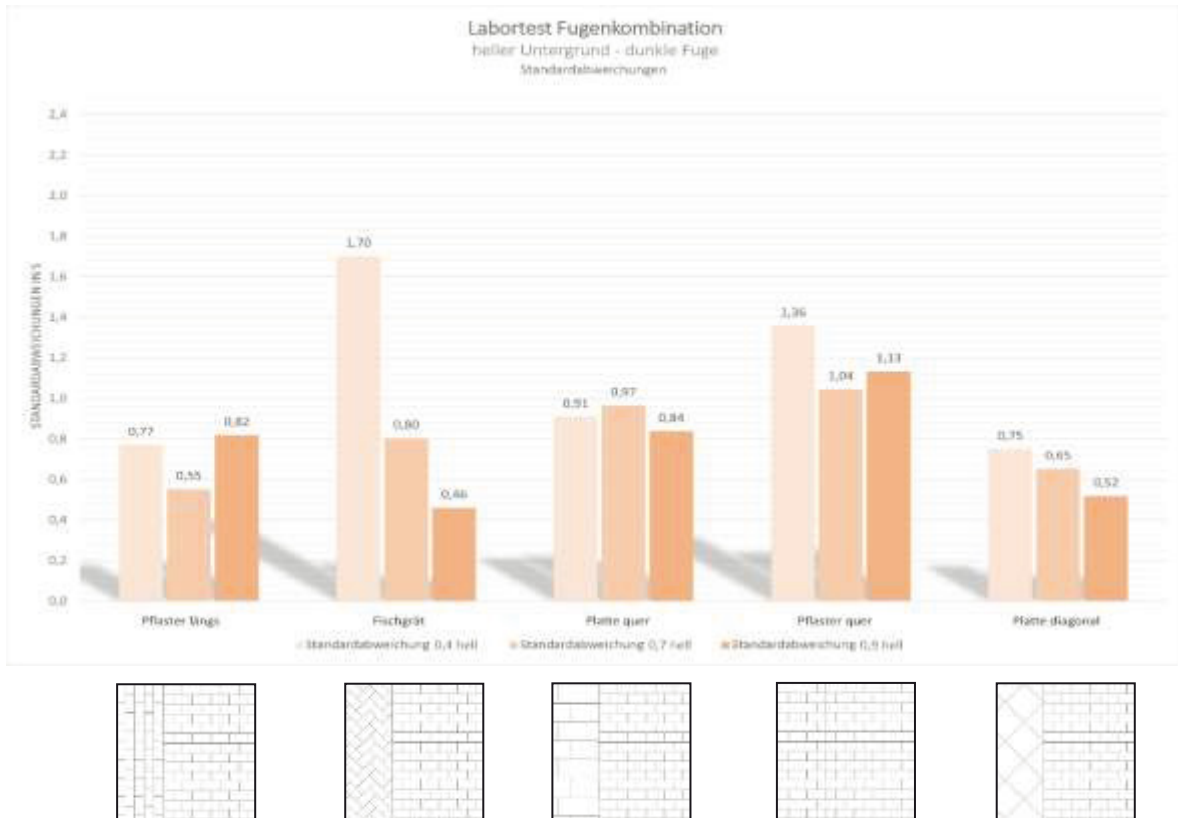


Abbildung 172: Test Fugenkombination: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit hellem Untergrund

12.6.2 Test Einfluss der Breite von bodengebundenen Leitelementen

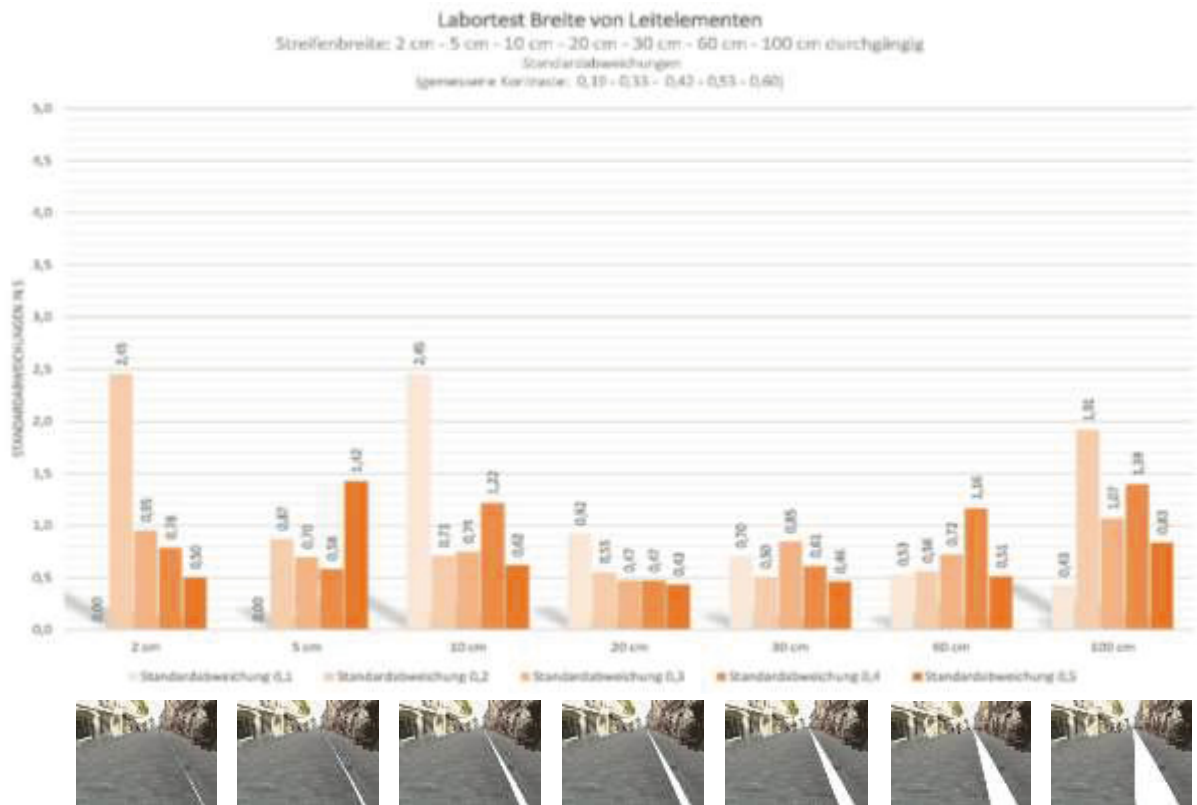


Abbildung 173: Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder aller dargebotenen Breiten

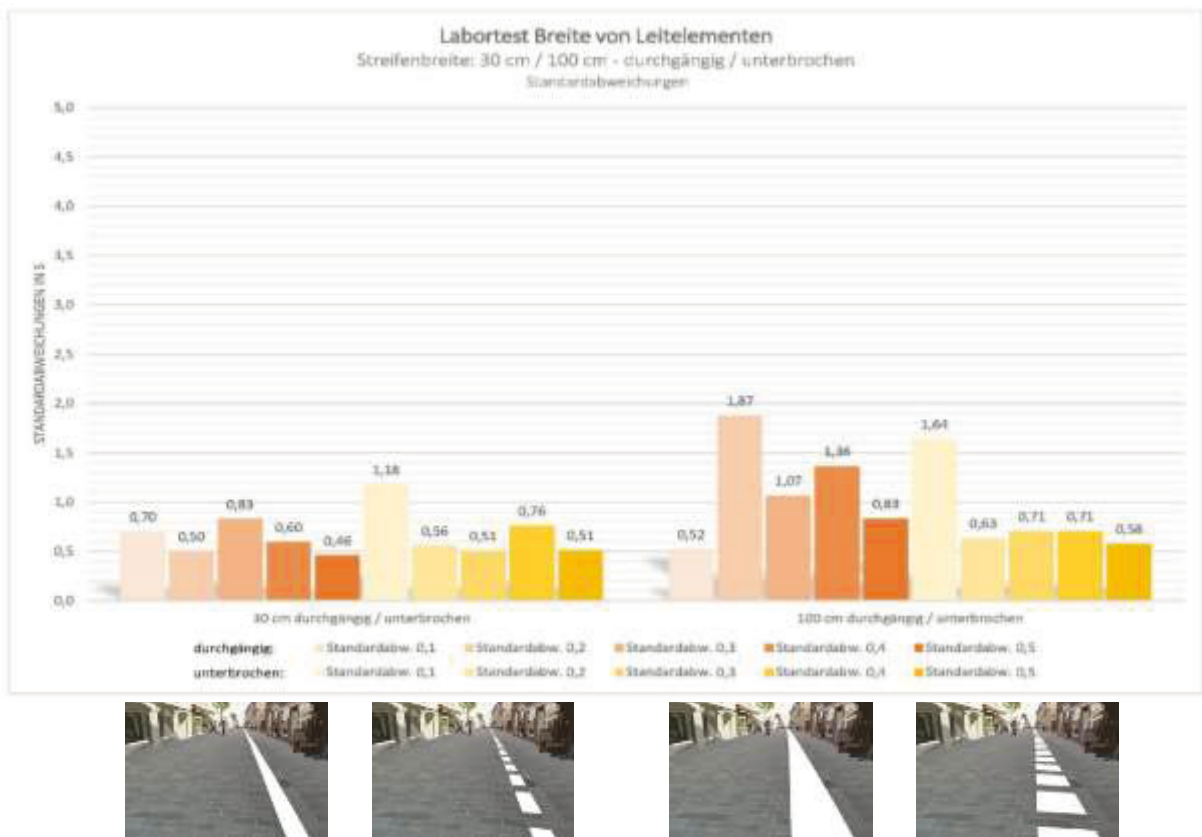


Abbildung 174. Standardabweichungen der Reaktionszeiten für Bilder mit unterbrochenen und durchgängigen Leitstreifen mit Breiten 30 cm und 100 cm

## 12.7 Übersicht der Testfelder auf der Teststrecke im Innenraum

### 12.7.1 Erkennen des sich vom Grundmaterial abhebenden Materialstreifens - Durchgang 1 und 2

Bild 1 bzw. Bild 9

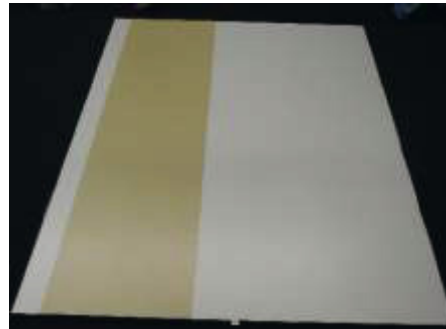
Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 1)



Durchgang 2 (Testfeld 9)



Kontrast: 0,15

0,15

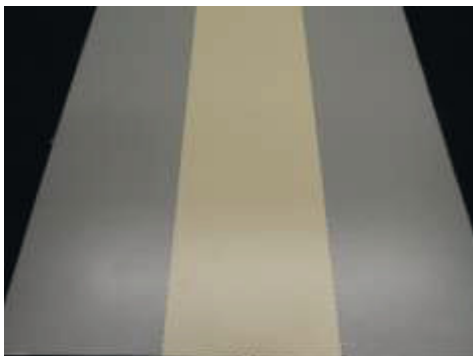
Reflexionsgrad der  
helleren Fläche: 0,49

Bild 2 bzw. Bild 12

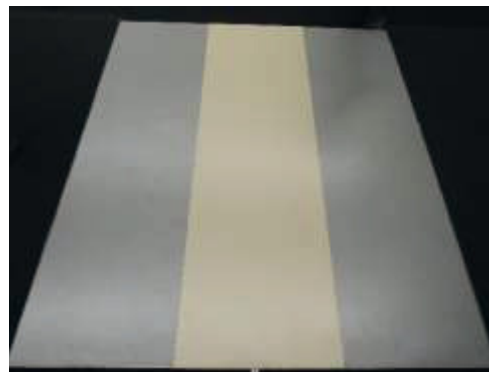
Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 2)



Durchgang 2 (Testfeld 12)



Kontrast: 0,29

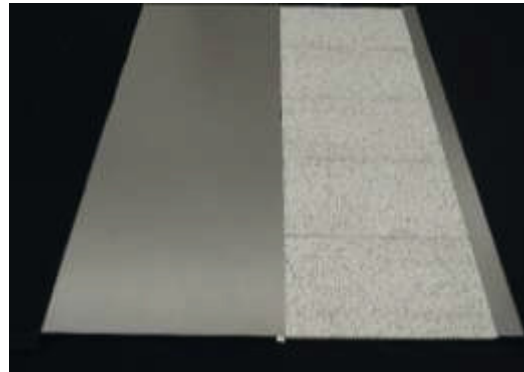
0,28

Reflexionsgrad der  
helleren Fläche: 0,3

## Bild 3 bzw. Bild 11

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase (hellgrau)

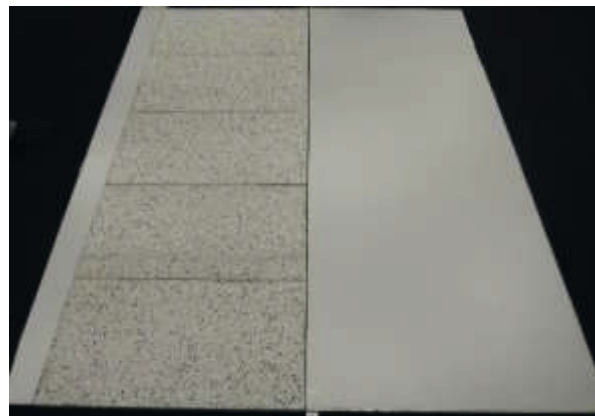
Durchgang 1 (Testfeld 3)Kontrast: 0,49Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,20Durchgang 2 (Testfeld 11)

0,48

## Bild 4 bzw. Bild 10

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase (hellgrau)

Durchgang 1 (Testfeld 4)Kontrast: 0,03Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,49Durchgang 2 (Testfeld 10)

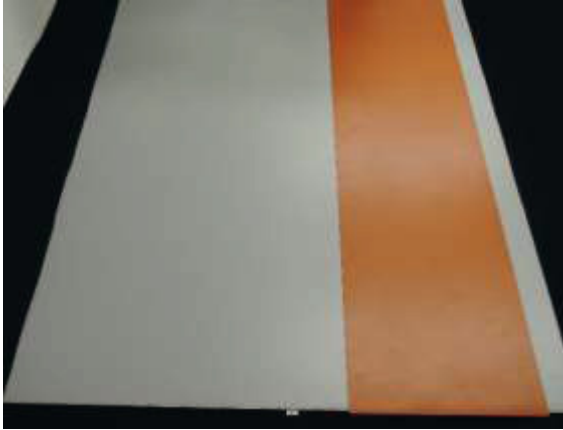
0,02



## Bild 5 bzw. Bild 13

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6514 (orange)

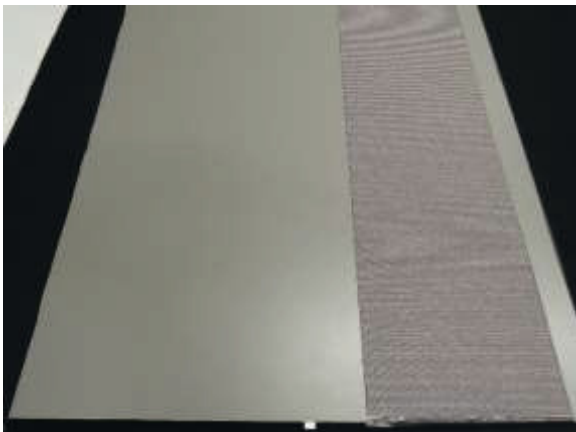
Durchgang 1 (Testfeld 5)Kontrast: 0,31Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,49Durchgang 2 (Testfeld 13)

0,32

## Bild 6 bzw. Bild 16

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 5R01 (dunkelgrau)

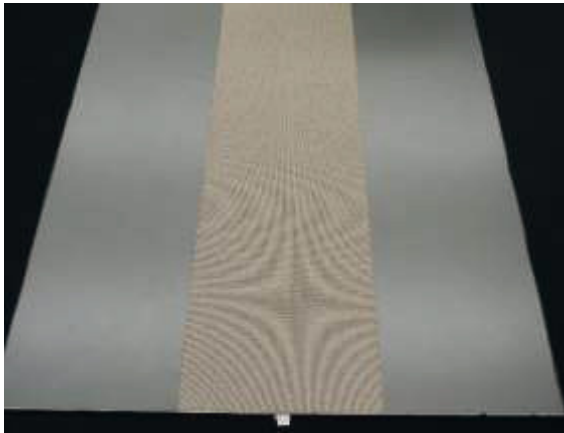
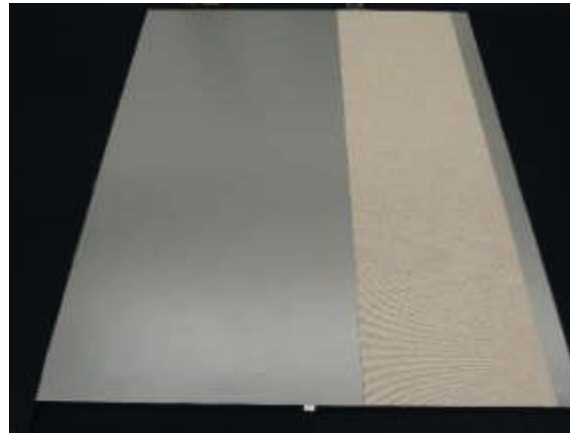
Durchgang 1 (Testfeld 6)Kontrast: 0,08Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,20Durchgang 2 (Testfeld 16)

0,10

## Bild 7 bzw. Bild 15

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

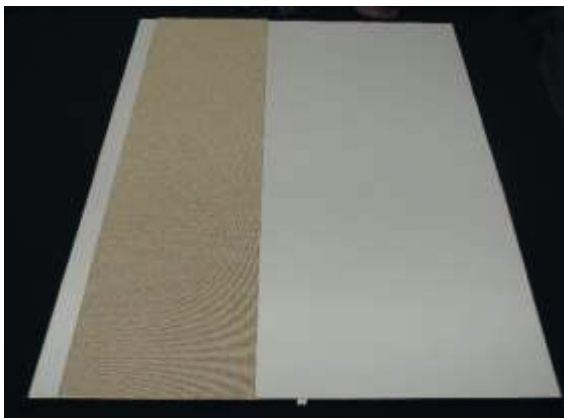
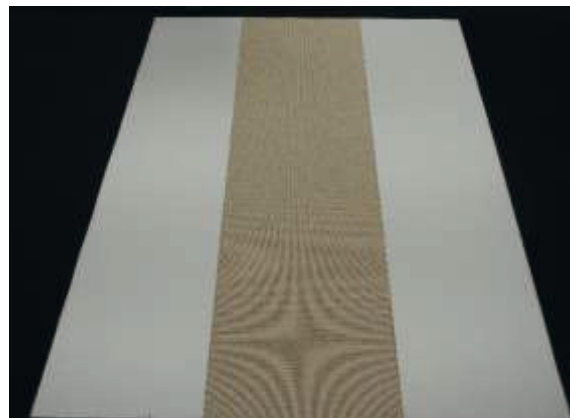
Durchgang 1 (Testfeld 7)Kontrast: 0,29Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,28Durchgang 2 (Testfeld 15)

0,27

## Bild 8 bzw. Bild 14

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 8)Kontrast: 0,15Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,49Durchgang 2 (Testfeld 14)

0,15

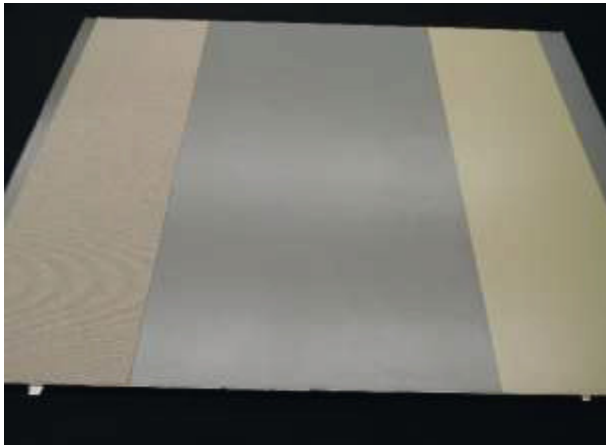
### 12.7.2 Materialvergleiche 1

Vergleichsfeld 1 bzw. Vergleichsfeld 12 (n=19)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige) und Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

#### Durchgang 1 (Blick zum Fenster)



#### Kontrast:

$K = 0,29$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,28$  (np 6510 beige – np 6522 dunkelgrau)

#### Antworten:

links (Teppich Vorwerk 8G35): 6

**rechts (Linoleum noraplan sentica 6510): 10**

gleich: 3

#### Begründungen für Linoleum noraplan sentica 6510

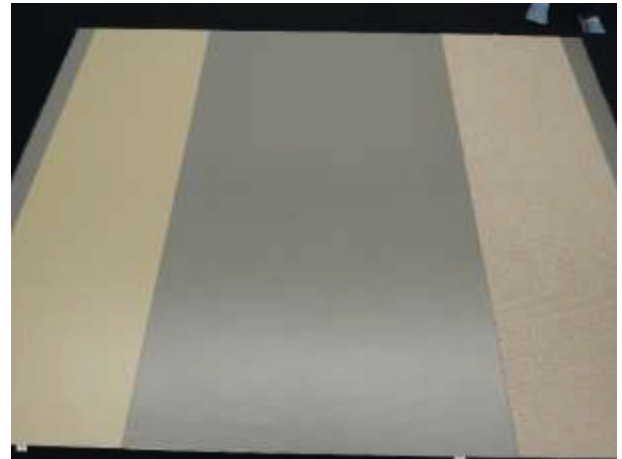
##### beige:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutigerere Unterscheidbarkeit, Einheitlichkeit (keine Musterung bzw. Zweifarbigkeit), kein Verschwimmen mit der Grundfläche

##### Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35 beige:

matte Oberfläche, keine Blendung, erkennbare innere Materialstruktur/Materialunterschied

#### Durchgang 2 (Blick in den Raum)



#### Kontrast:

$K = 0,29$  (np 6510 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,27$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6522 dunkelgrau)

#### Antworten:

links (Linoleum noraplan sentica 6510): 3

rechts (Teppich Vorwerk 8G35): 6

**gleich: 10**

#### Begründungen für Linoleum noraplan sentica 6510

##### beige:

heller, (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, bessere Wahrnehmbarkeit der Kante

##### Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35 beige:

dunkler, keine Blendung, eindeutigerere Unterscheidbarkeit

## Vergleichsfeld 2 bzw. Vergleichsfeld 9 (n=19)

Grundmaterial: noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase (hellgrau) und Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Durchgang 1 (Fensterseite, Blick zum Fenster)Kontrast:

K= 0,03 (Godelmann hellgrau – np 6525 hellgrau)

K= 0,15 (Vorwerk 8G35 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

links (Steinplatten Godelmann hellgrau):	0
<b>rechts (Teppich Vorwerk 8G35 beige):</b>	<b>18</b>
gleich:	1

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35 beige:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast zum reflektierenden Hintergrund, Einheitlichkeit (keine innere Materialstruktur), unterschiedliche Farbigkeit von Grundmaterial und Streifen, eindeutige Unterscheidbarkeit, bessere Wahrnehmbarkeit warmer Farbtöne

Durchgang 2 (Fensterseite, Blick i.d. Raum)Kontrast:

K= 0,15 (Vorwerk 8G35 beige – np 6525 hellgrau)

K= 0,02 (Godelmann hellgrau – np 6525 hellgrau)

Antworten:

<b>links (Teppich Vorwerk 8G35):</b>	<b>19</b>
rechts (Steinplatten Godelmann):	0
gleich:	0

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35 beige:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutige Unterscheidbarkeit durch die innere Materialstruktur, klarere Abgrenzung, kein Verschimmen mit der Grundfläche (annähernd gleicher Farbton)

Vergleichsfeld 3 bzw. Vergleichsfeld 8 (n=19)

Grundmaterial: noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6514 (orange) und Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Fensterseite, Blick i. d. Raum)



Kontrast:

$K = 0,31$  (np 6514 orange – np 6525 hellgrau)

$K = 0,15$  (np 6510 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

<b>links (noraplan sentica 6514 orange):</b>	<b>18</b>
rechts (noraplan sentica 6510 beige):	1
gleich:	0

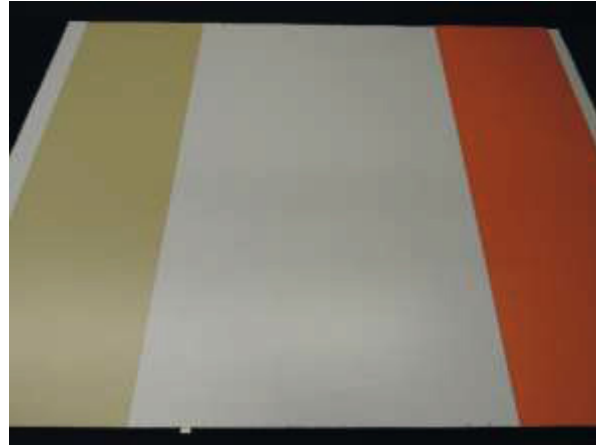
Begründungen für noraplan sentica 6514 orange:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, kräftige (Signal-)Farbe, größerer Farbkontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, bessere Wahrnehmbarkeit von Gelb- bzw. Ockerfarbtönen

Begründungen für noraplan sentica 6510 beige:

besseres Farbzusammenspiel

Durchgang 2 (Fensterseite, Blick zum Fenster)



Kontrast:

$K = 0,15$  (np 6510 beige – np 6525 hellgrau)

$K = 0,32$  (np 6514 orange – np 6525 hellgrau)

Antworten:

links (noraplan sentica 6510 beige):	1
<b>rechts (noraplan sentica 6514 orange):</b>	<b>17</b>
gleich:	1

Begründungen für noraplan sentica 6514 orange:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, kräftige (Signal-)Farbe, größerer Farbkontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch den größeren Hell-Dunkel-Unterschied, klarere Abgrenzung

Begründungen für noraplan sentica 6510 beige:

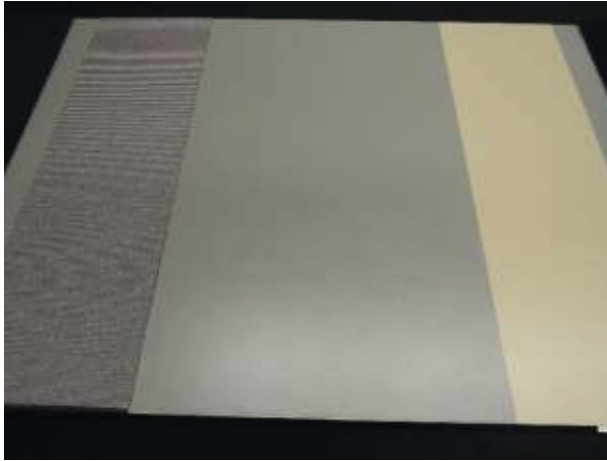
klarere Abgrenzung

Vergleichsfeld 4 bzw. Vergleichsfeld 7 (n=19)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 dunkelgrau

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 5R01 (dunkelgrau) und Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Blick in den Raum)



Kontrast:

$K = 0,08$  (Vorwerk 5R01 dunkelgrau – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,29$  (np 6510 beige – np 6522 dunkelgrau)

Antworten:

links (Teppich Vorwerk 5R01 dunkelgrau): 0

**rechts (Linoleum noraplan sentica 6510 beige): 19**

**gleich:** 0

gleich:

Begründungen für noraplan sentica 6510 beige:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, eindeutige Unterscheidbarkeit

durch die stärkere Reflexion, wärmerer Farbton

Durchgang 2 (Blick zum Fenster)



Kontrast:

$K = 0,28$  (np 6510 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,10$  (Vorwerk 5R01 dunkelgrau – np 6522 dunkelgrau)

Antworten:

**links (Linoleum noraplan sentica 6510 beige): 18**

**gleich:** 1

rechts (Teppich Vorwerk 5R01 dunkelgrau): 0

gleich:

Begründungen für noraplan sentica 6510 beige:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast

Begründungen für (Vorwerk 5R01 dunkelgrau):

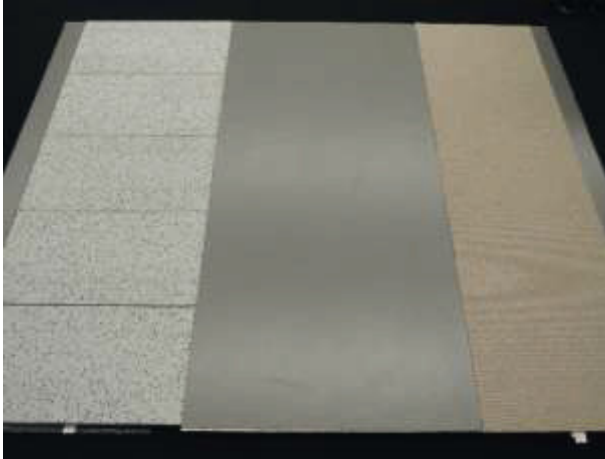
keine Blendung, bessere Unterscheidbarkeit dunkler Farbtöne

Vergleichsfeld 5 bzw. Vergleichsfeld 10 (n=19)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fuge und Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Durchgang 1 (Blick zum Fenster)



Kontrast:

$K = 0,49$  (Godelmann hellgrau – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,29$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6522 dunkelgrau)

Antworten:

**links (Steinplatten Godelmann hellgrau):** 14  
rechts (Teppich Vorwerk 8G35 beige): 5  
gleich: 0

Begründungen für Steinplatten Godelmann:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die Fugenstruktur und die innere Materialstruktur, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch den größeren Hell-Dunkel-Unterschied

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, Einheitlichkeit (keine Musterung bzw. Zweifarbigkeit), klarere Abgrenzung

Durchgang 2 (Blick in den Raum)



Kontrast:

$K = 0,27$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,48$  (Godelmann hellgrau – np 6522 dunkelgrau)

Antworten:

links (Teppich Vorwerk 8G35 beige): 5  
**rechts (Steinplatten Godelmann hellgrau):** 12  
gleich: 2

Begründungen für Steinplatten Godelmann:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die innere Materialstruktur

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die innere Materialstruktur

## Vergleichsfeld 6 bzw. Vergleichsfeld 11

Grundmaterial: noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige) und Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Fensterseite, Blick zum Fenster)Kontrast:

K= 0,15 (np 6510 beige – np 6525 hellgrau)

K= 0,15 (Vorwerk 8G35 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

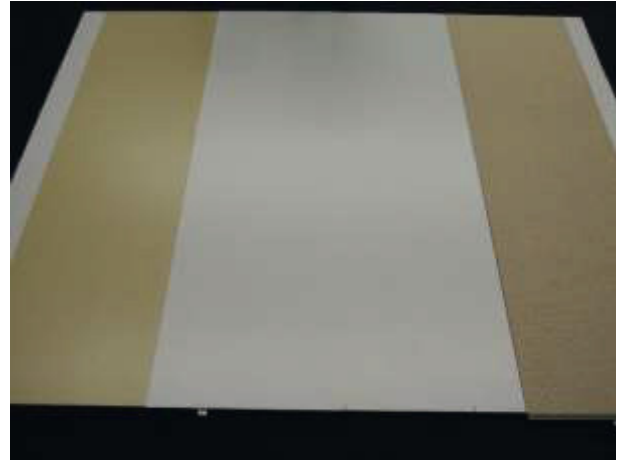
**links (Teppich Vorwerk 8G35 beige):** 8  
 rechts (Linoleum noraplan sentica 6510 beige): 4  
 gleich: 7

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die innere Materialstruktur und den Materialunterschied, klarere Abgrenzung (Kontur), bessere Wahrnehmbarkeit warmer Farbtöne, keine Blendung bzw. Spiegelung, matte Oberfläche

Begründungen für Linoleum noraplan sentica 6510:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, eindeutigerer Unterscheidbarkeit zur Grundfläche

Durchgang 2 (Fensterseite, Blick i. d. Raum)Kontrast:

K= 0,15 (np 6510 beige – np 6525 hellgrau)

K= 0,15 (Vorwerk 8G35 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

links (Linoleum noraplan sentica 6510 beige): 2  
**rechts (Teppich Vorwerk 8G35 beige):** 12  
 gleich: 5

Begründungen für Teppich Vorwerk 8G35:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die innere Materialstruktur und den Materialunterschied, weniger Blendung

Begründungen für Linoleum noraplan sentica 6510:

keine Angabe



### 12.7.3 Materialvergleiche 2

Vergleichsfeld 1 (n=16)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase (hellgrau)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 dunkelgrau (links) und noraplan sentica 6525 hellgrau (rechts)



Kontrast:

$K = 0,49$  bzw.  $0,48$  (Godelmann hellgrau – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,03$  bzw.  $0,02$  (Godelmann hellgrau – np 6525 hellgrau)

Antworten:

<b>links (noraplan sentica 6522 dunkelgrau – Godelmann hellgrau):</b>	<b>15</b>
rechts (noraplan sentica 6525 hellgrau – Godelmann hellgrau):	1
gleich:	0

Begründungen für noraplan sentica 6522 dunkelgrau zu Godelmann hellgrau (links):

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, dunkleres Grundmaterial, kein Verschwimmen mit der Grundfläche

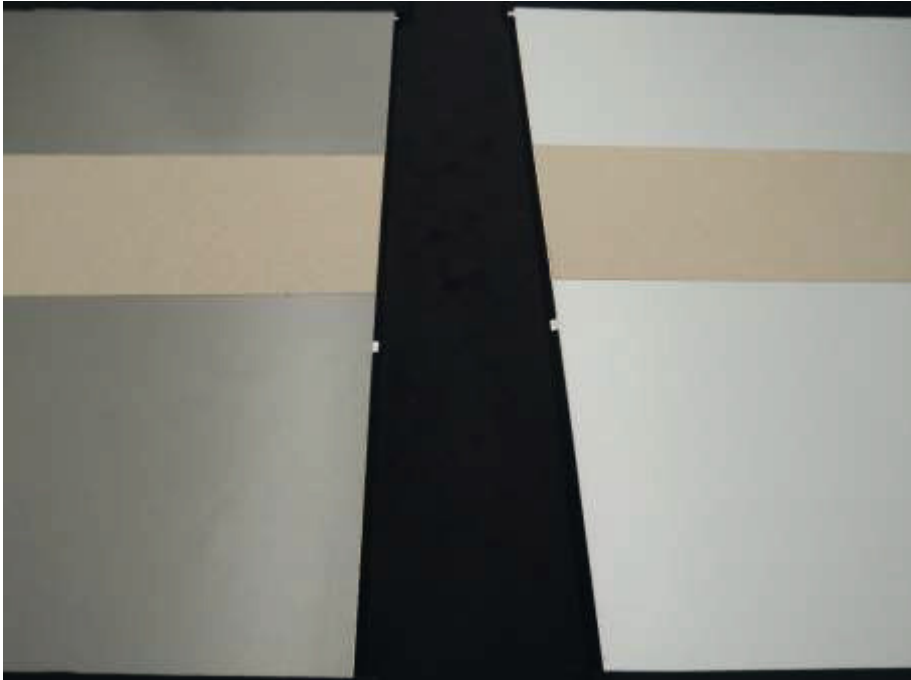
Begründungen für noraplan sentica 6525 hellgrau zu Godelmann hellgrau (rechts):

kein Verschwimmen mit der Grundfläche

Vergleichsfeld 2 (n=16)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 (links, dunkelgrau) und noraplan sentica 6525 (rechts, hellgrau)



Kontrast:

Teststrecke:  $K = 0,29$  bzw.  $0,27$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,15$  (Vorwerk 8G35 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

**links (noraplan sentica 6522 dunkelgrau - Vorwerk 8G35 beige):** **6**

**rechts (noraplan sentica 6525 hellgrau - Vorwerk 8G35 beige):** **6**

gleich: 4

Begründungen für noraplan sentica 6522 dunkelgrau zu Vorwerk 8G35 beige (links):

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, klarere Abgrenzung

Begründungen für noraplan sentica 6525 hellgrau zu Vorwerk 8G35 beige (rechts):

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch den größeren Hell-Dunkel-Unterschied, weniger Blendung, weniger Blendung des Grundmaterials, klarere Abgrenzung, kein Verschwimmen mit der Grundfläche

Vergleichsfeld 3 (n=16)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 (links, dunkelgrau) und noraplan sentica 6525 (rechts, hellgrau)



Kontrast:

Teststrecke:  $K = 0,29$  bzw.  $0,28$  (np 6510 beige – np 6522 dunkelgrau)

$K = 0,15$  (np 6510 beige – np 6525 hellgrau)

Antworten:

**links (noraplan sentica 6522 dunkelgrau - noraplan sentica 6510 beige): 12**

rechts (noraplan sentica 6525 hellgrau - noraplan sentica 6510 beige): 2

gleich: 2

Begründungen für noraplan sentica 6522 dunkelgrau zu noraplan sentica 6510 beige (links):

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, wärmerer Farbton, angenehmer für das Auge, bessere Unterscheidbarkeit dunkler Farbtöne, dunkleres Grundmaterial, weniger Blendung des Grundmaterials, kein Verschwimmen mit der Grundfläche

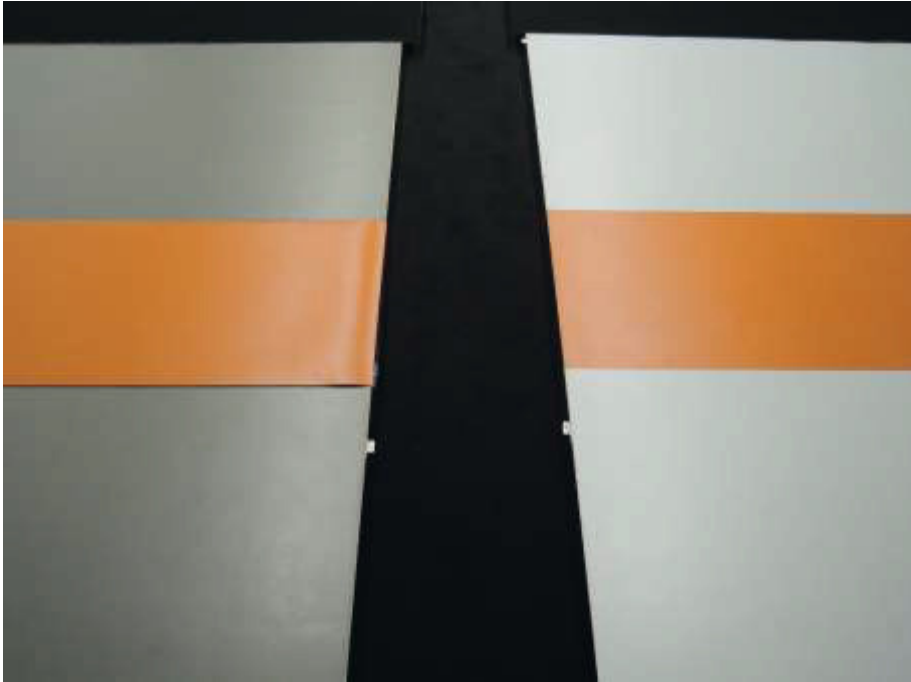
Begründungen für noraplan sentica 6525 hellgrau zu noraplan sentica 6510 beige (rechts):

keine Angabe

## Vergleichsfeld 4 (n=14)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6514 (orange)

Grundmaterial: noraplan sentica 6522 (links, dunkelgrau) und noraplan sentica 6525 (rechts, hellgrau)

Kontrast:Teststrecke:  $K = 0,14$  bzw.  $0,13$  (np 6514 orange – np 6522 dunkelgrau) $K = 0,32$  bzw.  $0,31$  (np 6514 orange – np 6525 hellgrau)Antworten:

links (noraplan sentica 6522 dunkelgrau - noraplan sentica 6514 orange): 4

**rechts (noraplan sentica 6525 hellgrau - noraplan sentica 6514 orange): 9**

gleich: 1

Begründungen für noraplan sentica 6522 dunkelgrau zu noraplan sentica 6514 orange (links):

weniger Blendung des Grundmaterials, klarere Abgrenzung

Begründungen für noraplan sentica 6525 hellgrau zu noraplan sentica 6514 orange (rechts):

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, auch im Dunkeln gut erkennbar, klarere Abgrenzung, kein Verschwimmen mit der Grundfläche

Die Materialkombination noraplan sentica 6522 dunkelgrau zu noraplan sentica 6514 orange konnte nur in dieser Vergleichsreihe gezeigt werden. Dazu wurde ein verbleibender Materialstreifen noraplan sentica 6514 orange auf die Teststrecke aufgelegt.

### 12.7.4 Erkennen in der Bewegung – Durchgang 1 und 2

Bild 1 (n=19)

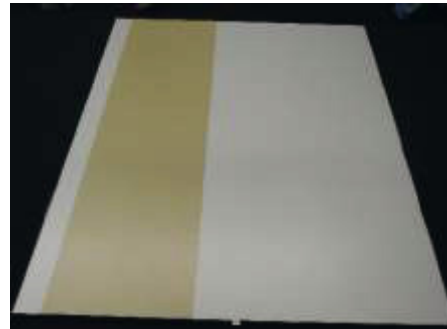
Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 1)



Durchgang 2 (Testfeld 9)



Kontrast: 0,15

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,49

Antworten:

besser:	1
<b>gleich:</b>	<b>17</b>
schlechter:	1

Kontrast: 0,15

Antworten:

besser:	0
<b>gleich:</b>	<b>16</b>
schlechter:	3

Begründungen für besser:

Blendeffekt in der Bewegung weniger störend

Begründung für schlechter:

-

Begründungen für besser:

-

Begründung für schlechter:

Keine statische Information für das Auge,  
Federn der Konstruktion verursacht Unsicherheit

Bild 2 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6510 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 2)Kontrast: 0,29Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,3Antworten:

besser:

3

**gleich:****16**

schlechter:

0

Begründungen für besser:

Reflektion unterstützt Erkennbarkeit

Begründung für schlechter:

-

Durchgang 2 (Testfeld 12)Kontrast: 0,28Antworten:

besser:

1

**gleich:****16**

schlechter:

2

Begründungen für besser:

-

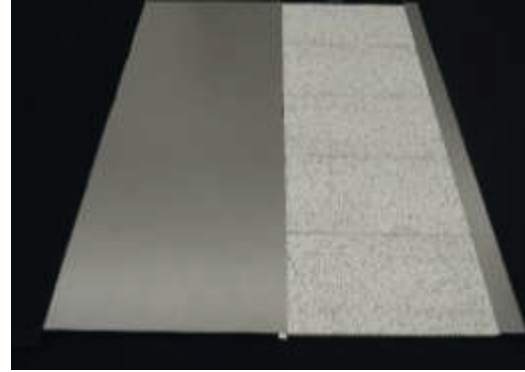
Begründungen für schlechter:

Ähnlichkeit der Farben lässt die Kante verschwinden, Materialunterschied taktil nicht wahrnehmbar

## Bild 3 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Faser (hellgrau)

Durchgang 1 (Testfeld 3)Durchgang 2 (Testfeld 11)Kontrast: 0,49Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,20Antworten:

besser:	6
<b>gleich:</b>	<b>8</b>
schlechter:	5

Kontrast: 0,48Antworten:

besser:	3
<b>gleich:</b>	<b>12</b>
schlechter:	4

Begründungen für besser:

-

Begründungen für besser:

-

Begründung für schlechter:

Sprenkelung, Rauigkeit der Oberfläche (Kontakt suchen durch „Schlurfen“), Verschwimmen mit der Grundfläche, Federn der Konstruktion verursacht Unsicherheit, Irritation durch die Musterung des Materialstreifens

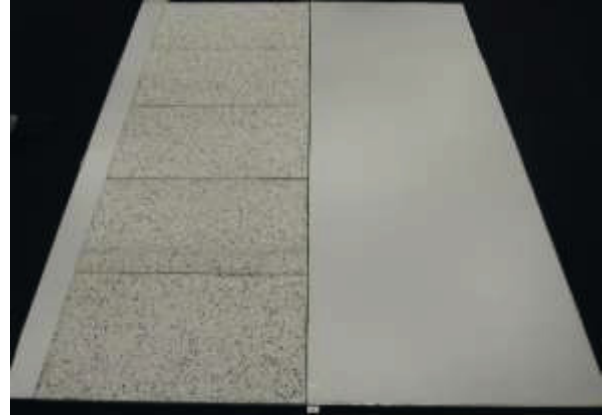
Begründungen für schlechter:

Lichtreflexion des Linoleums, Federn der Konstruktion verursacht Unsicherheit, Materialunterschied taktil nicht wahrnehmbar

## Bild 4 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Steinplatten Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase (hellgrau)

Durchgang 1 (Testfeld 4)Durchgang 2 (Testfeld 10)Kontrast: 0,03Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,49Antworten:

besser:	4
<b>gleich:</b>	<b>13</b>
schlechter:	2

Kontrast: 0,02Antworten:

besser:	5
<b>gleich:</b>	<b>10</b>
schlechter:	4

Begründungen für besser:

Lichtsituation

Begründungen für besser:

Härterer Untergrund der Steinplatten taktil wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

Federn der Konstruktion verursacht Unsicherheit, Rauigkeit der Oberfläche (Kontakt suchen durch „Schlurfen“)

Begründungen für schlechter:

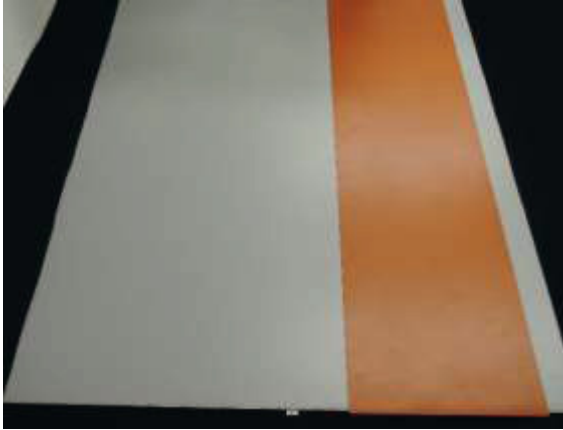
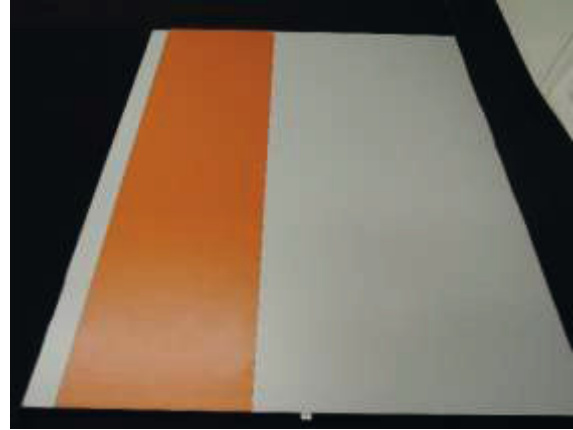
Federn der Konstruktion verursacht Unsicherheit, Materialunterschied taktil nicht wahrnehmbar



## Bild 5 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Linoleum noraplan sentica 6514 (orange)

Durchgang 1 (Testfeld 5)Durchgang 2 (Testfeld 13)Kontrast: 0,31Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,49Antworten:

besser:

2

**gleich:****17**

schlechter:

0

Kontrast: 0,32Antworten:

besser:

1

**gleich:****17**

schlechter:

1

Begründungen für besser:

Kein Blendeffekt in der Bewegung

Begründungen für besser:

-

Begründungen für schlechter:

-

Begründungen für schlechter:

Materialunterschied taktil nicht wahrnehmbar

## Bild 6 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 5R01 (dunkelgrau)

Durchgang 1 (Testfeld 6)Kontrast: 0,08Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,20Antworten:

besser:	6
<b>gleich:</b>	<b>11</b>
schlechter:	2

Begründungen für besser:

Reflektion unterstützt Erkennbarkeit, Materialunterschied auditiv und taktil wahrnehmbar, weicherer Untergrund, Stufenlosigkeit

Begründung für schlechter:

Starkes Flimmern, Verunsicherung

Durchgang 2 (Testfeld 16)Kontrast: 0,10Antworten:

besser:	4
<b>gleich:</b>	<b>14</b>
schlechter:	1

Begründungen für besser:

Materialunterschied auditiv wahrnehmbar, Lichtkegel wandert auf dem Linoleum mit

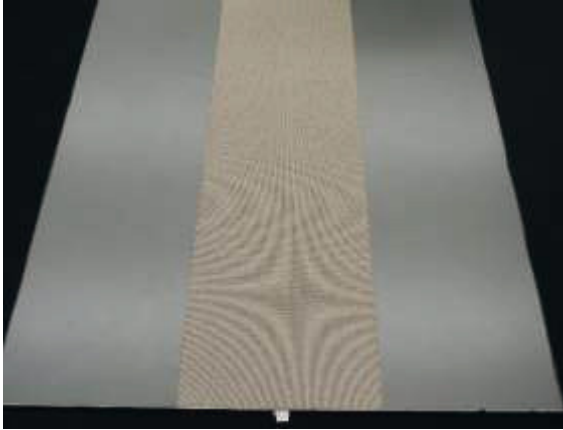
Begründungen für schlechter:

Verschwimmen zu einer Fläche

Bild 7 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6522 (dunkelgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 7)Kontrast: 0,29Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,28Antworten:

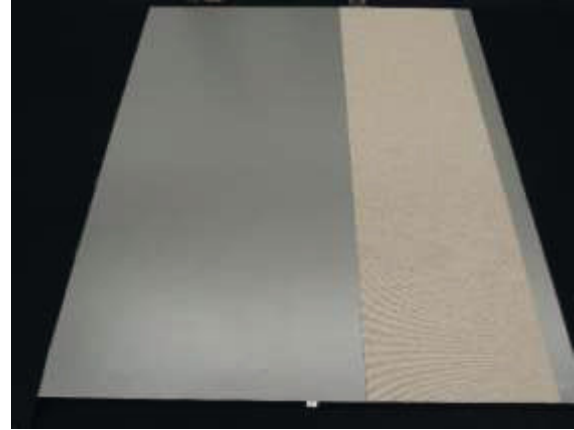
besser:

6

**gleich:****13**

schlechter:

0

Durchgang 2 (Testfeld 15)Kontrast: 0,27Antworten:

besser:

7

**gleich:****11**

schlechter:

1

Begründungen für besser:

Materialunterschied auditiv und taktil wahrnehmbar, Reflektion unterstützt Erkennbarkeit

Begründungen für besser:

Materialunterschied visuell und taktil wahrnehmbar

Begründungen für schlechter:

-

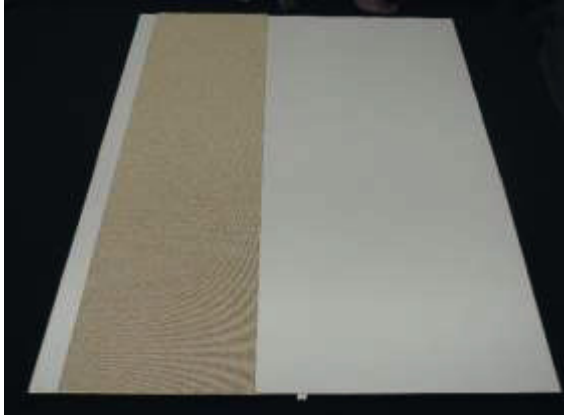
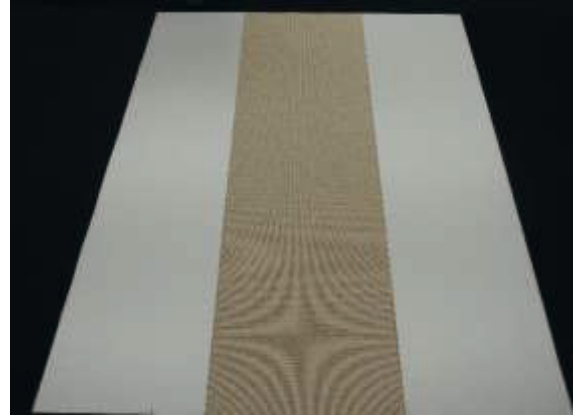
Begründungen für schlechter:

Lichtsituation (Linoleum wird heller)

Bild 8 (n=19)

Grundmaterial: Linoleum noraplan sentica 6525 (hellgrau)

Materialstreifen: Teppich Vorwerk 8G35 (beige)

Durchgang 1 (Testfeld 8)Durchgang 2 (Testfeld 14)Kontrast: 0,15Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,49Antworten:

besser:

3

**gleich:****15**

schlechter:

1

Kontrast: 0,15Antworten:

besser:

3

**gleich:****16**

schlechter

0

Begründungen für besser:

Materialunterschied taktil wahrnehmbar

Begründungen für besser:

Materialunterschied taktil wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

Keine statische Information für das Auge

Begründungen für schlechter:

-

## 12.8 Übersicht der Testfelder auf der Teststrecke im Außenraum

### 12.8.1 Erkennen des sich vom Grundmaterial abhebenden Materialstreifens - Durchgang 1 und 2

Bild 1 bzw. Bild 12

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Basalt-Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 1)



Durchgang 2 (Testfeld 12)



Kontrast: 0,37

0,34

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

Bild 2 bzw. Bild 11

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Basalt-Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 2)



Durchgang 2 (Testfeld 11)



Kontrast: 0,38

0,40

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

## Bild 3 bzw. Bild 10

Grundmaterial: RINN Magnumpflaster 40/24/10 cm, ohne Fase, mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein Kleinsteinpflaster, bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 3)Durchgang 2 (Testfeld 10)

Kontrast: 0,35

0,36

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

## Bild 4 bzw. Bild 9

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Basalt-Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 4)Durchgang 2 (Testfeld 9)

Kontrast: 0,34

0,36

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

## Bild 5 bzw. Bild 16

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 5)Durchgang 2 (Testfeld 16)

Kontrast: 0,31

0,30

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

## Bild 6 bzw. 15

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein Kleinsteinpflaster, bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 6)Durchgang 2 (Testfeld 15)

Kontrast: 0,25

0,22

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

## Bild 7 bzw. Bild 14

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein, Kleinsteinpflaster 10/10/10 cm, gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 7)

Kontrast: 0,39

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,54 (Laborwert)

Durchgang 2 (Testfeld 14)

0,40

## Bild 8 bzw. Bild 13

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwanke Kleinsteinpflaster gesägt, Diagonalverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 8)

Kontrast: 0,35

Reflexionsgrad der helleren Fläche: 0,45 (Laborwert)

Durchgang 2 (Testfeld 13)

0,34



### 12.8.2 Materialvergleiche 1

#### Vergleichsfeld 1 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Basalt-Edelsplitt-Vorsatz  
Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial und Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Diagonalverband, helles Fugenmaterial

#### Durchgang 1



#### Kontrast:

Teststrecke: K= 0,31 (RINN - Reihenverband)  
K= 0,35 (RINN - Diagonalverband)

#### Antworten:

links (Grauwacke Reihenverband): 2  
**rechts (Grauwacke Diagonalverband): 9**  
gleich: 8

#### Begründungen für Diagonalverband:

dunkler, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die Fugenausrichtung/Verlegeart (bei leichter Blendung durch die Grundfläche), klarere Abgrenzung

#### Begründung für Reihenverband:

größerer Farbkontrast, ruhigere Struktur des Materialstreifens

#### Durchgang 2



#### Kontrast:

Teststrecke: K= 0,30 (RINN - Reihenverband)  
K= 0,34 (RINN - Diagonalverband)

#### Antworten:

links (Grauwacke Diagonalverband): 7  
rechts (Grauwacke Reihenverband): 1  
**gleich: 11**

#### Begründungen für Diagonalverband:

eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die Fugenausrichtung/Verlegeart

#### Begründungen für Reihenverband:

Schattenwurf der Fugen

## Vergleichsfeld 2 (n=19)

Grundmaterial: RINN Magnumpflaster 40/24/10 cm, ohne Fase, mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein, Kleinsteinpflaster 10/10/10 cm, gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial und Friedewalder Sandstein, Kleinsteinpflaster 10/10/10 cm, gebrochen, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1Kontrast:

Teststrecke: K= 0,40 (RINN – gesägt)  
K= 0,35 (RINN – gebrochen)

Antworten:

<b>links (gesägt):</b>	<b>14</b>
rechts (gebrochen):	1
gleich:	4

Begründungen für gesägt:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, regelmäßige Struktur, eindeutige Unterscheidbarkeit durch die breiteren Fugen und die versetzten Fugen im Materialstreifen, klarere Abgrenzung, kein Verschimmen mit der Grundfläche, geringere Anzahl grauer Steine im Materialstreifen

Begründungen für gebrochen:

Rauigkeit der Oberfläche

Durchgang 2Kontrast:

Teststrecke: K= 0,36 (RINN - gebrochen)  
K= 0,39 (RINN – gesägt)

Antworten:

links (gebrochen):	0
<b>rechts (gesägt):</b>	<b>16</b>
gleich:	3

Begründungen für gesägt:

heller, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutige Unterscheidbarkeit durch die breiteren und helleren Fugen, Schattenwurf der Fugen, klarere Abgrenzung, ruhigere Struktur des Materialstreifen, kein Verschimmen mit der Grundfläche

## Vergleichsfeld 3 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gebrochen, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial und Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Diagonalverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1Kontrast:

Teststrecke:  $K = 0,35$  (RINN - gesägt & diagonal)  
 $K = 0,40$  (RINN - gebrochen)

Antworten:

links (gesägt & diagonal):	1
<b>rechts (gebrochen)</b>	<b>14</b>
gleich:	4

Begründungen für gebrochen:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutigerere Unterscheidbarkeit durch die breiteren und dunkleren Fugen Verlegeart angenehmer für das Auge, erhabene Oberfläche

Begründungen für gesägt:

eindeutigerere Unterscheidbarkeit durch die helleren Fugen

Durchgang 2Kontrast:

Teststrecke:  $K = 0,34$  (RINN - gesägt & diagonal)  
 $K = 0,38$  (RINN - gebrochen)

Antworten:

<b>links (gebrochen):</b>	<b>12</b>
rechts (gesägt & diagonal):	3
gleich:	4

Begründungen für gebrochen:

dunkler, eindeutigerere Unterscheidbarkeit durch die breiteren und dunkleren Fugen, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, bessere Erkennbarkeit der quadratischen Steinformate, bessere Erkennbarkeit einzelner Steine im Materialstreifen, größere Steinhöhe im Materialstreifen als in der Grundfläche

Begründungen für gesägt:

eindeutigerere Unterscheidbarkeit durch die helleren Fugen und die Fugenausrichtung/ Verlegeart, glattere Oberfläche

## Vergleichsfeld 4 (n=19)

Grundmaterial: RINN Magnumpflaster 40/24/10 cm, ohne Fase, mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vor-satz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein, Kleinsteinpflaster 10/10/10 cm, gebrochen, Reihenverband, Halbver-satz, helles Fugenmaterial und Friedewalder Sandstein, Kleinsteinpflaster 10/10/10 cm, ge-brochen, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1Kontrast:

Teststrecke: K= 0,22 (RINN – gebrochen & dunkle Fuge)  
K= 0,35 (RINN – gebrochen & helle Fuge)

Antworten:

**links (gebrochen & helle Fuge):** 10  
rechts (gebrochen & dunkle Fuge): 7  
gleich: 2

Begründungen für gebrochen & helle Fuge:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, gleichmäßigere Struktur des Materialstreifens

Begründungen für gebrochen & dunkle Fuge:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch breitere, dunklere Fugen und dunklere Steine im Materialstreifen, bessere Erkennbarkeit der hellen Steine im Materialstreifen, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die versetzte Fugenanordnung im Materialstreifen

Durchgang 2Kontrast:

Teststrecke: K= 0,25 (RINN – gebr. & dunkle Fuge)  
K= 0,36 (RINN – gebr. & helle Fuge)

Antworten:

links (gebrochen & dunkle Fuge): 8  
**rechts (gebrochen & helle Fuge):** 9  
gleich: 1

Begründungen für gebrochen & helle Fuge:

heller, größerer Farbkontrast, klarere Abgrenzung, gleichmäßigere Struktur des Materialstreifens, kein Verschwimmen mit der Grundfläche, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die hellen Fugen und hellen Steine im Materialstreifen

Begründungen für gebrochen & dunkle Fuge:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast der Fugen zum Pflasterbelag, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch die dunkleren Fugen (sandartige Wirkung des rechten Materialstreifens)

## Vergleichsfeld 5 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gebrochen, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial und Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gebrochen, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1Kontrast:

Teststrecke: K= 0,40 (RINN – gebr. & dunkle Fuge)  
K= 0,36 (RINN – gebr. & helle Fuge)

Antworten:**links (gebrochen & dunkle Fuge):**

rechts (gebrochen & helle Fuge):

gleich:

Begründungen für gebrochen & dunkle Fuge:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch dunklere Fugen, klarere Abgrenzung, bessere Erkennbarkeit der helleren Steine im Materialstreifen

Begründungen für gebrochen & helle Fuge:

schnellere Erkennbarkeit der helleren Fugen im Materialstreifen

Durchgang 2Kontrast:

Teststrecke: K= 0,38 (RINN - gebr. & dunkle Fuge)  
K= 0,34 (RINN – gebr. & helle Fuge)

Antworten:

<b>16</b>	links (gebrochen & helle Fuge):	0
1	<b>rechts (gebrochen &amp; dunkle Fuge):</b>	<b>16</b>
2	gleich:	2

Begründungen für gebrochen & dunkle Fuge:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutigerer Unterscheidbarkeit durch breitere, dunklere Fugen, kein Verschwimmen der Fugenfarbe mit der Grundfläche, klarere Abgrenzung, angenehmer Farbton für das Auge

## Vergleichsfeld 6 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fasse mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial und Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1Kontrast:

Teststrecke: K= 0,37 (RINN – gesägt & dunkle Fuge)  
K= 0,31 (RINN – gesägt & helle Fuge)

Antworten:

<b>links (gesägt &amp; dunkle Fuge):</b>	<b>12</b>
rechts (gesägt & helle Fuge):	0
gleich:	7

Begründungen für gesägt & dunkle Fuge:

größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, größerer Farbkontrast, eindeutige Unterscheidbarkeit durch dunklere Fugen, bessere Erkennbarkeit der einzelnen und z.T. hellen Steine im Materialstreifen, klarere Abgrenzung

Durchgang 2Kontrast:

Teststrecke: K= 0,34 (RINN - gesägt & dunkle Fuge)  
K= 0,30 (RINN - gesägt & helle Fuge)

Antworten:

links (gesägt & helle Fuge):	1
<b>rechts (gesägt &amp; dunkle Fuge):</b>	<b>16</b>
gleich:	2

Begründungen für gesägt & dunkle Fuge:

dunkler, größerer (Leuchtdichte-)Kontrast, eindeutige Unterscheidbarkeit durch dunklere Fugen, klarere Abgrenzung, bessere Erkennbarkeit der einzelnen quadratischen Steine

Begründungen für gesägt & helle Fuge: größerer Fugenkontrast

### 12.8.3 Erkennen in der Bewegung – Durchgang 1 und 2

Bild 1 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige  
Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 1)



Kontrast: 0,37

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:	1
<b>gleich:</b>	<b>18</b>
schlechter:	0

Begründungen für besser:

-

Begründungen für schlechter:

-

Durchgang 2 (Testfeld 12)



Kontrast: 0,34

Antworten:

besser:	1
<b>gleich:</b>	<b>15</b>
schlechter:	3

Begründungen für besser:

-

Begründungen für schlechter:

Verschimmen zu einer Fläche, Irritation durch die unterschiedlichen Steinfarben im Materialstreifen, Wahrnehmbarkeit der Fugen

## Bild 2 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige  
Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 2)

Kontrast: 0,38

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:	3
<b>gleich:</b>	<b>14</b>
schlechter:	2

Begründungen für besser:

Unebenheit der Fugen erhöht die Erkennbarkeit,  
Strukturunterschied, Materialunterschied taktil gut  
wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

Unsicherheit durch Unebenheit der Oberfläche

Durchgang 2 (Testfeld 11)

Kontrast: 0,40

Antworten:

besser:	2
<b>gleich:</b>	<b>16</b>
schlechter:	1

Begründungen für besser:

-

Begründungen für schlechter:

Unsicherheit durch Unebenheit der  
Oberfläche



## Bild 3 (n=19)

Grundmaterial: RINN Magnumpflaster 40/24/10 cm, ohne Fase, mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein Kleinsteinpflaster, bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 3)

Kontrast: 0,35

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:	5
<b>gleich:</b>	<b>13</b>
schlechter:	1

Begründungen für besser:

Struktur verbessert die Erkennbarkeit, Materialunterschied taktil gut wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

Unsicherheit durch Unebenheit der Oberfläche

Durchgang 2 (Testfeld 10)

Kontrast: 0,36

Antworten:

besser:	4
<b>gleich:</b>	<b>15</b>
schlechter:	0

Begründungen für besser:

Materialunterschied taktil wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

-

## Bild 4 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige  
Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 4)

Kontrast: 0,34

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:	6
<b>gleich:</b>	<b>12</b>
schlechter:	1

Begründungen für besser:

Struktur verbessert die Erkennbarkeit

Begründung für schlechter:

Unsicherheit durch Unebenheit der Oberfläche,  
Stolperfallen schlecht erkennbar

Durchgang 2 (Testfeld 9)

Kontrast: 0,36

Antworten:

besser:	4
<b>gleich:</b>	<b>13</b>
schlechter:	2

Begründungen für besser:

Materialunterschied taktil wahrnehmbar

Begründungen für schlechter:

-

## Bild 5 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbten Edelsplitt-Vorsatz Beige  
Mittel Nr. 783

Materialstreifen: Lindlaer Grauwacke Kleinsteinpflaster gesägt, Reihenverband, Halbversatz, helles Fugematerial

Durchgang 1 (Testfeld 5)

Kontrast: 0,31

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:

2

**gleich:**

**16**

schlechter:

1

Durchgang 2 (Testfeld 16)

Kontrast: 0,30

Antworten:

besser:

2

**gleich:**

**16**

schlechter

1

Begründungen für besser:

Glatte Oberfläche

Begründungen für besser:

-

Begründung für schlechter:

Verschwimmen zu einer Fläche durch die gleiche Steinhöhe im Materialstreifen und in der Grundfläche

Begründungen für schlechter:

Verschwimmen zu einer Fläche

## Bild 6 (n=19)

Grundmaterial: RINN Rechteckpflaster 20/10/10 cm, ohne Fase mit eingefärbtem Hartgestein-Edelsplitt-Vorsatz color Modell 2228

Materialstreifen: Friedewalder Sandstein Kleinsteinpflaster, bruchrau, Reihenverband, Halbversatz, dunkles Fugenmaterial

Durchgang 1 (Testfeld 6)

Kontrast: 0,25

Reflexionsgrad d. helleren Fläche: 0,45

Antworten:

besser:	4
<b>gleich:</b>	<b>12</b>
schlechter:	3

Begründungen für besser:

-

Begründung für schlechter:

Unsicherheit durch Unebenheit der Oberfläche,  
Anstrengung für die Augen

Durchgang 2 (Testfeld 15)

Kontrast: 0,22

Antworten:

besser:	6
<b>gleich:</b>	<b>13</b>
schlechter:	0

Begründungen für besser:

Materialunterschied taktil wahrnehmbar

Begründung für schlechter:

-

## 12.9 Messergebnisse an den Teststrecken

### 12.9.1 Messergebnisse im Innenraum

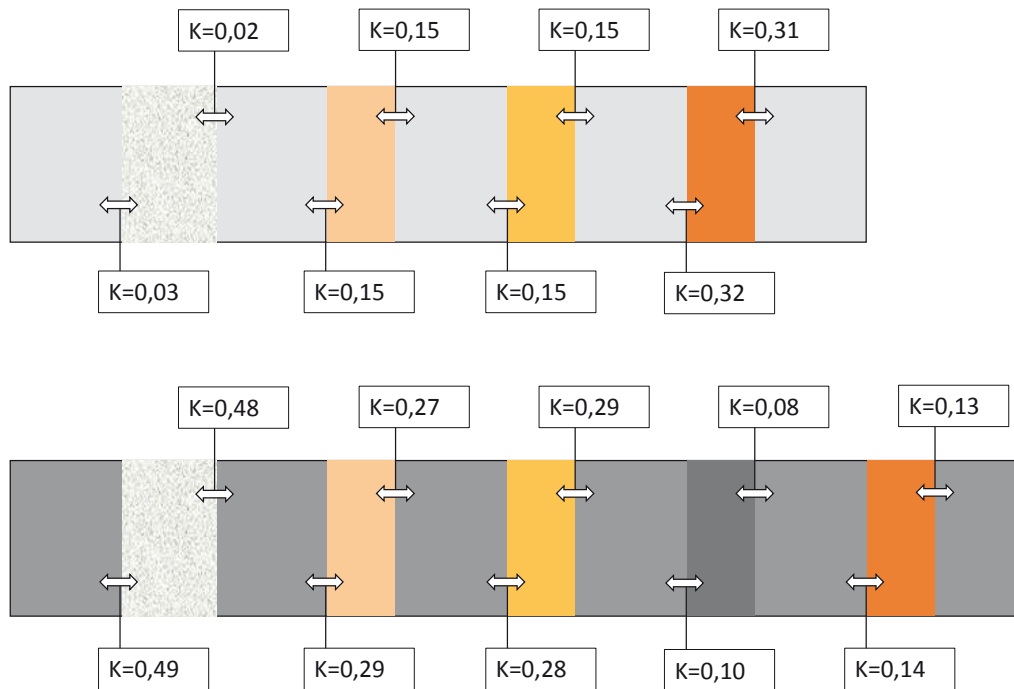


Abbildung 175. Leuchtdichtekontraste der Materialkombinationen im Innenraum



Teststrecke:

$K = 0,02$  bzw.  $K = 0,03$

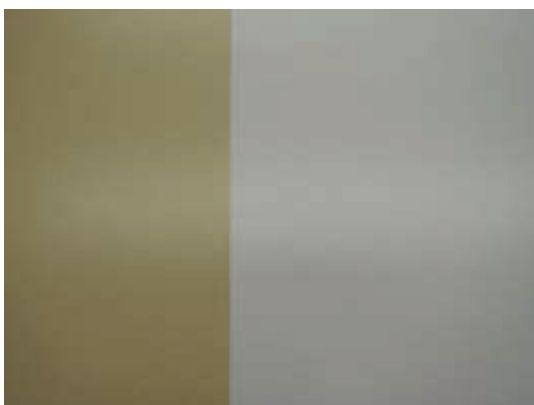
Godelmann Casado finerro Silber-Grau  
mit Fase – noraplan sentica 6525



*Teststrecke:*

*K= 0,15 bzw. K= 0,15*

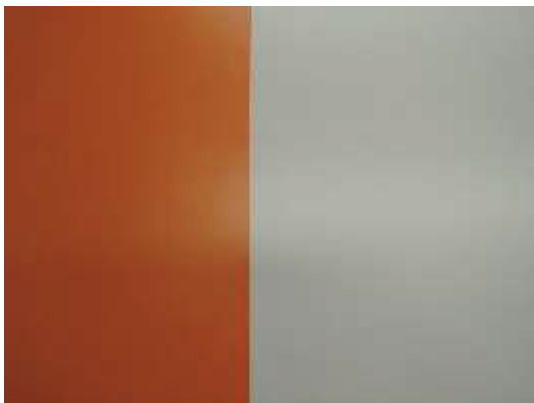
*Vorwerk 8G35– noraplan sentica 6525*



*Teststrecke:*

*K= 0,15 bzw. K= 0,15*

*noraplan sentica 6510 – noraplan sentica 6525*



*Teststrecke:*

*K= 0,31 bzw. K= 0,32*

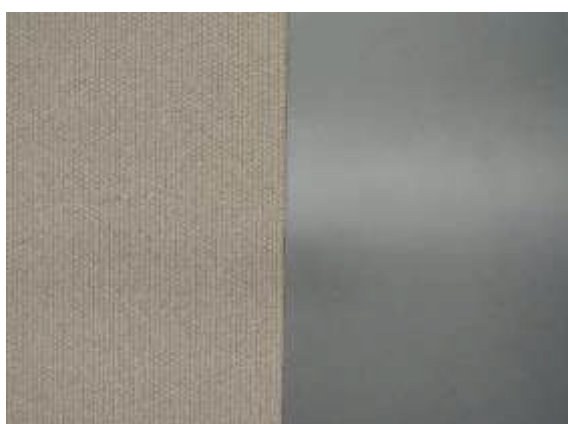
*noraplan sentica 6514 – noraplan sentica 6525*



*Teststrecke:*

$K = 0,48$  bzw.  $K = 0,49$

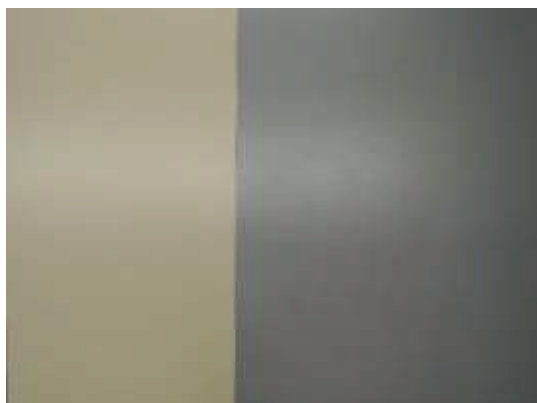
Godelmann Casado finerro Silber-Grau mit Fase – *noraplan sentica 6522*



*Teststrecke:*

$K = 0,27$  bzw.  $K = 0,29$

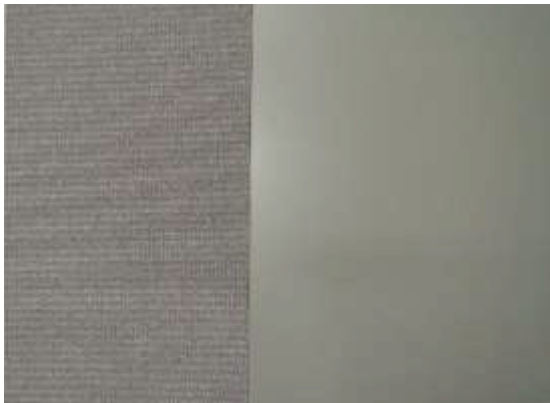
Vorwerk 8G35 – *noraplan sentica 6522*



*Teststrecke:*

$K = 0,29$  bzw.  $K = 0,28$

*noraplan sentica 6510* – *noraplan sentica 6522*



Teststrecke:  
 $K = 0,08$  bzw.  $K = 0,10$

Vorwerk – noraplan sentica 6522



Zusatzkombination Teststrecke:  
 $K = 0,13$  bzw.  $K = 0,14$

Vorwerk – noraplan sentica 6522

### 12.9.2 Messergebnisse im Außenraum

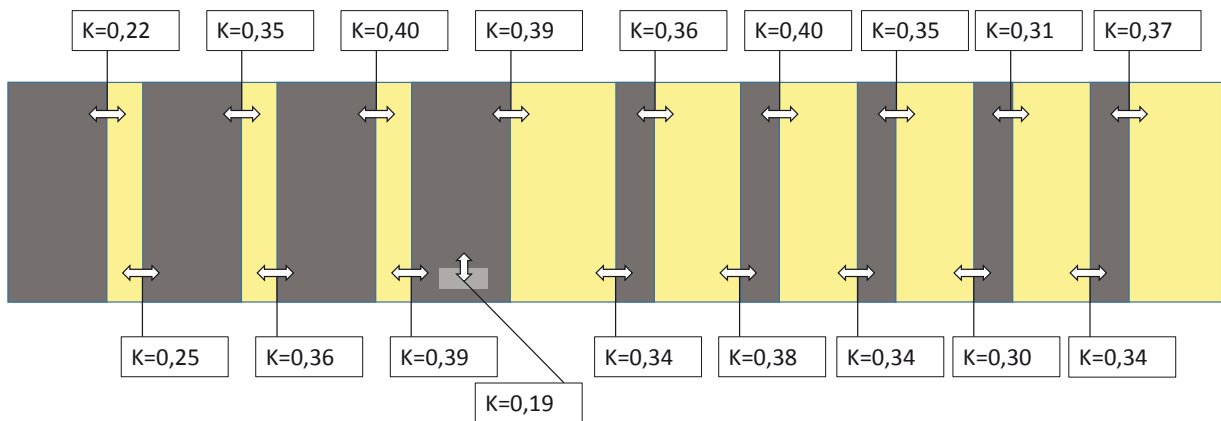


Abbildung 176. Leuchtdichtekontraste der Materialkombinationen im Außenraum





Abbildung 177. Messung der Leuchtdichtekontraste im Außenraum

*Messergebnisse im Vergleich – Messung an der Teststrecke und Labormessung*



*Teststrecke:*

$K = 0,25$  bzw.  $K = 0,22$

*Lichtlabor:*

$K = 0,32$

*Grundmaterial Beton: RINN Magnumpflaster dunkelgrau, Reihenverband*

*Teststreifen Naturstein: Friedewalder Sandstein, hellbeige, Kleinsteinpflaster, Oberfläche bruchrau, Fugen dunkelgrau (im Kontrast), Reihenverband*



*Teststrecke:*

$K = 0,36$  bzw.  $K = 0,35$

*Lichtlabor:*

$K = 0,32$

*Grundmaterial Beton: RINN Magnumpflaster dunkelgrau*

*Teststreifen Naturstein: Friedewalder Sandstein, hellbeige, Kleinsteinpflaster, Oberfläche bruchrau, Fugen hellbeige (ohne Kontrast), Reihenverband*



*Teststrecke:*

$K = 0,40$  bzw.  $K = 0,39$

*Lichtlabor:*

$K = 0,40$

*Grundmaterial Beton: RINN Magnumpflaster dunkelgrau*

*Teststreifen Naturstein: Friedewalder Sandstein, hellbeige, Kleinsteinpflaster, Oberfläche gesägt, Fugen hellbeige (ohne Kontrast), Reihenverband*



*Teststrecke:*

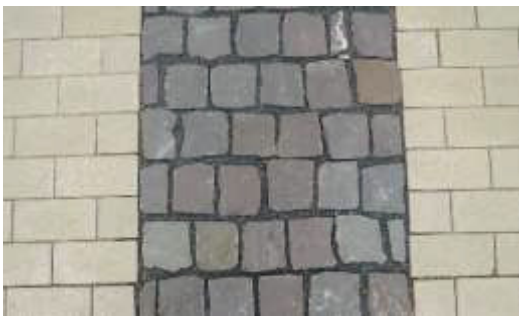
$K = 0,36$  bzw.  $K = 0,34$

*Lichtlabor:*

$K = 0,38$

*Grundmaterial Beton: RINN Rechteckpflaster hellbeige*

*Teststreifen Naturstein: Lindlaer Grauwacke, dunkelgrau-braun, Kleinsteinpflaster Oberfläche bruchrau, Fugen hellbeige (im Kontrast), Reihenverband*



*Teststrecke:*

$K = 0,40$  bzw.  $K = 0,38$

*Lichtlabor:*

$K = 0,38$

*Grundmaterial Beton: RINN Rechteckpflaster hellbeige*

*Teststreifen Naturstein: Lindlaer Grauwacke dunkelgrau-braun, Kleinsteinpflaster Oberfläche bruchrau, Fugen dunkelgrau (ohne Kontrast), Reihenverband*



Teststrecke:

$K = 0,35$  bzw.  $K = 0,34$

Lichtlabor:

$K = 0,27$

Grundmaterial Beton: RINN Rechteckpflaster hellbeige

Teststreifen Naturstein: Lindlaer Grauwacke dunkelgrau-braun, Kleinsteinpflaster Oberfläche gesägt, Fugen hellbeige (mit Kontrast), Diagonalverband



Teststrecke:

$K = 0,31$  bzw.  $K = 0,30$

Lichtlabor:  $K = 0,27$

Grundmaterial Beton, RINN Rechteckpflaster hellbeige

Teststreifen Naturstein: Lindlaer Grauwacke dunkelgrau-braun, Kleinsteinpflaster Oberfläche gesägt, Fugen hellbeige (mit Kontrast), Reihenverband



Teststrecke:

$K = 0,37$  bzw.  $K = 0,34$

Lichtlabor:

$K = 0,27$

Grundmaterial Beton: RINN Rechteckpflaster hellbeige

Teststreifen Naturstein: Lindlaer Grauwacke dunkelgrau-braun, Kleinsteinpflaster Oberfläche gesägt, Fugen dunkelgrau (ohne Kontrast), Reihenverband

## 12.10 Ergebnisse der Teststrecken

### 12.10.1 Innenraum

#### 12.10.1.1 Standardabweichungen

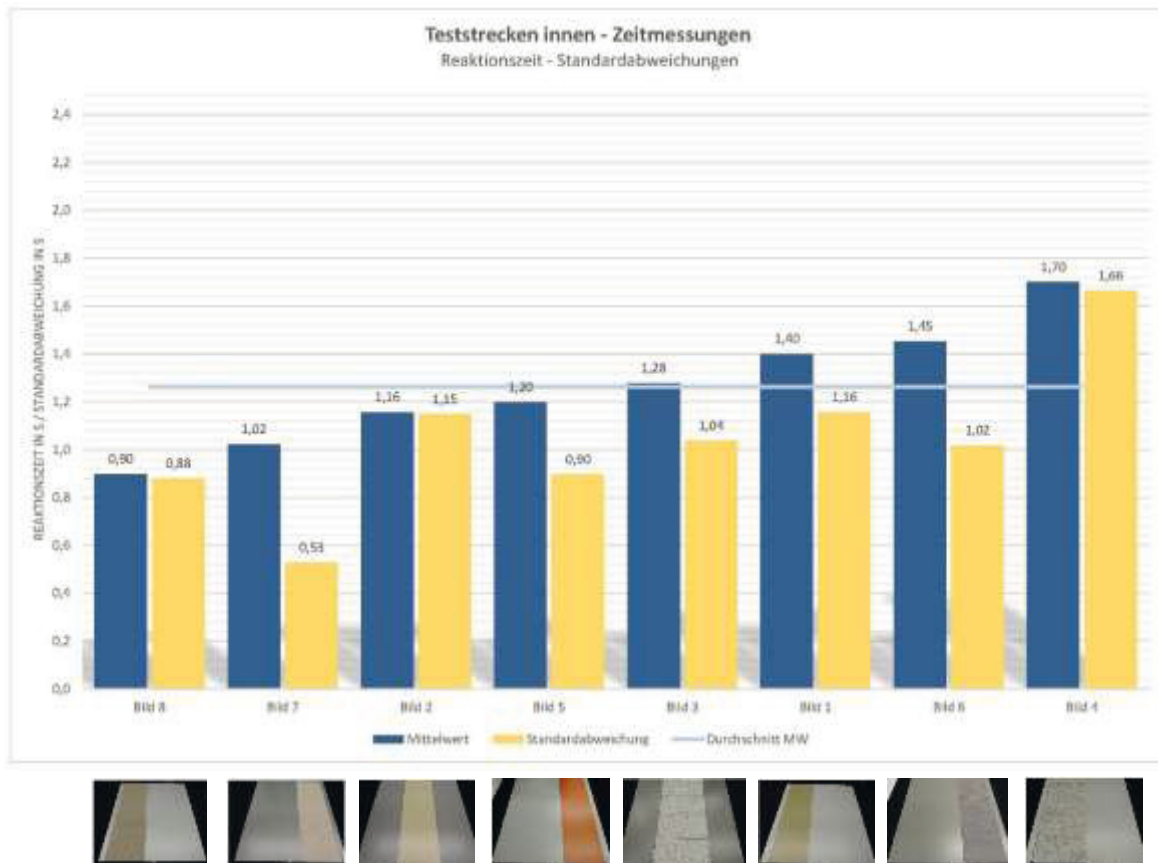


Abbildung 178: Standardabweichungen und Reaktionszeitenmittel je dargebotener Bilder

12.10.1.2 Auswertung Erkennen in der Bewegung

Durchgang	Testbild 1 Linoleum		Testbild 2 Linoleum		Testbild 3 Steinpl.		Testbild 4 Steinpl.		Testbild 5 Linoleum (F)		Testbild 6 Teppich		Testbild 7 Teppich		Testbild 8 Teppich	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

**Proband**

1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	k.A.	1
2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	k.A.	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	k.A.	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2	1	0	1	2	1	1	0	0	1	1	1	2	0	0
7	0	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0
8	1	0	0	0	1	2	0	2	1	1	0	0	0	1	1	0
9	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
10	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
11	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	k.A.	.
12	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
17	0	2	0	0	2	2	2	2	0	0	2	0	0	0	0	0
18	0	0	0	2	0	2	0	2	0	2	1	0	0	1	0	0
19	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

**Zwischensumme je Durchgang**

<b>besser</b>	1	0	3	1	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	2	1	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>gleich</b>	17	16	16	16	8	12	13	10	17	17	11	14	13	11	15	16

<b>schlechter</b>	1	3	0	2	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	0	1	2	1	0	1	1	0
-------------------	---	---	---	---	----------	----------	----------	----------	---	---	---	---	---	---	---	---

**Gesamtsumme**

<b>besser</b>	1	4	<b>9</b>	<b>9</b>	3	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>6</b>
<b>gleich</b>	33	32	20	23	34	25	24	31
<b>schlechter</b>	4	2	<b>9</b>	<b>6</b>	1	3	1	2

12.10.2 Außenraum

12.10.2.1 Standardabweichungen

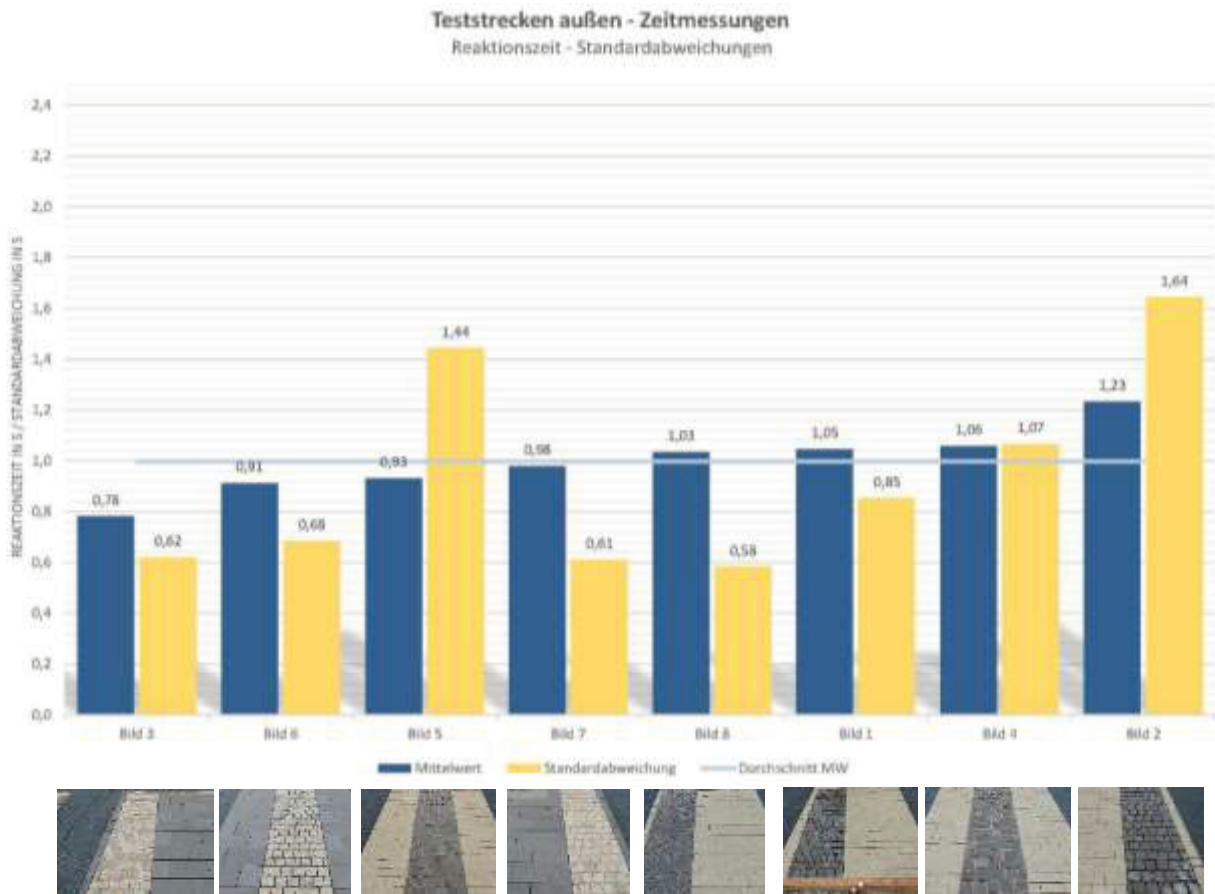


Abbildung 179: Reaktionszeiten und Standardabweichungen für alle gezeigten Bilder der Außenteststrecken

## 12.10.2.2 Auswertung Erkennen in der Bewegung

	Testbild 1 Grauwacke gesägt		Testbild 2 Grauwacke bruchrau		Testbild 3 Sandstein bruchrau		Testbild 4 Grauwacke bruchrau		Testbild 5 Grauwacke gesägt		Testbild 6 Sandstein bruchrau		Testbild 7 Sandstein gesägt		Testbild 8 Grauwacke gesägt, diagonal	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

**Proband**

1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	k.A.	0
2	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	k.A.	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	k.A.	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	1	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	2	1	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	1
16	0	2	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0
19	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0

**Zwischensumme je Durchgang**

besser	1	1	3	2	5	5	6	4	2	2	4	6	1	1	0	1
gleich	18	15	14	16	13	15	12	13	16	16	12	13	17	18	17	18
schlechter	0	3	2	1	1	0	1	2	1	1	3	0	0	0	0	0

**Gesamtsumme**

<b>besser</b>	2	5	<b>9</b>	<b>10</b>	4	<b>10</b>	2	1
<b>gleich</b>	33	30	28	25	32	25	35	35
<b>schlechter</b>	3	3	1	3	2	3	0	0

**12.11 Probenbeschreibung**

Übersicht aller verwendeten Proben

Nr.	Probenname	$\rho_{diff/45}$	Beleuchtungsspektrum und Kontrastwirkung im Außenbereich	Innere Materialstruktur	Teststrecke Aussen	Teststrecke Innen	Gebaute Beispiel
1	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Sandbeige geschliffen	0,51					
2	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Sandbeige fein samtiert CF90	0,51					
3	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Graugelb geschliffen	0,37					
4	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Graugelb fein samtiert CF90	0,37					
5	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Rheinsandbeige geschliffen	0,28					
6	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Rheinsandbeige fein samtiert CF90	0,26					
7	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Basaltanthrazit geschliffen	0,13					
8	Metten Betonwerkstein Boulevard Farbe Basaltanthrazit fein samtiert CF90	0,12					
9	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe mineralweiß_geschliffen	0,45					
10	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Mineralweiß_fein samtiert_CF90	0,45					
11	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Seidenbeige_geschliffen	0,38					
12	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Seidenbeige_fein samtiert CF90	0,38					
13	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Palladiumsilber_geschliffen	0,26					



14	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Palladiumsilber_fein samtiert C	0,21	■	■				
15	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Dolomitgrau_ge-schliffen	0,17	■					
16	Metten Betonwerkstein Boulevard 03 Farbe Dolomitgrau fein samtiert CF90	0,15	■					
17	RINN Betonwerkstein Farbe 2233	0,39	■	■				
18	RINN Betonwerkstein Farbe 2232	0,24	■					
19	RINN Betonwerkstein Farbe 304	0,14	■					
20	RINN Betonwerkstein Farbe 783	0,38	■	■				
21	RINN Betonwerkstein Farbe 2230	0,1	■					
22	RINN Betonwerkstein Farbe 2228	0,2	■					
23	Godelmann Betonwerkstein finerro Durosave Farbe silber grau	0,28	■	■				
24	Godelmann Betonwerkstein Scada finerro Farbe Titan grau	0,2	■			■		
25	Godelmann Betonwerkstein Nueva Pflaster ferro Farbe Silber uni	0,59	■	■				
26	Godelmann Betonwerkstein Nueva Pflaster Farbe Anthrazit uni ferro	0,17	■	■				
27	Godelmann Betonwerkstein Nueva Pflaster Farbe Granit grau ferro	0,34	■					
28	Klinker Format 20x20x5cm Farbe dunkelgrau	0,13	■	■				
29	Klinker Format 21x10x6cm Farbe gelb	0,42	■	■				
30	Klinker Format 20x10x7cm Farbe rot	0,17	■	■				
31	Parkett Kährs Eiche Nice Mattlack	0,27		■				
32	Parkett Kährs Esche Kalmar Mattlack	0,48		■				
33	Chinesischer Granit Oberfläche geschliffen	0,34	■	■				
34	Chinesischer Granit Oberfläche poliert	0,35	■	■				
35	Chinesischer Granit Oberfläche sägerau	0,33	■	■				
36	Chinesischer Granit Oberfläche geflammt	0,33	■	■				
37	Chinesischer Granit Oberfläche scharriert	0,41	■	■				
38	Chinesischer Granit Oberfläche gestockt	0,4	■	■				
39	Steinplatte Naumann Imperial White poliert	0,48		■				
40	Steinplatte Naumann Nero Impala poliert	0,08						
41	Linoleum DLW Uni Walton LPX 101-035	0,08						
42	Linoleum DLW Marmorette LPX 121-xxx/PUR 125-xxx; 125-059	0,12		■				
43	Linoleum DLW Uni Walton LPX 101-010 rot	0,2		■				
44	Linoleum DLW Colorette LPX 131-140 gelb	0,63						
45	Linoleum DLW Lino Art Nature LPX 365-064	0,2		■				
46	Teppich Vorwerk Format Farbe 8G35	0,28		■		■		
47	Teppich Vorwerk Arena Farbe 8G78	0,24		■				
48	Teppich Vorwerk Format 4 Farbe 5R01	0,11		■		■		
49	Steingutfliese Agrob Buchtal Sierra 059003 hellgrau unglasiert	0,43		■				
50	Steingutfliese Agrob Buchtal Xenos 433071H schwarz glasiert	0,14						
51	Steingutplatte Agrob Buchtal Avorio 3080-B740HK weiß unglasiert	0,62		■				
52	Steingutplatte Agrob Buchtal Urban Stone 052012 medium grey unglasiert	0,2		■				
53	Bodenindikator Rippenplatte weiß	0,77	■					
54	Bodenindikator Begleitstreifen dunkelgrau	0,1	■					
55	Bodenindikator Rippenplatte anthrazit	0,11	■					
56	Parkett Bauwerk Triopark Eiche 14	0,39						
57	Parkett Bauwerk Villapark Eiche 14	0,42						
58	Parkett Bauwerk Villapark Eiche 35	0,45						
59	Parkett Bauwerk Villapark Eiche Farina 14	0,51						
60	Granit MKB Typ 106 Oberfläche geflammt	0,34						■

61	Granit MKB Typ 106 Oberfläche gestockt	0,42							
62	Granit MKB Typ Albano AS116 Oberfläche poliert	0,22							
63	Granit MKB Typ Albano AS116 Oberfläche geflammt	0,39							
64	Bergische Grauwacke Kleinpflasterstein gebrochen	0,2							
65	Bergische Grauwacke Kleinpflasterstein gesägt	0,26							
66	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio15.03	0,4							
67	Metten Betonwerkstein Umbriano 3606A2	0,23							
68	Metten Betonwerkstein Umbriano Farbe Granitbeige Oberfläche gemasert CF90	0,43							
69	Rinn Betonwerkstein Teststrecke Farbe 783	0,45							
70	Rinn Betonwerkstein Teststrecke Farbe 2228	0,23							
71	Traco Friedewalder Sandstein Kleinpflasterstein gebrochen	0,45							
72	Traco Friedewalder Sandstein Kleinpflasterstein gesägt	0,54							
73	Linoleum Norraplan sentica farbe 6514	0,29							
74	Linoleum Noraplan sentica Farbe 6522	0,2							
75	Linoleum Noraplan sentica farbe 6525	0,49							
76	Teppich Vorwerk Melin Farbe 3M53	0,07							
77	Teppich Vorwerk Tremo Farbe 3L64	0,04							
78	Teppich Vorwerk Tremo Farbe 599Y	0,3							
79	Granit Besco belgrano Farbe A231 Oberfläche poliert	0,16							
80	Granit Besco belgrano Farbe A231 Oberfläche sandgestrahlt	0,33							
81	Metten Betonwerkstein Assano Farbe Basaltanthrazit	0,15							
82	Betonwerkstein Farbe V1	0,22							
83	Betonwerkstein Farbe V2 Oberfläche mikrorau	0,35							
84	Klinker ABC-Klinker Farbe braun	0,08							
85	Klinker ABC-Klinker Farbe rot	0,13							
86	BGS Bergische Grauwacke	0,17							
87	Dietfurter Dolomit	0,47							
88	Noraplan sentica Farbe 6510	0,3							
89	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio 13.01	0,26							
90	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio 13.03	0,2							
91	Metten Betonwerkstein Farbe 2308-A0-10M	0,25							
92	Metten Betonwerkstein Farbe 2305-A0-10M	0,33							
93	Metten Betonwerkstein Farbe Palladion 15.01	0,4							
94	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio 15.05	0,29							
95	Betonwerkstein hellgrau	0,48							
96	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio11.05	0,37							
97	Metten Betonwerkstein Farbe Palladio 11.03	0,45							

Tabelle 45: Gesamttabelle labortechnisch erfasster Proben mit zugehörigem Reflexionsgrad und deren Zuordnung zu den Tests.

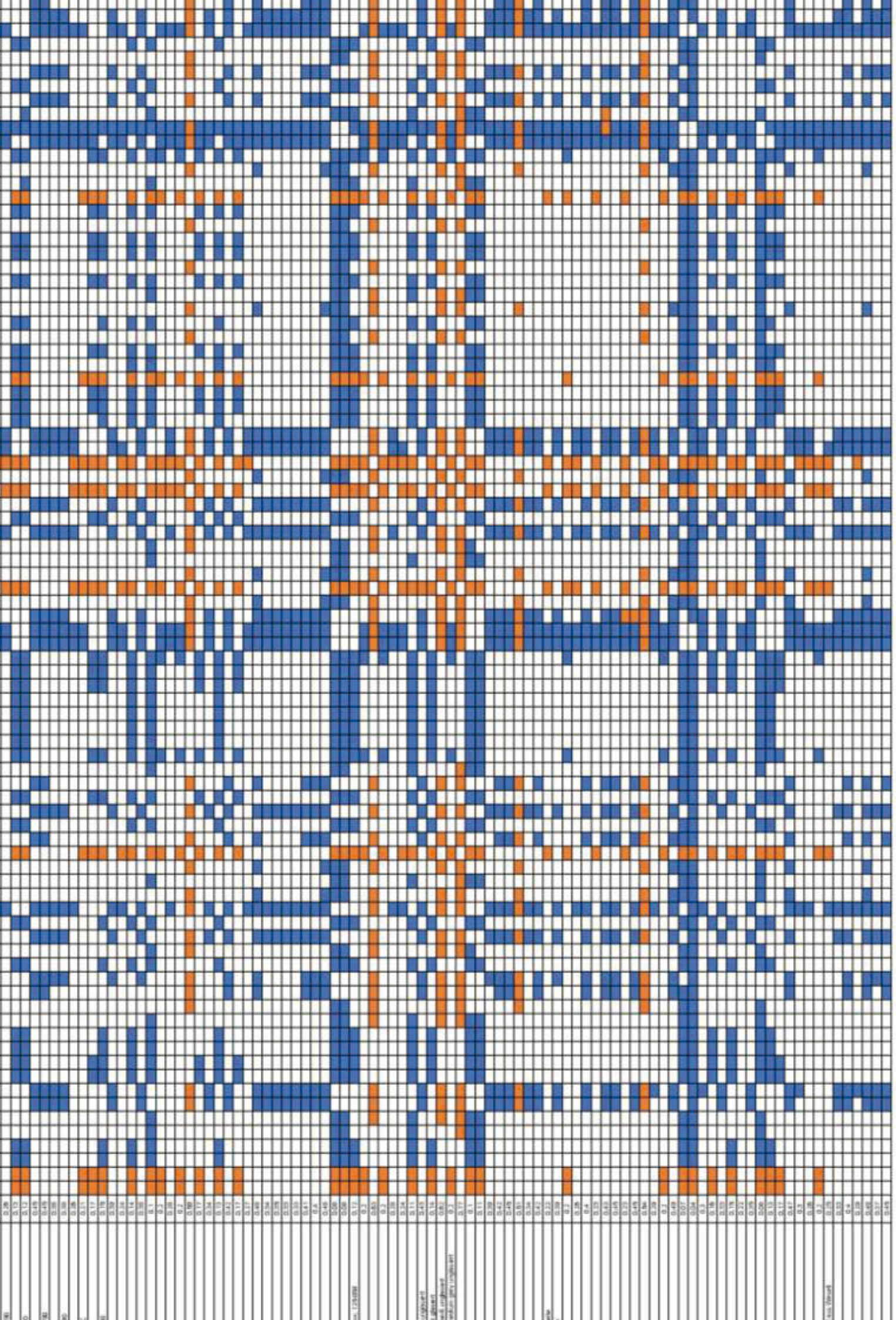
12.11.1 *Probenübersicht zu Inhomogenitätsklassen*

Probe	Inhomogenitäts-klasse
Blindenleitplatte_weiß	2
Chinesischer_Granit_geflammt	4
Chinesischer_Granit_geschliffen	4
Chinesischer_Granit_gestockt	5
Chinesischer_Granit_poliert	4
Chinesischer_Granit_sägerau	4
Chinesischer_Granit_scharriert	4
DLW_LINOLEUM_Colorette_LPX_131_140_gelb	2
DLW_LINOLEUM_Lino Art Nature_LPX_365_064	2
DLW_LINOLEUM_Lino Art Nature_LPX_365_064_gelb	2
DLW_LINOLEUM_Marmorette_LPX_121-xxx_PUR_125-xxx_125_059	2
DLW_LINOLEUM_Uni Walton LPX 101_010_rot	1
DLW_LINOLEUM_Uni Walton LPX 101_035	1
Godemann_finerro DUROSAVE_silber_grau	5
Godemann_NUEVA Pflaster_ferro_anthrazit_uni	4
Godemann_NUEVA Pflaster_ferro_Granit grau	5
Godemann_NUEVA Pflaster_ferro_silber uni	5
Godemann_SCADA_finerro_titan_grau	5
Metten_boulevard_03_dolomitgrau_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_03_dolomitgrau_geschliffen	4
Metten_boulevard_03_mineralweiß_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_03_mineralweiß_geschliffen	4
Metten_boulevard_03_palladiumsilber_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_03_palladiumsilber_geschliffen	3
Metten_boulevard_03_seidenbeige_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_03_seidenbeige_geschliffen	4
Metten_boulevard_basaltanthrazit_fein samtiert CF90	3
Metten_boulevard_basaltanthrazit_geschliffen	3
Metten_boulevard_graugelb_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_graugelb_geschliffen	4
Metten_boulevard_rheinsandbeige_fein samtiert CF90	4
Metten_boulevard_rheinsandbeige_geschliffen	4
Metten_boulevard_sandbaige_fein samtiert CF90	5
Metten_boulevard_sandbaige_geschliffen	5

Parkett_Kährs_Eiche_Nice_Mattlack	3
Parkett_Kährs_Esche_Kalmar_mattlack	3
Pflasterplatte_20x20x5_dunkelgrau	2
Pflasterstein_20x10x7_rot	2
Pflasterstein_21x10x6_gelb	3
RINN_2228	2
RINN_2230	2
RINN_2232	3
RINN_2233	3
RINN_beige_mittel_783	3
RINN_grau_dunkel_304	2
Steingutfliese_Agrob Buchtal Sierra_059003_hellgrau_unglasiert	2
Steingutfliese_Agrob Buchtal_Avorio_3080-B740HK_weiß_unglasiert	3
Steingutfliese_Agrob Buchtal_Urban Stone_052012_medium grey_unglasiert	2
Steingutfliese_Agrob Buchtal_Xeno_433071H_schwarz_glasiert	2
Steinplatte_Naumann_imperial white poliert	5
Steinplatte_Naumann_nero impala poliert	2
Teppich_Vorwerk_ARENA_Farbe 8G78	4
Teppich_Vorwerk_FORMAT_Farbe 8G35	5
Teppich_Vorwerk_FORMAT4_Farbe 5R01	4

Tabelle 46: Probenübersicht mit Zuordnung der Inhomogenitätsklassen für den Test 'Einfluss der inneren Materialstruktur'.

















Projekt unter Laborbedingungen erfassten Reflexionsgrade mit Markierung der möglichen Kontrastpartner mit einem Kontrast nach DIN K>0,4, ohne die zusätzliche Erfüllung des Mindestreflexionsgrad  $R > 0,5$  als

## 12.12 Probenkatalog für die Praxis








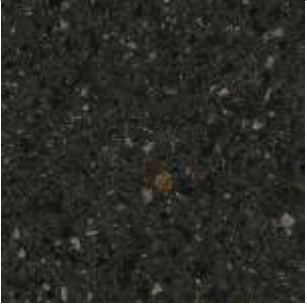




### 12.12.1 Innenraum











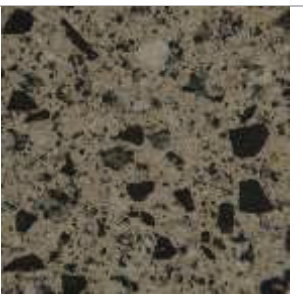




		
Probe Nr. 31; R=0,27	Probe Nr. 32; R=0,48	Probe Nr. 39; R=0,48
		
Probe Nr. 40; R=0,08	Probe Nr. 41; R=0,08	Probe Nr. 42; R=0,12
		
Probe Nr. 43; R=0,20	Probe Nr. 44; R=0,63	Probe Nr. 45; R=0,20
		
Probe Nr. 46; R=0,28	Probe Nr. 47; R=0,24	Probe Nr. 48; R=0,11

		
Probe Nr. 49; R=0,43	Probe Nr. 50; R=0,14	Probe Nr. 51; R=0,62
		
Probe Nr. 52; R=0,20	Probe Nr. 56; R=0,39	Probe Nr. 57; R=0,42
		
Probe Nr. 58; R=0,45	Probe Nr. 59; R=0,51	Probe Nr. 73; R=0,29
		
Probe Nr. 74; R=0,20	Probe Nr. 75; R=0,49	Probe Nr. 76; R=0,07
		
Probe Nr. 77; R=0,04	Probe Nr. 78; R=0,30	Probe Nr. 88; R=0,30















## 12.12.2 Außenraum

		
Probe Nr. 1; R=0,51	Probe Nr. 2; R=0,51	Probe Nr. 3; R=0,37
		
Probe Nr. 4; R=0,37	Probe Nr. 5; R=0,28	Probe Nr. 6; R=0,26
		
Probe Nr. 7; R=0,13	Probe Nr. 8; R=0,12	Probe Nr. 9; R=0,45
		
Probe Nr. 10; R=0,45	Probe Nr. 11; R=0,38	Probe Nr. 12; R=0,38

		
Probe Nr. 13; R=0,26	Probe Nr. 14; R=0,21	Probe Nr. 15; R=0,17
		
Probe Nr. 16; R=0,15	Probe Nr. 17; R=0,39	Probe Nr. 18; R=0,24
		
Probe Nr. 19; R=0,14	Probe Nr. 20; R=0,38	Probe Nr. 21; R=0,10
		
Probe Nr. 22; R=0,20	Probe Nr. 23; R=0,28	Probe Nr. 24; R=0,20
		
Probe Nr. 25; R=0,59	Probe Nr. 26; R=0,17	Probe Nr. 27; R=0,34

		
Probe Nr. 28; R=0,13	Probe Nr. 29; R=0,42	Probe Nr. 30; R=0,17
		
Probe Nr. 60; R=0,34	Probe Nr. 61; R=0,42	Probe Nr. 62; R=0,22
		
Probe Nr. 63; R=0,39	Probe Nr. 64; R=0,20	Probe Nr. 65; R=0,26
		
Probe Nr. 66; R=0,40	Probe Nr. 67; R=0,23	Probe Nr. 68; R=0,43
		
Probe Nr. 71; R=0,45	Probe Nr. 72; R=0,54	Probe Nr. 80; R=0,33

		
Probe Nr. 81; R=0,15	Probe Nr. 84; R=0,08	Probe Nr. 85; R=0,13
		
Probe Nr. 86; R=0,17	Probe Nr. 87; R=0,47	Probe Nr. 89; R=0,26
		
Probe Nr. 90; R=0,20	Probe Nr. 91; R=0,25	Probe Nr. 92; R=0,33
		
Probe Nr. 93; R=0,40	Probe Nr. 94; R=0,29	Probe Nr. 96; R=0,37
		
Probe Nr. 97; R=0,45		