

Sicherheitsleitsysteme in Rauchsituationen

Dipl.-Ing. Karin Bieske, Ilmenau

TU Ilmenau, Fachgebiet: Lichttechnik, 98693 Ilmenau, Unterer Berggraben 10

Tel. 03677/ 8469-21, Karin.Bieske@TU-Ilmenau.DE

1 Einleitung

Sicherheitsleitsysteme haben die Aufgabe im Gefahrenfalle das sichere Verlassen des Arbeitsplatzes oder des gefährdeten Bereiches zu ermöglichen, insbesondere jedoch bei Ausfall der künstlichen Beleuchtung.

Ein Sicherheitsleitsystem kann verschieden ausgeführt sein. Das einfachste optische Sicherheitsleitsystem ist eine Kennzeichnung durch Beschilderung nach § 10 Abs. 3 der Unfallverhütungsvorschrift „Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung am Arbeitsplatz“ (BGR A 8) ¹. Je nach System und Gefährdungsgrad werden Sicherheitszeichen in Kombination mit Sicherheitsbeleuchtung und/ oder Leitmarkierungen ausgeführt oder als dynamische Systeme, die bei Bedarf die vorgegebene Fluchtrichtung verändern können, dargeboten.

Eine Systematik zu Sicherheitsleitsystemen ist in Tabelle T1 zusammengefasst.

Sicherheitsleitsysteme				
elektrisch betriebene Systeme			lichtspeichernde Systeme	
nicht bodennah	bodennah		nicht bodennah	bodennah
	statisch	dynamisch		
Rettungsweg- kennzeichnung Rettungsweg- beleuchtung	Rettungsweg- kennzeichnung Leitmarkierung	Rettungsweg- kennzeichnung Leitmarkierung	Rettungsweg- kennzeichnung	Rettungsweg- kennzeichnung Leitmarkierung
beleuchtet/ hinterleuchtet			nachleuchtend	

Tabelle T1: Systematik von Sicherheitsleitsystemen ².

Die lichttechnischen Anforderungen an Notbeleuchtungssysteme werden europaweit in der DIN EN 1838 ³ festgelegt. Die derzeitigen Festlegungen basieren auf Erkenntnissen aus zahlreichen Untersuchungen in rauchfreier Umgebung ^{4, 5, 6, 7}. In der DIN

¹ BGR 216 - Optische Sicherheitsleitsystem (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung), Juli 2001

² Langer, R.: Neue Berufsgenossenschaftliche Regel (BGR 216) regelt den Einsatz von optischen Sicherheitsleitsystemen. Zts. Licht 54. Jhg. Nr.1-2, 2002, S. 74

³ DIN EN 1838 - Angewandte Lichttechnik, Notbeleuchtung, Juli 1999

⁴ Weis, B.; Terstiege, H.; Willing, A.: Notbeleuchtung kontra langnachleuchtende Farbe. Zts. LICHT 46. Jhg. Nr. 1, 1994, Sonderdruck

⁵ Ehreneiser, W.; Kokoschka, S.; Weis, B.: Untersuchung der Sichtbarkeit von Sicherheitszeichen für Rettungswege. Zts. LICHT 45. Jhg. Nr. 3, 1993, Sonderdruck

⁶ Weis, B.: Notbeleuchtung. Zts. LICHT 38. Jhg. Nr. 6, 1987, Sonderdruck

⁷ Boyce, P. R.; Cibse, M.: Movement under emergency lighting: effect of illuminance. Zts. LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY Vol. 17 No. 2, 1985

EN 1838 wird davon ausgegangen, dass keine Gefährdung durch Rauch in den Rettungswegen vorhanden ist.

Nicht in jedem Falle kann bei einem Brand jedoch das Eindringen von Brandrauch in Rettungswegbereiche ausgeschlossen werden. Brandrauch ist bei Gebäudebränden die Hauptursache für Todesfälle. Brandkatastrophen, wie beispielsweise der Brand des Flughafens Düsseldorf 1996, machen dieses Gefahrenpotential deutlich.

Entsprechend kommt einem Sicherheitsleitsystem im Brandfalle eine besondere Bedeutung bei der Rettung von Personen zu und darf nicht unwirksam werden.

Das Regelwerk der Berufsgenossenschaften berücksichtigt eine mögliche Wirkung von Brandrauch in der BGR 216 ¹, indem gefordert wird, dass in brandgefährdeten Bereichen bodennahe Sicherheitsleitsysteme zu planen und zu errichten sind.

International wird derzeit bei der CIE an einem Standard für die Notbeleuchtung gearbeitet, in dem auch Aspekte des Einflusses von Rauch in Rettungswegen Berücksichtigung finden werden.

Für den Brandfall sind bisher nur vereinzelt Untersuchungen durchgeführt worden. Die sprunghafte technische Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Sicherheitsleitsysteme macht es erforderlich, die Leistungsfähigkeit bestehender und neuer Sicherheitsleitkonzepte nachzuweisen und gegebenenfalls neue Anforderungen für brandgefährdete Bereiche zu erarbeiten.

Der vorliegende Beitrag stellt einige Ergebnisse des Forschungsprojektes „Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen“ vor, das durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften initiiert und unterstützt wurde ⁸. Im Vordergrund stand die Wirkung verschiedener Sicherheitsleitsysteme in Rauchsituationen. Neben Untersuchungen zur Sichtbarkeit und zu Erkennungsweiten von Sicherheitszeichen wurden zwei Sicherheitsleitsystemkonzepte bei unterschiedlichen Sichtbehinderungen direkt miteinander verglichen. Treppenbereiche wurden bei dieser Untersuchung ausgenommen.

2 Eigenschaften von Brandrauch

Jeder Brand ist durch eine stoffliche und energetische Umsetzung gekennzeichnet. Dabei entstehen als flüchtige Produkte Brandgase, toxische und korrodierende Dämpfe als auch Molekülverbände aus kleinsten kugelförmigen Rußpartikeln. Aufgrund verschiedener chemischer und physikalischer Mechanismen bilden sich Rauchpartikel. Sie sind im Gemisch von Luft und Verbrennungsgasen dispers verteilt und bilden in ihrer Gesamtheit den Brandrauch.

Die Rauchentstehung ist im wesentlichen abhängig von:

- Brandart
- Brandlast
- Brandbedingungen
- Gebäudearchitektur
- Brandort
- Branddauer

Die Brandrauchentwicklung ist damit ein sehr komplexes Problem und besitzt eine hohe Spezifik.

¹ BGR 216 - Optische Sicherheitsleitsystem (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung), Juli 2001

⁸ Gall, D; Bieske, K.; Kokoschka, S.: Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen. Abschlussbericht, TU Ilmenau 2003

Die für das Sehen wesentlichen Raucheigenschaften sind:

- Spektrale Absorption (k_a) \Rightarrow Spektrale Transmission (Farbe des Brandrauchs)
- Streuung (Vorwärts- und Rückwärtsstreuung) (k_s)
- Absorptionskoeffizient (Extinktionskoeffizient / Schwächungsgrad)
 $k = k_a + k_s$
- Partikelgröße, -form, Anzahl pro Volumen
- Rauchdichte
Optische Dichte $D_\tau = f(k; \text{Schichtdicke } d) \quad k = 2,3 \cdot D_\tau$
- Reizwirkung

3 Wirkung von Brandrauch auf das Sehen

Brandrauch in Gebäuden bewirkt eine drastische **Verschlechterung der Sichtbarkeit** von Sehobjekten, die durch die verschiedenen Raucheigenschaften hervorgerufen werden (Abbildung 1).



optisch klar

bei zunehmender Sichttrübung

Abbildung 1: Einfluss von Brandrauch auf die Erkennbarkeit von Sicherheitszeichen.

Die spektralen Absorptionseigenschaften von Brandrauch verursachen **Transmissionsverluste**, die zu einer exponentiellen Schwächung der Leuchtdichte in Abhängigkeit von der Rauchdichte führen. Mit Abnahme der Raumhelligkeit ändern sich die Sehbedingungen hin zum mesopischen oder skoptopischen Bereich. Im Vergleich zu den Sehbedingungen bei ausreichender Raumhelligkeit lassen Funktionen wie Sehschärfe, Kontrastempfindlichkeit, Farbsehen, Wahrnehmungsgeschwindigkeit und Blendunempfindlichkeit nach ⁹.

Streuende Eigenschaften von Brandrauch verursachen Streuleuchtdichten, die zu einer **Minderung der Sehobjektkontraste** führen und damit eine Verringerung der Sichtbarkeit zur Folge haben. Dieser Effekt ist abhängig von der Rauchart und kommt um so stärker zum Tragen, je größer die Umgebungshelligkeit ist.

Die Wahrnehmung von Farben ist darüber hinaus durch eine mögliche **Farbverschiebung** in Richtung Unbunt herabgesetzt, sodass Farbe unter solchen schwierigen Sehbedingungen nur eine untergeordnete Information darstellen kann. Entscheidend für die Erkennung ist der Leuchtdichtekontrast des Sehobjekts, der den physiologisch erforderlichen Schwellenkontrast deutlich überschreiten sollte.

Reizende Bestandteile des Brandrauchs wirken wesentlich auf die Augen und die Atemwege. Der mit der **Reizung** verbundene Tränenfluss und die Erhöhung der Lidschlagfrequenz führen zu **Sehverlusten** ¹⁰.

⁹ Baer, R.: Beleuchtungstechnik. Verlag Technik, Berlin, 1996, S. 49 ff

¹⁰ Bieske, K.; Rohleder St.: Untersuchung des Einflusses von Reizung der Augen auf die Sehschärfe. TU Ilmenau, FH Jena, 2002

Kohlenmonoxid mindert die Sauerstofftransportfähigkeit des Blutes, Cyanwasserstoff verringert die Sauerstoffverwertung im Gewebe und Kohlendioxid erhöht diese erstickende Wirkung indem die Atemfrequenz gesteigert wird. Die Folge ist eine **Abnahme der Orientierungsfähigkeit**¹¹.

Die Verschlechterung des Sehvermögens bei Brandrauch **beeinflusst die Blick-orientierung**. In rauchfreier Umgebung mit entsprechender Umgebungshelligkeit ist die Orientierung von Personen mit normalem Sehvermögen vorrausschauend. Mit zunehmender Rauchdichte und Abnahme der Umgebungshelligkeit orientieren sich Personen in der unmittelbaren Umgebung und im Bodenbereich.

Die Wahrnehmung des Menschen im Rauch ist abhängig von:

- Sehobjekt
 - Größe
 - Form
 - Leuchtdichte
 - Kontrast
- Umgebung
 - Beleuchtung
 - Raucheigenschaften
- Beobachter
 - Adaptationszustand ⇒ Sehfunktion
 - Alter
 - Refraktionszustand
 - Ermüdung
 - Psychologische Faktoren
- Anderen Faktoren
 - Lage des Sehobjektes im Gesichtsfeld
 - Beobachtungszeit
 - Beobachtungsentfernung
 - Sehkriterium (Erkennung / Identifikation)

4 Experimentelle Untersuchungen

Im Vordergrund der experimentellen Arbeiten standen Sichtbarkeitsuntersuchungen. Dabei wurde die Erkennungsweite als ein Kriterium für den Vergleich verschiedener Sicherheitszeichen herangezogen.

Die Erkennungsweite ist diejenige Entfernung zum Sehobjekt, aus der ein Beobachter unter den jeweiligen Bedingungen das Sehobjekt gerade erkennen kann. Das Kriterium für die Erkennung eines Sicherheitszeichens ist dabei die Angabe der korrekten Fluchtrichtung.

Da Schwelbrände mit sehr hellem Brandrauch nach Jin¹² das Sehen am stärksten beeinflussen, wurde sich in den experimentellen Arbeiten darauf konzentriert. Aus einer Studie von Jensen¹³ sind Angaben zum Umkehrverhalten und zu Überlebenschancen im Brandrauch zu entnehmen.

¹¹ Purser, D. A.: Toxicity Assessment of Combustion Products. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 2nd Ed. 1995

¹² Jin, T.: Visibility through Fire Smoke, Part 2, Visibility of monochromatic signs through fire smoke. Report of Fire Research Institute of Japan Serial No. 33, 1971, S. 31 – 48

¹³ Jensen, G.: Evacuating in Smoke. IGP AS - Studie, Trondheim (Norwegen), 1993

Für die Untersuchungen wurden daraus Rauchdichten mit Schwächungskoeffizienten im Bereich zwischen $0,5 \text{ m}^{-1}$ und $2,8 \text{ m}^{-1}$ (etwa Sichtweiten 12 m bis 2 m) abgeleitet. Die Untersuchungen wurden in einem Versuchsgang durchgeführt, in dem verschiedene Beleuchtungssituationen einstellbar waren. Die Abbildung 2 zeigt den Versuchsgang und die nebenstehende Tabelle fasst seine wesentlichen Parameter zusammen.



Parameter	Wert
Länge:	30 m
Breite:	1,5 m
Höhe:	2,5 m
Reflexionsgrad	
- des Bodens	25%
- der Decke	40%
- der Wände	60%
Beleuchtung:	
- Allgemeinbeleuchtung	dimmbare Leuchtstofflampen ($E_{\text{mittel}} = 100 \text{ lx}$)
- Notbeleuchtung	4 Wegeleuchten ($E_{\text{min}} = 1,5 \text{ lx}$; $E_{\text{mittel}} = 10 \text{ lx}$)

Abbildung 2: Blick in den Versuchsgang und wesentliche Parameter.

Untersuchungen mit Probanden sind im realen Brandszenario aufgrund der Komplexität, Gefährdung und der instabilen Verhältnisse nicht möglich. Für die Untersuchungen zur Sichtbarkeit von Sicherheitsleitsystemen wurde deshalb ein ungiftiges Aerosol zur Simulation des Brandrauches eingesetzt, das in wesentlichen Parametern den Eigenschaften von Schwelbränden entspricht.

4.1 Erkennungsweiten von Sicherheitszeichen

Die Erkennungsweiten wurden für die in Tabelle T2 zusammengefassten Sicherheitszeichen für Rettungswege bestimmt. Das Kriterium für die Erkennung eines Sicherheitszeichens ist dabei die Angabe der korrekten Fluchtrichtung. Variiert wurden die Sichttrübung, die Beleuchtungssituation sowie der Montageort in Bezug zur Zusatzbeleuchtung.

An den Untersuchungen nahmen 100 **Versuchspersonen** im Alter zwischen 21 und 70 Jahren teil.




Sicherheitszeichen		
elektrisch betriebene Systeme		lichtspeichernde Systeme
hinterleuchtete Sicherheitszeichen (interne Lichtquelle)	beleuchtete Sicherheitszeichen (externe Lichtquelle)	nachleuchtende Sicherheitszeichen (externe Lichtquelle zur Anregung)
		
HLKL	BL	NL

Tabelle T2: Systematik der untersuchten Sicherheitszeichen für Rettungswege.

4.2 Direktvergleich zweier Sicherheitsleitsysteme

Bei der Durchführung des Vergleichs wurde sich auf folgende Situationen beschränkt:

Situation 1 nach DIN 67510¹⁴ (Lichtspeicherndes Sicherheitsleitsystem):



- zwei nachleuchtende Sicherheitskennzeichen (200x400), nicht bodennah montiert
- kontinuierliche nachleuchtende Leitmarkierung (7 cm breit), beiderseits bodennah montiert mit integrierten Richtungspfeilen (70x70) für die Fluchtrichtung und einem zusätzlichen Sicherheitszeichen (200x400)
- nachleuchtende Türumrandung (Streifenbreite: 2 cm) und Türgriffhinterlegung für den Rettungsausgang
- ohne zusätzliche Beleuchtung

Situation 2 nach DIN EN 1838 (Elektrisch betriebenes Sicherheitsleitsystem):



- ein hinterleuchtetes Sicherheitszeichen (100x200), nicht bodennah zum Verweis auf den Rettungsausgang montiert
- ein hinterleuchtetes Sicherheitszeichen (140x280), nicht bodennah punktuell zur Orientierung am Zimmerausgang montiert
- Notbeleuchtung gemäß DIN EN 1838 im Rettungsgang

Als Versuchsbedingungen für den Schwächungskoeffizienten k wurden folgende Festlegungen getroffen:

Sichttrübung	$k [m^{-1}]$
gering	0,7
mittel	1,4
hoch	2,3

Die Bewertungen für die verschiedenen Sicherheitsleitsysteme durch die Probanden erfolgte an Hand eines Fragekatalogs, zum einen zur Bewertung der konkreten Fluchsituation und zum anderen zum direkte Vergleich zwischen beiden Systemen. Zusätzlich wurden zu jeder Versuchssituation die Zeit erfasst, die der Proband für den Weg aus dem Probandenraum bis zum korrekten Auffinden des Notausganges benötigte. Beobachtet wurde, wie sich die Probanden durch den Gang bewegten, woran sie sich orientierten und welche Probleme auftraten.

An der Befragung nahmen 42 **Versuchspersonen** im Alter zwischen 15 und 73 Jahren teil.

¹⁴ DIN 67510 – 3 Langnachleuchtende Pigmente und Produkte, Langnachleuchtendes Sicherheitsleitsystem, Juni 1994

5 Ergebnisse

5.1 Erkennungsweiten von Sicherheitszeichen

5.1.1 Einfluss der Sichttrübung

Bereits bei geringen Schwächungskoeffizienten der Sichttrübung nimmt die Erkennungsweite gegenüber der optisch klaren Umgebung drastisch ab und sinkt exponentiell mit dem Anstieg des Schwächungskoeffizienten k .

Nach den in Abhängigkeit von der Piktogrammhöhe und dem Typ des Sicherheitszeichens in der Norm DIN EN 1838 geforderten Erkennungsweiten für die rauchfreie Umgebung bedeutet das bereits bei geringen Rauchdichten ($k = 0,7 \text{ m}^{-1}$) eine Abnahme der Erkennungsweite um 35 % bis 80 % gegenüber den Bedingungen in rauchfreier Umgebung (Tabelle T3).

Sicherheitszeichen	Erkennungsweite nach BGR 216	relative Erkennungsweite bei Sichttrübung		
		$k = 0,7 \text{ m}^{-1}$	$k = 1,4 \text{ m}^{-1}$	$k = 2,3 \text{ m}^{-1}$
HLKL (ohne Zusatzbeleuchtung)	18 m	63,8 %	38,9 %	21,1 %
HLGR (ohne Zusatzbeleuchtung)	28 m	41,1 %	25,0 %	13,6 %
BL (separat beleuchtet) (ohne Zusatzbeleuchtung)	20 m	47,5 %	30,0 %	17,5 %
BL (unter der Leuchte bei Notbeleuchtung)	20 m	30,7 %	15,1 %	6,1 %
BL (hinter der Leuchte bei Notbeleuchtung)	20 m	18,7 %	12,4 %	7,3 %
NL (ohne Zusatzbeleuchtung)	20 m	27,5 %	19,0 %	10,0 %

HLKL	Hinterleuchtetes Sicherheitszeichen	90 x 200	
HLGR	Hinterleuchtetes Sicherheitszeichen	140 x 280	
BL	Beleuchtetes Sicherheitszeichen	200 x 400	
NL	Nachleuchtendes Sicherheitszeichen	200 x 400	300/ 45

Tabelle T3: Relative Erkennungsweite verschiedener Sicherheitszeichen bezogen auf die Erkennungsweite nach DIN EN 1838 in Abhängigkeit vom Schwächungskoeffizienten k .

Die Problematik punktuell montierter Sicherheitszeichen wird hier deutlich. Die Folge ist, dass wenn die Abstände der Sicherheitszeichen im Verlauf des Rettungsweges größer als die Erkennungsweite im Rauch sind, fliehende Personen im Brandrauch Wegstrecken ohne jegliche Orientierung überwinden müssen. Das kann Suchaktionen, Verunsicherungen, Übersehen der Sicherheitszeichen und längere Fluchtzeiten verursachen.

Die Ausstattung von Rettungswegen nur mit punktueller Beschilderung ist in brandgefährdeten Bereichen unzureichend.

5.1.2 Einfluss der Art des Sicherheitszeichens

Hinterleuchtete Sicherheitszeichen erzielen aufgrund höherer Leuchtdichten die größten absoluten Erkennungsweiten, nachleuchtende Sicherheitszeichen die geringsten (Abbildung 3). Beleuchtete Sicherheitszeichen sind stark von den Beleuchtungsverhältnissen abhängig (Abbildung 4). Die Unterschiede zwischen den Systemen sind um so geringer, je größer der Schwächungskoeffizient und damit die Rauchdichte ist.

Hinterleuchtete Sicherheitszeichen sind nahezu ortsunabhängig von ihrem Montageort bezüglich einer Zusatzbeleuchtung. Beleuchtete Sicherheitszeichen weisen hingegen eine Abhängigkeit vom Montageort des Sicherheitszeichens in Bezug zur Lichtquelle auf. Bei geringen Schwächungskoeffizienten sind beleuchtete Sicherheitszeichen, die direkt unter einer Leuchte montiert sind, besser zu erkennen als Sicherheitszeichen, die sich in größerer Entfernung zur Lichtquelle befinden. Die Unterschiede verringern sich bei Anstieg des Schwächungskoeffizienten (Abbildung 4).

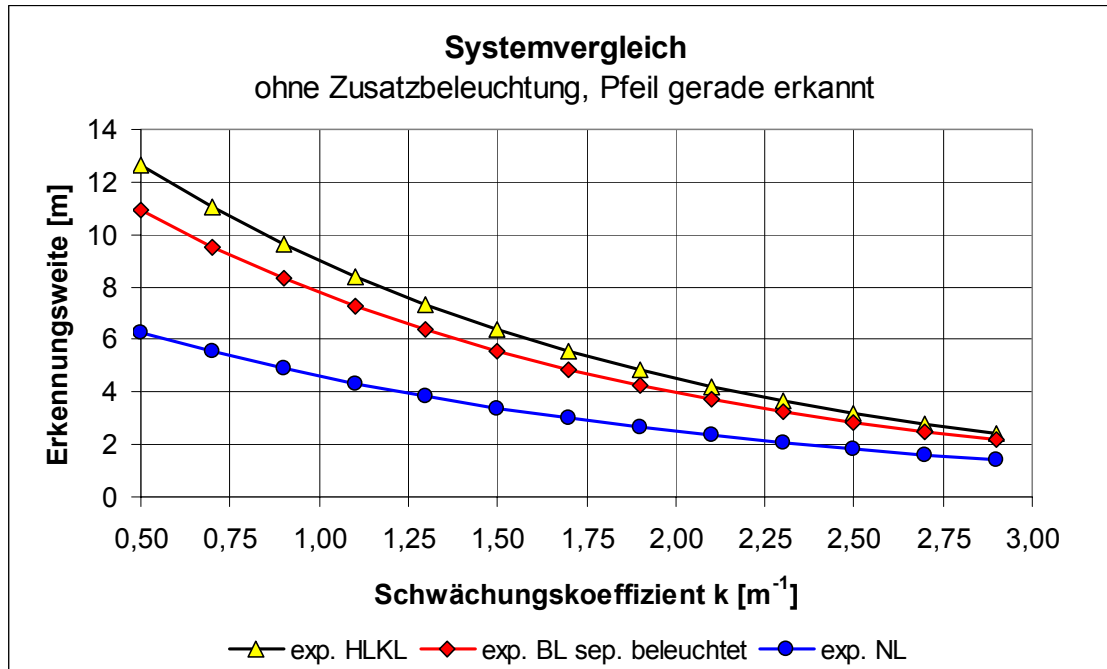


Abbildung 3: Erkennungsweite verschiedener Sicherheitszeichen bei Sichttrübung und ohne Zusatzbeleuchtung, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

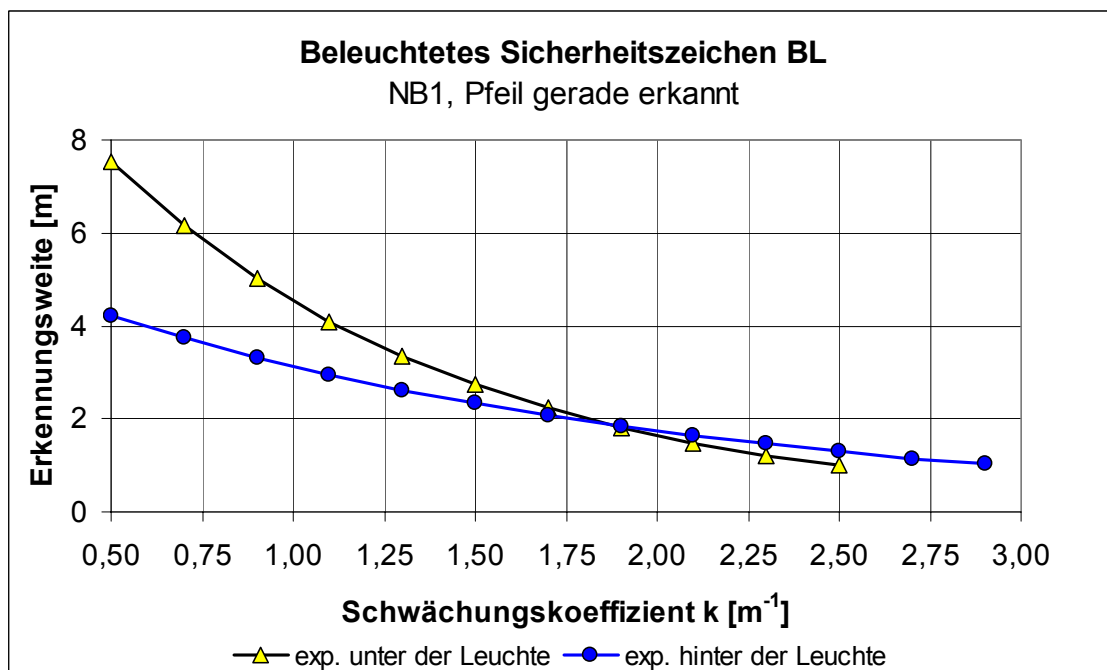


Abbildung 4: Einfluss des Montageortes auf die Erkennbarkeit eines beleuchteten Sicherheitszeichens BL bei Notbeleuchtung, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

Nachleuchtende Materialien haben die Eigenschaft, in der Aufladephase Strahlung zu speichern und bei Wegfall der Anregung Licht zu emittieren. Dabei weist es ein typisches exponentielles Abklingverhalten der Leuchtdichte auf.

Das Emissionsvermögen ist abhängig von:

- dem Absorptionsvermögen des nachleuchtenden Materials
- den spektralen Eigenschaften der Anregungsquelle
- der Bestrahlungsstärke auf der Materialoberfläche (Abbildung 5)
- der Anregungsdauer
- der Umgebungstemperatur

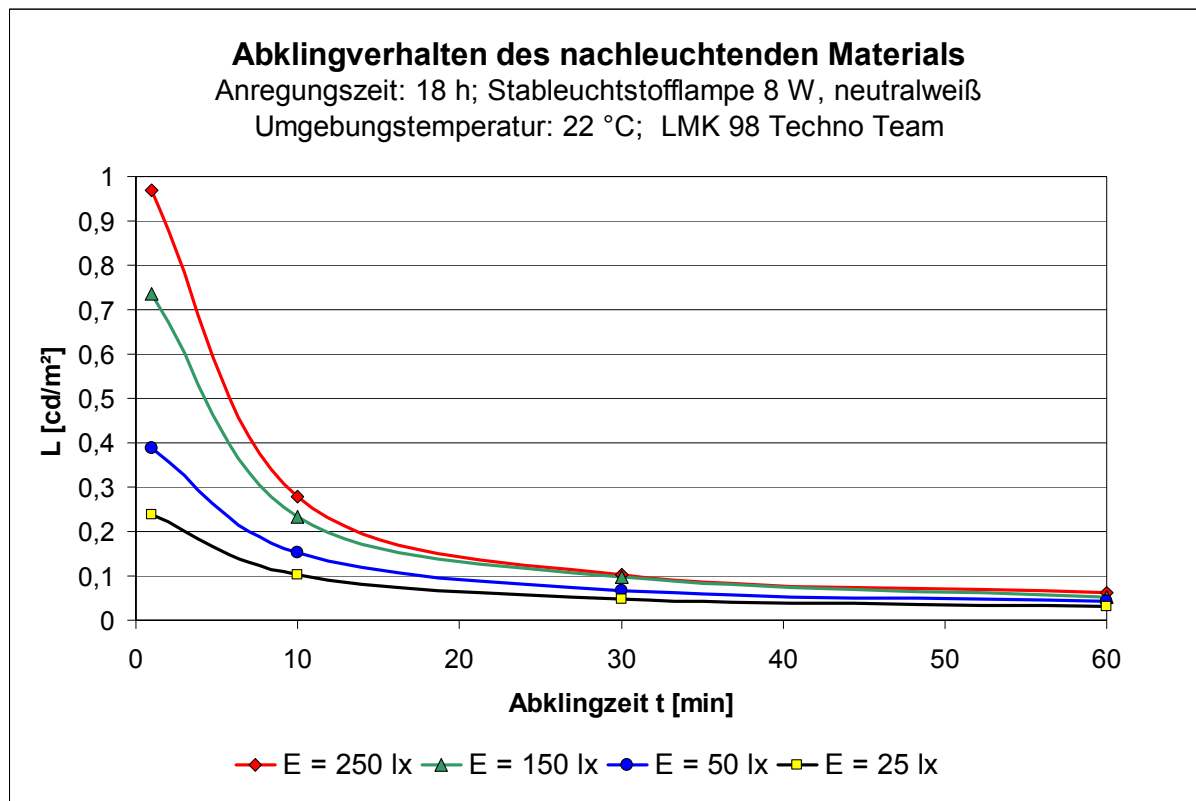


Abbildung 5: Abklingverhalten von nachleuchtendem Material in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke auf der Materialoberfläche.

Der Einsatz nachleuchtender Materialien ist damit an Randbedingungen gebunden, um die Funktionsfähigkeit zu gewährleisten. Bei Umgebungshelligkeit (Allgemeinbeleuchtung, Tageslicht) wirken nachleuchtende Sicherheitszeichen wie beleuchtete Sicherheitszeichen.

5.1.3 Einfluss der Beleuchtung

Die Zunahme des Beleuchtungsniveaus im Rettungsgang führt zum Anstieg des Streulichtes im Umfeld. Damit verringern sich die Kontraste auf den Sicherheitszeichen und die Erkennungsweiten sinken gegenüber den Verhältnissen ohne Zusatzbeleuchtung.

Notbeleuchtung mindert die Erkennungsweite um etwa 20%, Allgemeinbeleuchtung (bei 100 lx) um 35% gegenüber den Bedingungen ohne Zusatzbeleuchtung. (Abbildung 6).

Es ist zu prüfen, ob eine Absenkung des Beleuchtungsniveaus in verrauchten Rettungswegen sinnvoll ist, um die Streulichtwirkung im Gefahrenfall zu minimieren. Eine Einbindung in die Gebäudeleittechnik und entsprechende Brandsicherheitstechnik ist dafür Voraussetzung.

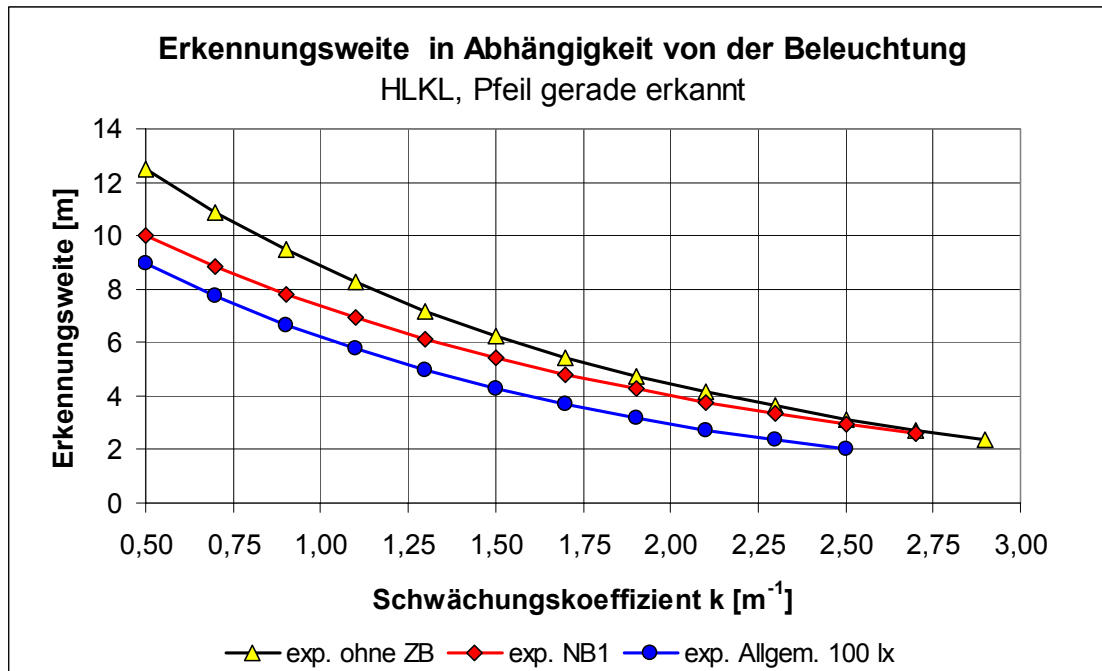


Abbildung 6: Abhängigkeit der Erkennungsweite von der Beleuchtungssituation am Beispiel des hinterleuchteten Sicherheitszeichens HLKL, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

5.1.4 Einfluss von Gestaltungskriterien

Die **Größe** der Sehobjektanmessung ist von entscheidendem Einfluss auf die Sichtbarkeit von Sicherheitszeichen und beeinflusst die Erkennungsweite maßgeblich.

Sicherheitszeichen, die sich nicht senkrecht zur Blickrichtung befinden, werden nur als Flächenprojektion gesehen und sind damit unter Umständen nicht aus jeder Beobachterposition sichtbar. In eine Leitmarkierung integrierte oder an den Seitenwänden des Rettungsweges montierte Sicherheitszeichen müssen ausreichend groß sein. Feinstrukturierte Sicherheitszeichen sind in verräucherter Umgebung unzuverlässig.

Hohe **Sehobjektkontraste** ergeben nicht unbedingt große Erkennungsweiten. Große Erkennungsweiten werden nur dann erzielt, wenn das Verhältnis von Sehobjekt-contrast zum Schwellencontrast genügend groß ist. Der Schwellencontrast wird durch die adaptionsbestimmende Umgebungsleuchtdichte, die Sehobjektgröße, eine örtliche Inhomogenität der Sicherheitszeichen sowie die Augenreizung und die Rauchdichte selbst bestimmt. Der Sehobjektcontrast ist eine Funktion des Anfangscontrastes des Sehobjektes, des Leuchtdichtekontastes zum Zeichenhintergrund sowie von der Rauchdichte und dem Beobachterabstand zum Sehzeichen.

Hohe Leuchtdichten für Signal- und Kontrastfarbe führen zu größeren Sehobjekt-contrasten in Abhängigkeit von der Rauchdichte im Vergleich zu geringeren Leuchtdichten und bieten damit größere absolute Erkennungsweiten. Besonders wenn in brandgefährdeten Bereichen hohe Beleuchtungsniveaus nicht auszuschließen sind, sind mittlere Leuchtdichten von $\geq 200 \text{ cd/m}^2$ für hinterleuchtete Sicherheitszeichen sinnvoll.

Leuchtdichtegradienten sind besonders an kritischen Sehdetails (Pfeilspitze) problematisch.

Den Einfluss verdeutlicht der Vergleich zweier hinterleuchteter Sicherheitszeichen. Die Zeichengrößen verhielten sich wie folgt: HLKL : HLGR = 1,0 : 2,2. Die mittleren Leuchtdichten sowie die Kontraste zwischen Signal- und Kontrastfarbe beider Sicherheitszeichen waren ähnlich. Die Abbildung 7 zeigt die Leuchtdichteverhältnisse

auf den Sicherheitszeichen in rauchfreier Umgebung. Deutlich wird, dass das große Sicherheitszeichen im Vergleich zum kleineren Sicherheitszeichen einen größeren Leuchtdichtegradienten von oben nach unten aufweist und damit der Kontrast unmittelbar in der Pfeilspitze bei senkrechtem Richtungspfeil geringer ist.

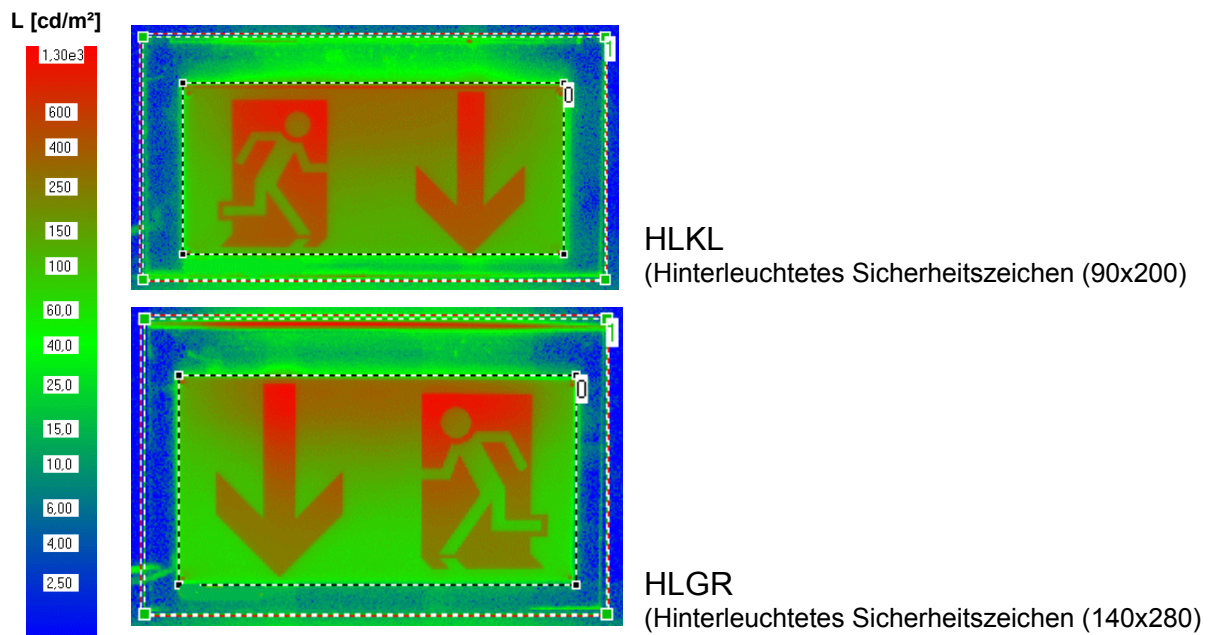


Abbildung 7: Leuchtdichtebilder hinterleuchteter Sicherheitszeichen (LMK 98 / 2000 Techno Team).

Beide Tendenzen - Vergrößerung der Erkennungsweite bei Zunahme der Sehdetailgröße und Abnahme der Erkennbarkeit bei Verringerung der Zeichenkontraste - sind gegenläufig und heben sich auf und führen zu ähnlichen Erkennungsweiten für beide Sicherheitszeichen (Abbildung 8).

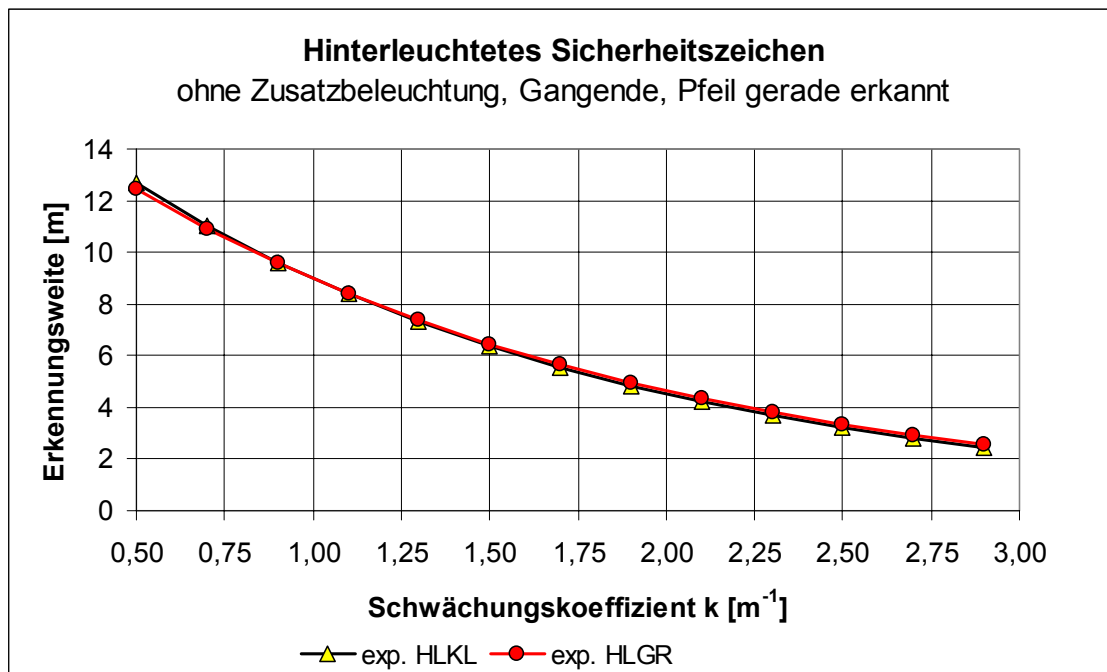


Abbildung 8: Einfluss der Schildgröße auf die Erkennungsweite, Vergleich HLKL (90x200), HLGR (140x280), ohne Zusatzbeleuchtung, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

Für Sicherheitszeichen, die in brandgefährdeten Bereichen zum Einsatz kommen, sind höhere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit innerhalb der Kontrast- und Sicherheitsfarbe zustellen. Hohe Kontraste vom Piktogramm zum Hintergrund sind zweckmäßig.

5.1.5 Wahrnehmung der Sicherheitsfarbe

Brandrauch kann aufgrund seiner spektralen Eigenschaften Farbverschiebungen verursachen und die Farbwahrnehmung beeinflussen. Außerdem ist die Wahrnehmung der Sicherheitsfarbe bei Sichttrübung aufgrund der Streulichtüberlagerung herabgesetzt. Das sich überlagernde Streulicht bewirkt eine Veränderung der Sicherheitsfarbe und verschiebt den Farbort der Sicherheitsfarbe in Richtung Unbunt.

Die Farbinformation wird in der Regel nach der relevanten Fluchtrichtung erkannt. Bei hinterleuchteten Sicherheitszeichen ist die Farbwahrnehmung deutlich besser als bei beleuchteten Sicherheitszeichen, bei denen die Erkennung der Sicherheitsfarbe stark vom Montageort abhängt oder gar nicht angegeben werden konnte. (Abbildung 9).

Bei Verrauchung spielt die Farbinformation daher nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend für die Wahrnehmung sind daher Helligkeits- bzw. Leuchtdichte- kontraste und die Eindeutigkeit des Symbols.

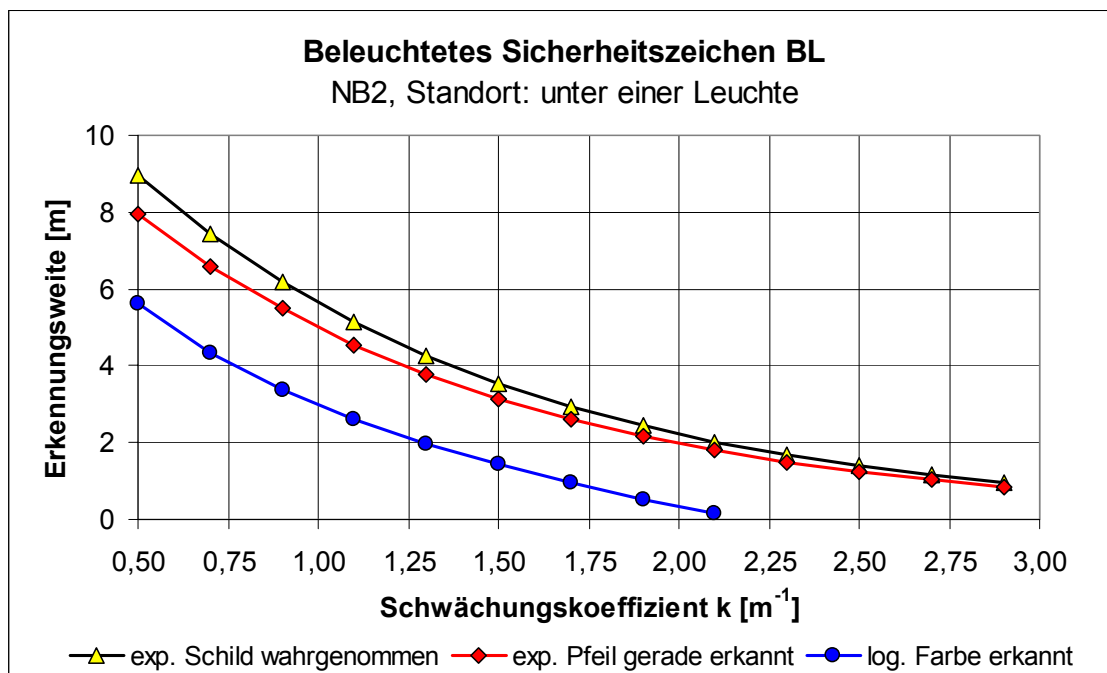
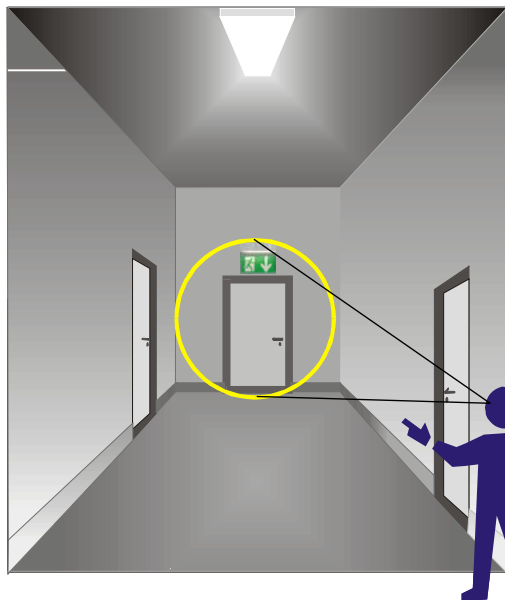


Abbildung 9: Erkennbarkeit der Farbe am Beispiel des beleuchteten Sicherheitszeichens BL.

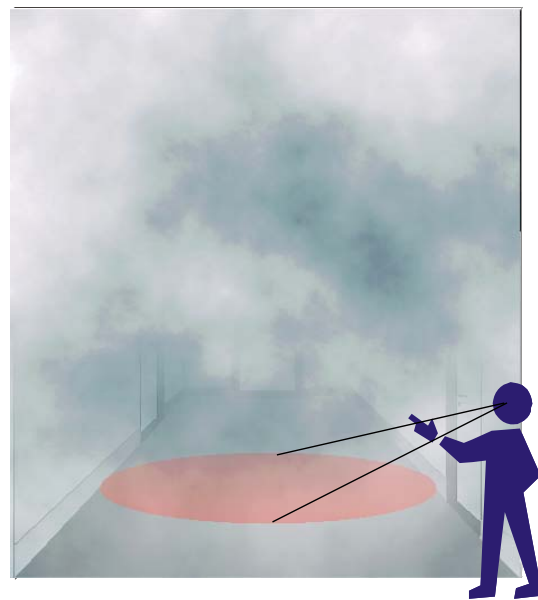
5.2 Blickverhalten bei Sichttrübung

Im Ergebnis der durchgeführten Versuche und bei Beobachtung der Probanden auf ihrem Weg durch den Rettungsgang hat sich gezeigt, dass sich die Blickorientierung bei eingeschränkter Sicht gegenüber den Bedingungen ohne Sichtbeeinträchtigung deutlich unterscheidet. Erfolgt in einer Umgebung ohne Sichtbeeinträchtigung die Orientierung vorausschauend und anhand der über Kopf montierten Sicherheitszeichen, werden bei eingeschränkter Sicht Orientierungspunkte eher im Bodenbereich und in der unmittelbaren Umgebung gesucht (Abbildung 10).

In brandgefährdeten Bereichen sind bodennahe Orientierungspunkte und Leitmarkierungen unabhängig von ihrer Ausführung wichtig für eine schnelle Evakuierung.



Blickorientierung in rauchfreier Umgebung



Blickorientierung bei eingeschränkter Sicht

Abbildung 10: Blickorientierung bei unterschiedlichen Sehbedingungen.

5.3 Direktvergleich zweier Sicherheitsleitsysteme

Die Ergebnisse der Auswertung der Fragebögen und der erfassten Kriterien zeigen Folgendes:

- Punktuell montierte Sicherheitszeichen verursachen Irritationen. Orientierungsprobleme sind die Folge. Die Orientierungsproblematik wird anhand der erfassten Fälle, in denen bei der Auffindung der Fluchtrichtung nach Verlassen des Probandenraumes Probleme auftraten oder der Rettungsausgang überlaufen wurde, deutlich. Die Abbildung 11 zeigt, dass Probleme nur bei dem nichtkontinuierlichen System auftraten und das bereits bei einer geringen Sichttrübung. Die Abnahme der Fehlerhäufigkeit bei höherer Sichttrübung wird durch den Lerneffekt verursacht. Der Rettungsweg wurde nur mit dem System verändert, blieb jedoch für das gleiche System unverändert.

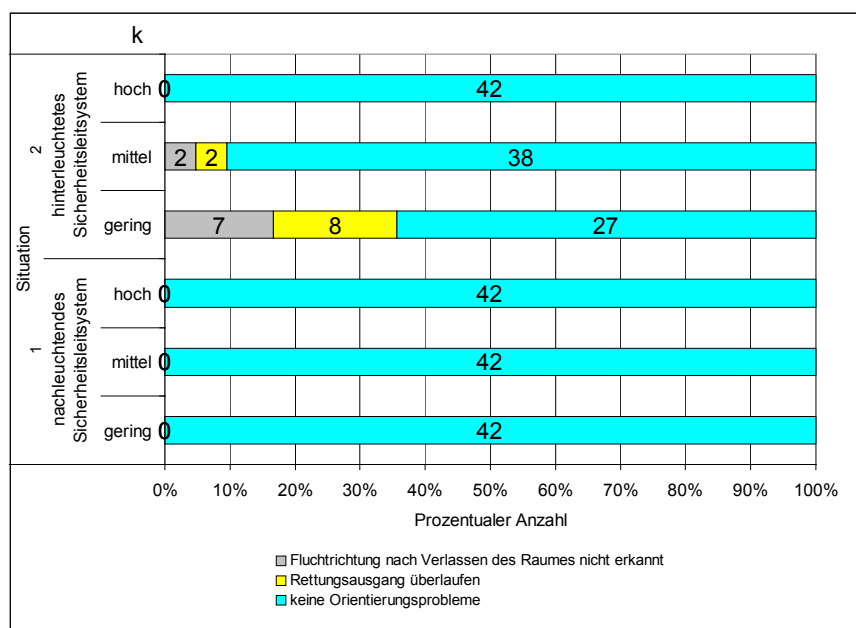


Abbildung 11: Orientierungsprobleme im Rettungsweg. Untersuchung mit 42 Probanden.

- Ein kontinuierliches Leitsystem bietet gerade bei schwierigen Sehbedingungen Vorteile gegenüber nicht kontinuierlichen Leitsystemen. Leitmarkierungen unterstützen die Erkennung räumlicher Dimensionen selbst bei widrigen Sehbedingungen. Wiederkehrende Orientierungshilfen in ausreichender Größe bestätigen immer wieder die Richtigkeit der Fluchtrichtung und vermitteln so Sicherheit.
- Nicht bodennah montierte Sicherheitszeichen allein sind bei Verrauchung nicht ausreichend. Bei schlechter Sicht erfolgt die Orientierung beim Laufen eher im Bodenbereich. Hier müssen die Orientierungshinweise angeordnet sein.

Über Kopf montierte Hinweisschilder erfordern von der fliehenden Person zusätzliche Blickbewegungen. Dies behindert eine zügige Evakuierung.

Da heißer Rauch eine geringere Dichte als die Umgebungsluft besitzt, steigt er auf und bildet eine Rauchsicht. Mit zunehmender Rauchentwicklung senkt sich die Rauchsichtgrenze ab und erfasst nicht bodennahe Komponenten der Sicherheitsleitsysteme zuerst.

- Die Erkennbarkeit von Personen und Hindernissen verschlechtert sich mit zunehmendem Schwächungskoeffizienten signifikant. Während das nachleuchtende bodennahe Sicherheitsleitsystem aufgrund der schwachen Lichtemission bei größerer Sichttrübung den Rettungswegbereich nicht mehr aufzuhellen vermag und damit Personen und Hindernisse fast eher ertastet als erkannt werden, stellt sich die Situation bei Notbeleuchtung bei größeren optischen Dichten aufgrund des Streulichts ähnlich dar. Personen und Hindernisse wurden kaum erkannt und zum Teil übersehen (Abbildung 12).

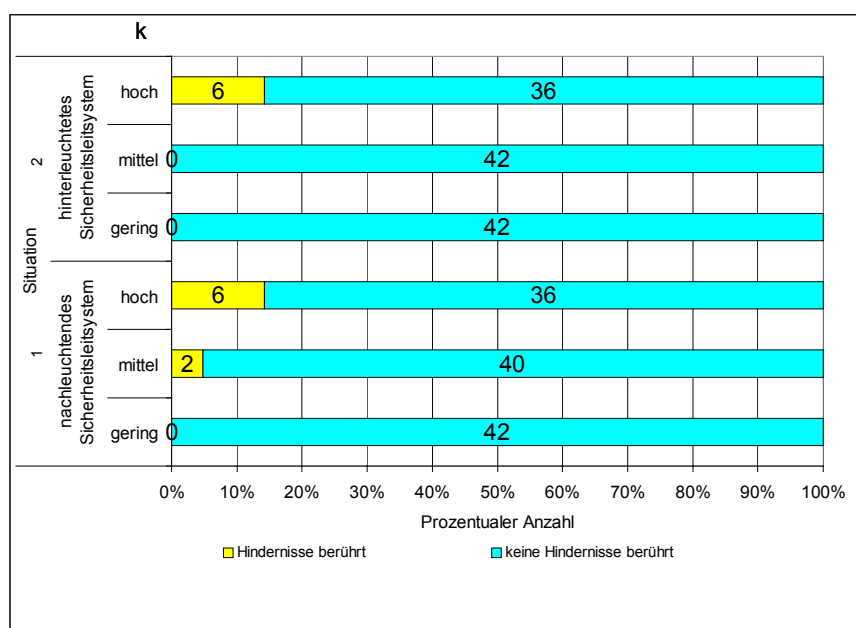


Abbildung 12: Häufigkeit der Kollision mit Hindernissen im Rettungsgang, Untersuchung mit 42 Probanden.

- Die Laufgeschwindigkeit der Probanden weist eine signifikante Abhängigkeit zur Sichttrübung auf. Je größer die Sichttrübung ist, um so langsamer durchliefen die Probanden den Rettungsgang. Für beide Systeme war die Laufgeschwindigkeit ähnlich (Abbildung 13).

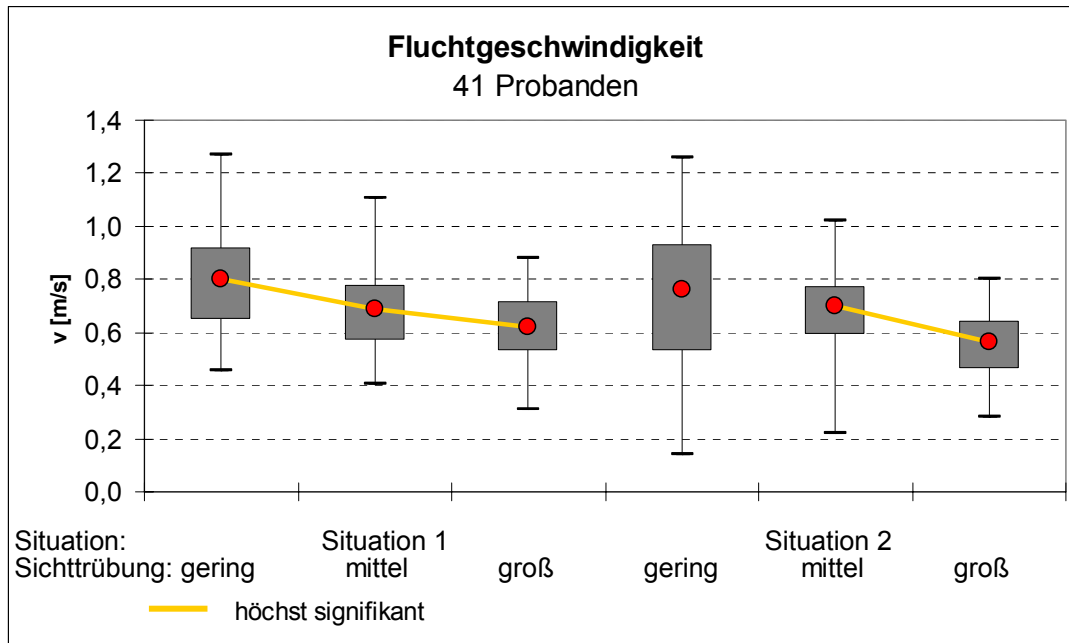


Abbildung 13: Tatsächliche Laufgeschwindigkeit im Rettungsweg in Abhängigkeit von der Sichttrübung und dem Sicherheitsleitsystem, Median (rot), Min, Max, 25. und 75. Perzentile (grau).

6 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass Brandrauch die Erkennbarkeit von Sicherheitszeichen in Rettungswegen drastisch verschlechtert. Bereits bei kleinen Schwächungskoeffizienten nimmt die Erkennungsweite der Sicherheitszeichen stark ab. Deutlich wurde auch die Problematik punktuell montierter Sicherheitszeichen. In Brandgefährdeten Bereichen ist eine Kennzeichnung allein durch eine nicht bodennah montierte Beschilderung unzureichend.

Zusätzliche Beleuchtung (Allgemeinbeleuchtung oder Fensterbereiche) im Rettungsweg mindert die Erkennbarkeitsentfernung der Sicherheitszeichen darüber hinaus. Eine Absenkung des Beleuchtungsniveaus im Brandfalle kann sinnvoll sein.

Aufgrund geringer Sehweiten bei Brandrauch ändert sich die Blickorientierung mit zunehmender Rauchdichte von einer vorrausschauenden Orientierung, die sowohl bodennahe und nicht bodennah montierte Sicherheitszeichen erfasst, in den Bodenbereich unmittelbar vor der fliehenden Person. Im Brandfalle sind damit Orientierungspunkte bodennah erforderlich.

Eine kontinuierliche bodennah montierte Leitmarkierung kann im Brandfalle die Wirksamkeit des Sicherheitsleitsystems erhöhen. Leitmarkierungen unterstützen die Erkennung räumlicher Dimensionen selbst bei widrigen Sehbedingungen. Richtungsangaben für die Eindeutigkeit der Fluchtrichtung, die mit der Leitmarkierungen kombiniert werden, müssen ausreichend groß sein.

Die derzeitigen Ausführungen von Sicherheitsleitsystemen weisen Mängel auf und bedürfen einer Änderung, damit sie im Brandfalle ihre Wirksamkeit garantieren.