

Sicherheitsleitsysteme in verrauchten Gebäuden - neue Anforderungen

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 Gefahrenfall 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- kennzeichnung	Rettungsweg- kennzeichnung	Rettungsweg- kennzeichnung	Rettungsweg- kennzeichnung
Rettungsweg- beleuchtung	Leitmarkierung	Leitmarkierung		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 Ehrener, 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 216¹, 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.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen“, das der Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften initiierte und unterstützte, wurden verschiedener Sicherheitsleitsysteme auf ihre Wirkung in Rauchsituationen untersucht. Neben experimentellen Arbeiten zur Sichtbarkeit und zu Erkennungsweiten von Sicherheitszeichen wurden zwei Sicherheitsleitsystemkonzepte bei unterschiedlichen Sichtbehinderungen direkt miteinander verglichen. Treppenbereiche wurden bei dieser Untersuchung ausgenommen. Ausführlich sind die Versuchsbedingungen und die Gesamtheit der Ergebnisse im Forschungsbericht⁸ beschrieben.

2 Einfluss von Brandrauch auf das Sehen

Die Abbildung 1 zeigt zwei Leuchtdichtebilder eines am Monitor simulierten Rettungspfeils in der Größe von 100 x 100, die aus einer Entfernung von 2 m aufgenommen wurden. Das obere Bild zeigt den Pfeil in einem optisch klaren Medium während das untere Bild die Leuchtdichteverhältnisse bei einer mittlerer Sichttrübung wieder spiegelt.

Ohne Sichttrübung besitzt der Pfeil eine Leuchtdichte von 200 cd/m², während der grüne Hintergrund des Zeichens etwa 20 cd/m² aufweist. Damit ergibt sich ein Leuchtdichteverhältnis von 10 : 1 zwischen Pfeil und Hintergrund. Zu erkennen ist auch der starke Leuchtdichtegradient im Umfeld dieses Zeichens, der in unmittelbarer Zeichenumgebung etwa 0,5 cd/m² beträgt und dann schnell bis auf 0 cd/m² absinkt.

Anders stellt sich die Situation bei einer mittleren Sichttrübung (Schwächungskoeffizient $k = 1,4 \text{ m}^{-1}$) dar. Die Pfeilleuchtdichte beträgt dann nur noch 5 cd/m² und sinkt damit gegenüber einer rauchfreien Umgebung auf 2,5 %. Die Leuchtdichte des Zeichenhintergrundes ist bei diesen Bedingungen 2 cd/m² und beträgt damit noch 10 %

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

vom Ausgangswert. Das Leuchtdichteverhältnis ist damit 2,5 : 1 zwischen Pfeil und Hintergrund bei mittlerer Trübung und zeigt deutlich die Kontrastminderung. Der Leuchtdichtegradient im Umfeld dieses Zeichens ist deutlich kleiner als in optisch klaren Medien. Die gesamte Zeichenumgebung ist in einem großen Bereich aufgehellt. An diesem Beispiel lässt sich die Wirkung von Brandrauch auf das Sehen verdeutlichen.

Brandrauch beeinflusst das Sehen durch:

- Transmissionsverluste
- Kontrastverflachung
- Streulicht im Umfeld in Abhängigkeit von der Rauchdichte
- Änderung der Adaptationsbedingungen

Außerdem beeinflussen das Sehen:

- Farbverschiebung
- Reizwirkung

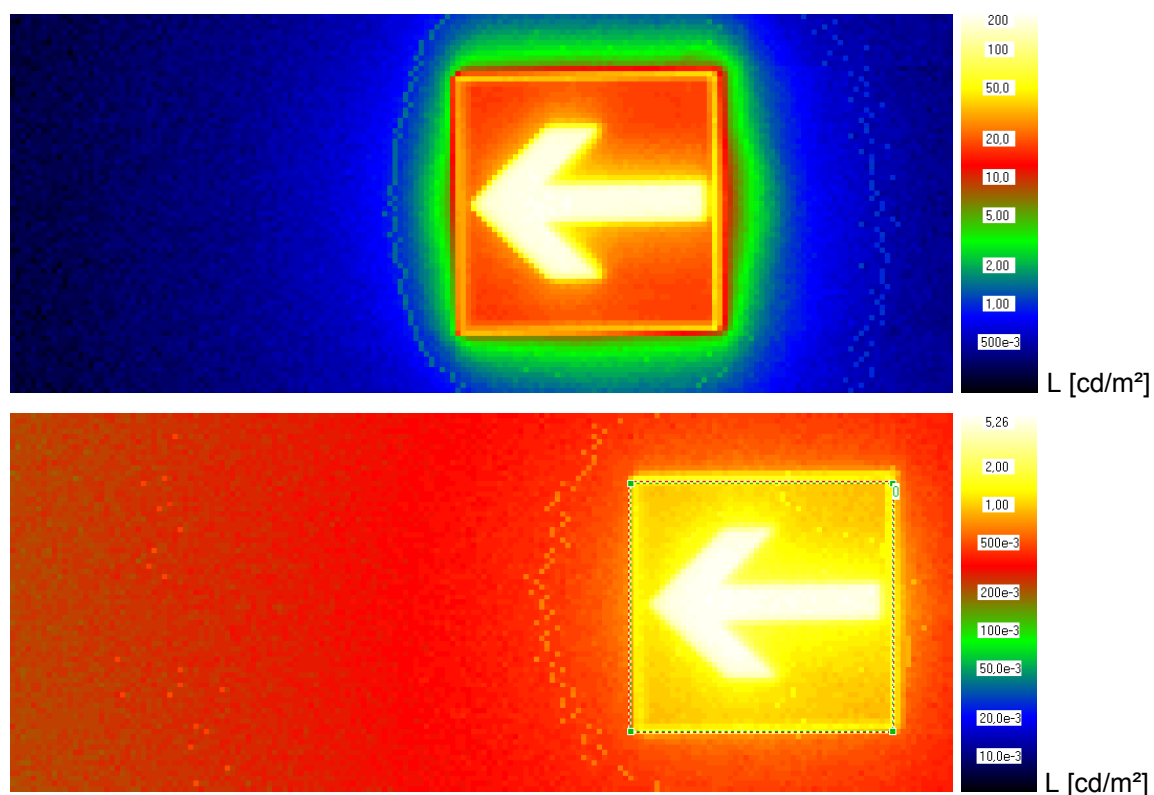


Abbildung 1: Leuchtdichtebilder (LMK 98 Techno Team) in optischer klarer Umgebung (oben) und bei mittlerer Sichttrübung mit $k = 1,4 \text{ m}^{-1}$ (unten).

2.1 Lichtschwächung

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.

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

Für die in Tabelle T2 zusammengefassten Sicherheitszeichen wurden die Erkennungsweiten in Abhängigkeit von der Sichttrübung untersucht.




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

Tabelle 2: Sicherheitszeichen für Rettungswege.

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich, dass bereits bei geringen Schwächungskoeffizienten der Sichttrübung die Erkennungsweite gegenüber der optisch klaren Umgebung drastisch abnimmt und exponentiell mit dem Anstieg des Schwächungskoeffizienten k sinkt (Abbildung 2).

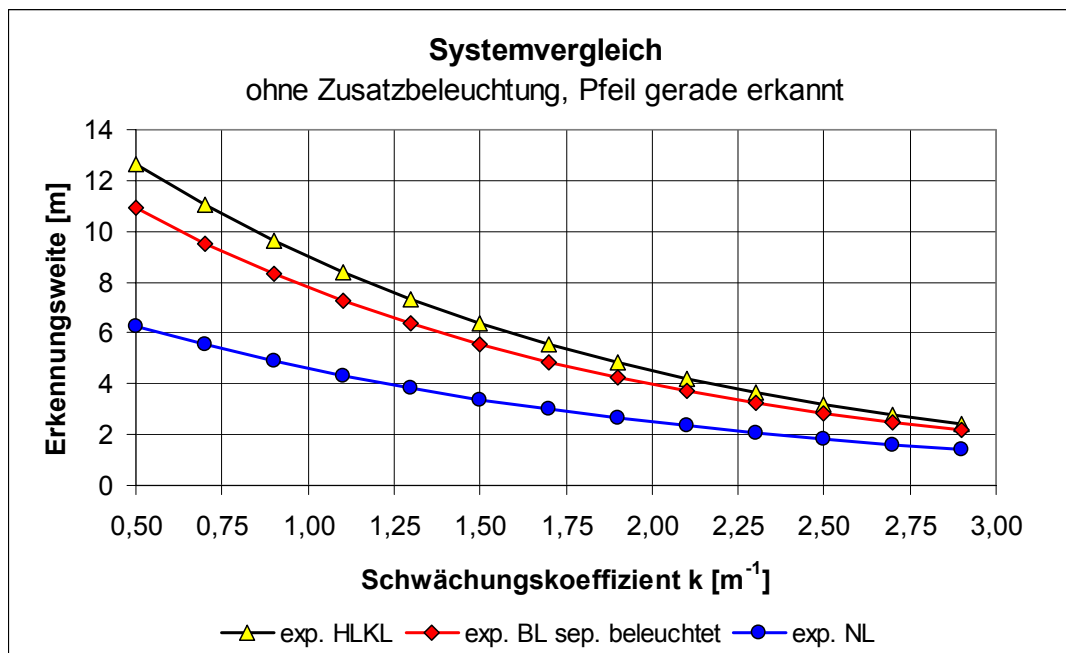


Abbildung 2: Erkennungsweite verschiedener Sicherheitszeichen bei Sichttrübung und ohne Zusatzbeleuchtung, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

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 ($k = 0,7 m^{-1}$) eine Abnahme der Erkennungsweite um 35 % bis 80 % gegenüber den Bedingungen in rauchfreier Umgebung (Tabelle T3).

Die **starke Minderung der Erkennungsweite** bereits bei geringer Sichttrübung zeigt die Problematik punktuell montierter Sicherheitszeichen deutlich. Sind die Abstände der Sicherheitszeichen im Verlauf des Rettungsweges größer als die Erkennungs-

weite im Rauch, müssen fliehende Personen im Brandrauch Wegstrecken ohne jegliche Orientierung überwinden. Das kann Suchaktionen, Verunsicherungen, Übersehen der Sicherheitszeichen und längere Fluchtzeiten verursachen.

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

2.2 Streuung

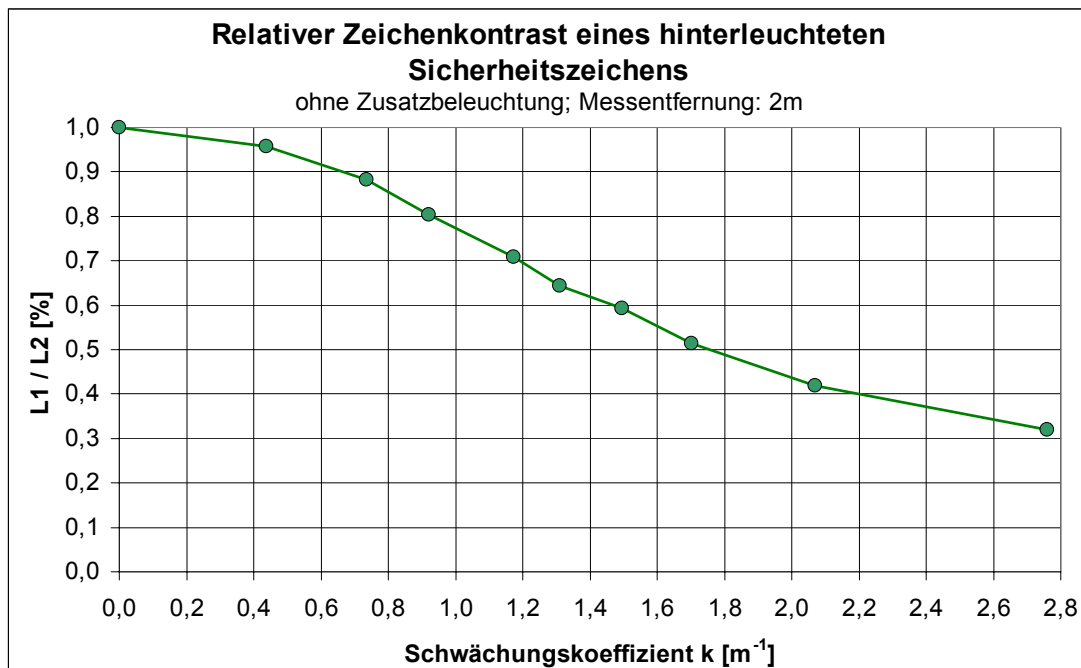


Abbildung 3: Relative Kontrastabnahme eines Sicherheitszeichens, $L1/L2$ Verhältnis von Kontrast- zur Sicherheitsfarbe

Streuende Eigenschaften von Brandrauch verursachen Streuleuchtdichten, die zu einer **Minderung der Sehobjektkontraste** führen und damit eine Verringerung der Sichtbarkeit zur Folge haben (Abbildung 3). Dieser Effekt ist abhängig von der Rauchart und kommt um so stärker zum Tragen, je größer die Umgebungshelligkeit

ist. Notbeleuchtung mindert die Erkennungsweite um etwa 20%, Allgemeinbeleuchtung (bei 100 lx) um 35% gegenüber den Bedingungen ohne Zusatzbeleuchtung. (Abbildung 4).

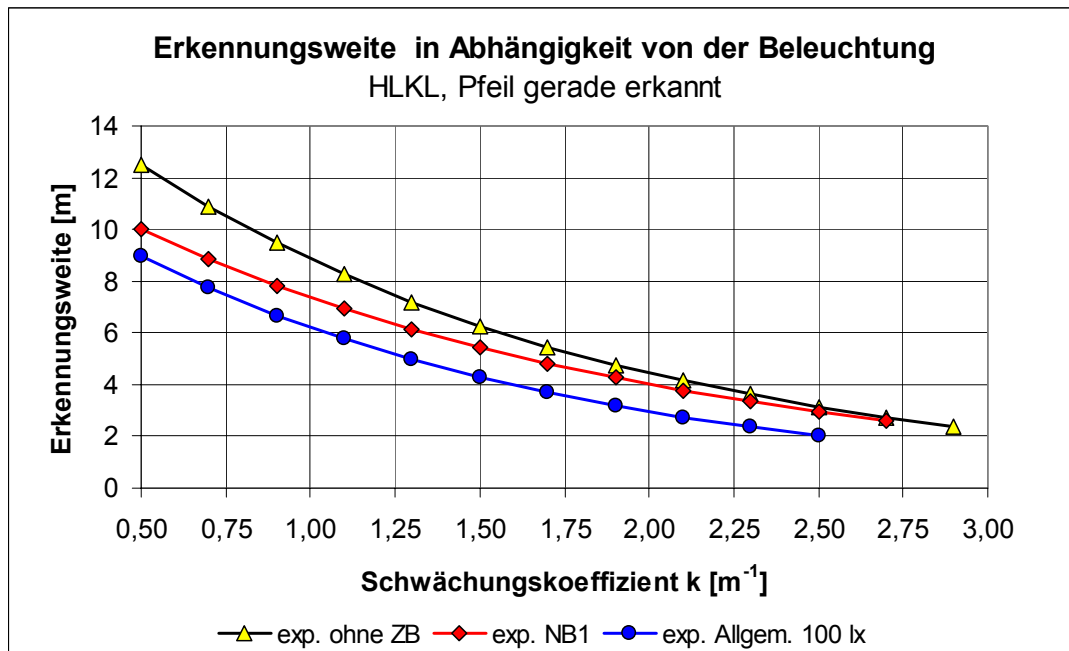


Abbildung 4: Abhängigkeit der Erkennungsweite von der Beleuchtungssituation am Beispiel des hinterleuchteten Sicherheitszeichens HLKL, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

2.3 Farbveränderung

Das Streulicht in trüben Medien kann zu **Farbverschiebungen** führen (Abbildung 5) und damit die Wahrnehmung von Farben unter solch schwierigen Sehbedingungen mindern.

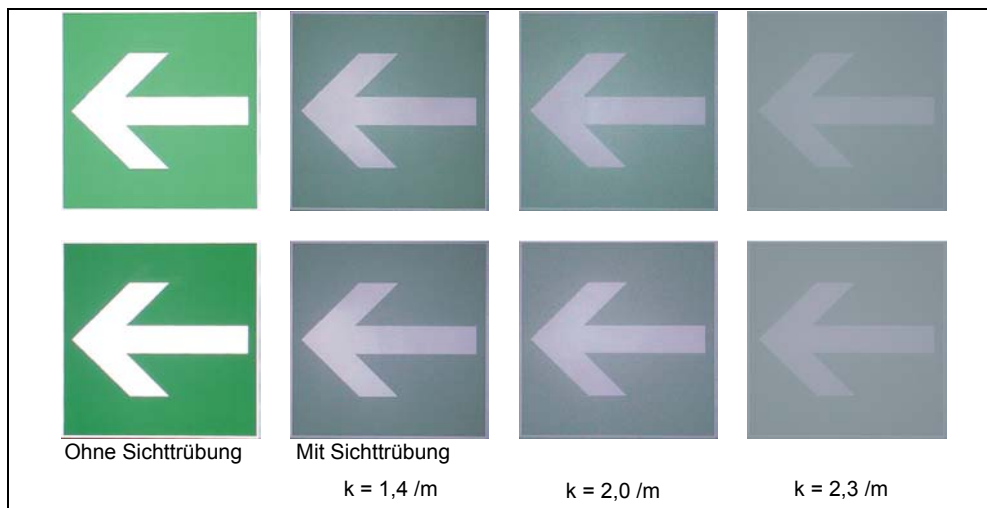


Abbildung 5: Farbveränderung durch Streulicht.

Die Sicherheitsfarbe wurde bei den Untersuchungen in der Regel nach der relevanten Fluchtrichtung erkannt (Abbildung 6). Im Brandrauch spielt die Farbinformation damit eine untergeordnete Rolle. Entscheidend für die Erkennung bei schwierigen Sehbedingungen ist der Leuchtdichtekontrast des Sehobjekts, der den physiologisch erforderlichen Schwellenkontrast deutlich überschreiten sollte.

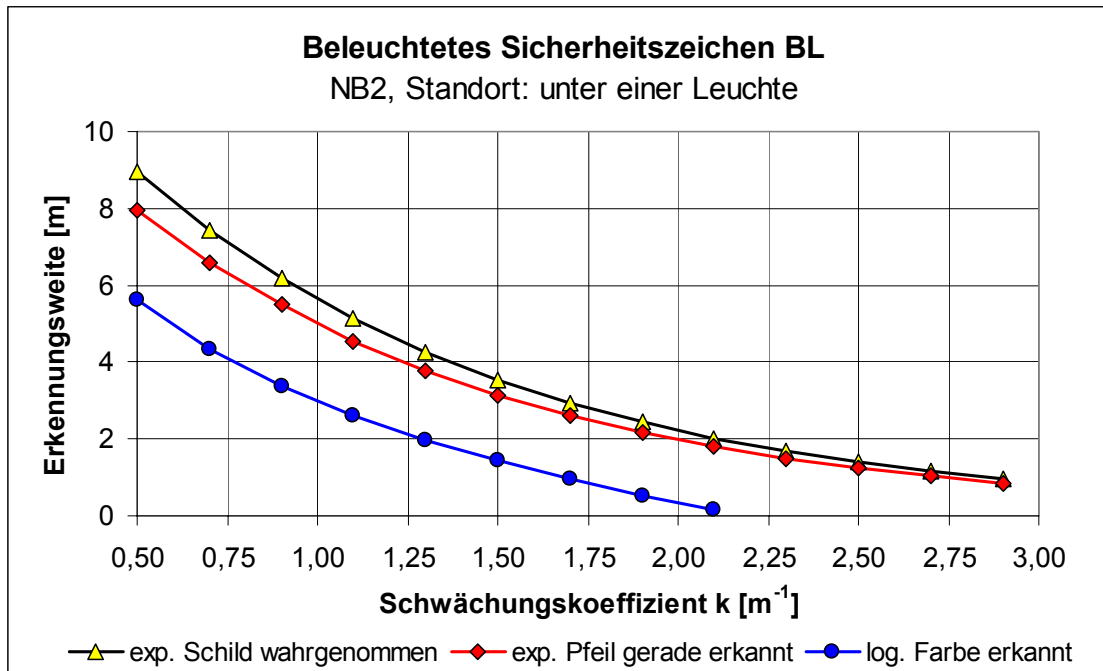


Abbildung 6: Erkennbarkeit der Farbe am Beispiel des beleuchteten Sicherheitszeichens BL.

2.4 Reizwirkung

Reizende Bestandteile des Brandrauchs wirken wesentlich auf die Augen und die Atemwege. Der mit der **Reizung** verbundene Tränenfluss und die Erhöhung der Lidschlagfrequenz führt zu **Sehverlusten**¹⁰ (Abbildung 7).

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.

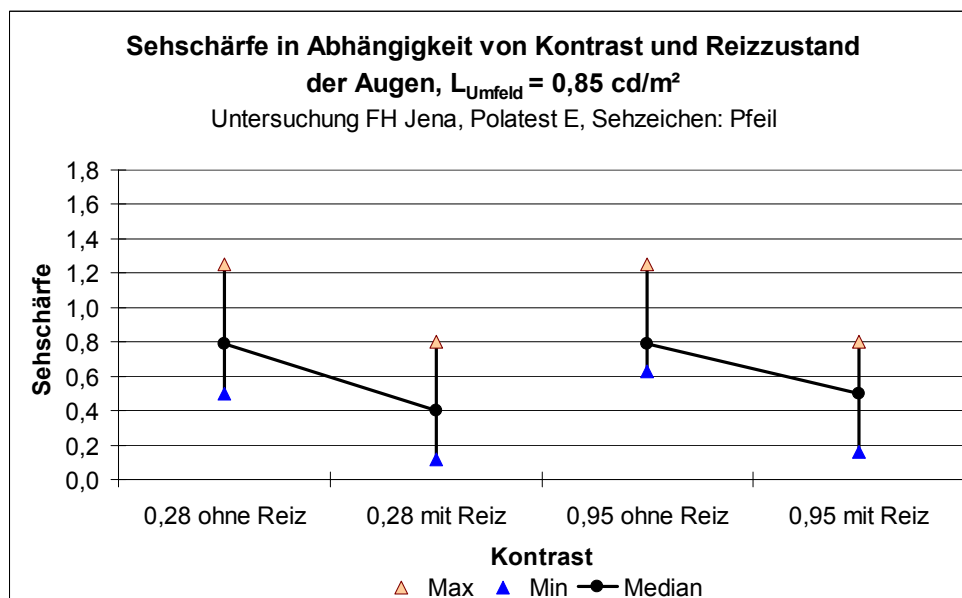


Abbildung 7: Einfluss der Reizung des Auges auf die Sehschärfe¹⁰.

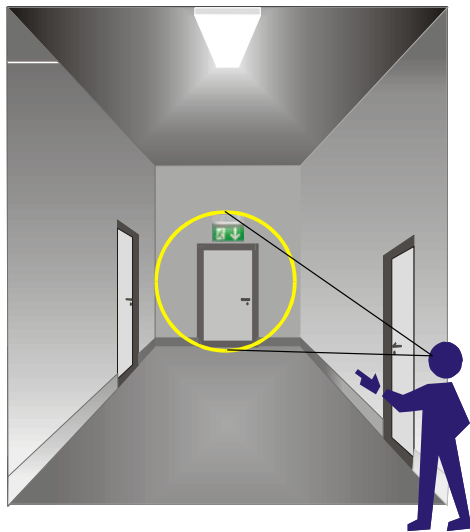
¹⁰ Bieske, K.; Rohleder St.: Untersuchung des Einflusses von Reizung der Augen auf die Sehschärfe. TU Ilmenau, FH Jena, 2002

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

2.5 Beeinflussung der Blickorientierung

Die Verschlechterung des Sehvermögens bei Brandrauch **beeinflusst die Blickorientierung**. 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 (Abbildung 8). **Im Brandfalle sind damit Orientierungspunkte bodennah erforderlich.**

Da heißer Rauch eine geringere Dichte als die Umgebungsluft besitzt, steigt er auf und bildet eine zunehmend dichte Rauchgasschicht im Deckenbereich. Mit weiterer Rauchentwicklung senkt sich die Rauchschichtgrenze ab und erfasst nicht bodennahe Komponenten der Sicherheitsleitsysteme zuerst. Bodennahe Komponenten, die sich dann in der rauchgasärmeren Schicht befinden, sind dann weiterhin sichtbar.



Blickorientierung in rauchfreier Umgebung



Blickorientierung bei eingeschränkter Sicht

Abbildung 8: Blickorientierung bei unterschiedlichen Sehbedingungen.

Im Ergebnis des Direktvergleichs eines bodennah montierten kontinuierlich geführten Sicherheitsleitsystem (System 1 – Abbildung 9) mit einem nicht bodennah montierten punktuellen System (System 2– Abbildung 10) bei verschiedenen Sichttrübungen wurde das kontinuierliche System besser bewertet.



- 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

Abbildung 9: Situation 1 nach DIN 67510-3¹² (Lichtspeicherndes Sicherheitsleitsystem).

¹² DIN 67510 – 3 Langnachleuchtende Pigmente und Produkte, Langnachleuchtendes Sicherheitsleitsystem, Juni 1994



- 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

Abbildung 10: Situation 2 nach DIN EN 1838 (Elektrisch betriebenes Sicherheitsleitsystem).

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.

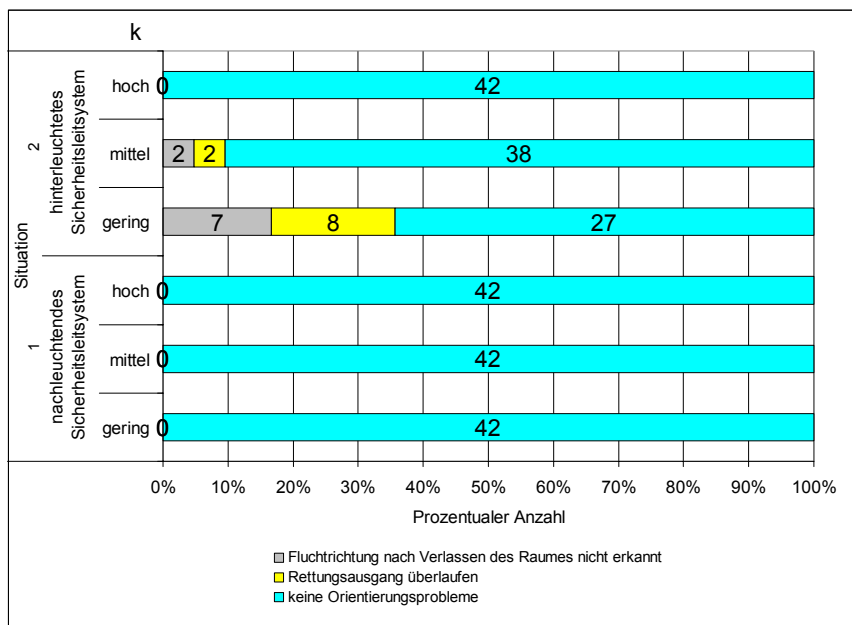


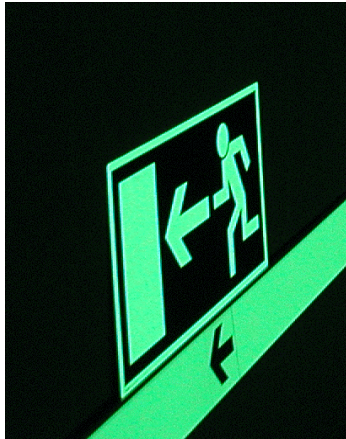
Abbildung 11: Orientierungsprobleme im Rettungsweg gemäß der Situationen der Abbildungen 9 und 10 bei verschiedenen Sichtbedingungen.

Punktuell montierte Sicherheitszeichen verursachen bei schlechten Sehverhältnissen 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 nicht kontinuierlichen System auftraten und das bereits bei einer geringen Sichttrübung.

Eine kontinuierliche bodennah montierte Leitmarkierung kann im Brandfalle die Wirksamkeit des Sicherheitsleitsystems erhöhen. Eine Ergänzung bestehender Sicherheitsleitsysteme in rauchgefährdeten Bereichen mit bodennahen Komponenten ist notwendig.

2.6 Anforderungen an Sicherheitszeichen

Die **Größe** der Sehobjektmaßung 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 (Abbildung 12). In eine Leitmarkierung integrierte oder an den Seitenwänden des Rettungsweges montierte Sicherheitszeichen müssen ausreichend groß sein. Feinstrukturierte Sicherheitszeichen sind in verrauchter Umgebung unzureichend.

Abbildung 12: Nachleuchtendes Sicherheitszeichen im Vergleich zu einem in die Leitmarkierungen integrierten Richtungspfeil.

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

In Abhängigkeit von der Rauchdichte verringert sich der Sehobjektkontrast bei Sehzeichen mit hohen Leuchtdichten für die Signal- und Kontrastfarbe und bei ausreichendem Ausgangskontrast weniger stark im Vergleich Sehzeichen mit geringeren Leuchtdichten. Dadurch erzielen hinterleuchtete Sicherheitszeichen absolut größere Erkennungsweiten als beleuchtete oder nachleuchtende Sicherheitszeichen (Abbildung 6, Tabelle T3). **Besonders wenn in brandgefährdeten Bereichen hohe Beleuchtungsniveaus nicht auszuschließen sind, sind mittlere Leuchtdichten von minimal 200 cd/m² für hinterleuchtete Sicherheitszeichen sinnvoll.**

Leuchtdichtegradienten sind besonders an kritischen Sehdetails (Pfeilspitze) problematisch. Diesen 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 13 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 Ausgangskontrast unmittelbar in der Pfeilspitze bei senkrechtem Richtungspfeil geringer ist. Der Schwellenkontrast wird bei Rauchwirkung damit schneller erreicht und führt zu geringeren Erkennungsweiten.

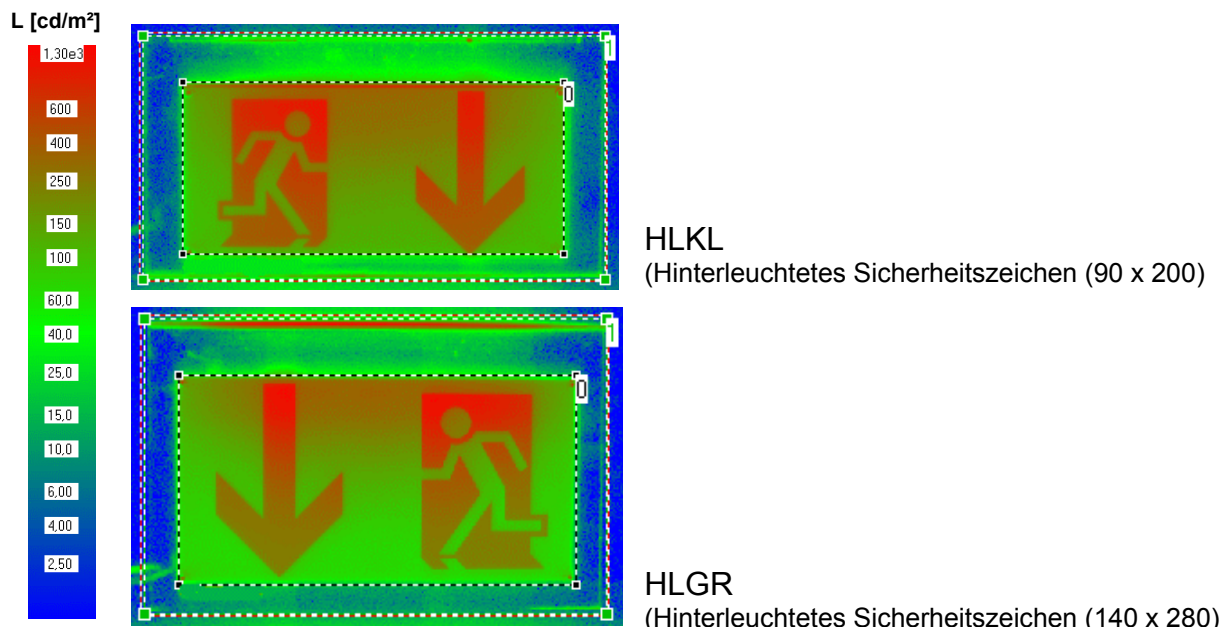


Abbildung 13: Leuchtdichtebilder hinterleuchteter Sicherheitszeichen (LMK 98 / 2000 Techno Team).

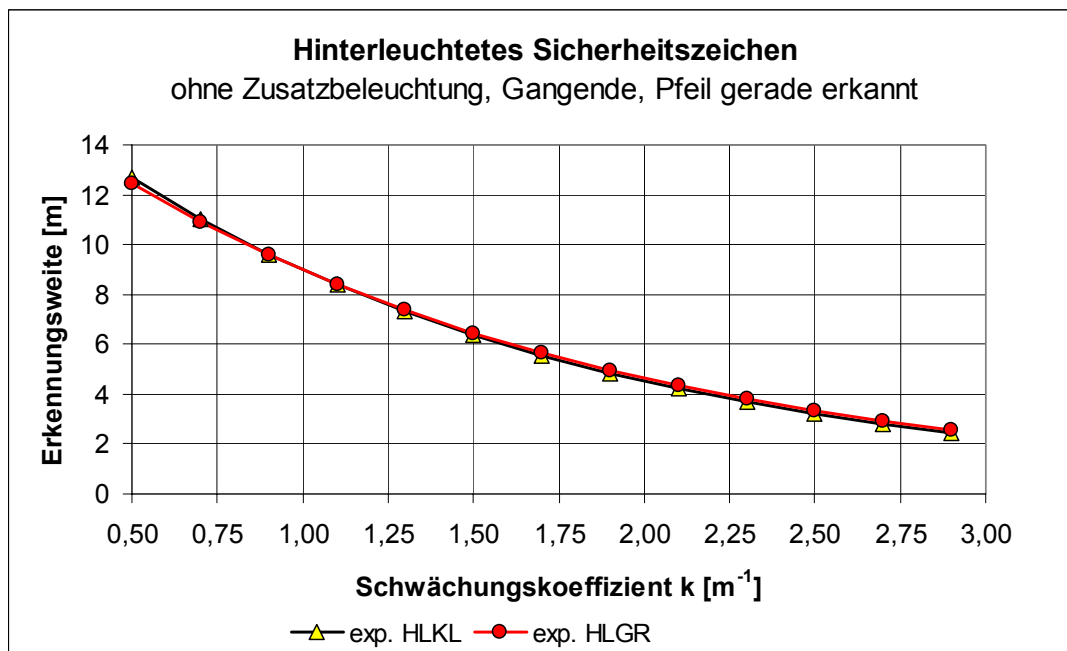


Abbildung 14: Einfluss der Schildgröße auf die Erkennungsweite, Vergleich HLKL (90x200), HLGR (140x280), ohne Zusatzbeleuchtung, Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

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 14).

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.

2.7 Umgebungshelligkeit

In Untersuchungen von Boyce ⁷ wurde nachgewiesen, dass mindestens 1 lx in der Ebene des Rettungsganges vorhanden sein sollte, um ein gefahrenfreies Verlassen von Gebäuden gewährleisten zu können. Sobald Brandrauch die nicht bodennah montierte Sicherheitsbeleuchtung erfasst, führen Transmissionsverluste zu einer Abnahme des Beleuchtungsniveaus im Bodenbereich. Dies ist besonders bei sehr dunklem Brandrauch der Fall. Die Sehbedingungen verschlechtern sich damit drastisch. Bei Schwelbränden mit hellem Brandrauch überwiegt die Streuwirkung. Der Bodenbereich bleibt heller. Die Erkennungsweiten der Sicherheitszeichen wird jedoch durch das Streulicht gemindert. Die Beeinflussung ist um so größer, je größer die Umgebungshelligkeit ist (vgl. 2.2).

Die Erkennbarkeit von Personen und Hindernissen und damit die Möglichkeit Gefahrensituationen ausweichen zu können ist stark von den Beleuchtungsverhältnissen abhängig. Beim Durchlauf durch verschiedene Situationen wurde dies in Fragebögen mit erfasst und die Häufigkeit der Kollision mit Hindernissen der Probanden registriert. Das Ergebnis zeigen die Abbildungen 15 und 16. Die Sehbedingungen verschlechtern sich mit zunehmendem Schwächungskoeffizienten signifikant und beeinflussen damit die Laufgeschwindigkeit. Jedoch zeigten sich nicht die erwarteten großen Unterschiede zwischen beiden dargebotenen Situationen. Vielmehr sind die Laufgeschwindigkeiten für beide Situationen ähnlich. 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.

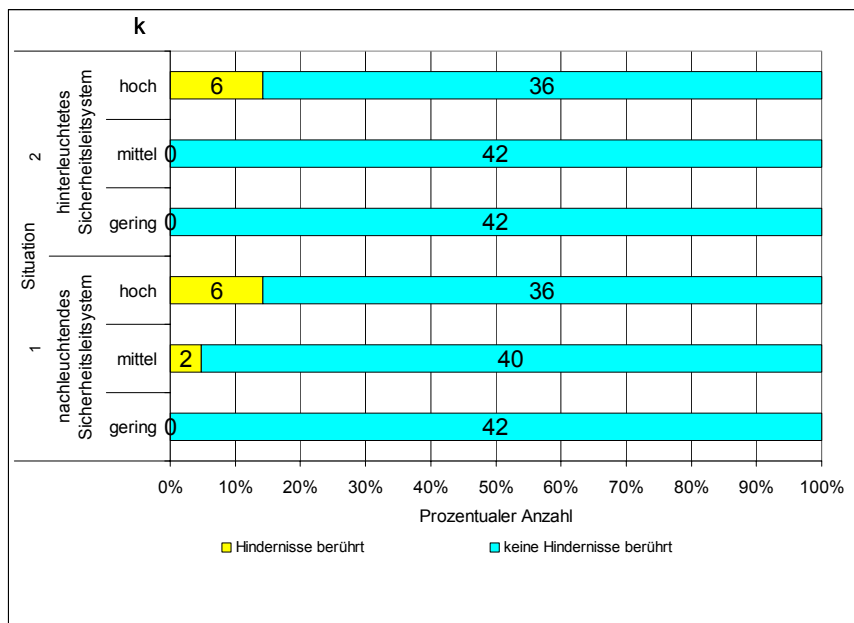


Abbildung 15: Häufigkeit der Kollision mit Hindernissen im Rettungsgang gemäß der Situationen der Abbildungen 9 und 10 bei verschiedenen Sichtbedingungen.

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

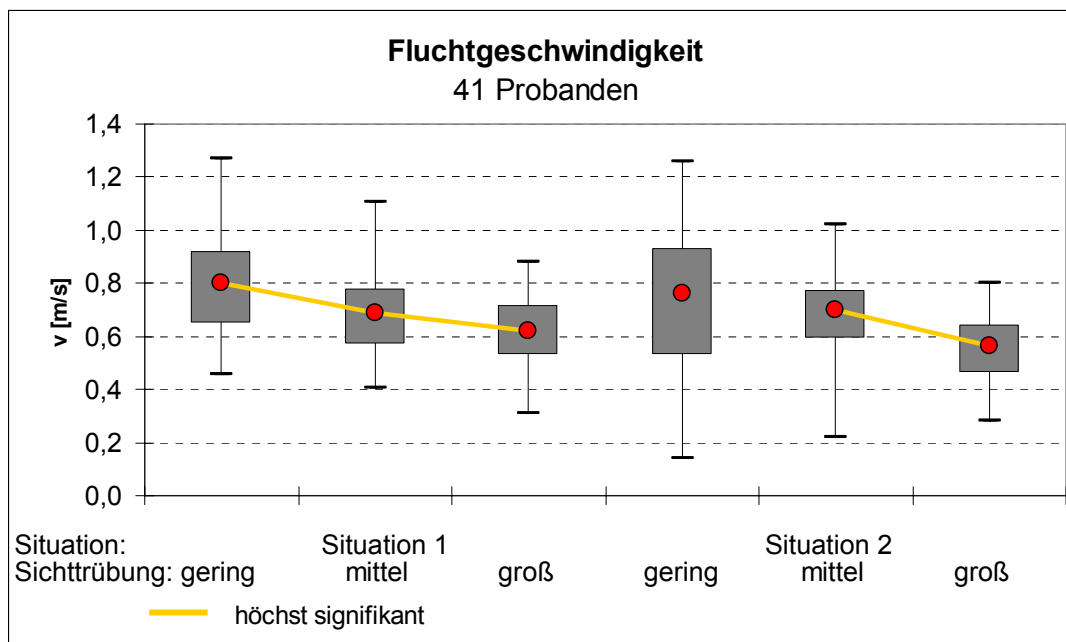


Abbildung 16: Tatsächliche Laufgeschwindigkeit im Rettungsweg in Abhängigkeit von der Sichttrübung und dem Sicherheitsleitsystem, Median (rot), Min, Max, 25. und 75. Perzentile (grau).

3 Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass Brandrauch in Gebäuden eine drastische Verschlechterung der Sichtbarkeit von Sehobjekten bewirkt und die derzeitigen Ausführungen von Sicherheitsleitsystemen Mängel aufweisen.

In brandgefährdeten Bereichen ist eine punktuelle Beschilderung unzureichend. Eine Ergänzung mit kontinuierlichen bodennah montierten Leitmarkierungen ist erforderlich, um im Falle der Verrauchung des Rettungsweges eine ausreichende Orientierung und damit schnelle Evakuierung betroffener Personen zu ermöglichen. Richtungsangaben für die Eindeutigkeit der Fluchtrichtung, die mit der Leitmarkierungen kombiniert werden, müssen ausreichend groß sein.

An die Gleichmäßigkeit der Sicherheitszeichen sind für schwere Sehbedingungen höhere Anforderungen zu stellen.

Zusätzliche Beleuchtung muss möglichst an die Sehverhältnisse angepasst sein. Für die Vermeidung von Streulicht im Rauch kann die Minderung des Beleuchtungsniveaus in verrauchten Bereichen sinnvoll sein. Ebenso kann die gezielte Aufhellung des Bodenbereichs bei Verrauchung im oberen Bereich die Sehbedingungen verbessern.