

# Anforderungen an Sicherheitsleitsystemen in Brandsituationen

Dipl.-Ing. Karin Bieske

Technische Universität Ilmenau, Fakultät für Maschinenbau, Fachgebiet: Lichttechnik, Unterer Berggraben 10, 98693 Ilmenau, , [Karin.Bieske@TU-Ilmenau.DE](mailto:Karin.Bieske@TU-Ilmenau.DE)

## 1 Einleitung

Brandkatastrophen sind besonders kritische Situationen, in denen Sicherheitsleitsysteme für die Rettung von Personen entscheidend sein können. Nicht in jedem Falle kann ausgeschlossen werden, dass Brandrauch in Rettungswegbereiche eindringt. Brandrauch ist bei Gebäudebränden die Hauptursache für Todesfälle. Brandkatastrophen, wie beispielsweise der Brand des Flughafens Düsseldorf 1996, machen dieses Gefahrenpotential deutlich.

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“ (BGV 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 1 zusammengefasst.

Die lichttechnischen Anforderungen an Notbeleuchtungssysteme werden europaweit in der DIN EN 1838 [2] festgelegt. Die derzeitigen Festlegungen liegen Erkenntnissen aus zahlreichen Untersuchungen in rauchfreier Umgebung [3], [4], [5], [6] zugrunde. In der DIN EN 1838 wird davon ausgegangen, dass keine Gefährdung durch Rauch in den Rettungswegen vorhanden ist.

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

*Tabelle 1: Systematik von Sicherheitsleitsystemen [7].*

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.

Der vorliegende Beitrag fasst in Hinblick auf die Anforderungen an Sicherheitsleitsysteme in Rauchsituationen wesentliche Ergebnisse des Forschungsprojektes „Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen“ zusammen, das durch den Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften initiiert und unterstützt wurde [8].

## **2 Anforderungen an Sicherheitsleitsysteme**

Um Personen ein gefahrenloses Verlassen eines gefährdeten Bereiches und das Auffinden und Benutzen von Brandbekämpfungs- und Sicherheitseinrichtungen zu ermöglichen, sind ausreichende Sehbedingungen und Orientierungspunkte auf dem Rettungsweg Voraussetzung.

Die optimale Wirksamkeit der Sicherheitskennzeichnung wird dann erreicht, wenn die Sicherheitszeichen einheitlich und eindeutig sind und schnell erkannt werden können.

Die Eindeutigkeit, Auffälligkeit und Lesbarkeit eines Kennzeichen ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie:

- der Umgebungshelligkeit und Umgebungsbedingungen
- die Art des Sicherheitszeichens
- der Helligkeit und der Gleichmäßigkeit des Zeichens
- dem Kontrast zwischen Sicherheits- und Kontrastfarbe
- der Zeichengröße, -form und -farbe
- der Entfernung zum Beobachter
- der Montageort

## **2.1 Umgebungshelligkeit und Umgebungsbedingungen**

Die Umfeldleuchtdichte  $L_u$  im Gesichtsfeld eines Beobachters in einem mit Rauch gefüllten Raum setzt sich aus zwei Anteilen zusammen. Einmal aus der Leuchtdichte  $L_{u,Raumlicht}$  der Raumflächen, die von den im Raum befindlichen Lichtquellen beleuchtet werden (direkt und indirekt) und zweitens aus der Streuleuchtdichte  $L_{u,Streuung}$ , die durch Streuung des Raumlichtes an den Rauchpartikeln erzeugt wird. In Abbildung 1 sind die Komponenten der Umfeldleuchtdichte bei mittleren Beleuchtungsstärken von 100 lx bzw. 10 lx auf den Raumflächen des rauchfreien Raumes für unterschiedliche Raucharten dargestellt. Die Berechnungen basieren auf den Ausführungen von Kokoschka in [8].

Deutlich wird, dass mit wachsender Rauchdichte die Raumlichtkomponente  $L_{u,Raumlicht}$  kontinuierlich abnimmt und die Streulichtkomponente  $L_{u,Streuung}$  größer wird. Die resultierende Umfeldleuchtdichte ist stark von der Rauchart abhängig. Bei hellem Brandrauch (starke Streuung, geringe Absorption) sinkt die Umfeldleuchtdichte mit wachsender Rauchdichte nur geringfügig ab. Bei schwarzem Rauch (starke Absorption, geringe Streuung) ergeben sich erheblich geringere Leuchtdichten. Die mittlere Umfeldleuchtdichte ist proportional zum installierten Leuchtenlichtstrom.

Sobald Brandrauch die nicht bodennah montierte Sicherheitsbeleuchtung erfasst, kann das Beleuchtungsniveau im Bodenbereich drastisch sinken.

***Um ausreichende Helligkeit im Bodenbereich zu sichern, ist eine Beleuchtung im Bodenbereich in der raucharmen Schicht sinnvoll.***

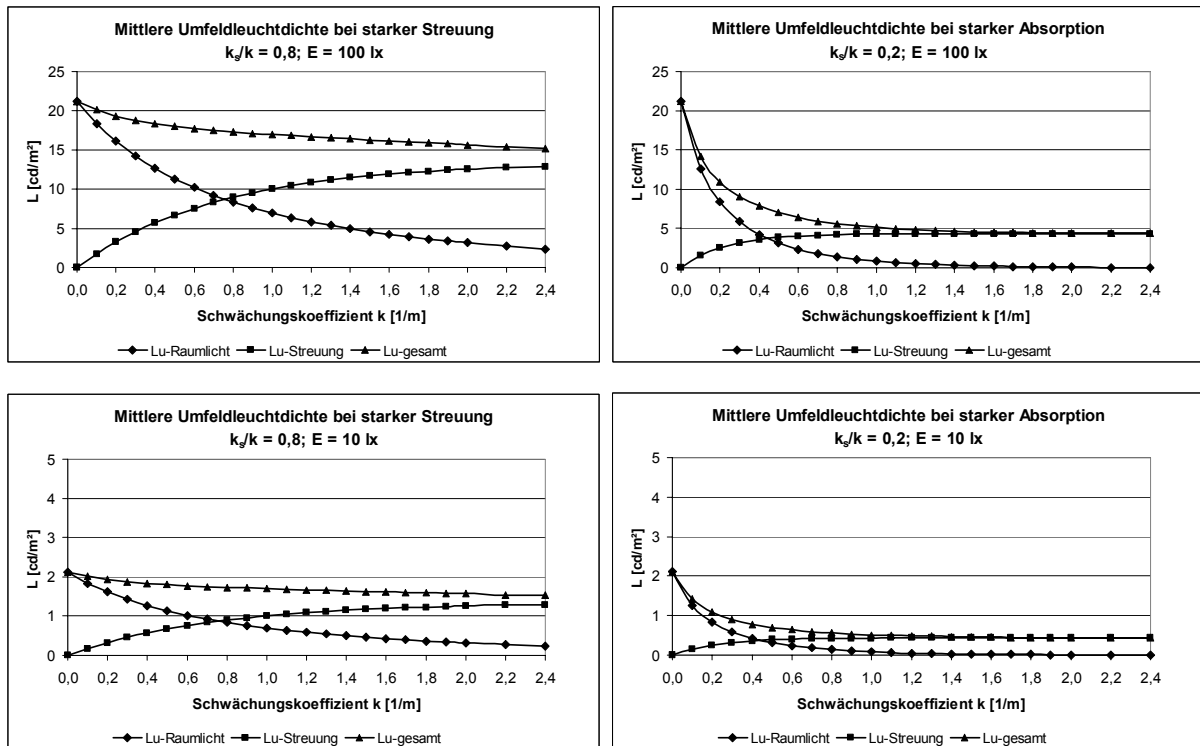


Abbildung 1: Änderung der Umfelleuchtdichte in Abhängigkeit von der Rauchdichte (Schwächungskoeffizient  $k$ ) und der Rauchart (links bei hellem Brandrauch mit vorwiegend Streuung, rechts bei dunklem Brandrauch mit vorwiegend Absorption).

Auf die Sichtbarkeit von Sehobjekten wirkt sich die Umfelleuchtdichte durch zwei gegenläufige Effekte aus. Zum einen steigt mit wachsender Umfelleuchtdichte die visuelle Leistungsfähigkeit (wie Sehschärfe, Kontrastempfindlichkeit, geringerer Schwellenkontrast). Zum anderen werden mit wachsender Umfelleuchtdichte immer größere Streuleuchtdichten an den Rauchpartikeln erzeugt, die letztlich zu einer Schwächung der Sehobjektkontraste führen und damit eine Verringerung der Sichtbarkeit von Sehobjekten zur Folge haben. In den durchgeführten Untersuchungen bei hellem Brandrauch zeigte sich eine Abnahme der Erkennungsweite bei Zunahme des Beleuchtungsniveaus (Abbildung 2). **In diesem Falle wäre eine Absenkung des Beleuchtungsniveaus unter Umständen sinnvoll.**

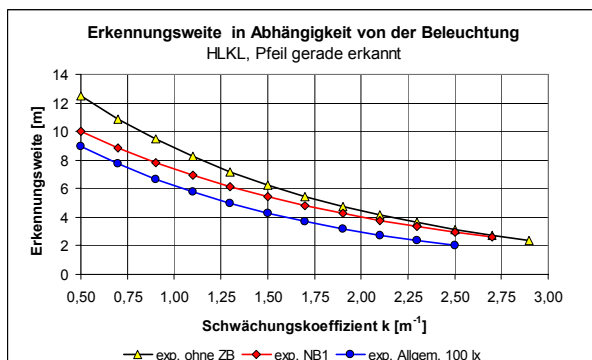


Abbildung 2: Abhängigkeit der Erkennungsweite von der Beleuchtungssituation am Beispiel des hinterleuchteten Sicherheitszeichens HLKL (90 x 200, Leuchtstofflampe 6 W), Kriterium: Pfeil gerade erkannt.

## 2.2 Anforderungen an Sicherheitszeichen und Gestaltung von Leitsystemen

Die von einem Beobachter durch eine Rauchsicht gesehene Leuchtdichte eines Objektes ist abhängig von der Entfernung des Beobachters zum Objekt und der Rauchsichte und wird durch zwei Effekte verändert:

- Die gesehene Leuchtdichte wird durch Streuung und Absorption der beleuchteten Rauchpartikel exponentiell geschwächt.
- Die gesehene Leuchtdichte wird durch das an den gleichen Partikeln gestreute Raum- bzw. Umgebungslicht erhöht.

Abbildung 3 zeigt die Abnahme der Leuchtdichte mit steigender Rauchsichte.

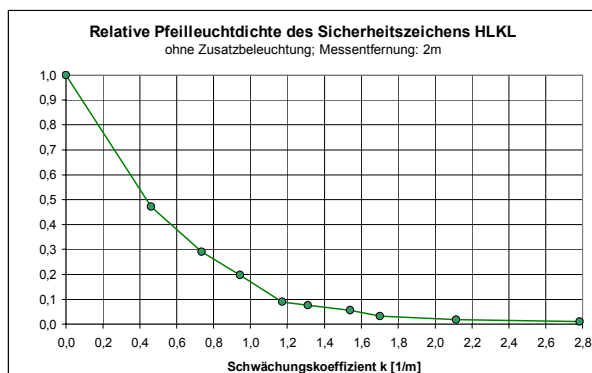


Abbildung 3: Relative Abnahme der Pfeilleuchtdichte am Beispiel eines hinterleuchteten Sicherheitszeichens (HLKL) in Abhängigkeit von der von der Rauchsichte (Schwächungskoeffizient  $k$ ).

Der Leuchtdichtekontrast  $C$  ist das Verhältnis des Betrages der Leuchtdichtedifferenz von Zeichen und Hintergrund bezogen auf die Leuchtdichte des Hintergrundes. Beleuchtete Sicherheitszeichen (BL) weisen gegenüber hinterleuchteten Sicherheitszeichen (HLKL) deutlich geringere Leuchtdichten für die weißen Sehobjektelemente und den grünen Hintergrund auf.

Abbildung 4 zeigt für ein beleuchtetes Sicherheitszeichen und ein hinterleuchtetes Sicherheitszeichen den Leuchtdichtekontrast für verschiedene Beleuchtungsniveaus in Abhängigkeit von der Rauchsichte für eine Beobachterentfernung von 2 m.

Obwohl sich die Anfangskontraste beider Sicherheitszeichen nicht sehr stark unterscheiden, erfolgt der Kontrastabfall mit wachsendem Schwächungskoeffizient beim beleuchteten Sicherheitszeichen wegen der deutlich geringeren Absolutwerte der den Kontrast bildenden Leuchtdichten erheblich rascher.

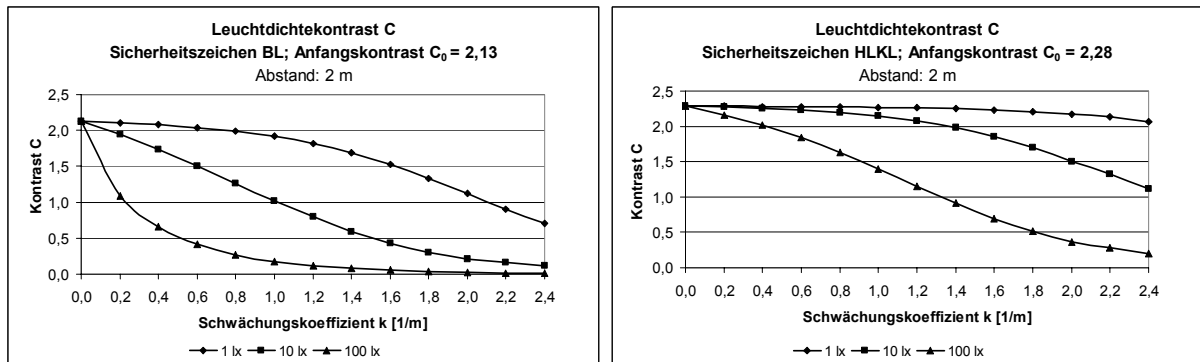


Abbildung 4: Gesehener Leuchtdichtekontrast in Abhängigkeit vom Schwächungskoeffizient  $k$  bei den Beleuchtungsniveaus 1 lx, 10 lx und 100 lx für das beleuchtete Sicherheitszeichen BL und für das hinterleuchtete Sicherheitszeichen HLKL. Beobachtungsabstand: 2 m.

**Sicherheitszeichen mit hohen Leuchtdichten bieten damit Vorteile gegenüber weniger hellen Sicherheitszeichen. Wenn in brandgefährdeten Bereichen hohe Beleuchtungsniveaus nicht auszuschließen sind, sind mittlere Leuchtdichten von mindestens  $200 \text{ cd/m}^2$  für hinterleuchtete Sicherheitszeichen sinnvoll.**

Die experimentellen Arbeiten bestätigten dies. Hinterleuchtete Sicherheitszeichen wiesen absolut größere Erkennungsweiten auf als beleuchtete und nachleuchtende Sicherheitszeichen (NL) (Abbildung 5).

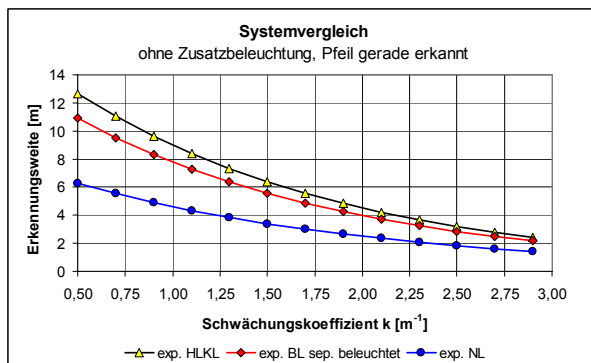


Abbildung 5: Erkennungsweite verschiedener Arten von Sicherheitszeichen in Abhängigkeit von der Rauchdichte ohne zusätzliche Beleuchtung.

Hohe Objektkontraste ergeben jedoch nicht unbedingt große Erkennungsweiten. Große Erkennungsweiten werden nur dann erzielt, wenn das Verhältnis von Sehobjektkontrast und Schwellenkontrast, das sog. Visibility Level, genügend groß ist.

Die Abbildung 6 zeigt die Änderung des gesehenen Leuchtdichtekontrastes mit der Beobachterentfernung bei einem Beleuchtungsniveau von 10 lx und 100 lx.

Mit zunehmender Beobachterentfernung verringert sich der gesehene Leuchtdichtekontrast. Sobald der Schwellenkontrast unterschritten wird, ist das Sicherheitszeichen nicht mehr erkennbar.

In Tabelle 2 sind die relativen Erkennungsweiten verschiedener Sicherheitszeichen bezogen auf die Erkennungsweiten nach DIN EN 1838 in Abhängigkeit von der Rauchdichte zusammengefasst, wie sie in den experimentellen Arbeiten bestimmt wurden.

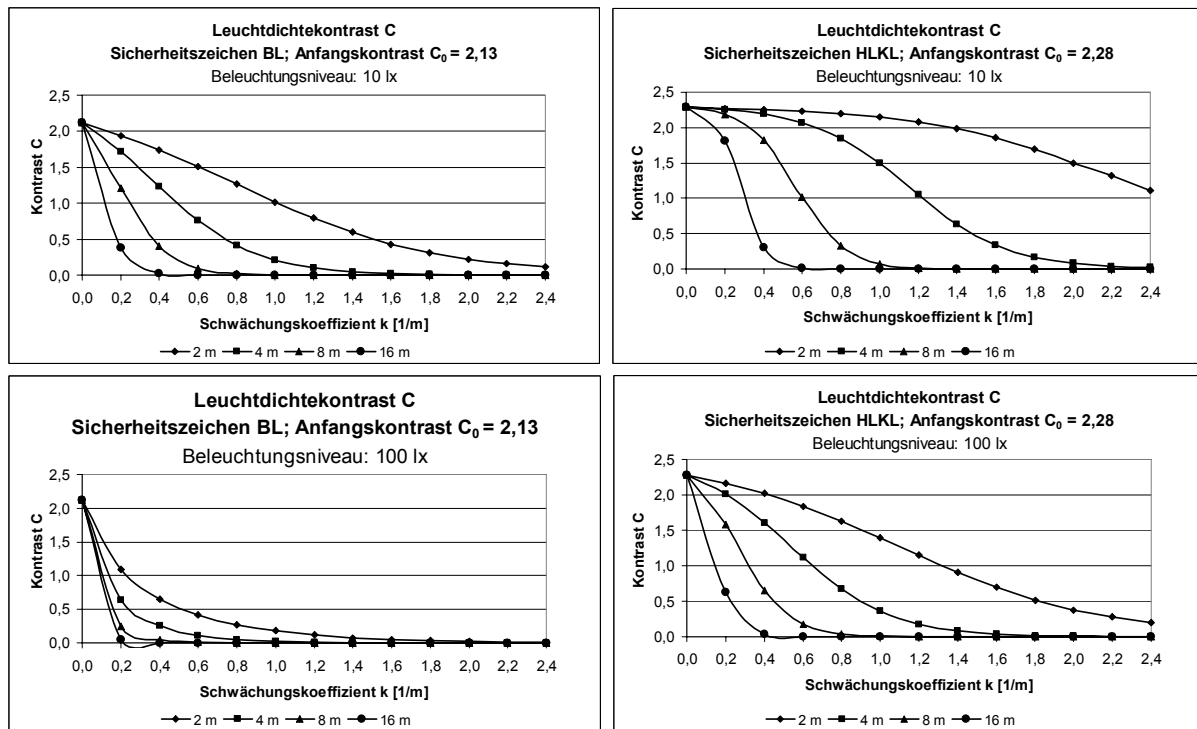


Abbildung 6: Gesehener Leuchtdichtekontrast in Abhängigkeit vom Schwächungskoeffizient  $k$  bei einem Beleuchtungsniveau von 10 lx und 100 lx für das beleuchtete Sicherheitszeichen BL und für das hinterleuchtete Sicherheitszeichen HLKL in verschiedenen Beobachtungsentfernungen bei hellem Brandrauch ( $k_s/k = 0,8$ ).

Sicherheitszeichen	Erkennungsweite nach DIN EN 1838	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 2: Relative Erkennungsweite verschiedener Sicherheitszeichen bezogen auf die Erkennungsweite nach DIN EN 1838 in Abhängigkeit vom Schwächungskoeffizienten  $k$ .

Die Problematik punktuell montierter Sicherheitszeichen zeigt sich hier deutlich. Brandrauch verursacht eine drastische Abnahme der Erkennungsweiten. Sobald die Abstände der Sicherheitszeichen im Verlauf des Rettungsweges größer als die Erkennungsweiten im Rauch sind, müssen fliehende Personen im Brandrauch Wegstrecken ohne jegliche Orientierung überwinden. Das kann Suchaktionen, Verunsicherungen und das Übersehen von Sicherheitszeichen verursachen. Die Folge sind längere Fluchtzeiten, was sehr kritisch sein kann.

***In brandgefährdeten Bereichen ist es daher notwendig, kleine Abstände zwischen den Sicherheitszeichen zu wählen. Die durchgeführten Untersuchungen haben die Vorteile kontinuierlicher Führungen deutlich gezeigt.***

Die Blickorientierung bei eingeschränkter Sicht unterscheidet sich gegenüber den Bedingungen ohne Sichtbeeinträchtigung deutlich. Erfolgt in einer Umgebung ohne Sichtbeeinflussung die Orientierung vorausschauend und anhand über Kopf montierter Sicherheitszeichen, werden bei eingeschränkter Sicht Orientierungspunkte eher im Bodenbereich und der unmittelbaren Umgebung gesucht. Nicht bodennah montierte Sicherheitszeichen erfordern von fliehenden Personen bei Verrauchung zusätzliche Blickbewegungen.

***In brandgefährdeten Bereichen ist eine Ergänzung durch eine kontinuierliche bodennah montierte Leitmarkierung erforderlich, um im Brandfalle die Wirksamkeit des Sicherheitsleitsystems zu erhöhen.***

Während die obigen Berechnungen für hellen Brandrauch gelten zeigt Abbildung 7 den gesehenen Leuchtdichtekontrast für ein stark absorbierendes Medium (dunklen Brandrauch). Gegenüber den Verhältnissen bei hellen Brandrauch sind die Kontrastverluste mit zunehmender Rauchdichte geringer. Es zeigt sich jedoch auch, dass eine Zunahme des Beleuchtungsniveaus zu höheren Kontrastverlusten führt.

Sobald die Absorptionsverluste im Rauch zum Sinken der Umgebungshelligkeit führen, steigt der für die Erkennung notwendige Schwellenkontrast. Damit können die zu erwartenden Erkennungsweiten etwas über denen im hellen Brandrauch liegen.



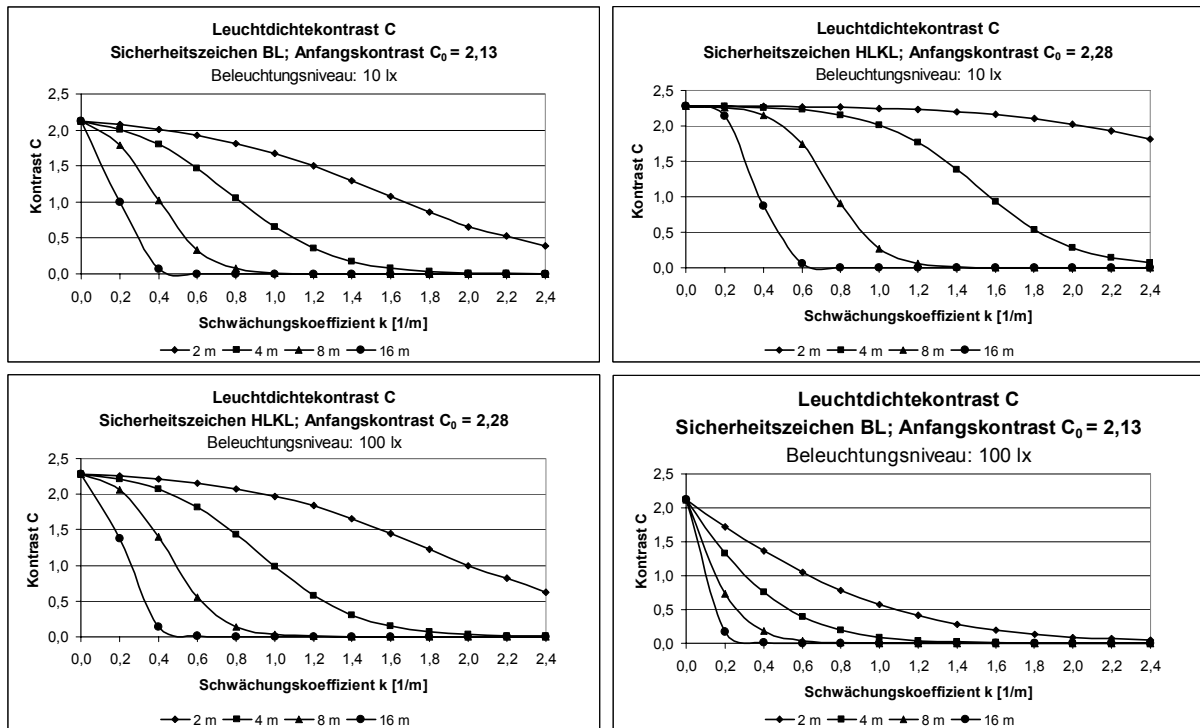


Abbildung 7: Gesehener Leuchtdichtekontrast in Abhängigkeit vom Schwächungskoeffizient  $k$  bei einem Beleuchtungsniveau von 10 lx und 100 lx für das beleuchtete Sicherheitszeichen BL und für das hinterleuchtete Sicherheitszeichen HLKL in verschiedenen Beobachtungsentfernungen bei dunklem Brandrauch ( $k_s/k = 0,2$ ).

## 2.2.1 Die Zeichengröße und -form der Sicherheitszeichen

Grundsätzlich gilt auch in Rauchsituationen, dass größere Zeichen aufgrund der geringeren Schwellenkontraste besser als kleinere erkannt werden.

Abbildung 8 zeigt die Abhängigkeit der Schwellenkontraste von der adaptionsbestimmenden Umfeldleuchtdichte und der Winkelgröße des Sehobjektes.

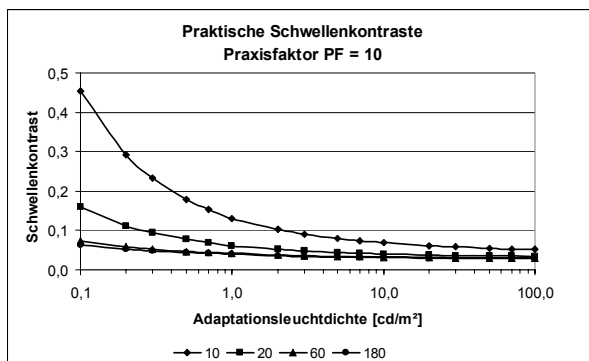
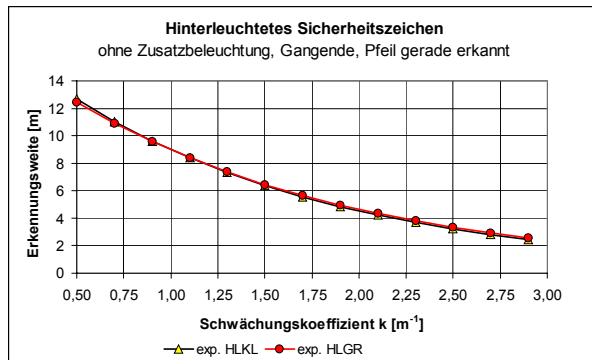


Abbildung 8: Schwellenkontraste in Abhängigkeit von der Adaptionsleuchtdichte  $L_a$  und der Sehobjektgröße (in Bogenminuten).

Jedoch ergeben große Zeichen nicht unbedingt große Erkennungsweiten (Abb. 9).



**Abbildung 9: In den praktischen Versuchen bestimmte Erkennungsweiten für hinterleuchtete Sicherheitszeichen**  
(Größenverhältnis: HLKL : HLGR = 1 : 2,25)

Einfluss auf die Erkennungsweite hat nicht nur die Sehdetailgröße, sondern auch wie bereits erwähnt die lichttechnischen Parameter (Leuchtdichte, Kontrast).

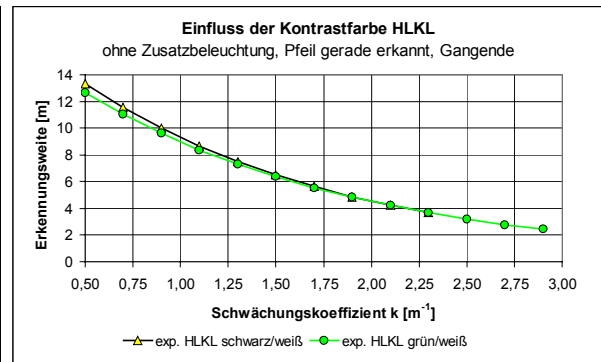
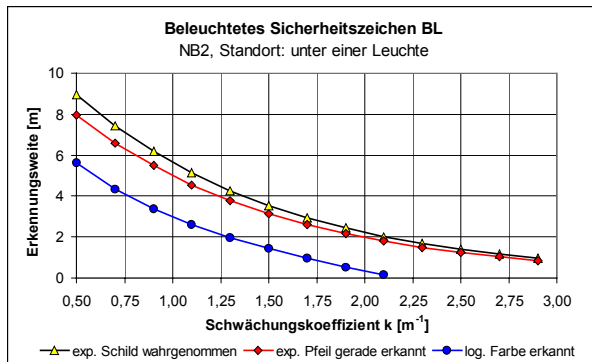
Insbesondere für die Identifikation von Details ist eine bestimmte Mindestgröße erforderlich. Hohe Rauchdichten wirken sich auf die Erkennung oder Identifikation von Zeichendetails nachteiliger aus als auf die Sichtbarkeit des Zeichens als Ganzes. Dieser Effekt nimmt mit wachsender Rauchdichte zu.

***Fein strukturierte Sicherheitszeichen sind daher bei Rauch unzuweckmäßig.***

### 2.2.2 Zeichenfarbe

Brandrauch kann aufgrund seiner spektralen Eigenschaften Farbverschiebungen verursachen und die Farbwahrnehmung beeinflussen. Die Farbinformation wurde in den durchgeführten Untersuchungen in der Regel nach der relevanten Fluchtrichtung erkannt. Bei hinterleuchteten Sicherheitszeichen ist die Farberkennung deutlich besser als bei beleuchteten Sicherheitszeichen, bei denen die Identifikation der Sicherheitsfarbe stark vom Montageort abhängt oder gar nicht möglich war. Die Darbietung von schwarz/ weißen und grün/ weißen Sicherheitszeichen führte zu keinen Unterschieden in der Erkennungsweite (Abbildung 10).

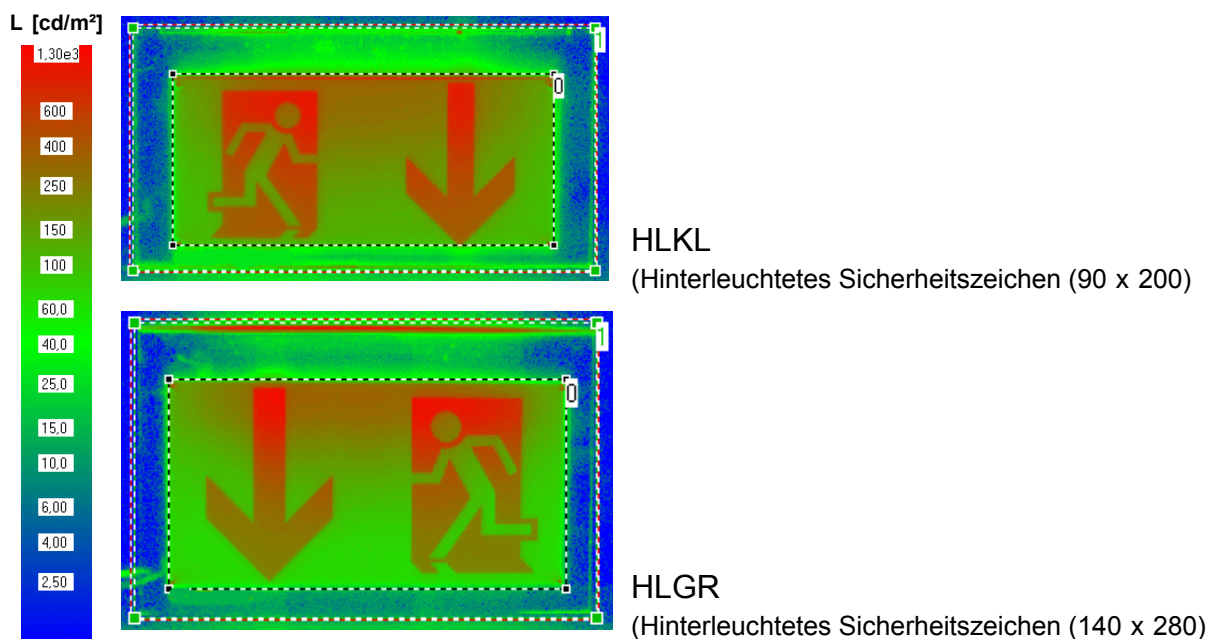
***Bei Verrauchung spielt die Farbinformation daher nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend für die Wahrnehmung sind daher die Leuchtdichtekontraste und die Eindeutigkeit des Symbols.***



**Abbildung 10: Wahrnehmung der Sicherheitsfarbe bei einem beleuchteten Sicherheitszeichen (links) und Einfluss der Kontrastfarbe auf die Erkennungsweite bei einem hinterleuchteten Sicherheitszeichen (rechts)**

### 2.2.3 Gleichmäßigkeit der Sicherheitszeichen

**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 : 2,25, die mittleren Leuchtdichten sowie die Kontraste zwischen Signal- und Kontrastfarbe waren ähnlich. Abbildung 11 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 11: Leuchtdichtebilder hinterleuchteter Sicherheitszeichen (LMK 98 / 2000 Techno Team.)**

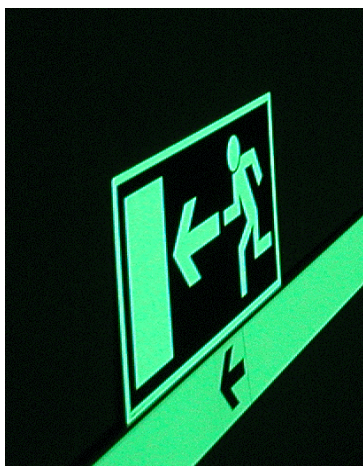
Beide Tendenzen - Vergrößerung der Erkennungsweite bei Zunahme der Sehdetailgröße und Abnahme der Erkennbarkeit bei Verringerung der Zeichenkontraste - sind gegenläufig und heben sich auf und führen bei Verrauchung zu ähnlichen Erkennungsweiten für beide Sicherheitszeichen.

***Für Sicherheitszeichen, die in brandgefährdeten Bereichen zum Einsatz kommen, sind höhere Anforderungen an die Gleichmäßigkeit innerhalb der Kontrast- und Sicherheitsfarbe zu stellen. Hohe Kontraste von Piktogramm zum Hintergrund sind zweckmäßig. Dies gilt insbesondere für sicherheitsrelevante Details.***

#### **2.2.4 Anforderungen an integrierte Orientierungshinweise**

Wie oben bereits erwähnt, ist die Größe der Sehobjektanmessung 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).



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

In eine Leitmarkierung integrierte oder an den Seitenwänden des Rettungsweges montierte Sicherheitszeichen müssen daher ausreichend groß sein. Feinstrukturierte Sicherheitszeichen sind, wie bereits erwähnt, in verrauchter Umgebung unzureichend. Die Richtungspfeile wurden von den Probanden oft nicht wahrgenommen.

### 3 Zusammenfassung

Die Untersuchungen am Fachgebiet Lichttechnik der Technischen Universität Ilmenau haben gezeigt, dass Brandrauch in Gebäuden eine drastische Verschlechterung der Sichtbarkeit von Sehobjekten bewirkt. 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. Eine kontinuierliche bodennah montierte Leitmarkierung kann im Brandfalle die Wirksamkeit des Sicherheitsleitsystems erhöhen. Richtungsangaben für die Eindeutigkeit der Fluchtrichtung, die mit Leitmarkierungen kombiniert werden, müssen ausreichend groß sein. Eine Ergänzung bestehender Sicherheitsleitsysteme in rauchgefährdeten Bereichen mit bodennahen Komponenten ist notwendig. Entsprechend sind Änderungen und Ergänzungen der bestehenden Sicherheitsvorschriften und –regeln erforderlich. Auch ist zu diskutieren, wo eine Regelung für den Brandfall bei dem die Allgemeinbeleuchtung nicht ausfällt, erfolgen kann.

#### Literatur

- [1] BGR 216 - Optische Sicherheitsleitsystem (einschließlich Sicherheitsbeleuchtung), Juli 2001
- [2] DIN EN 1838 - Angewandte Lichttechnik, Notbeleuchtung, Juli 1999
- [3] Weis, B.; Terstiege, H.; Willing, A.: Notbeleuchtung kontra langnachleuchtende Farbe. Zts. LICHT 46. Jhg. Nr. 1, 1994, Sonderdruck
- [4] Ehreneiser, W.; Kokoschka, S.; Weis, B.: Untersuchung der Sichtbarkeit von Sicherheitszeichen für Rettungswege. Zts. LICHT 45. Jhg. Nr. 3, 1993, Sonderdruck
- [5] Weis, B.: Notbeleuchtung. Zts. LICHT 38. Jhg. Nr. 6, 1987, Sonderdruck
- [6] Boyce, P. R.; Cibse, M.: Movement under emergency lighting: effect of illuminance. Zts. LIGHTING RESEARCH & TECHNOLOGY Vol. 17 No. 2, 1985
- [7] Langer, R.: Neue Berufsgenossenschaftliche Regel (BGR 216) regelt den Einsatz von optischen Sicherheitsleitsystemen. Zts. Licht 54. Jhg. Nr.1-2, 2002, S. 74
- [8] Gall, D.; Bieske, K.; Kokoschka, S.: Evaluierung von Sicherheitsleitsystemen in Rauchsituationen. Abschlussbericht, TU Ilmenau 2003