

BRANDSCHUTZ - FORSCHUNG

DER BUNDESLÄNDER

BERICHTE

**Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur
Verdünnung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und
Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Maß.**

**Teil 4: Brandrauch und Sichtbarkeit von Hinweiszeichen
in Rettungswegen.**

66

**ARBEITSGEMEINSCHAFT DER INNENMINISTERIEN DER BUNDESLÄNDER
ARBEITSKREIS V – UNTERAUSSCHUSS "FEUERWEHRANGELEGENHEITEN"**

Arbeitsgemeinschaft der Innenminister der Bundesländer
Arbeitskreis V - Unterausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Forschungsbericht Nr. 66

Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdünnung
von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in
Rettungswegen gewährleistendes Maß.

Teil 4: Brandrauch und Sichtbarkeit von Hinweiszeichen
in Rettungswegen.

von

Dipl.-Ing. Reiner John

Forschungsstelle für Brandschutztechnik
an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

Mai 1988

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung
2. Sichtbarkeit von Hinweisschildern
 - 2.1 Allgemeine Grundlage zum Sehvermögen
 - 2.2 Einfluß der Sichtverhältnisse in Rettungswegen auf die Evakuierungszeit
 - 2.2.1 Minimale Beleuchtungsstärke
 - 2.2.2 Einfluß der Blendung auf die Evakuierungszeit
3. Verhältnisse in realen Rettungswegen
 - 3.1 Ohne Brandrauch
 - 3.2 Mit Brandrauch
 - 3.2.1 Kontraständerung
 - 3.2.2 Farbunterscheidung
 - 3.2.3 Reizwirkung des Brandrauches
 - 3.2.4 Spektrale Absorption
 - 3.3. Kriterien für die Art und Größe von Kennzeichen
4. Durchgeführte Versuche zur Beurteilung der Sichtbarkeit
 - 4.1 Versuchsaufbau
 - 4.2 Messungen ohne Brandrauchanteil
 - 4.2.1 Selbstleuchtende Kennzeichen
 - 4.2.2 Reflektierende Kennzeichen
 - 4.3 Messungen mit Brandrauch
 - 4.3.1 Selbstleuchtende Kennzeichen
 - 4.3.2 Reflektierende Kennzeichen

5. Versuchsergebnisse
6. Ergebnisse dieser Untersuchungen
7. Zusammenfassung
8. Literatur
9. Tabelle
10. Bilder

FORMELZEICHEN

a, b	Koeffizienten
B	Leuchtdichte, die vom Auge eines Beobachters wahrgenommen wird in cd/m^2
E	Beleuchtungsstärke in lx
F	Fläche in m^2
I	Lichtstrom in lm
K	Kontrast = $(L_{\text{Objekt}} - L_{\text{Umfeld}}) / L_{\text{Umfeld}}$
k	Kontrastabminderungsfaktor, siehe Gleichung (19)
l	Abstand Auge - Kennzeichen in m
L	Leuchtdichte in cd/m^2
ΔL	Leuchtdichtedifferenz in cd/m^2
S	Sehschärfe in 1/Minute
s	relative Sehschärfe
V	Volumen in m^3
dV	Volumenelement in m^3
x, dx	Abstand in m (siehe Bild 4)
α	Winkel unter dem ein Objekt gesehen wird in Minuten
β	Blendwinkel in grad
ρ	Reflexionsgrad
σ	Extinktionskoeffizient 1/m (siehe Gleichung (5))
$\Delta \tau$	Darbietungszeit eines Sehobjektes in s

Indices

A	Allgemeinbeleuchtung
Ab	Absorption
Br	Brandrauch
erf	erforderlich
K	Kennzeichen
r	reflektierend
s	selbstleuchtend
S	Streulicht
U	Umfeld
VDE	Meßmethode nach VDE 0108
0	Werte ohne Brandraucheinfluß

Ermittlung der erforderlichen Luftvolumenströme zur Verdünnung von Brandrauch auf ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in Rettungswegen gewährleistendes Maß

Teil 4: Brandrauch und Sichtbarkeit von Hinweiszeichen in Rettungswegen

1. EINLEITUNG

In /1/ wird u. a. aufgeführt und durch Zahlen belegt, daß ca. 80 % der bei Bränden getöteten Menschen durch den Brandrauch gestorben sind. Viele von ihnen wären nach /1/ noch am Leben, wenn ihnen für die Flucht oder das Warten auf Rettung ein geeignetes Atemschutzgerät zur Verfügung gestanden hätte.

Aus diesen Aussagen folgt, daß die Rettungswege keineswegs den Anforderungen entsprachen, im Brandfall unbehindert benutzbar zu sein. Diese geforderte unbehinderte Benutzbarkeit der Rettungswege im Brandfall gewährleistet auch, daß sich die Personen auf dem Weg ins Freie im Brandfall nicht länger als im Normalfall in den Rettungswegen aufhalten.

Da Rettungswege, z. B. Treppenräume in einem Hochhaus, im Normalfall nur selten oder garnicht benutzt werden, ist eine eindeutige auch im Brandfall deutlich erkennbare Beschilderung dieser Rettungswege ganz besonders wichtig.

2. SICHTBARKEIT VON HINWEISSCHILDERN

2.1 Allgemeine Grundlagen zum Sehvermögen

Der Sehvorgang ist nach /2/ durch die visuellen Grundfunktionen der Lichtunterschiedsempfindlichkeit, der Formenempfindung und dem Farbunterscheidungsvermögen und deren Abhängigkeit von der Zeit gekennzeichnet.

Objekte können in einem gleichförmigen Umfeld nur gesehen werden, wenn zwischen dem Objekt und dem Umfeld ein Leuchtdichteunterschied (Kontrast) besteht. Der zur Wahrnehmung notwendige Leuchtdichteunterschied

$$\Delta L = L_{\text{Objekt}} - L_{\text{Umfeld}}$$

ist nach /2/ von der Leuchtdichte des Umfeldes, von der Größe des Objektes und von seiner Darbietungsdauer abhängig.

Die Zusammenhänge zwischen der Umfeldleuchtdichte und dem Leuchtdichteunterschied sowie der Größe des Objektes zeigt das Bild 1 nach /2/. Da hier nur die generellen Unterschiede aufgezeigt werden sollen, wurden in diesem Bild nur die Mittelwerte aus den nach /2/ angegebenen 2 Werten je Sehwinkel eingezeichnet.

Die in Bild 1 gezeigten Zusammenhänge gelten für ein rundes Sehobjekt und eine Darbietungsdauer des Objektes von mindestens 1 s. Der im Bild 1 als Parameter vorliegende Sehwinkel α in Minuten entspricht bei einer runden, einheitlich eingefärbten Scheibe von 100 mm folgende Sehabständen

Sehwinkel	α Min.	1	2	5	10	100	500
Sehabstand	l m	343	172	69	34	3,4	0,69

Wird die Darbietungsdauer des Sehobjektes verringert, so muß nach /2/ der Kontrast, das ist die Differenz der Leuchtdichte zwischen Umfeld und Sehobjekt bezogen auf die Leuchtdichte des Umfeldes, erhöht werden. Im Bild 2 ist dieser Zusammenhang dargestellt.

Aus diesem Bild ergibt sich, daß bei der Verkürzung der Darbietungsdauer von 1 s auf 1/10 s der Leuchtdichteunterschied zur Wahrnehmung um das 2,6 fache bei sonst gleichen Umfeldbedingungen ansteigen muß. Wird die Darbietungsdauer weiter verkürzt, so muß der Kontrast um ein mehrfaches dieses Betrages ansteigen.

Die Formempfindung eines Sehobjektes kann nach /2/ durch die Sehschärfe beschrieben werden. Die Sehschärfe steigt bei gleichem Kontrast mit zunehmender Leuchtdichte des im Blickfeld liegenden Bildteiles an, daß die Adaption des Auges bestimmt. Bei sehr hohen Werten strebt die Sehschärfe den durch die physikalischen Eigenschaften des Auges bestimmten Grenzwert zu.

Innerhalb des Leuchtdichtebereichs von $0,05 \text{ cd/m}^2$ bis 30 cd/m^2 und für eine Kontrast K zwischen $0,9$ bis $0,12$ gilt für die Sehschärfe nach /2/ folgende lineare Abhängigkeit von dem Leuchtdichteunterschied:

$$S = 0,412 \cdot \lg \Delta L + 0,852 \quad 1/\text{Minute} \quad (1)$$

Ein weiteres Kriterium bei der Beurteilung des Sehvermögens ist die Wahrnehmungsgeschwindigkeit. Bei den in /2/ beschriebenen Versuchen wurde die Zeit für das Auffinden von statistisch verteilte Zahlen ermittelt. Dabei zeigte sich bei einer bestimmten Anordnung, daß bei Personen über 50 Jahre die mittlere Suchzeit wesentlich über der mittleren Suchzeit von jüngeren Personen lag. In Bild 3 sind die für diesen Fall in /2/ angegebenen Kurven dargestellt. Darin ist der Reziprokwert der mittleren Suchzeit, die Suchgeschwindigkeit, über der Leuchtdichte des Untergrunds der Zahlen aufgetragen. Aus diesem Bild 3 erkennt man deutlich die geringere Auffindungsgeschwindigkeit bei älteren Personen sowie deren stärkere Abhängigkeit von der Leuchtdichte des Untergrunds der Vorlage. Nach weiteren Angaben in /2/ benötigen ältere Menschen eine um den Faktor 2,5 höhere Beleuchtungsstärke, um bei einer Suchaufgabe die gleiche Leistung wie jüngere Personen zu erreichen.

2.2 Einfluß der Sichtverhältnisse in Rettungswegen auf die Evakuierungszeit

2.2.1 Minimale Beleuchtungsstärke

Eine ausführliche Untersuchung über den Einfluß der Beleuchtungsstärke und der Beschilderung der Rettungswege auf die Evakuierungszeit wurde in /3/ durchgeführt.

Bei dieser Untersuchung /3/ wurde u. a. mit Personengruppen verschiedener Altersstufen der Einfluß der Beleuchtungsstärke und der Art der Hinweisschilder sowie der Einfluß einer Blendung auf die Evakuierungszeit untersucht. Bei den Versuchen zur Bestimmung der Evakuierungszeit wurde den Personen gleichzeitig eine zweite Aufgabe gestellt, die im Addieren von Zahlen bestand. Über eine Lautsprecheranlage wurde den Personen während des Evakuierungsvorganges die Rechenaufgaben zugerufen. Durch diese Methode der mentalen Doppelaufgabe, Flucht und Addition, wurde die psychische Beanspruchung der Personen bei der Bewegung durch den immer neu abgesteckten Rettungsweg ermittelt.

Eines der dabei erhaltenen Ergebnisse ist die Aussage, daß nicht die Beleuchtungsstärke der Wände und des Bodens den entscheidenden Einfluß ausübt, sondern der von diesen Flächen reflektierte Anteil, d. h. deren Leuchtdichte. Aufgrund der Kontrastempfindlichkeit wurde nach /3/ ein unterer Wert von $0,25 \text{ cd/m}^2$ und nach den Ergebnissen der Fluchtsimulation ein Wert von $0,27 \text{ cd/m}^2$ für die minimale Leuchtdichte in Rettungswegen ermittelt.

Damit ist die minimale Beleuchtungsstärke in Rettungswegen ein vom mittleren Reflexionsgrad ρ der Wände und des Bodens abhängiger Wert.

Der Grenzwert der Beleuchtungsstärke wurde bei den Versuchen nach /3/ mit 2 lx , gemessen nach DIN 5035 Teil 5 und einem mittleren Reflexionsgrad ρ von 50 %, ermittelt. Weicht der in einem Rettungsweg vorhandene Reflexionsgrad von diesem Wert ab, so kann

die dann erforderliche Beleuchtungsstärke E_{erf} , gemessen nach DIN 5035 Teil 5, mit folgender Beziehung abgeschätzt werden.

$$E_{\text{erf}} = \frac{50}{\rho} \frac{\%}{\%} \quad 2 \text{ lx} \quad (2)$$

Danach beträgt bei einem mittleren Reflexionsgrad des Rettungsweges von 25 % die minimale Beleuchtungsstärke, gemessen nach DIN 5035 Teil 5, 4 lx.

2.2.2 Einfluß der Blendung auf die Evakuierungszeit

Der Einfluß der Blendung auf die Evakuierungszeit wurde in /3/ für einen Blendwinkel $\beta > 1,5^\circ$ und für den Blendwinkel $\beta = 0$, untersucht. Der Blendwinkel ist der Winkel zwischen der momentanen Blickrichtung einer Person und der Richtung, unter dem vom Auge des Beobachters aus die Blendquelle gesehen würde. Bei einem Blendwinkel $\beta = 0$ blickt die Person genau in die Blendquelle (Fixation der Blendquelle)

Bei einem Blendwinkel $\beta > 1,5^\circ$ ergibt sich nach /3/ keine Beeinträchtigung der Evakuierungsdauer, wenn die maximalen Leuchtdichte für Sicherheitsleuchten nach DIN 5035 Teil 5 eingehalten werden. Dieses Ergebnis gilt für alle Altersgruppen von Personen.

Bei einer Fixation einer Lichtquelle wird die Fovea, der Netzhautbereich größter Sehschärfe, hell adaptiert. Unmittelbar nach der Fixation kann deshalb die dunklere Umgebung mit der Fovea nicht oder nur schlecht wahrgenommen werden. Dieser Zustand bleibt solange bestehen, bis die Dunkeladaptation eingetreten ist.

Dieser Vorgang der Helladaptation des Auges kann während des Räumungsablaufes auftreten, wenn z. B. Sicherheitslampen und Hinweisschilder in derselben Blickrichtung liegen oder Personen in die Sicherheitslampen blicken.

Von der dadurch hervorgerufenen Blendung sind insbesondere ältere Menschen betroffen.

Die zu diesem Problem der Blendung durch Fixation in /3/ durchgeführten Untersuchungen, die bei einer Sicherheitsbeleuchtungsstärke von 2 lx erfolgten, führten zu folgenden Ergebnissen:

Mit zunehmender Leuchtdichte der Sicherheitslampen ist eine längere Fluchtzeit zu beobachten. Dies gilt besonders für die Personengruppe im Alter von 50 Jahren bis 70 Jahren. Hier führte schon die relativ geringe Leuchtdichte der Sicherheitslampen von 250 cd/m^2 zu einer erheblichen Verlängerung der Evakuierungszeit.

3. VERHÄLTNISSE IN REALEN RETTUNGSWEGEN

3.1 Ohne Brandrauch

In realen Rettungswegen muß z. B. nach dem Hamburger Baurecht im Normalfall eine Beleuchtungsstärke von 30 lx vorhanden sein. Bei Notbeleuchtung wird eine Beleuchtungsstärke von 1 lx gefordert.

Die Länge von Rettungswegen beträgt maximal ca. 35 m in Nicht-hochhäusern und ca. 25 m in Hochhäusern. Nach diesen Entfernungen muß, vom entlegensten Aufenthaltsort aus gerechnet, die freie Umgebung oder ein anderer Brandabschnitt, z. B. ein Treppenraum, erreicht werden. Der Weg von einem beliebigen Standort aus in die freie Umgebung muß durch entsprechende Kennzeichen nach DIN 4844 Teil 1 markiert sein. Der Abstand zwischen den Kennzeichen für den Rettungsweg darf nach /4/ 15 m nicht überschreiten.

Wird dieser Wert von 15 m als maximale Sehweite zum Lesen bzw. Erkennen eines Kennzeichens zugrunde gelegt, so ergeben sich nach Abschnitt 2.1 folgende erforderliche Größen für die Unterscheidungsmerkmale von Kennzeichen.

Bei einer Beleuchtungsstärke von 30 lx und der Annahme eines mittleren Reflexionsgrades von 50 % ist eine mittlere Leuchtdichte des Rettungsweges von $L = 4,8 \text{ cd/m}^2$ vorhanden. Bei einem angenommenen Kontrast des Kennzeichens gegenüber dem Umfeld von $K = 0,7$ ergibt sich dabei ein Wert für ΔL von $3,3 \text{ cd/m}^2$. Für diese Werte der Leuchtdichte und der Leuchtdichtedifferenz beträgt der Sehwinkel α für die im Bild 1 untersuchten runde Scheibe ca. 1,5 Minuten. Dies würde bei der Entfernung von 15 m einen Durchmesser von ca. 6,5 mm entsprechen.

Bei einer Beleuchtungsstärke von 1 lx (Notbeleuchtung) würde sich unter gleichen Bedingungen eine Leuchtdichte von $L = 0,16 \text{ cd/m}^2$ und ein Wert ΔL von $0,11 \text{ cd/m}^2$ ergeben. Der Sehwinkel α müßte dabei nach Bild 1 ca. 4 Minuten betragen. Bei dem Sehabstand von 15 m entspricht dies einer Scheibe von ca. 17,5 mm. Das Maß für den oben berechneten Wert für den Durchmesser der Scheibe ist etwa der Größe des Details gleichzusetzen, das die Unterscheidung verschiedener Kennzeichen bewirkt.

Diese Abmessungen gelten nach Bild 1 für eine Darbietungsdauer bzw. Beobachtungsdauer von mehr als 1 s. Ist diese Zeit kürzer, so müßte nach Bild 2 der Kontrast ansteigen. Da dies aber nicht möglich ist, muß die "Scheibe" vergrößert werden. Um diesen neuen Wert des Scheibendurchmessers zu erhalten, wird im jeweiligen Beleuchtungsfall die vorliegende Leuchtdichtedifferenz ΔL durch den Wert dividiert, um den die Leuchtdichtedifferenz nach Bild 2 erhöht werden müßte. Für die so erhaltene Leuchtdichtedifferenz wird jetzt aus dem Bild 1 der dabei erforderliche Sehwinkel α ermittelt und daraus der Scheibendurchmesser berechnet.

Bei einer Reduzierung der Darbietungsdauer von 1 s auf 1/10 s muß der Leuchtdichteunterschied um das 2,6 fache erhöht werden. Für eine Beleuchtungsstärke von 30 lx ergibt sich nach der oben aufgeführten Berechnung ein Wert von $\Delta L = 1,27 \text{ cd/m}^2$. Nach Bild 1 beträgt dabei der erforderliche Sehwinkel ca. 3 Minuten. Die Scheibe hätte dabei einen Durchmesser von ca. 13 mm.

Größer ist der Unterschied des Scheibendurchmessers bei der geringen Beleuchtungsstärke von 1 lx. Bei einer Änderung des Wertes ΔL von 0,11 cd/m² auf 0,042 cd/m² erhöht sich der Sehwinkel von 4,5 Minuten auf ca. 8 Minuten. Damit vergrößert sich der entsprechende Scheibendurchmesser von ca. 17,5 mm auf ca. 35 mm.

Die oben beschriebenen Verhältnisse gelten nur für die von der Allgemeinbeleuchtung des Rettungsweges beleuchteten Kennzeichen (reflektierende Kennzeichen).

Bei selbstleuchtenden Kennzeichen ist der Leuchtdichteunterschied wesentlich größer. Mit abnehmender Raumbelichtung steigt dieser Wert an, da die Leuchtdichte der Kennzeichen unverändert bleibt.

Nach /3/ beträgt die mittlere Leuchtdichte der dort verwendeten selbstleuchtenden Kennzeichen 40 cd/m². Würde eine Scheibe mit dieser Leuchtdichte im Rettungsweg angebracht werden, so müßte sie nach Bild 1 bei einer Beobachtungsdauer (Darbietungszeit) von mehr als 1 s bei einer mittleren Beleuchtungsstärke des Rettungsweges von 30 lx und 1 lx in beiden Fällen einen Durchmesser von kleiner 4 mm aufweisen. Bei einer Beobachtungsdauer von nur 1/10 s wäre auch dabei eine Scheibe mit einem Durchmesser von kleiner 4 mm ausreichend.

Die hier beschriebenen Werte werden durch die Untersuchungen in /3/ insofern bestätigt, da bei allen Versuchen mit reflektierenden Kennzeichen und niedrigen Werten für die Notbeleuchtung die Schwierigkeiten der Versuchsteilnehmer bezüglich der Orientierung immer deutlich höher lagen als bei selbstleuchtenden Kennzeichen.

3.2 Mit Brandrauch

3.2.1 Kontraständerung

Ist Brandrauch in den Rettungsweg eingedrungen, so werden die Sichtverhältnisse durch die Rauchpartikel verändert. Die dabei auftretenden Veränderungen wurden von /5/ untersucht. Danach ergaben sich die folgenden Einflußgrößen, durch die das Erkennen eines Kennzeichens erschwert wird.

Im Bild 4 sind die Verhältnisse dargestellt, die sich für ein Beobachter ergeben, wenn er auf ein Kennzeichen blickt, das sich im Abstand l vor seinem Auge befindet und Rauchpartikel innerhalb dieses Abstandes vorhanden sind. Die optische Dichte des Brandrauch-Luftgemisches wird hierbei und in allen folgenden Fällen durch den Extinktionskoeffizienten σ $1/m$ angegeben. Als Kennzeichen wird eine runde Scheibe mit der Fläche F_K angenommen. Das Kennzeichen hat die Leuchtdichte L_{KO} , das Umfeld die Leuchtdichte L_{UO} .

Die Intensität des Lichtes, das in das Auge des Beobachters vom Kennzeichen bzw. vom Umfeld gelangt, beträgt nach /5/

$$B_K = L_{KO} \cdot e^{-\sigma \cdot l} \cdot F_K / l^2 \quad (3)$$

bzw.

$$B_U = L_{UO} \cdot e^{-\sigma \cdot l} \cdot F_K / l^2 \quad (4)$$

Darin ist σ der Extinktionskoeffizient des Brandrauch-Luftgemisches innerhalb der Strecke l . Nach /5/ setzt sich der Extinktionskoeffizient σ aus den Anteilen σ_{Ab} für den Anteil durch Absorption sowie σ_S für den Streulichtanteil zusammen. Mit ausreichender Genauigkeit gilt daher nach /5/:

$$\sigma = \sigma_{Ab} + \sigma_S \quad (5)$$

Zu den o. g. Lichtintensitäten B_K vom Kennzeichen und B_U vom Umfeld, die in das Auge des Beobachters fallen, kommt noch ein Streulichtanteil B_S hinzu. Dieses Streulicht entsteht bei der Reflexion des für die allgemeine Beleuchtung vorhandenen Lichtes an den Rauchpartikeln.

Die Rauchpartikel in dem Volumenelement

$$dV = F_K \cdot (x / l)^2 dx, \quad (6)$$

siehe Bild 4, streuen einfallendes Licht in alle Richtungen. Dabei ist die Streulichtintensität proportional zur einfallenden Lichtintensität.

Strahlt ein paralleler Lichtstrahl mit der Leuchtdichte L in das Volumenelement dV , so beträgt das von den Partikeln in den Volumenelement dV in alle Richtungen abgegebene Streulicht

$$dI_S = \sigma_S \cdot L \cdot F_K \cdot (x / l)^2 \cdot dx \quad (7)$$

Darin ist σ_S der Streulichtkoeffizient.

Der Streulichtanteil in das Auge des Beobachters beträgt dabei nach /5/, wenn ein paralleler Lichtstrahl mit der Leuchtdichte 1 cd/m^2 in ein Brandrauchvolumen dV der Einheit 1 fällt

$$\begin{aligned} dB_S &= \frac{\sigma_S \cdot L \cdot F(x/l)^2 \cdot dx \cdot e^{-\sigma \cdot x}}{4 \cdot \pi \cdot x^2} \\ &= (1/4\pi) \cdot \sigma_S \cdot L \cdot (F_K/l^2) \cdot e^{-\sigma \cdot x} dx \end{aligned} \quad (8)$$

Wenn das Licht, z.B. durch die Allgemeinbeleuchtung, aus allen Richtungen in das Brandrauchvolumen dV strahlt, erhöht sich das an der Rauchpartikeln reflektierte Streulicht. Der vom Auge des

Beobachters aufgenommenen Streulichtanteil, die Streulichtdichte dB_S , erhält man nach /5/, wenn dB_S^0 mit 4π multipliziert wird

$$dB_S = \sigma_S \cdot L_A \cdot (F_K / l^2) \cdot e^{-\sigma \cdot x} \quad dx \quad (9)$$

Der Wert L_A in dieser Gleichung kann nach /5/ aus der mittleren Beleuchtungsstärke E berechnet werden,

$$L_A = E / \pi \quad \text{in } \text{cd/m}^2, \quad (10)$$

wenn die Beleuchtungsstärke mit einem Meßgerät gemessen wurde, daß das cos-Gesetz berücksichtigt (z. B. nach VDE 0108).

Da das Streulicht durch alle Rauchpartikel, die sich zwischen dem Auge und dem Kennzeichen befinden, hervorgerufen wird, muß über diesen Bereich die Gleichung (9) integriert werden. Damit ergibt sich nach /5/ der gesamte Streulichtanteil, der in das Auge des Beobachters fällt zu

$$\begin{aligned} B_S &= \int dB_S = \int_0^l \sigma_S \cdot L_A \cdot (F_K / l^2) \cdot e^{-\sigma x} \cdot dx \\ &= \sigma_S / \sigma \cdot L_A \cdot (F_K / l^2) \cdot (1 - e^{-\sigma l}) \end{aligned} \quad (11)$$

Vom Auge eines Beobachters wird somit das von der Lichtstreuung sowie vom Kennzeichen bzw. vom Umfeld reflektierte Licht registriert.

Von Kennzeichen kommt der Anteil

$$B_K = L_{K0} \cdot (F_K / l^2) \cdot e^{-\sigma l} + \sigma_S / \sigma \cdot L_A \cdot (F_K / l^2) (1 - e^{-\sigma l}) \quad (12)$$

Vom Umfeld kommt der Anteil

$$B_U = L_{U0} \cdot (F_K/1^2) \cdot e^{-\sigma \cdot l} + \sigma_S/\sigma \cdot L_A \cdot (F_K/1^2) (1 - e^{-\sigma \cdot l}) \quad (13)$$

Für den Kontrast K_0 gilt, wenn $L_{K0} > L_{U0}$ ist

$$K_0 = (L_{K0} - L_{U0}) / L_{U0} \quad (14)$$

Mit den Gleichungen (12) und (13) ergibt sich der Kontrast K_{Br} für den Fall, daß die Luft mit Brandrauch angereichert ist zu:

$$K_{Br} = \frac{(L_{K0} - L_{U0}) \cdot e^{-\sigma \cdot l}}{L_{U0} e^{-\sigma \cdot l} + \frac{\sigma_S}{\sigma} \cdot L_A \cdot (1 - e^{-\sigma \cdot l})} \quad (15)$$

Vergleicht man den nach Gleichung (15) berechneten Kontrast K_{Br} bei vorhandenem Brandrauch mit dem Kontrast K_0 ohne Brandrauch (siehe Gleichung (14)), so erhält man folgende Beziehung:

$$K_{Br} = K_0 \frac{1}{1 + \frac{\sigma_S L_A \cdot (1 - e^{-\sigma \cdot l})}{L_{U0} e^{-\sigma \cdot l}}} = K_0 \cdot k \quad (16)$$

Für σ_S / σ wird in /5/ ein Wert zwischen 0,4 und 1 angegeben. Danach beträgt der Mittelwert für σ_S nach Gleichung (5)

$$\sigma_S = 0,7 \cdot \sigma$$

Die in Gleichung (16) auftretenden Werte L_A und L_{U0} ergeben sich aus der mittleren Beleuchtungsstärke der Flurbeleuchtung.

Wird die Beleuchtungsstärke des Rettungsweges nach VDE 0108 mit einem Wert von E_{VDE} in lx ermittelt, so beträgt

$$L_A = E_{VDE} / \pi \quad \text{cd/m}^2 \quad (17)$$

Die Leuchtdichte des Umfeldes L_{U0} ergibt sich ebenfalls aus der mittleren Beleuchtungsstärke, gemessen nach VDE 0108, unter Berücksichtigung des mittleren Reflexionsgrades der Wände des Rettungsweges bzw. des Bereiches der Wand, in dem das Kennzeichen angebracht wird zu:

$$L_{U0} = (E_{VDE} / \pi) \cdot \rho \quad \text{cd/m}^2 \quad (18)$$

Mit diesen Beziehungen ergibt sich der Wert k zu

$$k = \frac{1}{1 + \frac{0,7 \cdot (1 - e^{-\sigma \cdot l})}{\rho \cdot e^{-\sigma \cdot l}}} \quad (19)$$

Damit ist der Wert k , der die Kontrastverminderung durch den Brandrauch im Rettungsweg angibt, von der Konzentration und der Art des Brandrauches, dem Reflexionsgrad und der Sichtweglänge abhängig. Der Wert für den Extinktionskoeffizient σ ergibt sich aus dem Anteil des Brandrauches im Rettungsweg.

In der vorangegangenen Berechnung ist die Abnahme der Beleuchtungsstärke der Wände und des Kennzeichens durch den Brandrauchanteil in der Luft zwischen Beleuchtungsquelle und Kennzeichen

nicht mit berücksichtigt. Die Abnahme der Beleuchtungsstärke führt dazu, daß der Kontrast K_0 zwar erhalten bleibt, aber die Leuchtdichte des Umfeldes absinkt. Nach Bild 2 ergibt sich daraus eine längere Beobachtungsdauer, um das Kennzeichen richtig zu erkennen. Um diesen Nachteil aufzuheben, müssen die Kennzeichen vergrößert werden.

Der Grenzwert für die optische Dichte des Brandrauch-Luftgemisches, gekennzeichnet durch den Extinktionskoeffizienten σ , bis zu dem kein nennenswerten Behinderungen auftreten, beträgt nach /6/ für die Allgemeinheit 0,15 1/m. Für Personen, die an Brandrauch gewöhnt sind und die Örtlichkeiten kennen, liegt der Grenzwert bei 0,5 1/m.

Zur Abschätzung der Veränderung des Kontrastes durch Brandrauch in Rettungswegen wurde mit folgenden Daten eine Berechnung des Kontrastabminderungsfaktors k durchgeführt und in Bild 5 über der Sichtweglänge L aufgetragen.

Optische Dichte des Brandrauch-Luftgemisches im Rettungsweg, gekennzeichnet durch den Extinktionskoeffizienten,

$$\sigma = 0,15 \text{ 1/m und } 0,5 \text{ 1/m,}$$

mittlerer Reflexionsgrad $\rho = 0,25 \text{ und } 0,75$

Verhältnis $\sigma_S/\sigma = 0,7$

Der Kurvenverlauf in Bild 5 zeigt, daß insbesondere bei niedrigem Reflexionsgrad ρ und bei einer hohen Brandrauchkonzentration entsprechend einem Extinktionskoeffizienten von $\sigma = 0,5$ der Wert k und damit der Kontrast K_{Br} sehr stark absinken.

Diese Tatsache wirkt sich insbesondere bei nicht selbstleuchtenden Kennzeichen aus, bei denen der Kontrast nur durch das unterschiedliche Reflexionsvermögen und die Farbunterscheidung bedingt wird.

3.2.2 Farbunterscheidung

Bezüglich der Farbunterscheidung ist zu berücksichtigen, daß das Farbensehen nur bei Leuchtdichten über 1 cd/m^2 möglich ist. Bei Notbeleuchtung in Rettungswegen, für die z. Zt. nach DIN 5035 Teil 5 eine Beleuchtungsstärke von minimal 1 lx zulässig ist, woraus sich bei einem Reflexionsgrad von 50% eine Leuchtdichte von nur $0,16 \text{ cd/m}^2$ ergibt, ist das Farbensehen auch ohne Brandrauch in Rettungswegen stark eingeschränkt. Weiterhin ist bezüglich des Farbensehens zu beachten, daß nach /7/ 5% aller Menschen farbenfehlsichtig sind.

Innerhalb dieser Gruppe von Farbfehlsichtigen sind verschiedene Arten der Farbenfehlsichtigkeit zu unterscheiden. Es gibt dabei Personen, die nur Helligkeitsunterschiede wahrnehmen, bezeichnet als Monochromaten, und solche, die Farben nur mit 2 Spektralwertkurven unterscheiden, bezeichnet als Dichromaten. Personen mit dichromatischer Farbenfehlsichtigkeit können Farben nicht voneinander unterscheiden, die für den Farbnormalsichtigen verschieden sind, z. B. die Farben von Verkehrsampeln

3.2.3 Reizwirkung des Brandrauches

Neben der Eintrübung der Rettungswege durch eingedrungenen Brandrauch ist auch die Auswirkung des Brandrauches auf die Personen zu berücksichtigen. In /5/ sind Untersuchungen über den Einfluß von reizenden Brandrauch auf die Sehschärfe beschrieben. Die Versuche wurden an 12 Personen im Alter von 20 bis 30 Jahren mit einer Sehschärfe über $1,0$ durchgeführt. In einem 18 m^2 großen Raum wurden diese Personen einem reizenden Brandrauch ausgesetzt, der durch Verschwelen von Holz auf einer heißen Oberfläche erzeugt wurde. Den Personen wurde bei diesen Versuchen jeweils eine Brille mit leicht gelb getöntem Glas aufgesetzt.

Im ersten Fall handelte es sich um eine besonders dicht mit dem Gesicht abschließenden Brille, sodaß kein Brandrauch an die Augen

kommen konnte (im Folgenden bezeichnet: mit Augenschutz). Im zweiten Fall war die Brille seitlich offen, sodaß Brandrauch an die Augen kommen konnte (im Folgenden bezeichnet: ohne Augenschutz). Vor die Nase hatten sich die Personen in allen Fällen ein Handtuch gehalten. Mit dieser Art von Schutzmaßnahme werden nach /5/ sovieler Partikel des Brandrauches zurückgehalten, daß die eingeatmete Luft nur noch ca. 75 % der optischen Dichte des die Person umgebenden Brandrauches aufwies.

Die Sehschärfe der einzelnen Versuchspersonen wurde unter dem Einfluß des reizenden Brandrauches mit und ohne Augenschutz anhand von Landolt'schen Ringen, die in 4 m Entfernung vor der sitzenden Versuchsperson angebracht waren, in Abhängigkeit von der optischen Brandrauchdichte untersucht. Gleichzeitig wurde die Bewegung des Augenlides, bezeichnet als Blinzelrate, gemessen. Die Beleuchtungsstärke der Testtafel betrug 640 lx. Die Leuchtdichte der Testtafel betrug, von der Testperson aus gemessen, 150 cd/m^2 . Die Ergebnisse dieser Versuche nach /5/ sind in Bild 6 wiedergegeben. Sie zeigen, daß ab einem Extinktionskoeffizient von $0,1 \text{ 1/m}$ die Sehschärfe abnimmt. Ab einem Extinktionskoeffizient von $0,2 \text{ 1/m}$ ergibt sich etwa ein linearer Abfall der Sehschärfe mit steigendem Extinktionskoeffizienten. Bei Extinktionskoeffizienten über $0,2 \text{ 1/m}$ ist die Sehschärfe bei der Verwendung einer dichten Brille (mit Augenschutz) um ca. 15 % höher als ohne Augenschutz. Der reizende Anteil des Brandrauches macht sich durch eine Abschwächung der Sehschärfe infolge des verstärkten Austrittes von Tränenflüssigkeit bemerkbar, was zu der o. g. Differenz der Sehschärfe gegenüber den geschützten Augen (dicht anliegende Brille) führt.

Aus den Meßwerten des Bildes 6 ergeben sich weitere Einzelheiten. Bild 7 zeigt die relative Zunahme der Blinzelrate des Auges sowie die Abnahme der Sehschärfe zwischen dem ungeschützten Auge bezogen auf die Werte des geschützten Auges nach /5/. Die durch den reizenden Brandrauchanteil hervorgerufene relative Verminderung der Sehschärfe kann nach /5/ durch die Beziehung

$$s = 0,133 - 1.47 \lg \sigma \quad (20)$$

berechnet werden. Im Bild 8 ist dieser Zusammenhang nach /5/ dargestellt.

3.2.4 Spektrale Absorption

Der Brandrauch absorbiert das Licht in Abhängigkeit von der Wellenlänge mit unterschiedlichen Anteilen. Dies ergibt sich aus den in /8/ aufgeführten Versuchsergebnissen sowie aufgrund weiterer durchgeführter Messungen am gleichen Meßstand wie in /8/ beschrieben (siehe Bild 9).

Im Bilde 9 ist die in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes gemessene Absorption, dargestellt durch den Extinktionskoeffizienten, wiedergegeben. Bei extrem hoher Brandrauchkonzentration liegt die höchste Absorption des Lichtes, was einem hohen Extinktionskoeffizienten entspricht, bei einer Wellenlänge von ca. 500 nm. Die Extinktionskurve fällt nach beiden Seiten etwa symmetrisch ab (siehe Bild 9).

Bei niedrigeren Konzentrationen von Brandrauch in der Luft verschiebt sich das Maximum der Absorption zu einer Wellenlänge von ca. 450 nm, was der Farbe blau entspricht.

Die geringste Absorption, die auch einem niedrigen Extinktionskoeffizienten entspricht, ergab sich bei allen verbrannten Stoffen bei ca. 700 nm, was der Farbe rot entspricht. Die Werte steigen zu kurzwelligem Licht bis zum Maximum bei ca. 500 nm stetig an. Lediglich bei dem untersuchten Brandrauch von Kerzenflammen wurde bei ca. 650 nm ein Zwischenmaximum festgestellt.

Unter Berücksichtigung der spektralen Hellempfindlichkeit des Auges liegt aufgrund dieser Meßergebnisse der durch Brandrauch am

wenigsten abgeschwächt Wellenlängenbereich zwischen 500 nm, was der Farbe grün entspricht, und 600 nm, was der Farbe gelb entspricht.

3.3. Kriterien für die Art und Größe von Kennzeichen

Aufgrund der in den vorhergehenden Abschnitten betrachteten Einflußgrößen müssen an die Beschilderung zur Kennzeichnung von Rettungswegen bestimmte Anforderungen gestellt werden, um Personen im Notfall den richtigen Weg aus dem Gebäude zu weisen. Dabei kommt der Beschilderung auf dem Teilstück des Rettungsweges besondere Bedeutung zu, der mehrere Laufrichtungen zuläßt und innerhalb des Brandabschnittes liegt, in dem der Brand ausgebrochen ist bzw. in dem im Brandfall Brandrauch eindringen kann. In Wohn- und Bürogebäuden sowie Hotels sind die besonders gefährdeten Bereiche die Flure und ggf. die Großraumbüros. In diesen Bereichen muß auch unter den extremen Situationen einer Flucht das Kennzeichen deutlich erkannt werden. Dabei ist besonders zu berücksichtigen, daß im Gefahrenfall Personen z.T. irrational handeln und sich u. a. nur sehr flüchtig über die vorgegebene Fluchtrichtung orientieren. Wie im Abschnitt 2.1 beschrieben, steigt bei gegebenem Kontrast die erforderliche Kennzeichengröße stark an, wenn die Beobachtungsdauer sinkt. Aus diesem Grund erscheint es am dringendsten geboten, neben allen anderen Einflußgrößen die Kennzeichen so zu gestalten, daß auch ein flüchtiger Blick genügt, den richtigen Weg zu finden. Aus diesem Grund muß die Form und mit Einschränkung auch die Farbe so gewählt werden, daß keine Texte gelesen oder Zeichen gedeutet werden müssen, um den Sinn der Kennzeichen richtig zu verstehen. Türen, die ins Freie oder in sichere Bereiche führen, sollten dabei so auffällig wie möglich gestaltet sein und nicht nur durch ein über der Tür angeordnetes Kennzeichen markiert sein.

Bei der Auswahl und Anbringung der Kennzeichen sind die Aussagen nach Abschnitt 2.2.2, Blendung durch Leuchten für die Allgemeinbeleuchtung, sowie nach Abschnitt 3.2.1, Kontraständerungen durch Lichtstreuung an den Rauchpartikeln, zu beachten.

Ein weiterer Punkt, der bei der Auslegung der Beleuchtung zu berücksichtigen ist, ist die Auswahl der Lichtquelle. Die in DIN 4844 Teil 2, Ausgabe Nov. 1982, aufgeführten Farben beziehen sich auf die Normlichtart D 65 und die Rückstrahlwerte auf das Normlicht A. Bei der Beleuchtung von Rettungswegen durch Gasentladungslampen sowie durch die spektrale Absorption des Lichtes durch den Brandrauch ist eine Verfälschung der Farben möglich. Bei der Auswahl der Beleuchtungsquelle sowohl für die Allgemeinbeleuchtung als auch für die selbstleuchtenden Hinweiskennzeichen ist dies zu berücksichtigen.

4. DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE ZUR BEURTEILUNG DER SICHTBARKEIT

4.1 Versuchsaufbau

Zur Beurteilung der Sichtbarkeit von Kennzeichen in einem mit Brandrauch angereichertem Rettungsweg wurden Versuche in dem in Bild 10 dargestellten Versuchsraum 1 durchgeführt.

Untersucht wurde die Leuchtdichte bestimmter Stellen des Kennzeichens 2, das durch die Lampe 3 durchleuchtet wurde oder von der Lampe 4 beleuchtet wurde. Z.T. wurden auch beide Lampen gleichzeitig betrieben. Gemessen wurde die Leuchtdichte mit dem Leuchtdichtemeßgerät 5. Das Gerät wurde, soweit es die Symbolgröße des Kennzeichens erlaubte, mit einem Öffnungswinkel von 1 Minute betrieben. Bei schmäleren Schriftzeichen wurde mit einem Öffnungswinkel von 0,33 Minute gemessen.

Als Lichtquelle für das Auflicht sowie die Durchleuchtung wurden Glühlampen verschiedener Stärke sowie eine Leuchtstofflampe, Typ 2D, 16 W, eingesetzt.

Zum Durchleuchten der dafür vorgesehenen Kennzeichen wurden diese auf serienmäßig lieferbare Aufbauleuchten geklebt. Verwendet wurde eine rechteckige Aufbauleuchte, die mit einer 10 W starken Glühbirne betrieben wurde, sowie eine runde Aufbauleuchte, die

mit einer Leuchtstofflampe vom Typ 2D, 16 W, betrieben wurde.

Der Brandrauch in dem Versuchsraum 1 (Bild 10) wurde in Anlehnung an die in /5/ und /6/ durchgeführten Untersuchungen durch das Verschwelen von Holzstücken auf der regelbaren, elektrisch beheizten Platte 6 erzeugt. Durch eine regelbare Abzugsklappe 7 konnte zusätzlich der Frischluftvolumenstrom 8 in den Versuchsraum verändert und so die Brandrauchkonzentration zusätzlich beeinflußt werden.

Oberhalb der Verbindungslinie Aufbauleuchte - Leuchtdichtemeßgerät (siehe Bild 10) war die Meßstrecke 9 für die Bestimmung der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches angeordnet. Dafür wurde wie in den Untersuchungen /8/ ein Gerät der Fa. Maurer verwendet.

4.2 Messungen ohne Brandrauchanteil

4.2.1 Selbstleuchtende Kennzeichen

Auf die in Bild 11 und 12 gezeigten Aufbauleuchten wurden unterschiedliche Kennzeichen aufgeklebt und die Leuchtdichte an verschiedenen Stellen dieser Kennzeichen gemessen. Die in Bild 11 gezeigte Aufbauleuchte wurde nur mit einer Glühlampe von 10 W betrieben. Durch ergab sich eine sehr unterschiedliche Leuchtdichte der Fläche, auf der das Kennzeichen aufgebracht wird. Die Leuchtdichte liegt dabei zwischen 56 cd/m^2 in einer Ecke und 1012 cd/m^2 im Bereich der Glühwendel. Diese Werte wurden als Mittelwert eines Kreises von jeweils 18 mm Durchmesser gemessen. Bei einem Meßkreis von nur 6 mm Durchmesser lagen die Extremwerte mit $47,8 \text{ cd/m}^2$ und 1120 cd/m^2 noch weiter auseinander. Dementsprechend unterscheiden sich auch die Leuchtdichten an verschiedenen Stellen der auf dieser Fläche aufbrachten Kennzeichen.

Bei der Aufbauleuchte nach Bild 12 diente als Lichtquelle eine Leuchtstofflampe, deren Form mit in Bild 12 eingezeichnet ist.

Die Extremwerte betragen dabei für einen Meßkreis von 6 mm Durchmesser 830 cd/m^2 und 2540 cd/m^2 . Die unterschiedlichen Leuchtdichten an verschiedenen Punkten eines Kennzeichens aufgrund der ungleichmäßigen Beleuchtung zeigen die Bilder 13 und 14 für die Aufbauleuchte nach Bild 11 sowie die Bilder 15 und 16 für die Aufbauleuchte nach Bild 12.

4.2.2 Reflektierende Kennzeichen

Für verschiedene Kennzeichen wurden die durch Reflexion der Raumbelichtung (siehe Bild 10) auf den Kennzeichen hervorgerufene Leuchtdichte gemessen.

Zur Raumbelichtung wurden 2 unterschiedlich starke Glühlampen sowie die in der Wandaufbauleuchte nach Bild 12 verwendete Leuchtstofflampe eingesetzt. Die mittleren Beleuchtungsstärken der Kennzeichen betragen beim Einsatz der beiden Glühlampen 3 lx bzw. ca. 75 lx. Beim Einsatz der Leuchtstofflampe lag die mittlere Beleuchtungsstärke zwischen 76 lx und 78 lx.

Die Beleuchtungsstärke verschiedener Stellen eines Kennzeichens ist bei der hier vorliegenden Versuchsanordnung von deren Höhe abhängig. Zwischen dem unteren und oberen Rand eines 11 cm hohen Kennzeichens differierte die Beleuchtungsstärke und damit auch die Leuchtdichte um den Faktor 1,3.

Für die Farben grün, rot, schwarz und weiß ergeben sich folgende Leuchtdichten bei den verschiedenen Beleuchtungsstärken. Dabei sind für einen besseren Vergleich die mit der Leuchtstofflampe bei einer Beleuchtungsstärke von 76 lx bzw. 78 lx erhaltenen Leuchtdichten linear auf eine Beleuchtungsstärke von 75 lx umgerechnet worden.

Farbe		Glühlampe		Leuchtstofflampe
		3 lx	75 lx	75 lx
grün	cd/m ²	0,045	1,586	1,449
rot	cd/m ²	0,178	3,727	3,874
schwarz	cd/m ²	0,010	0,475	0,429
weiß	cd/m ²	0,415	10,200	10,405

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den Reflexionswerten bei der Beleuchtung mit einer Glühlampe und der bei diesen Untersuchungen verwendeten Leuchtstofflampe bezogen auf gleiche Beleuchtungsstärke ergeben sich aufgrund dieser Messungen nicht.

4.3 Messungen mit Brandrauch

Wie im Abschnitt 4.2 beschrieben, wurde auch hier die Leuchtdichte an verschiedenen Stellen unterschiedlicher Kennzeichen ermittelt. Bei diesen Messungen war jedoch die Luft im Versuchsraum mit unterschiedlichen Konzentrationen von Brandrauch angereichert. Die Brandrauchkonzentration im Versuchsraum wurde als Transmissionswert gemessen und unter Berücksichtigung der Lichtweglänge in den Extinktionskoeffizient umgerechnet. Im Folgenden werden alle gemessenen Leuchtdichtewerte sowie deren Veränderungen infolge des Brandrauchanteils im Versuchsraum auf den berechneten Extinktionskoeffizienten bezogen.

4.3.1 Selbstleuchtende Kennzeichen

Die Abhängigkeit der Leuchtdichte von selbstleuchtenden Kennzeichen von der Brandrauchkonzentration im Versuchsraum wird für 4 Kennzeichen, wovon jeweils zwei auf den beiden verschiedenen Aufbauleuchten angebracht waren, durch die Bilder 17 bis 19 wiedergegeben.

Im Bild 17 ist das Kennzeichen "EXIT", rote Schrift auf schwarzem Grund, auf der Aufbauleuchte nach Bild 11 aufgebracht. Die in

diesem Bild 17 über dem Extinktionskoeffizienten aufgetragenen Kurven 1 bis 6 entsprechen der Leuchtdichte an den angegebenen Stellen des Kennzeichens. Die Werte der Leuchtdichte sind entsprechend der unterschiedlichen Helligkeitsverteilung durch die einzelne Glühlampe, siehe Bild 11, bedingt.

Im Bild 18 sind die gemessenen Leuchtdichten in Abhängigkeit von der optischen Dichte des Brandrauches, dargestellt durch den Extinktionskoeffizienten σ , für das Piktogramm "Rettungsweg nach rechts", weiße Symbole auf grünem Grund, angegeben. Die Kurven 1 bis 4 in diesem Bild 18 entsprechen den Meßwerten an den angegebenen Stellen des Piktogrammes. Auch hierbei wird die unterschiedliche Helligkeitsverteilung der Aufbauleuchte deutlich. Bild 19 zeigt die gemessene Leuchtdichte in Abhängigkeit von der optischen Dichte des Brandrauches, angegeben durch den Extinktionskoeffizient σ , für das Hinweiszeichen "Feuerlöscheinrichtung", schwarzes F auf rotem Grund, angegeben. Das Bild 20 gibt die entsprechenden Kurven für das Piktogramm "Rettungsweg", weißes Symbol auf grünem Grund, wieder. Die einzelnen Kurven entsprechen den Meßwerten an den angegebenen Stellen der Kennzeichen.

In allen in den Bildern 17 bis 20 aufgeführten Beispielen konnten mit Ausnahme der an schwarzen Stellen der Kennzeichen erhaltenen Leuchtdichten die Meßergebnisse mit großer Genauigkeit durch eine Potenzfunktion mit negativem Exponenten der Form

$$y = a \cdot e^{-bx} \quad (21)$$

approximiert werden. Bei den an den schwarzen Stellen gemessenen Leuchtdichten wurde mit steigender optischer Dichte des Brandrauch-Luftgemisches, was einem steigenden Extinktionskoeffizienten entspricht, ein Maximum ermittelt bzw. ein kontinuierlicher Anstieg der Leuchtdichte gemessen. Dieser Verlauf ist nur in den in einem anderen Maßstab gezeichneten Bildern 21 und 22

für die schwarzen Stellen der Kennzeichen "EXIT" (siehe Bild 17, Kurven 5 und 6) und "Feuerlöscheinrichtung" (siehe Bild 19, Kurve 1) zu erkennen.

Die mit der Gleichung (21) berechneten Kurven haben nur bis zu einem Extinktionskoeffizienten von ca. 2 l/m Gültigkeit, da nur bis zu diesem Extinktionskoeffizienten (Dichte des Brandrauches) Meßwerte vorliegen.

Bei der Berechnung der Leuchtdichtedifferenz zwischen zwei Farben mit Hilfe der Gleichung (21) ist zu beachten, daß die Leuchtdichte dunkler Farben mit zunehmendem Extinktionskoeffizienten scheinbar ebenfalls ansteigt (z.B Bild 23). Die ist jedoch auf das an den Rauchpartikeln reflektierte Licht zurückzuführen. Die berechneten Leuchtdichtedifferenzen gelten daher, von steigenden Extinktionskoeffizienten ausgehend, nur bis zur Leuchtdichtedifferenz null, d. h. bis zum Schnittpunkt der Kurven der Leuchtdichte der beiden Farben wie z. B. im Bild 23.

In den Bildern, in denen Meßwerte für die Leuchtdichte dargestellt werden, sind die einzelnen Kurven nur bis zu dem Extinktionskoeffizienten stark ausgezogen, bis zu dem Meßwerte vorliegen.

4.3.2 Reflektierende Kennzeichen

Ähnlich den Messungen mit selbstleuchtenden Kennzeichen wurden die Untersuchungen der Leuchtdichte an reflektierenden Kennzeichen durchgeführt. Die auf den Aufbauleuchten angebrachten Kennzeichen wurden nur durch eine an der Stelle 4 im Bild 10 angebrachten Lampe beleuchtet. Die durch Reflexion an verschiedenen Stellen der Kennzeichen hervorgerufene Leuchtdichte wurde gemessen.

Als Beispiele für alle durchgeführten Messungen werden in den Bildern 23 und 24 die in Abhängigkeit vom Extinktionskoeffizienten erhaltenen Leuchtdichten für die in 4.2.1 genannten Kennzeichen bei verschiedenen Beleuchtungsarten dargestellt. Da

die Beleuchtungsstärke verschiedener Stellen auf einen Kennzeichen bei dieser Art der Beleuchtung nur wenig voneinander abweichen, wird in den Bildern 23 und 24 immer nur für einen Punkt einer Farbe die Leuchtdichte dargestellt.

Im Bild 23 sind die an den angegebenen Stellen des Kennzeichens "Feuerlöscheinrichtung" (schwarze Schrift auf rotem Grund) und dem Piktogramm "Rettungsweg" (weißes Symbol auf grünem Grund) bei einer Beleuchtungsstärke des Kennzeichens von 3 lx durch eine Glühlampe in Abhängigkeit von dem Extinktionskoeffizienten gemessenen Leuchtdichten aufgetragen.

Die an den gleichen Stellen der o.g. Kennzeichen in Abhängigkeit von dem Extinktionskoeffizienten gemessenen Leuchtdichten bei Beleuchtungsstärken von jeweils 75 lx durch eine Glühbirne bzw. durch die Leuchtstofflampe Typ 2D sind in Bild 24 dargestellt. Dabei wurden Leuchtdichten, die bei einer von 75 lx abweichenden Beleuchtungsstärke gemessen wurde, linear auf den Wert von 75 lx umgerechnet.

In den Bildern 23 und 24 sind die Meßwerte für die Kurven 1 und 2 (Bild 23) und die Kurven 1L,1G und 2L,2G (Bild 24) durch jeweils eine Gerade approximiert worden, da mit dieser Anpassung eine höhere Genauigkeit erreicht wurde als mit der sonst zur Kurvenanpassung verwendeten Exponentialfunktion (Gleichung (21)).

5. VERSUCHSERGEBNISSE

Die in den Bildern 17 bis 24 dargestellte Abnahme der Leuchtdichte mit steigendem Extinktionskoeffizienten (steigende optische Dichte des Brandrauches) führt auch zu einer Abnahme der Leuchtdichtedifferenz bzw. des Kontrastes zwischen Symbol bzw. der Schrift eines Kennzeichens und dem Umfeld des Symboles bzw. der Schrift.

Um die Versuchsergebnisse mit den theoretischen Berechnungen in Bild 5 vergleichen zu können, wurde für verschiedene Kennzeichen bei unterschiedlichen Beleuchtungsverhältnissen der Kontrastabminderungsfaktor k nach folgender Gleichung berechnet.

$$k = K_{Br} / K_0 \quad (22)$$

In der Tabelle ist der jeweilige Kontrast ohne Brandraucheinfluß sowie die berechneten Kontrastabminderungsfaktoren k aufgetragen. Sie gelten für eine Sichtweglänge von 1,03 m bzw. 1,00 m entsprechen den Abmessungen im Versuchsraum und der verwendeten Aufbauleuchte (siehe Bild 10) und wurden für eine optisch Dichte eines Brandrauch-Luftgemisches entsprechend einem Extinktionskoeffizienten von $\sigma = 0,15$ 1/m und $\sigma = 0,5$ 1/m ermittelt.

Die in der Tabelle aufgeführten k -Werte geben an, wie stark der Brandrauchanteil in der Raumluft den Kontrast vorhandener Kennzeichen vermindert. Je weiter der Zahlenwert k von 1 abweicht, desto größer ist der Einfluß des Brandrauches auf den Kontrast.

Die geringste Beeinflussung des vorhandenen Kontrastes durch Brandrauch ergibt sich für das selbstleuchtende Kennzeichen K_1 (siehe Bild 14) auf der Aufbauleuchte nach Bild 11.

Bei dem reflektierenden Kennzeichen K_2 (siehe Bild 16) wird die Beeinflussung des Kontrastes durch den Brandrauch größer, wenn die Beleuchtungsstärke von 3 lx auf 75 lx erhöht wird. Ausschlaggebend dafür ist der an den Rauchpartikeln in alle Richtungen reflektierte Anteil des Lichtes der Allgemeinbeleuchtung. Dies wird besonders bei der höheren Brandrauchdichte (Extinktionskoeffizient $\sigma = 0,5$) deutlich. Bei der Beleuchtung des Kennzeichens K_2 durch eine Leuchtstofflampe ergeben sich etwa die gleichen Kontrastabschwächungsfaktoren wie bei dem Glühlampenlicht mit der Beleuchtungsstärke von 75 lx.

Für das reflektierende Kennzeichen K3 nimmt im Gegensatz zum Kennzeichen K2 der Einfluß des Brandrauches auf den Kontrast mit steigender Beleuchtungsstärke ab. Bei der Verwendung der Leuchtstofflampe als Beleuchtungsquelle ist eine weitere Verbesserung des Kontrastes bei gleichem Extinktionskoeffizienten (gleicher optischer Dichte des Brandrauches) zu verzeichnen. Diese gegenüber dem Kennzeichen K2 gegenläufige Tendenz ist auf die unterschiedlichen Farben der Kennzeichen zurückzuführen. Das durch die Rauchpartikel hervorgerufene Streulicht beeinflusst den Kontrast zwischen den Farben rot und schwarz des Kennzeichens K3 weniger als den Kontrast zwischen der Farbe grün und weiß des Kennzeichens K2.

Die Abhängigkeit des Kontrastabminderungsfaktor von der Sichtweglänge kann aufgrund der hier durchgeführten Versuche nicht angegeben werden, da die Leuchtdichte nur bei einem Abstand zum Kennzeichen gemessen wurde. Um jedoch die Tendenz der wahrscheinlichen Abhängigkeit aufzuzeigen, wurden die für die Sichtweglängen $l = 1,03$ m und $l = 1,00$ m erhaltenen Werte der Tabelle zusammen mit den entsprechenden Kurven aus Bild 5 in ein gemeinsames Bild eingezeichnet. Im Bild 25 sind zu den theoretischen Kurven für hohe (Kurve 1) und niedrige (Kurve 2) Reflexionswerte für eine optische Dichte eines Brandrauch-Luftgemisches mit einem Extinktionskoeffizienten von $\sigma = 0,15$ 1/m die entsprechenden Werte aus der Tabelle, bezeichnet mit der in der Tabelle angegebenen lfd. Nr., mit eingezeichnet. Die Abhängigkeit der Einzelwerte der Sichtweglänge l kann jetzt abgeschätzt werden, da mit einer ähnlichen Abhängigkeit wie bei den theoretischen Kurven zu rechnen ist. Zum Vergleich sind in das Bild 25, dessen Kurven nur für reflektierende Kennzeichen gelten, auch die Werte der lfd. Nr. 1, 2, 3 und 4 für die selbstleuchtenden Kennzeichen K1, K5, K2 und K3 mit eingezeichnet.

Im Bild 26 sind die Kurven nach Bild 5 sowie die Kontrastabminderungsfaktoren der Tabelle für eine optische Dichte eines Brandrauch-Luftgemisches von $\sigma = 0,5$ 1/m zusammen dargestellt.

Die Lage der in die Bilder 25 und 26 eingezeichneten Kontrastabminderungsfaktoren ergeben im Vergleich mit den theoretischen Kurven folgende Aussage:

Die k-Werte für die reflektierenden Kennzeichen mit den Farben weiß und grün liegen bei beiden optischen Brandrauchdichten zwischen den theoretischen Kurven für hohen und niedrigen Reflexionsgrad bei gleicher optischer Brandrauchdichte. Die reflektierenden Kennzeichen mit den Farben rot und schwarz liegen z. T. erheblich unter den Kurven. Auch die selbstleuchtenden Kennzeichen mit den Farben rot und schwarz liegen immer niedriger als die Kennzeichen mit den Farben weiß und grün. Bei der Bewertung des k-Wertes von selbstleuchtenden Kennzeichen fällt auf, daß bei der höheren Leuchtdichte der Aufbauleuchte nach Bild 12 der Kontrast infolge des Brandrauchanteils wesentlich stärker abnimmt als bei der geringen Leuchtdichte der Aufbauleuchte nach Bild 11. Für den tatsächlichen Kontrast ist jedoch das Produkt aus dem Kontrast K_0 multipliziert mit dem Kontrastabminderungsfaktor k maßgebend. Unter diesem Aspekt zeigt sich, daß die Farben rot und schwarz für selbstleuchtende Kennzeichen bei den in der Tabelle aufgeführten Werten für die optisch Brandrauchdichte von 0,15 l/m und 0,5 l/m höhere Werte ergeben als für die Farben weiß und grün. Bei den reflektierenden Kennzeichen trifft dies nicht zu. Für diese Kennzeichen ergeben die Farben weiß und grün in den vergleichbaren Fällen immer den höheren Kontrast.

6. ERGEBNISSE DIESER UNTERSUCHUNGEN

Die hier durchgeführten Untersuchungen führen zu dem Ergebnis, daß die z.Zt. zulässige Beleuchtungsstärke von 1 lx für die Notbeleuchtung auch ohne den Einfluß von Brandrauch in den Rettungswegen zur raschen Erkennung von reflektierenden Hinweisschildern zu gering ist. Diese geringe Beleuchtungsstärke ist insbesondere für ältere Personen eine starke Behinderung. Durch in Rettungswege eingedringenen Brandrauch wird die Erkennbarkeit von Hinweisschildern durch mehrere Faktoren ganz

erheblich verschlechtert. Hierbei können insbesondere hohe Beleuchtungsstärken der Rettungswege zu Problemen bei der Erkennung von Hinweisschildern führen, da das Licht der Allgemeinbeleuchtung an den Rauchpartikeln reflektiert wird. Durch dieses Streulicht kann die Leuchtdichtedifferenz zwischen dem Symbol eines Kennzeichens und dem Umfeld vollständig aufgehoben werden.

Zur Verbesserung der Kennzeichnung von Rettungswegen ist aufgrund der bis jetzt durchgeführten Untersuchungen festzustellen, daß Hinweisschilder möglichst groß sein müssen, daß durch ein einfaches Symbol die Aussage des Kennzeichens erkannt wird und das sich auch bei einer Verschlechterung der Kontrastverhältnisse das ganze Kennzeichen noch erkennbar ist. Daraus folgt z. B., das selbstleuchtende Kennzeichen möglichst gleichmäßig ausgeleuchtet sein müssen. Reflektierende Kennzeichen sollten aufgrund der starken Beeinflussung durch Streulicht nur bei angepaßter Allgemeinbeleuchtung verwendet werden.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Aufgrund von Literaturstudien wurden die Einflußgrößen für das Erkennen von Kennzeichen unter normalen Bedingungen sowie unter der Einwirkung unterschiedlich hoher Brandrauchkonzentrationen ausgewertet. Dabei hat sich u.a. ergeben, daß neben der Leuchtdichte und dem Leuchtdichteunterschied von Kennzeichen auch die Beobachtungszeit im Normalfall einen wesentlichen Einfluß auf die erforderliche Größe von Kennzeichen hat. Zu beachten sind dabei auch die mit zunehmendem Alter erforderlichen höheren Anforderungen an die Leuchtdichte von Kennzeichen. Ist Brandrauch in den Rettungswegen vorhanden, so wird die Leuchtdichtedifferenz zwischen dem Symbol bzw. der Schrift eines Kennzeichens und dem Umfeld infolge der Absorption sowie durch den Streulichtanteil wesentlich verringert bzw. vollständig aufgehoben. Dazu kommt bei reizenden Brandrauchanteilen noch eine Verschlechterung des Sehvermögens des Auges infolge vermehrter Tränenbildung sowie

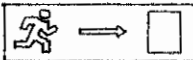


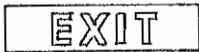
u.U. Nervosität, die zu noch kürzeren Beobachtungszeiten der Hinweisschilder führt. Durch Versuche mit verschiedenen Kennzeichen wurden die durch den Brandrauch hervorgerufen Einflüsse auf die Erkennbarkeit von Kennzeichen untersucht und mit den theoretischen Werten verglichen. Aufgrund dieser Untersuchungen wurden erste Hinweise zur Verbesserung der Kennzeichnung von Rettungswegen gegeben.

8. LITERATUR

- /1/ Blume, G.: Atemschutzgeräte zur Selbstrettung bei Bränden
Staub Reinhaltung der Luft
Band 46 (1986), Nr. 12, S. 530-533
- /2/ Adrian, W.: Grenzen und Irrtümer unseres Sehvermögens bei künstlicher Beleuchtung als Unfallursache
Moderne Unfallverhütung Heft 20, S. 79-84
Essen, Verlag Vulkan 1976
- /3/ Juschinski, W. und Bauer, H.D.: Untersuchung über die Festlegung der erforderlichen Beleuchtungsstärke der Sicherheitsbeleuchtung zur Evakuierung von Arbeitsstätten (Panikbeleuchtung)
Forschungsbericht Nr.66
Humanisierung des Arbeitslebens
Erstellt im Auftrag des Bundesministers für Arbeit und Sozialordnung
- /4/ Muster für Richtlinien über die bauaufsichtliche Behandlung von Hochhäusern -
Fassung Februar 1979 -
Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU
- /5/ Jin, T. und Yamada, T.: Irritating effects of fire smoke on visibility
Fire Science and Technology
Vol. 5 (1985) No. 1, S. 79-90

- /6/ Jin, T.: Studies of emotional instability in smoke
from fires
Journal of Fire and Flammability
Vol. 12 (1981) April, S. 130-142
- /7/ Richter, M.: Einführung in die Farbmeterik
2. Auflage, Berlin, New York
Verlag Walter de Gruyter, 1981
- /8/ John, R.: Ermittlung der erforderlichen Luftvolumen-
ströme zur Verdünnung von Rauchgasen auf
ein die Gesundheit und Sichtbarkeit in
Rettungswegen gewährleistendes Maß
Teil 2: Optische Brandrauchdichte
Forschungsbericht Nr. 50, Dezember 1983
Arbeitsgemeinschaft der Innenministerien
der Bundesländer, Arbeitskreis V - Unter-
ausschuß "Feuerwehrangelegenheiten"

Tabelle: Durch Messungen ermittelter Kontrast K und Kontrastabminderungsfaktor k für eine Sichtweglänge von 1,03 m bzw. 1,00 m

Art der Kennzeichen	K1	
	K2	
	K3	
	K5	

Kennzeichen /lfd.Nr.	Farben	Kennzeichen Art/Beleuchtst.	Lichtquelle	Kontrast K ₀	Kontrastabmindf. k bei	
					$\sigma=0,15$	$\sigma=0,5$
für l = 1,03 m						
K1 1	weiß/grün	selbstl.	Glühl. 3 W	1,4 ¹	0,98	0,93
K5 2	rot/schw.	selbstl.	Glühl. 3 W	95,2 ²	0,77	0,44
K2 3	weiß/grün	selbstl.	Leuchtstoffl.	6,6	0,89	0,67
K3 4	rot/schw.	selbstl.	Leuchtstoffl.	44,2	0,41	0,14
für l = 1,00 m						
K2 5	weiß/grün	reflkt. 3 lx	Glühlampe	9,2	0,83	0,55
K2 6	weiß/grün	reflkt. 75 lx	Glühlampe	7,5	0,72	0,40
K2 7	weiß/grün	reflkt. 76 lx	Leuchtstoffl.	7,4	0,83	0,55
K3 8	rot/schw.	reflkt. 3 lx	Glühlampe	12,0	0,52	0,18
K3 9	rot/schw.	reflkt. 75 lx	Glühlampe	4,6	0,58	0,23
K3 10	rot/schw.	reflkt. 78 lx	Leuchtstoffl.	4,9	0,68	0,34

¹ Mittelwert, Einzelwerte 1,16 und 1,57

² Mittelwert, Einzelwerte zwischen 41 und 149

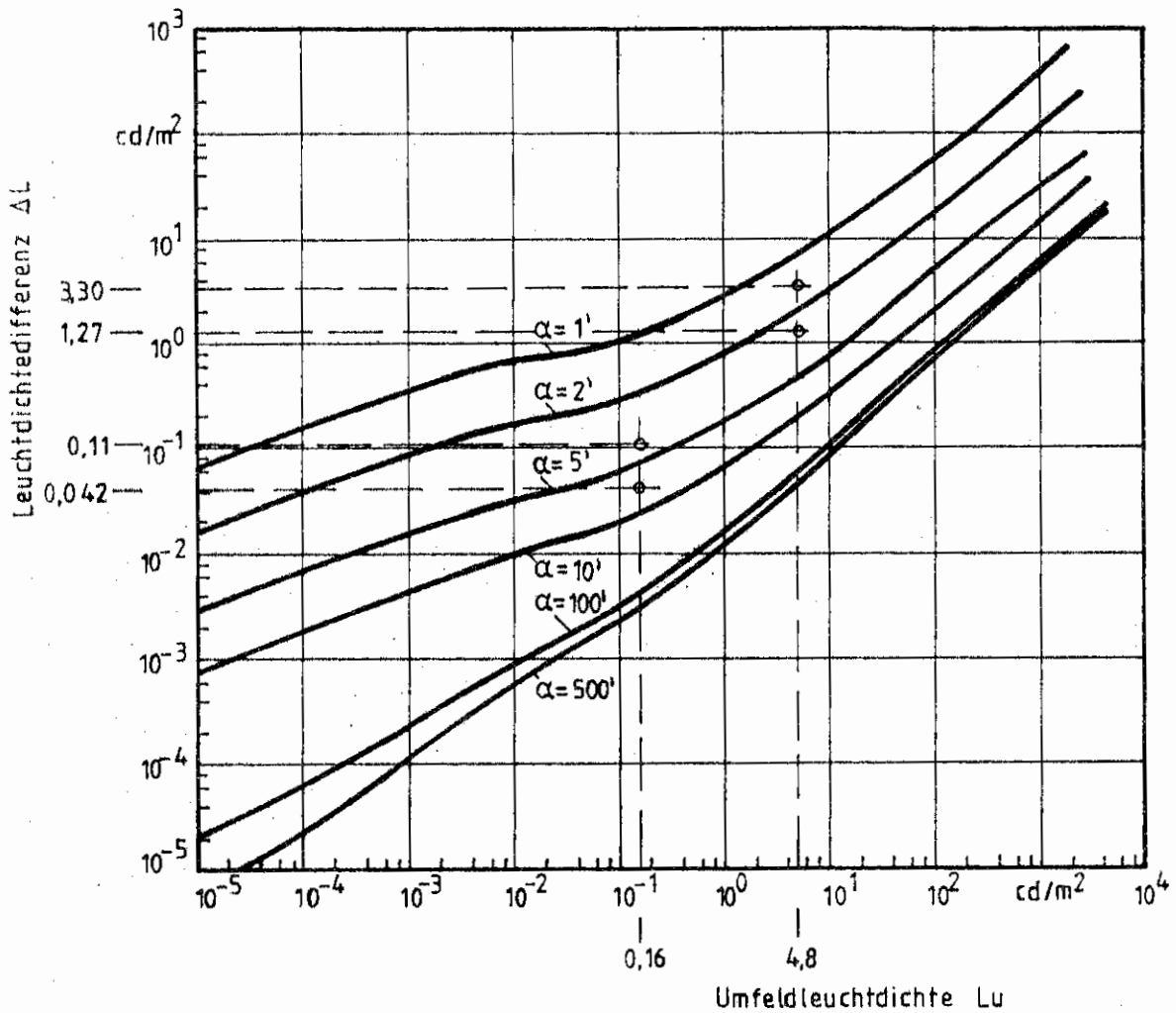


Bild 1: Wahrnehmungsvermögen für Leuchtdichteunterschiede des menschlichen Auges in Abhängigkeit von der Umfeldleuchtdichte für verschieden große runde Sehobjekte nach /2/ und eine Darbietungsdauer des Objektes von mehr als 1 s.

α = Sehwinkel in Minuten

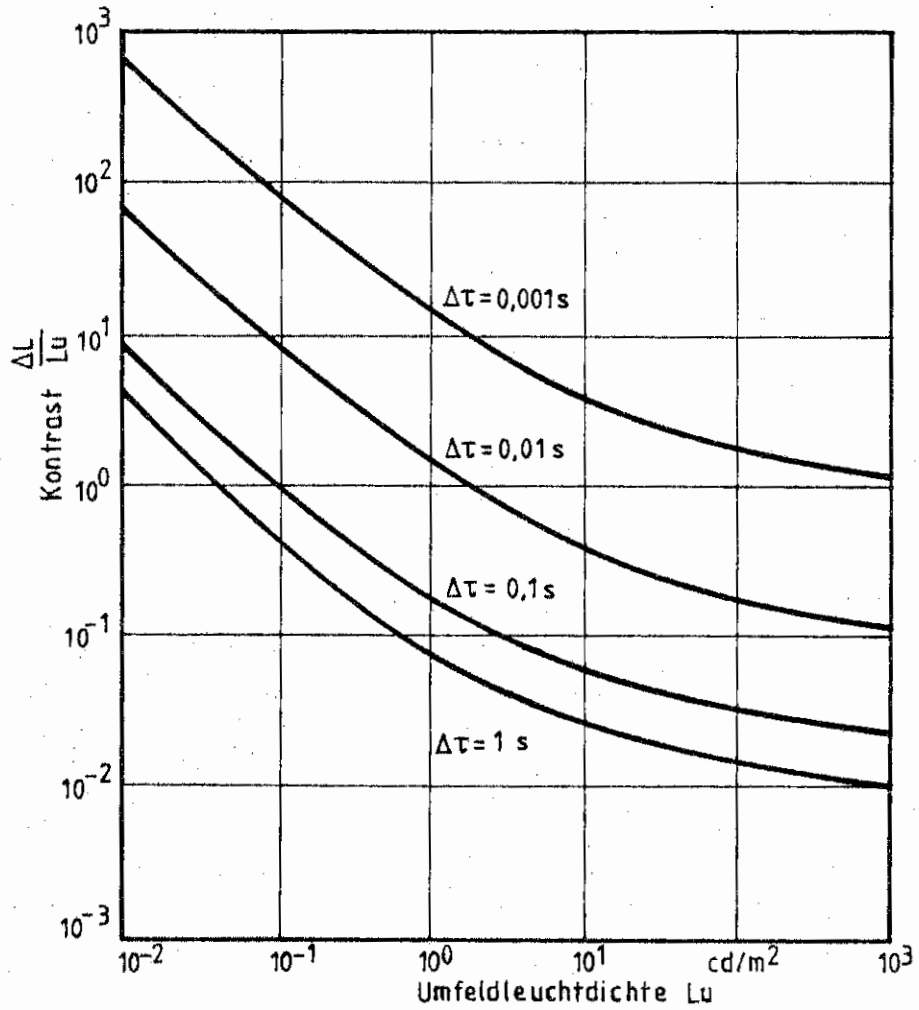


Bild 2: Zusammenhang zwischen Schwellenkontrast der Sehzeichen und des Umfeldleuchtdichte für verschiedene Darbietungszeiten $\Delta\tau$ eines 4 Minuten großen Sehobjektes nach /2/.

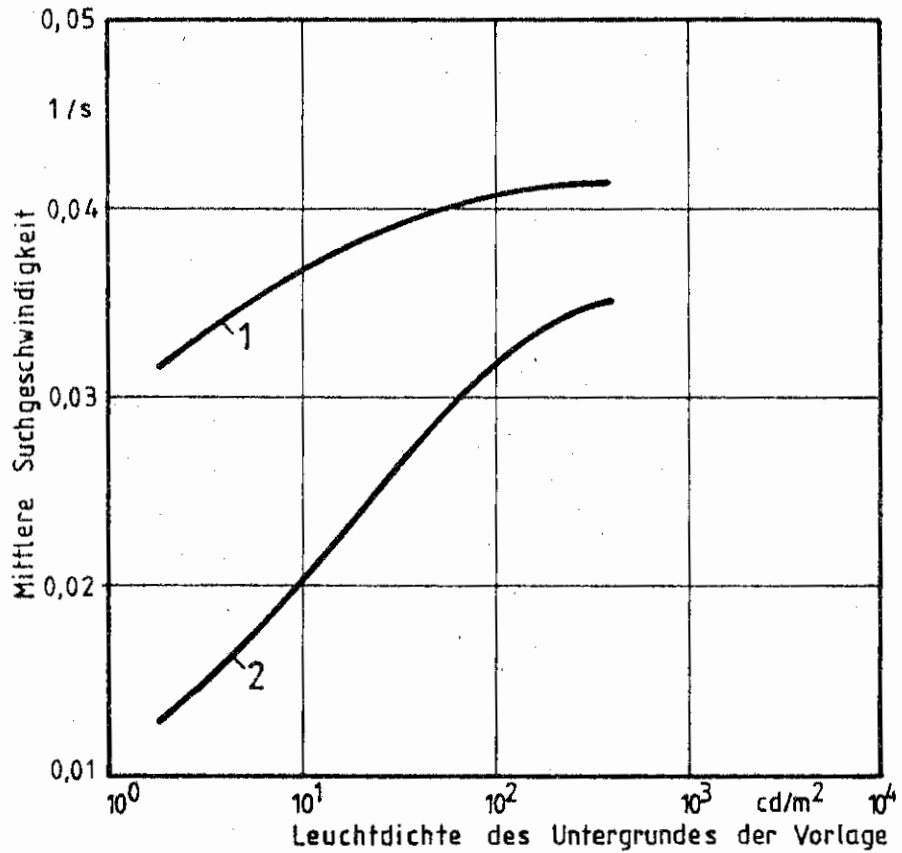


Bild 3: Mittlere Suchgeschwindigkeit pro Zahl bei einer Suchaufgabe für schwarze Zahlen auf grauem Untergrund in Abhängigkeit von der Leuchtdichte des Untergrundes nach /2/.

Kritische Detailgröße 4 Minuten
Kontrast $K = 0,6$

- 1 für Personengruppe unter 50 Jahre
- 2 für Personengruppe über 50 Jahre

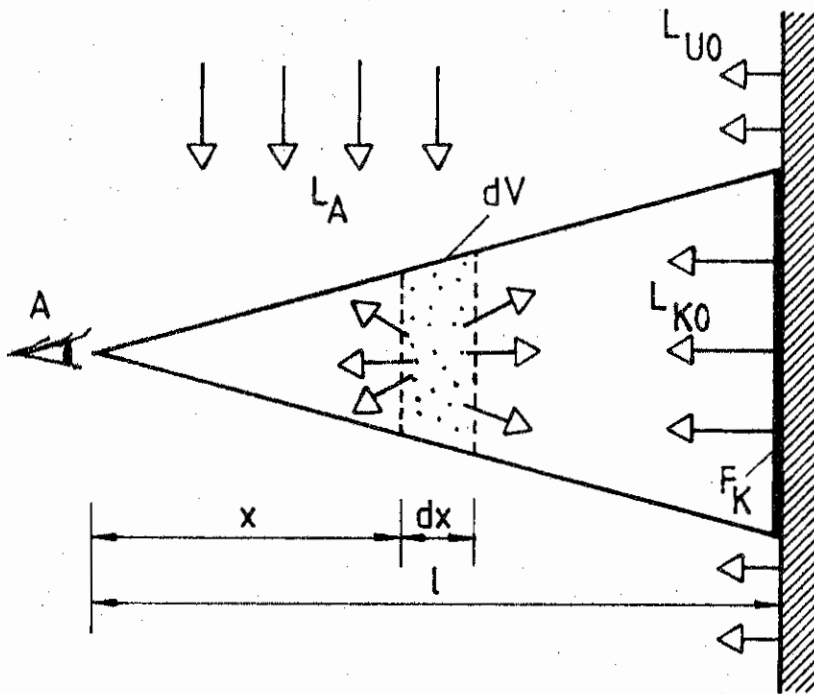


Bild 4: Einflußgrößen bei der Beobachtung eines Kennzeichens durch eine mit Rauch angereicherte Luft nach /5/.

- | | |
|-----------------|---|
| A | Auge des Beobachters |
| F _K | Fläche des Kennzeichens |
| l | Sichtweglänge |
| L _A | Leuchtdichte für das Volumenelement dV durch die Allgemeinbeleuchtung |
| L _{KO} | Leuchtdichte des Kennzeichens ohne Rauch |
| L _{UO} | Leuchtdichte des Umfeldes ohne Rauch |

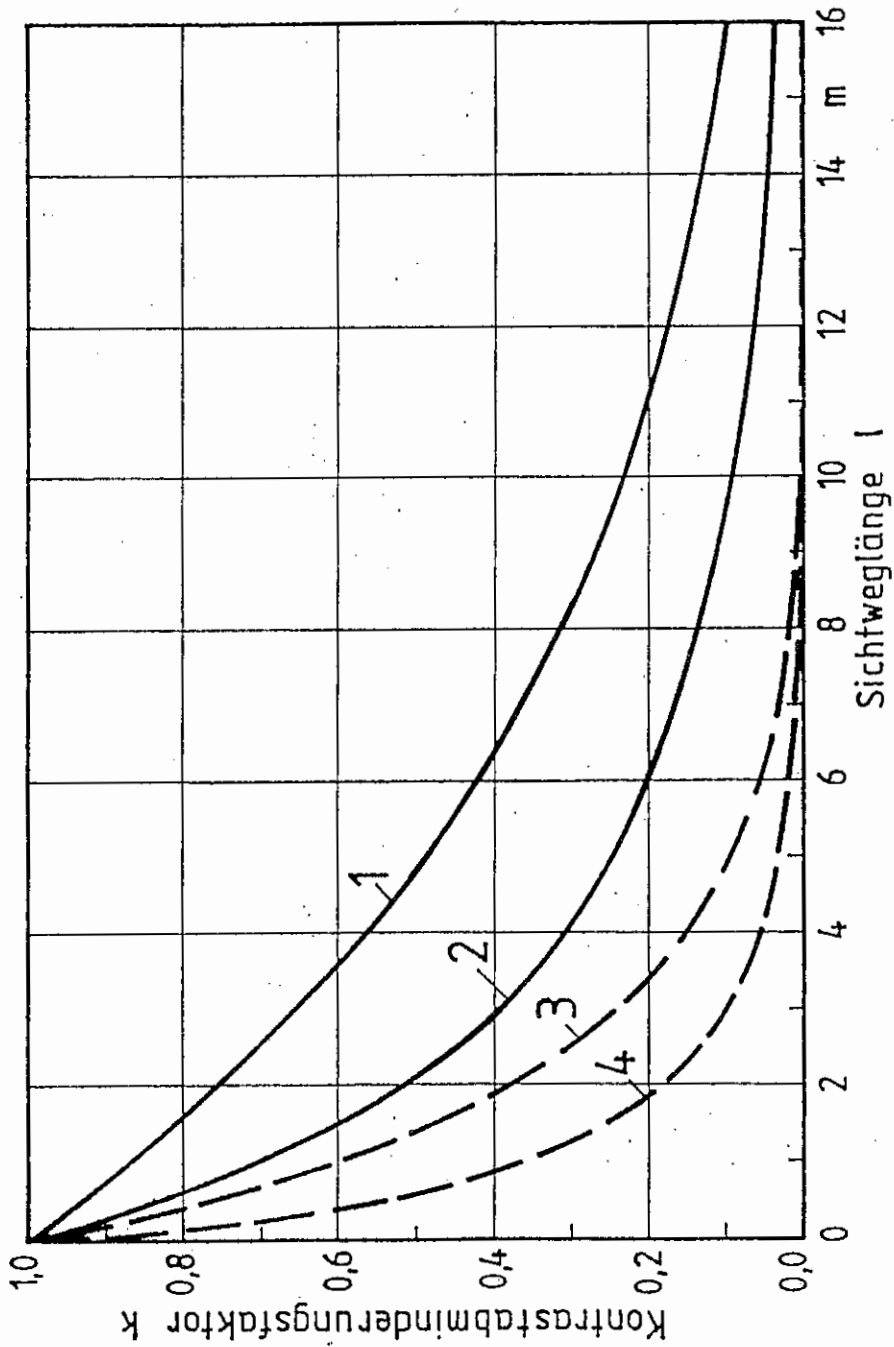


Bild 5: Abhängigkeit des Kontrastabminderungsfaktors k von der Sichtweite l

- | | | |
|---|--|------------------------------|
| 1 | Extinktionskoeffizient $\sigma = 0,15$ | Reflexionsgrad $\rho = 0,25$ |
| 2 | Extinktionskoeffizient $\sigma = 0,15$ | Reflexionsgrad $\rho = 0,75$ |
| 3 | Extinktionskoeffizient $\sigma = 0,5$ | Reflexionsgrad $\rho = 0,25$ |
| 4 | Extinktionskoeffizient $\sigma = 0,5$ | Reflexionsgrad $\rho = 0,75$ |

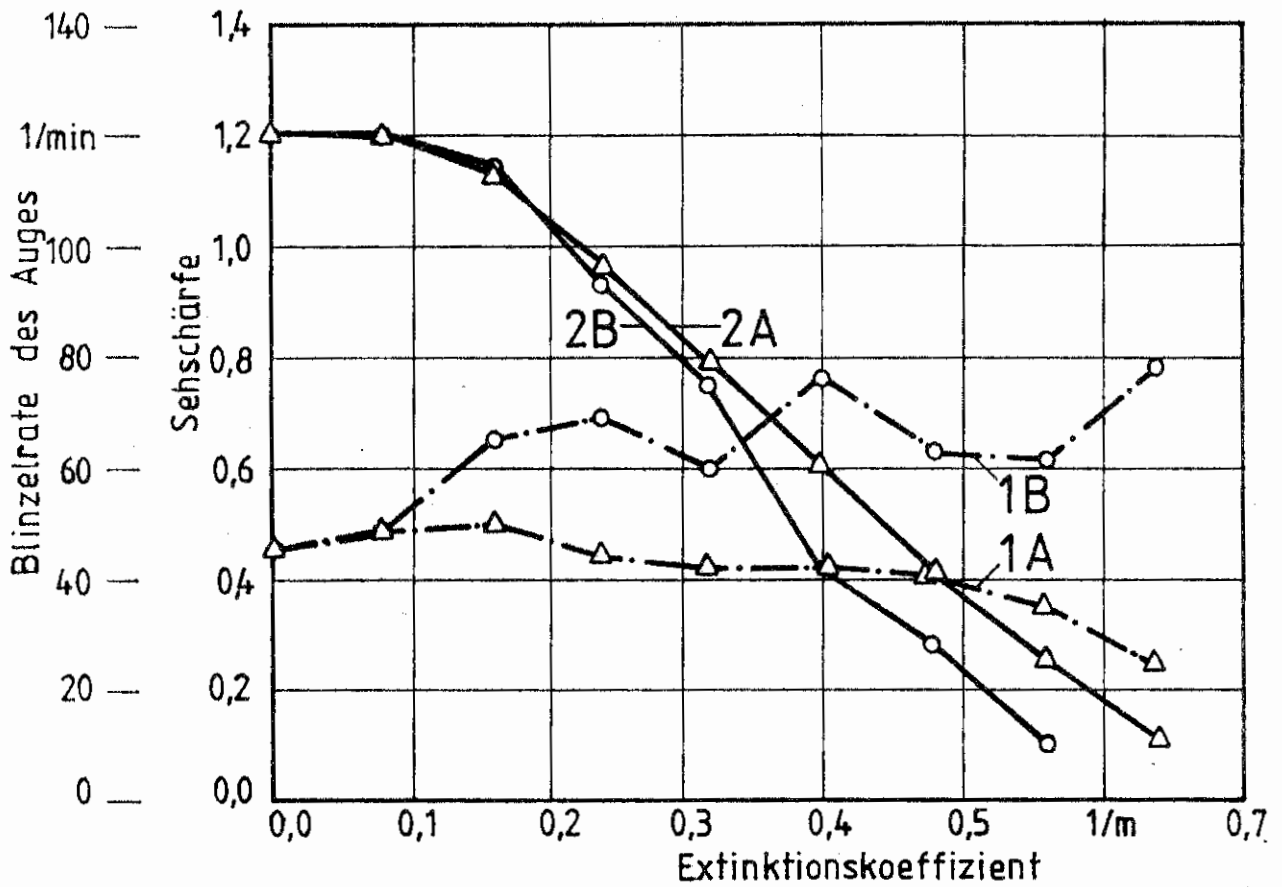


Bild 6: Blinzelrate und Sehschärfe des Auges in Abhängigkeit von der optischen Dichte von reizendem Rauch in der Luft nach /5/.

- 1 Blinzelrate der Augen
- 2 Sehschärfe

- A mit dicht anliegender Brille (mit Augenschutz)
- B mit seitlich offener Brille (ohne Augenschutz)

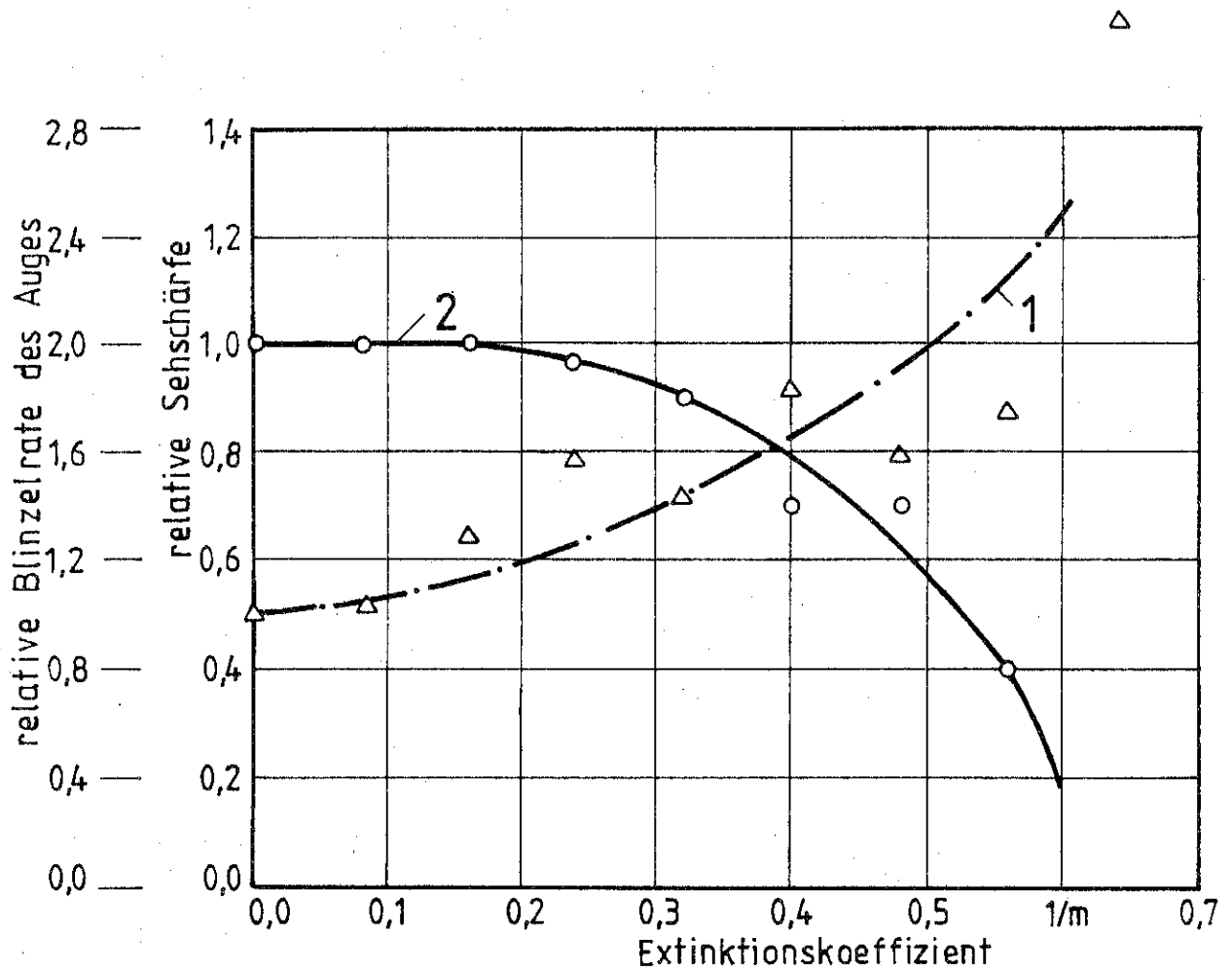


Bild 7: Relative Veränderung der Blinzelrate und der Sehschärfe der ungeschützten Augen gegenüber den geschützten Augen in Abhängigkeit von der optischen Dichte von reizendem Rauch in der Luft nach /5/.

- 1 Blinzelrate
- 2 Sehschärfe

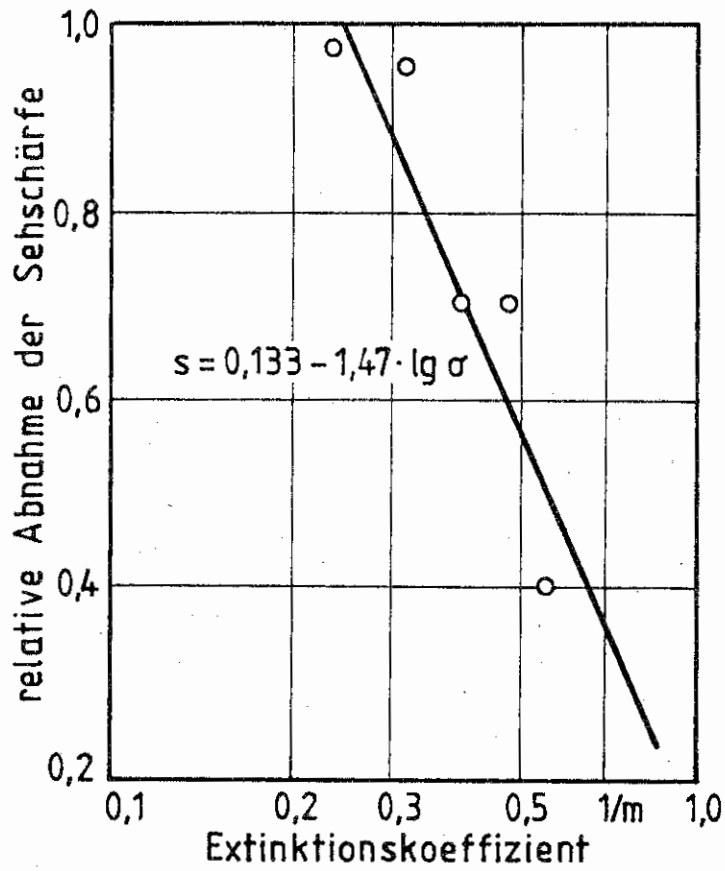
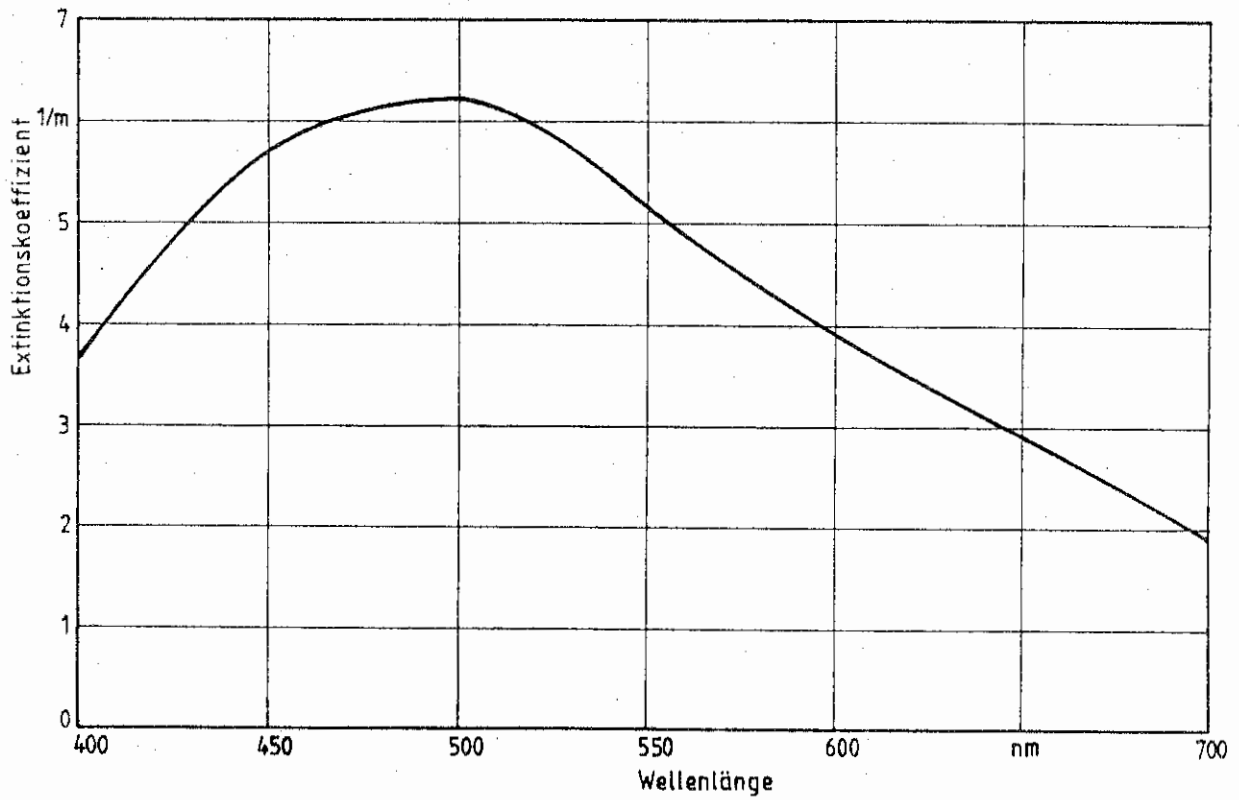
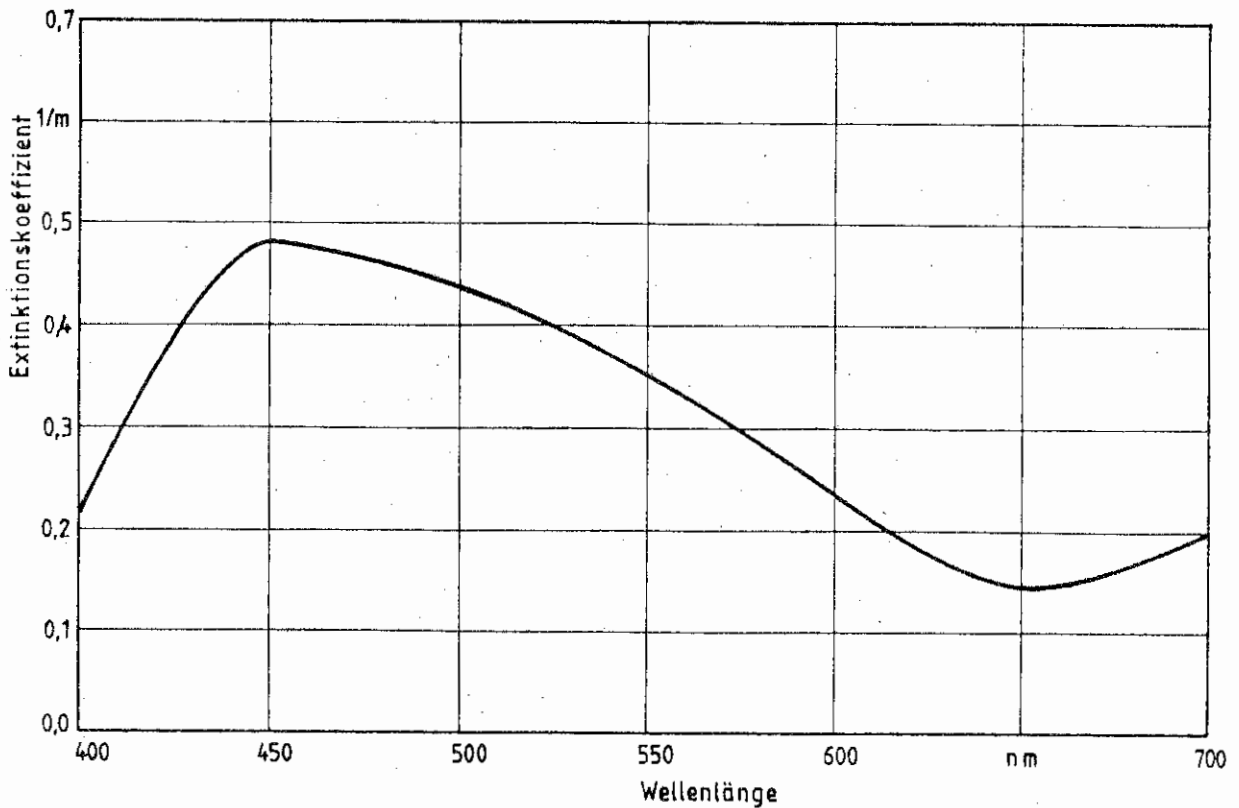


Bild 8: Abhängigkeit der relativen Sehschärfe s durch reizenden Rauch in der Luft nach /5/.



Brandrauch aus der Verbrennung von Spanplatten



Brandrauch aus der Verbrennung von Holz und Polystyrol

Bild 9: Abhängigkeit der Absorption von der Wellenlänge des Lichtes und der Brandrauchkonzentration in der Luft.

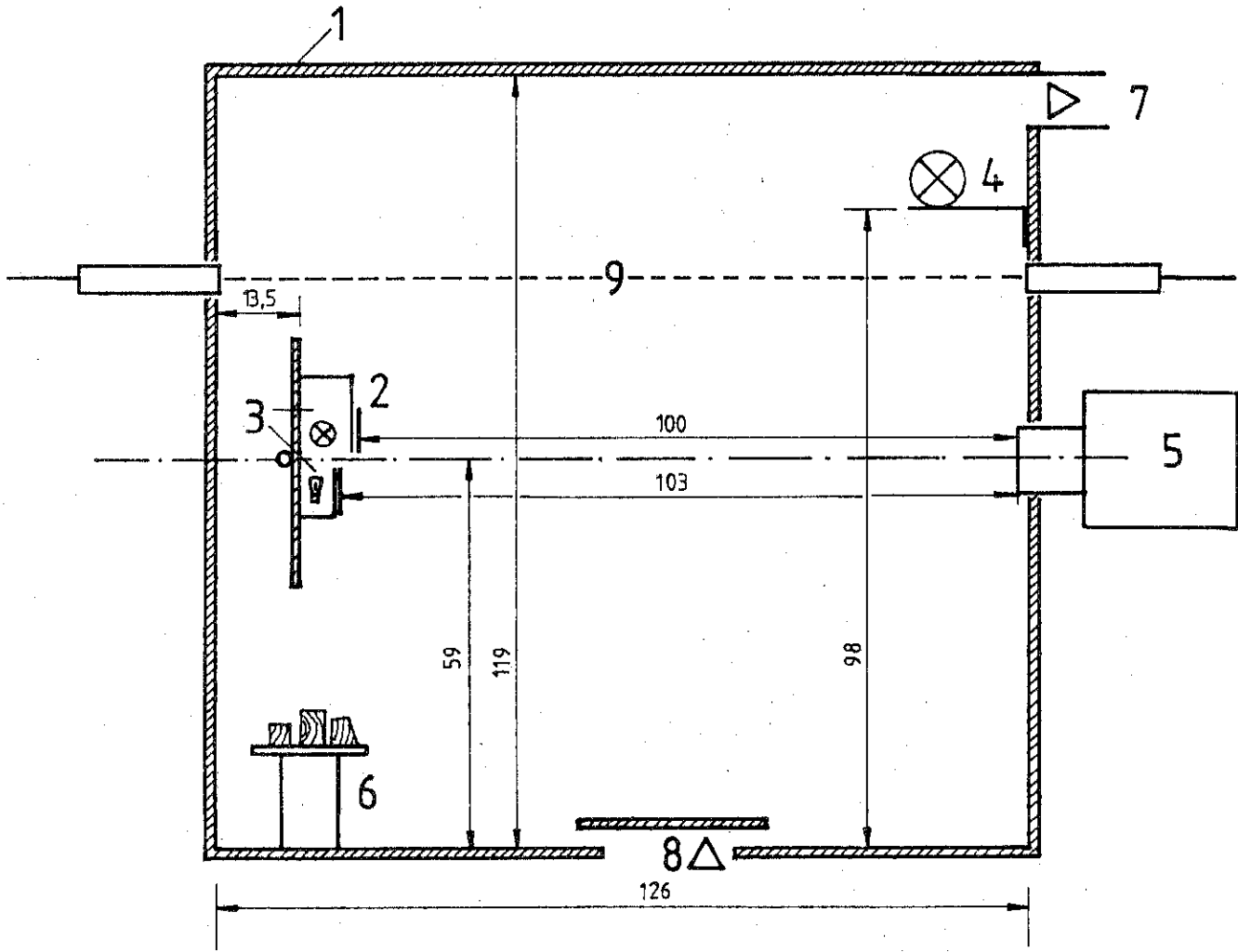


Bild 10: Versuchsaufbau zur Ermittlung des Raucheinflusses auf die Sichtbarkeit von Kennzeichen

- | | | | |
|---|----------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Versuchsraum | 6 | Heizplatte mit Holzstücken |
| 2 | Kennzeichen | 7 | Abluft |
| 3 | Aufbauleuchte | 8 | Zuluft |
| 4 | Raumbelichtung | 9 | optische Rauchdichtemeßstrecke |
| 5 | Leuchtdichtemeßgerät | | |

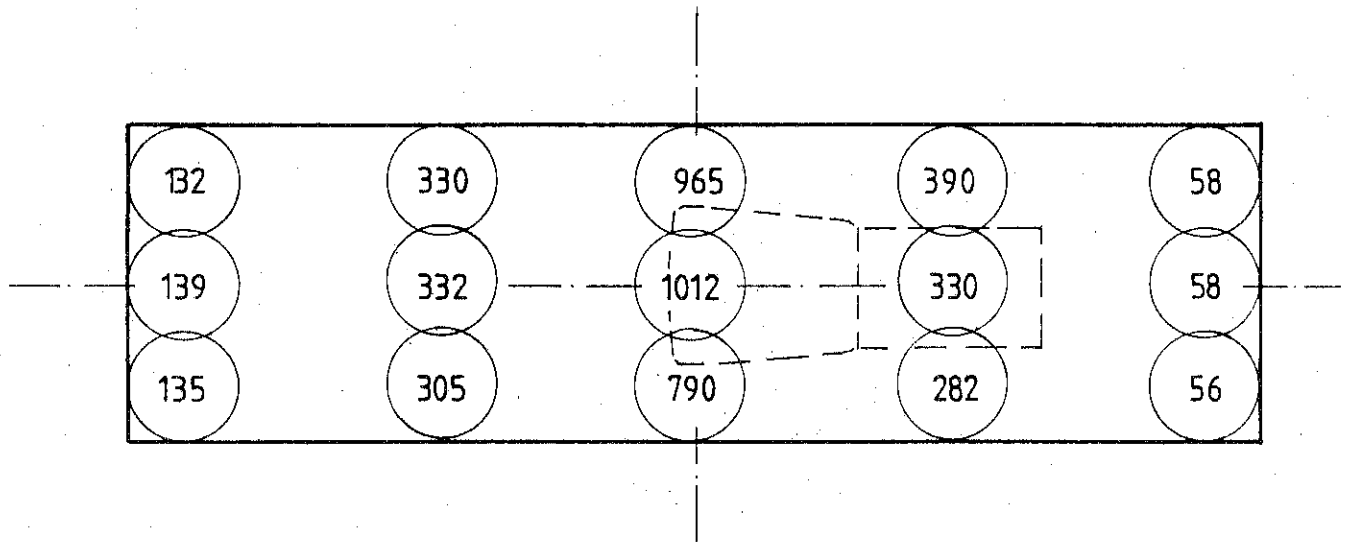
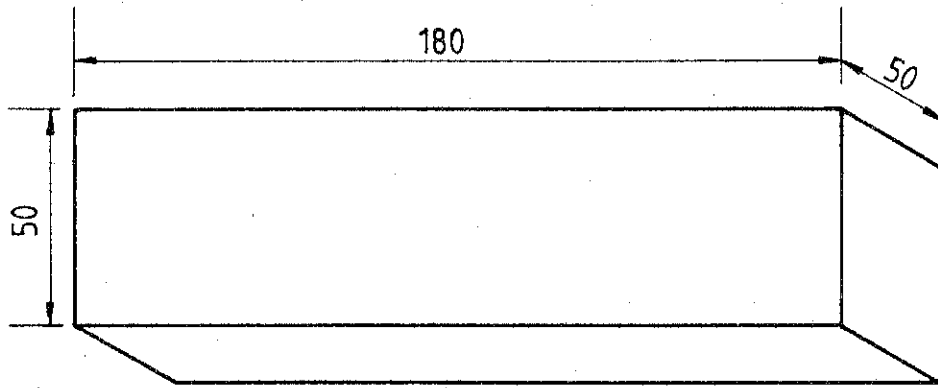


Bild 11: Rechteckige Aufbauleuchte

Abmessungen, Lage der Glühlampe (10 W) für die Beleuchtung und Angabe einiger Leuchtdichtewerte in cd/m^2 auf der Fläche, auf der die Kennzeichen aufgebracht werden.

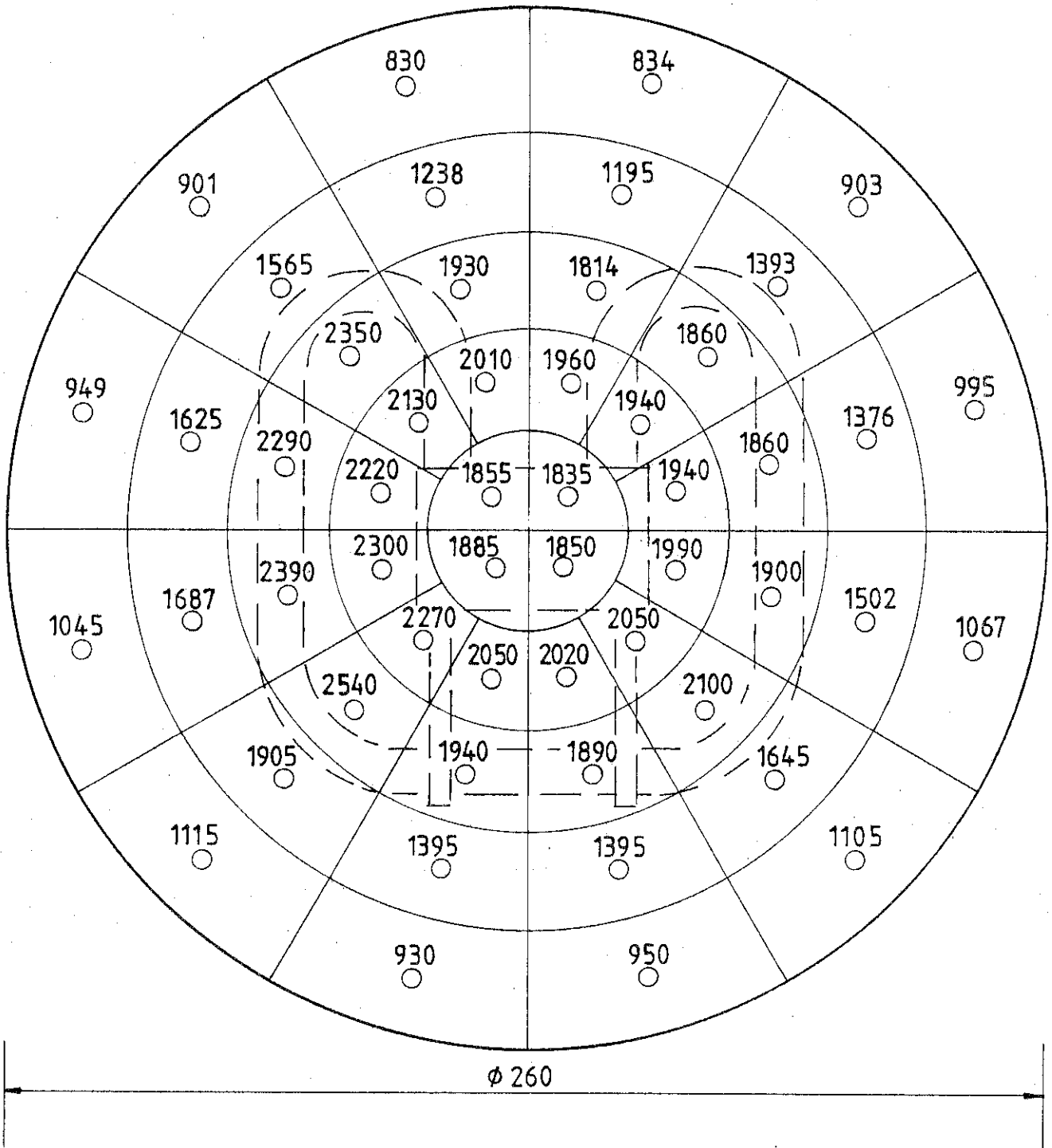


Bild 12: Runde Aufbauleuchte

Form und Lage der Leuchtstofflampe Typ 2D, 16W, für die Beleuchtung und Angabe von Leuchtdichtewerten in cd/m² auf der Fläche, auf der die Kennzeichen aufgebracht werden.

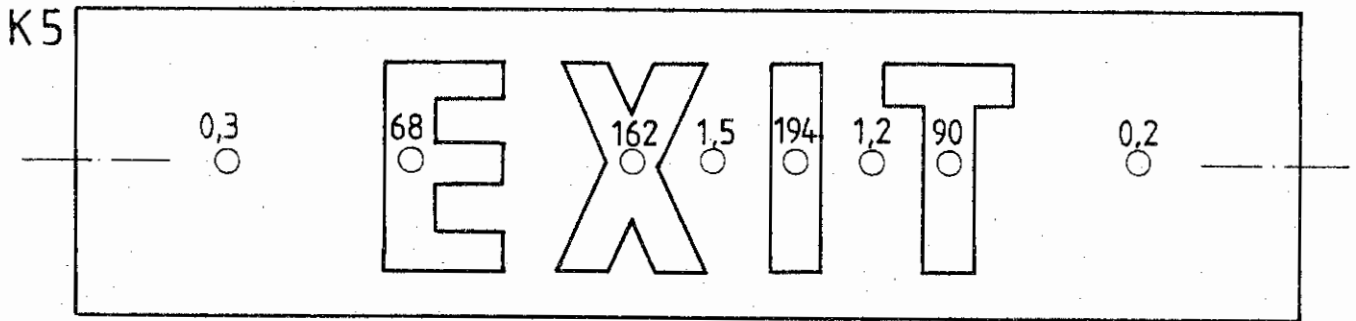


Bild 13: Leuchtdichte an verschiedenen Stellen eines Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 11
Schrift rot, Umfeld schwarz, Werte in cd/m^2 .

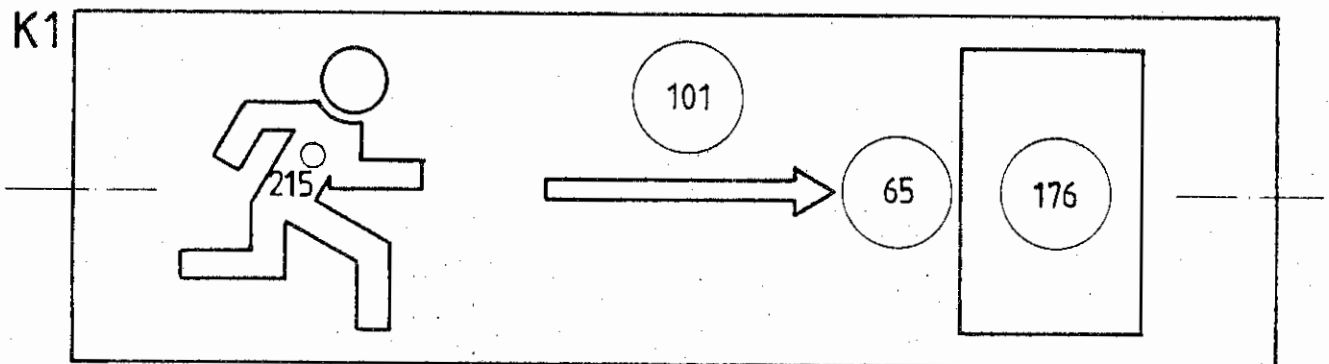


Bild 14: Leuchtdichte an verschiedenen Stellen eines Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 11
Symbole weiß, Umfeld grün, Werte in cd/m^2 .

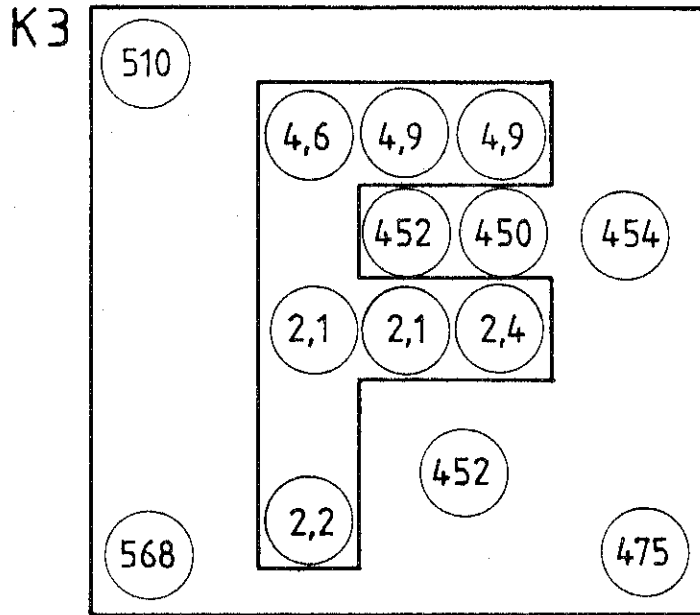


Bild 15: Buchstabe schwarz, Umfeld rot

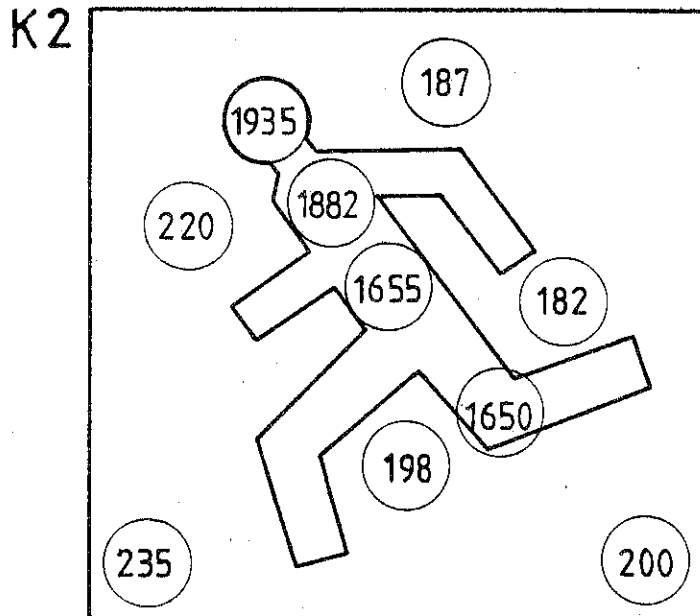


Bild 16: Symbol weiß, Umfeld grün

Bild 15 und Bild 16: Leuchtdichte an verschiedenen Stellen von Kennzeichen auf der Aufbauleuchte nach Bild 12 Werte in cd/m^2 .

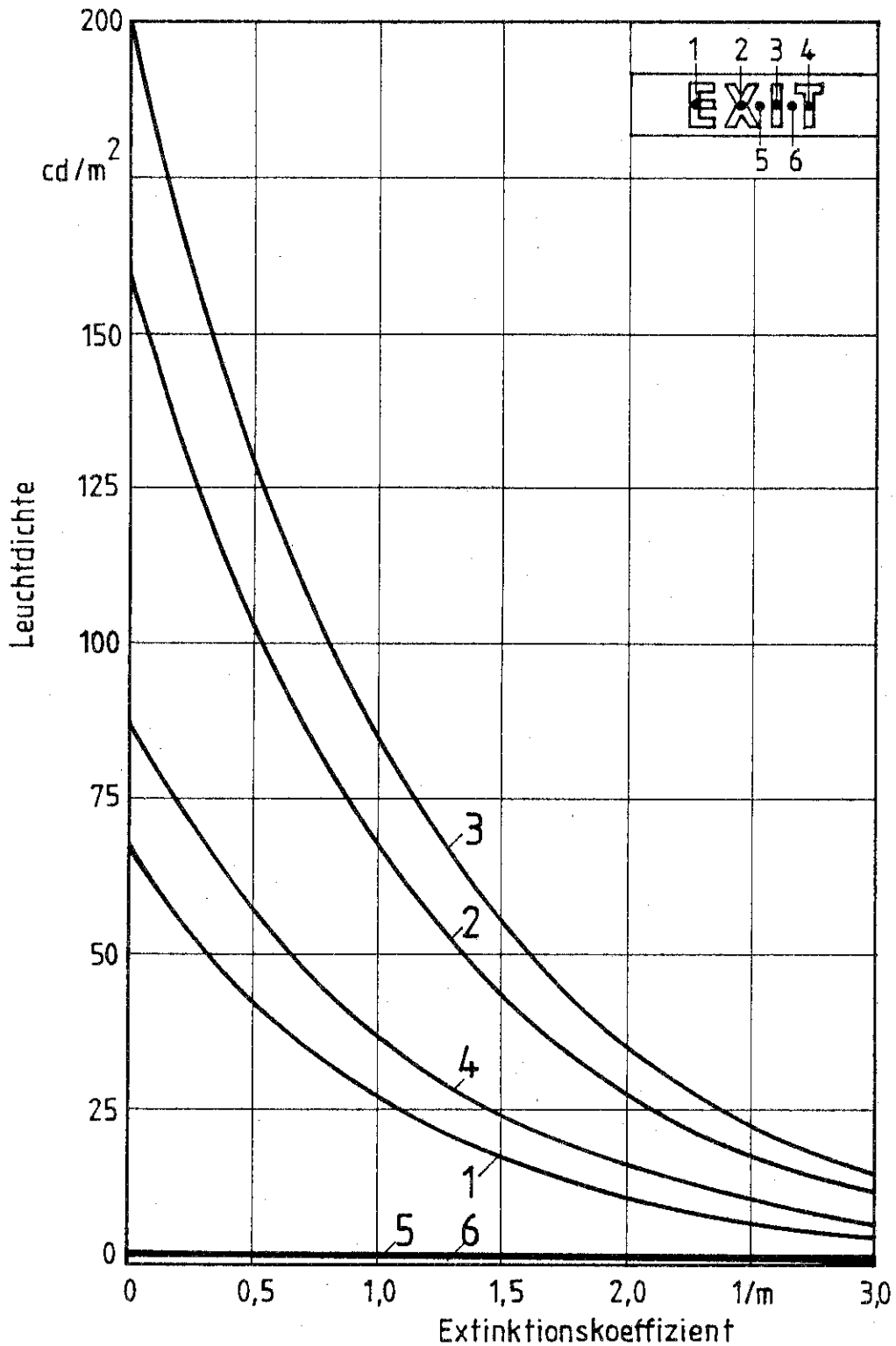


Bild 17: Abhängigkeit der Leuchtdichte verschiedener Stellen des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 11 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches.

Schrift rot, Umfeld schwarz
Sichtweglänge $l = 1,03 \text{ m}$

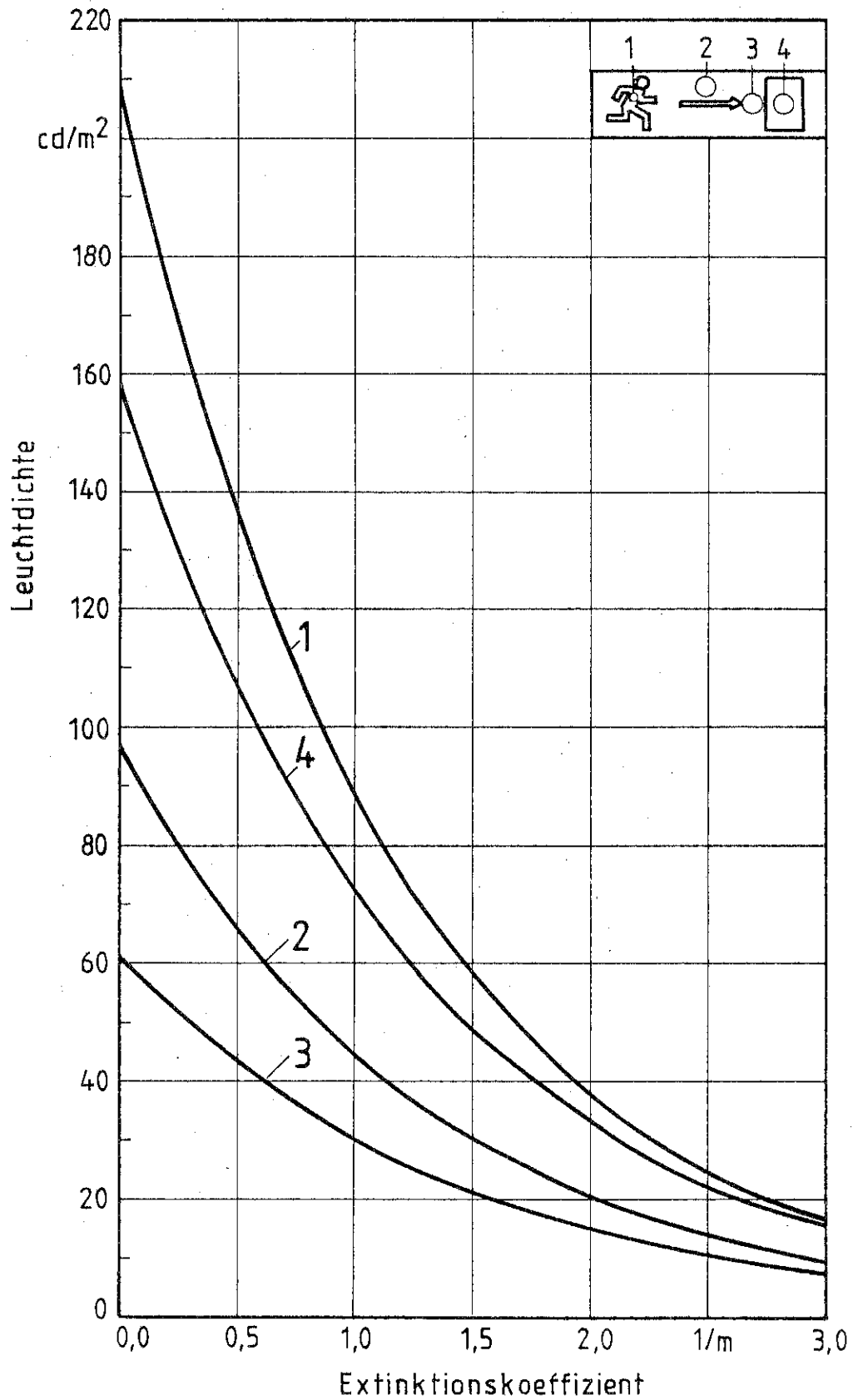


Bild 18: Abhängigkeit der Leuchtdichte verschiedener Stellen des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 11 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches.

Symbole weiß, Umfeld grün
Sichtweglänge $l = 1,03$ m

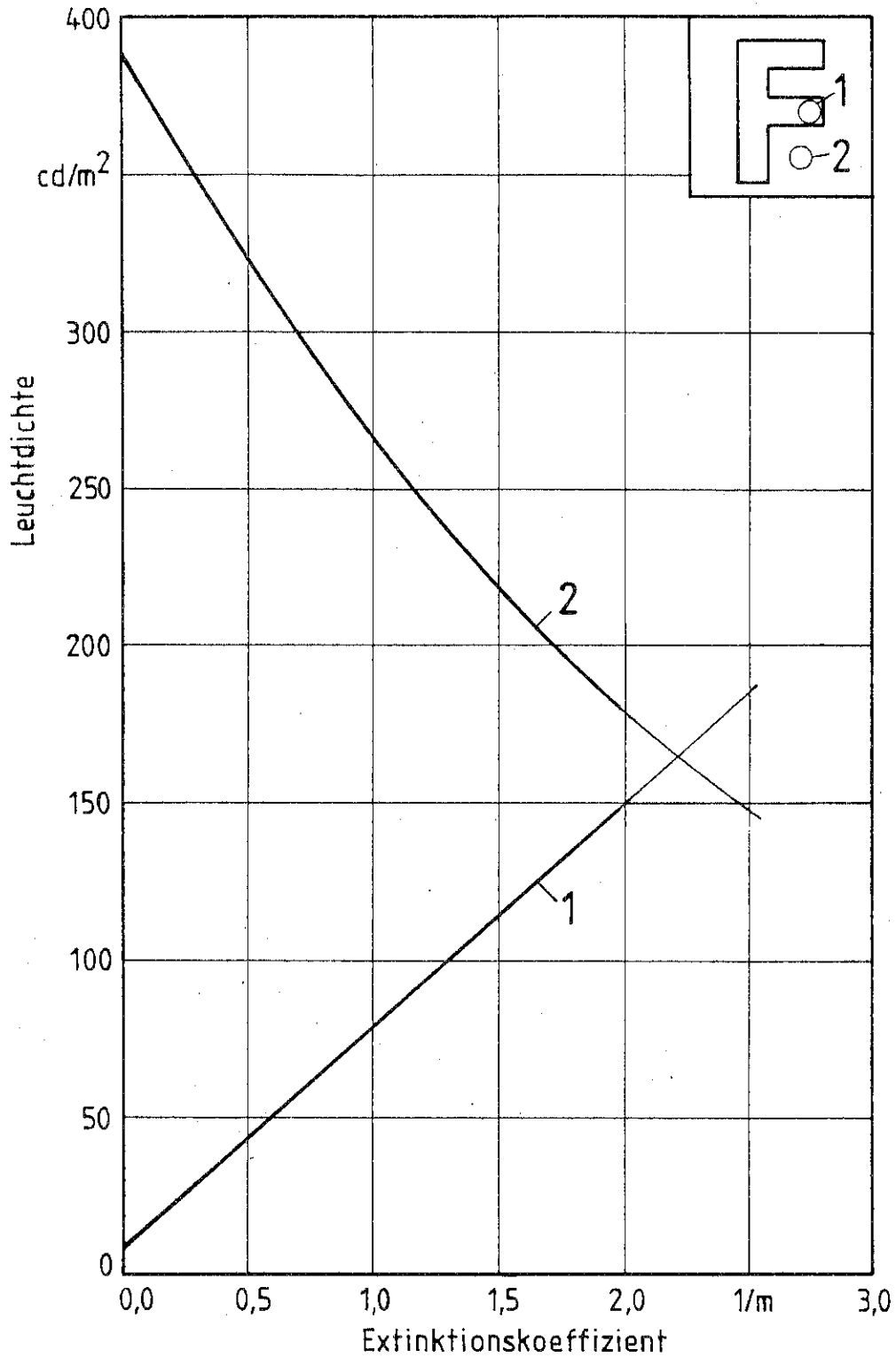


Bild 19: Abhängigkeit der Leuchtdichte an 2 Stellen des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 12 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches.

Buchstabe schwarz, Umfeld rot
Sichtweglänge 1,00 m

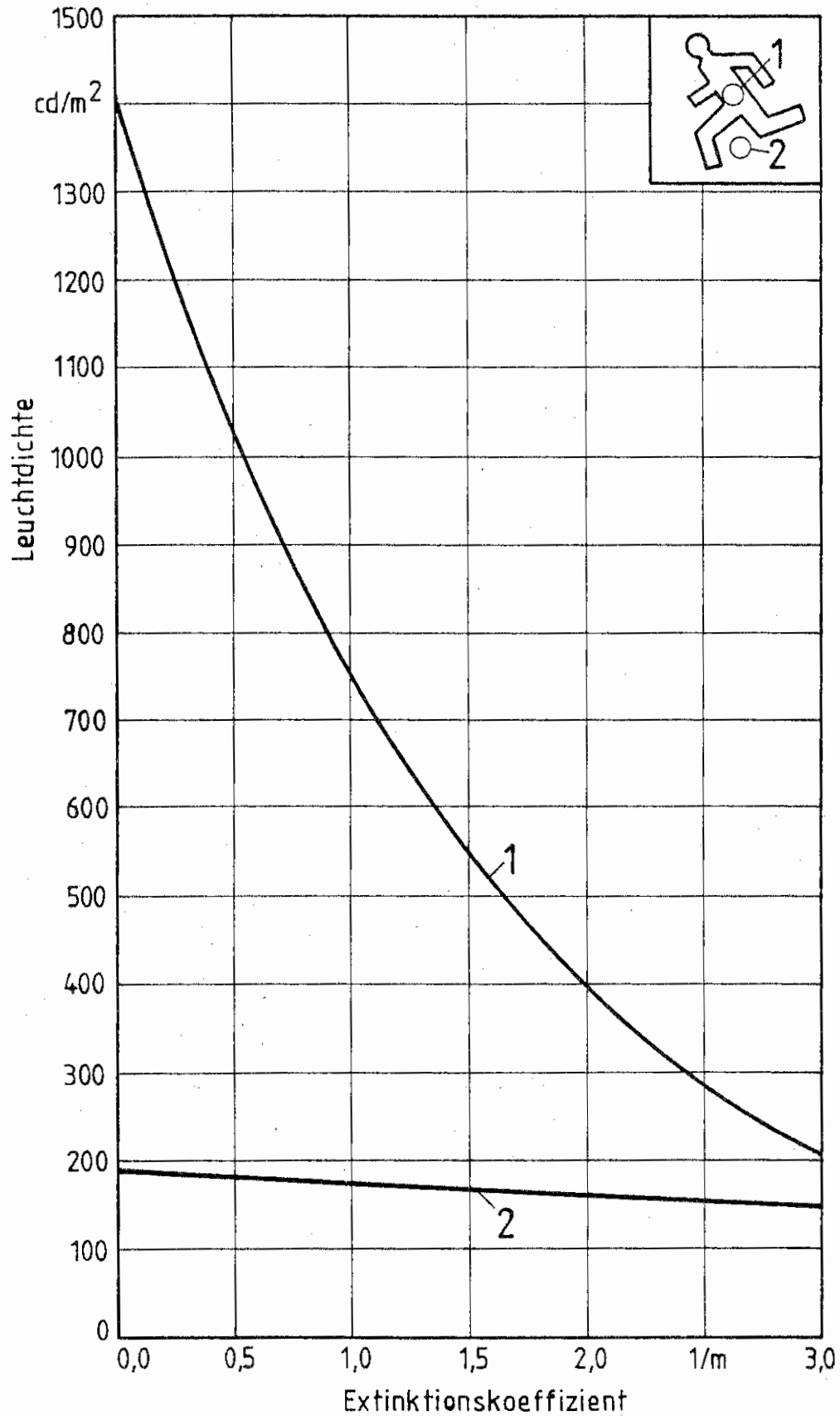


Bild 20: Abhängigkeit der Leuchtdichte an 2 Stellen des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 12 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches.

Symbol weiß, Umfeld grün
Sichtweglänge 1,00 m

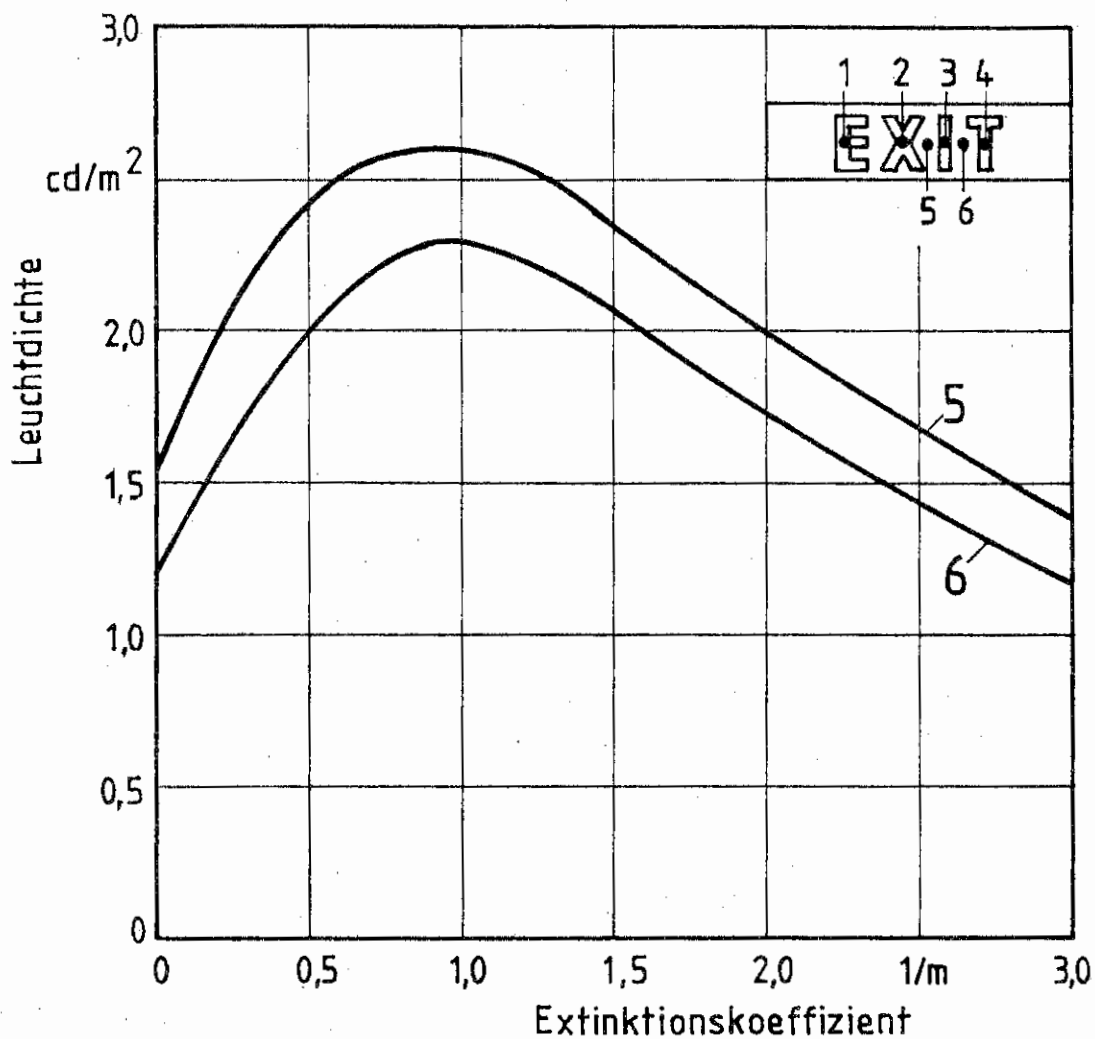


Bild 21: Abhängigkeit der Leuchtdichte an 2 schwarzen Stellen des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 11 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches (siehe auch Bild 17).

Schrift rot, Umfeld schwarz
Sichtweglänge 1,00 m

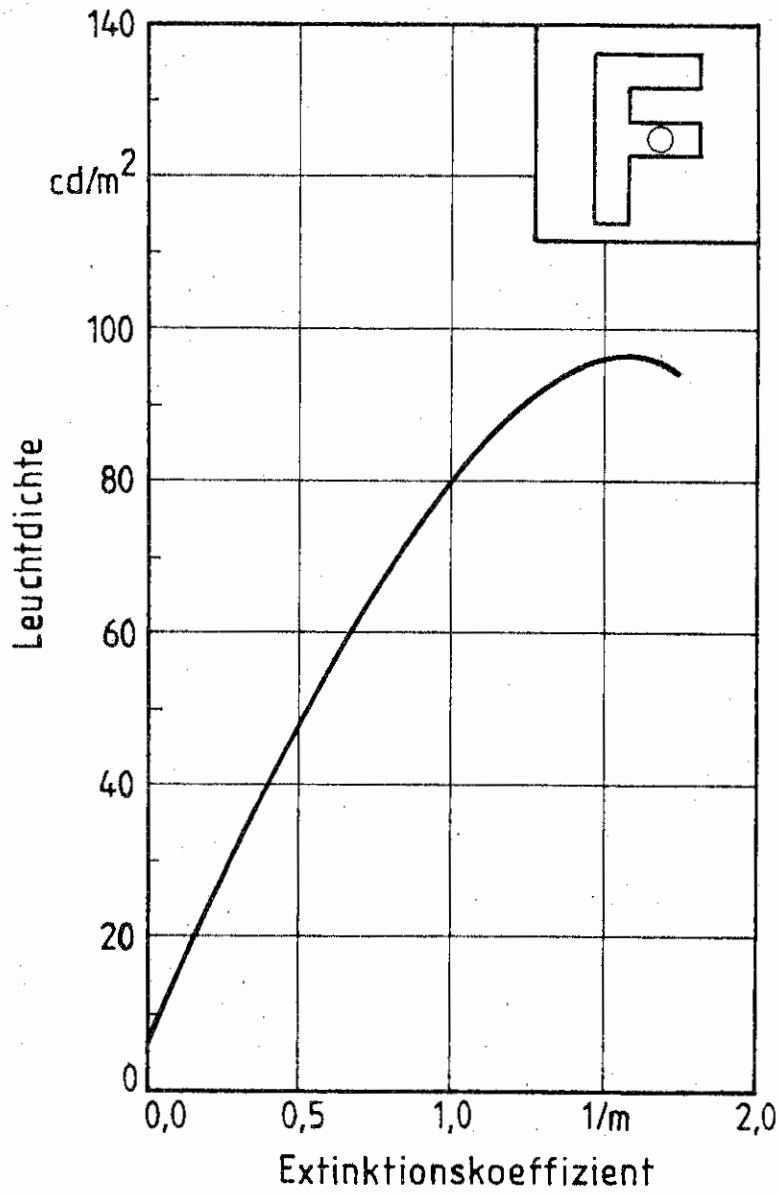


Bild 22: Abhängigkeit der Leuchtdichte an der schwarzen Stelle des selbstleuchtenden Kennzeichens auf der Aufbauleuchte nach Bild 12 von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches (siehe auch Bild 19).

Sichtweglänge 1,00 m

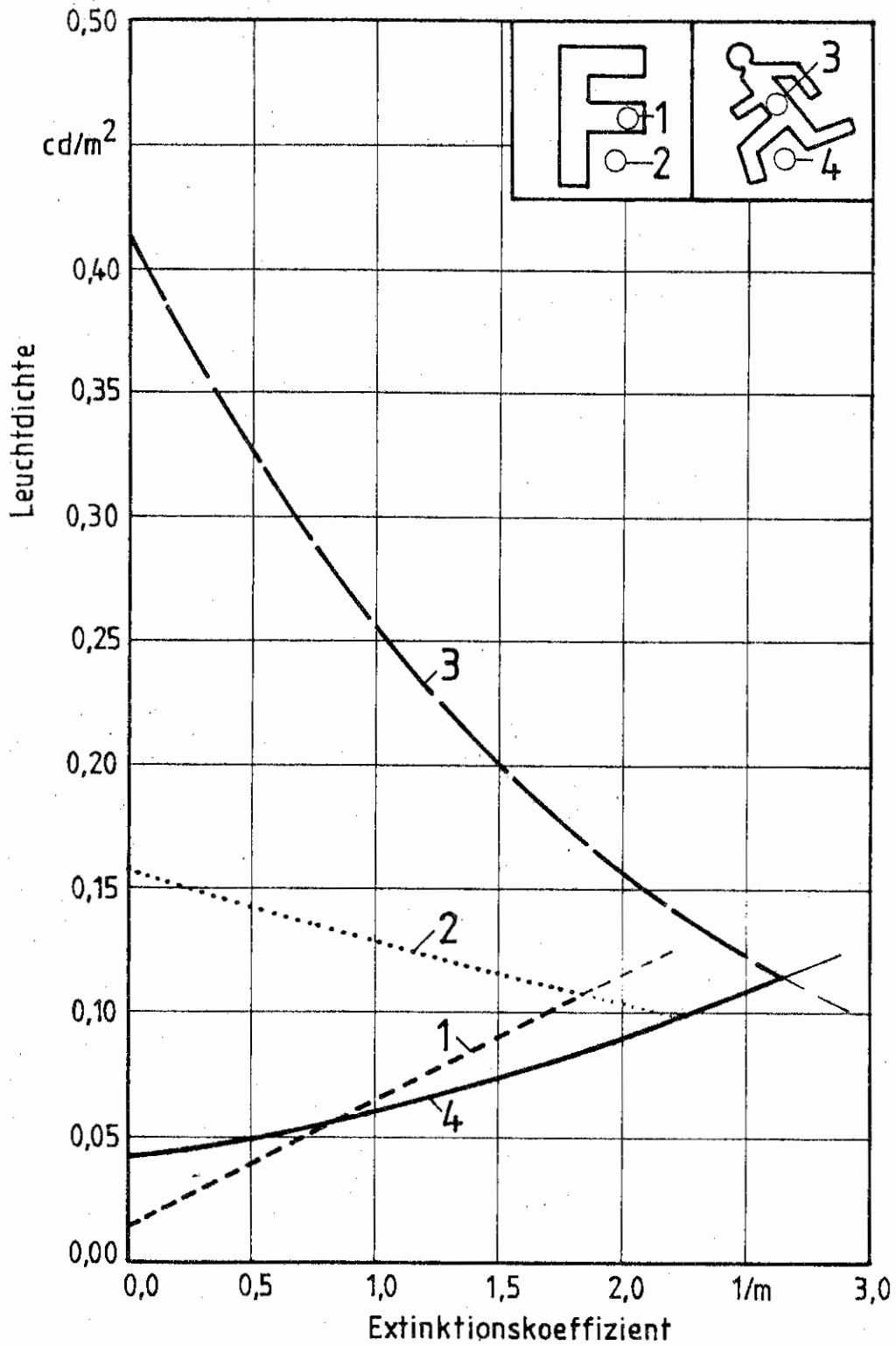


Bild 23: Abhängigkeit der Leuchtdichte von reflektierenden Kennzeichen von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches
Beleuchtungsstärke 3 lx, Sichtweglänge 1,00 m

1 schwarz	3 weiß
2 rot	4 grün

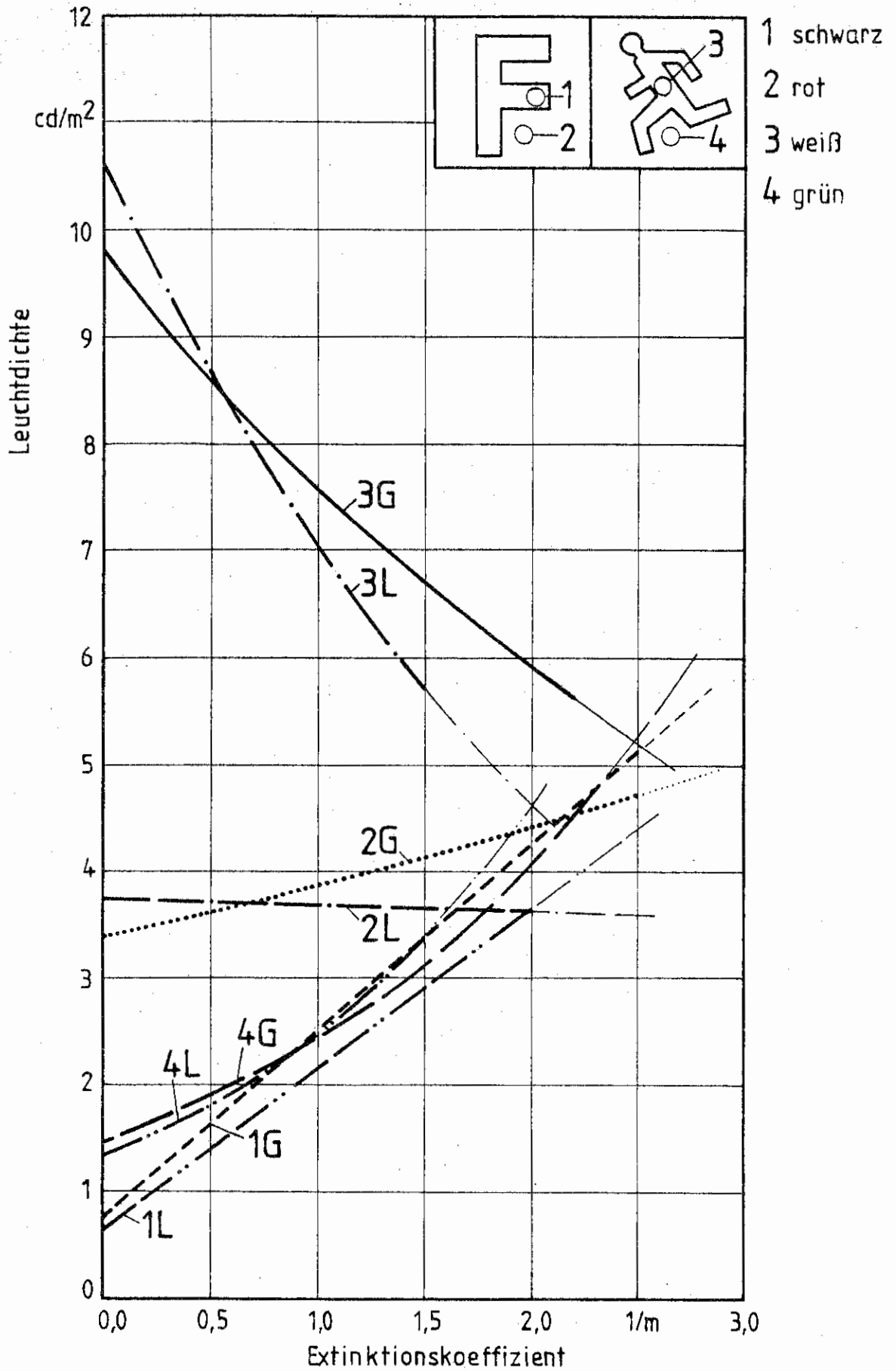


Bild 24: Abhängigkeit der Leuchtdichte von reflektierenden Kennzeichen von der optischen Dichte des Brandrauch-Luftgemisches bei einer Beleuchtung durch eine Glühlampe (G) bzw. durch eine Leuchtstofflampe (L). Beleuchtungsstärke 75 lx.

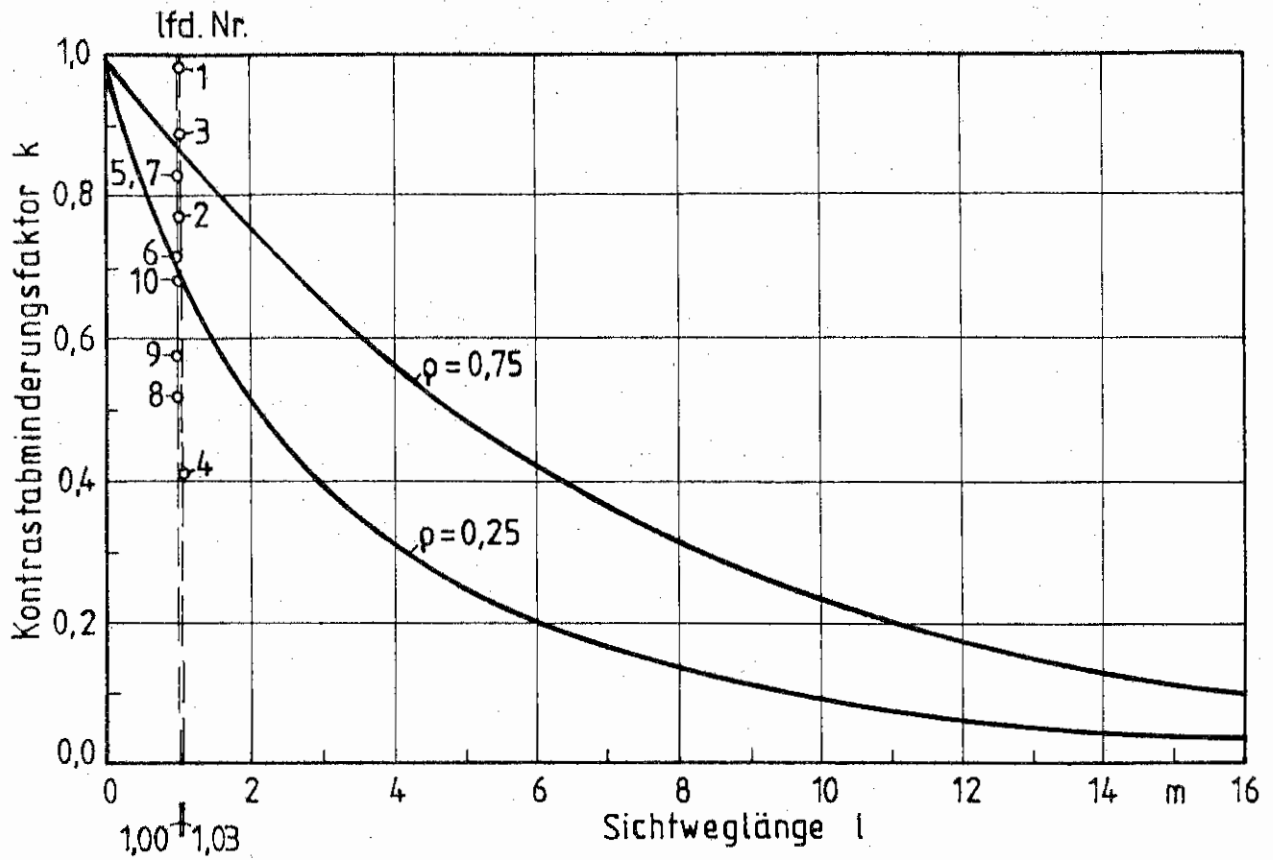


Bild 25: Optische Dichte des Brandrauch-Luftgemisches $\sigma = 0,15$.

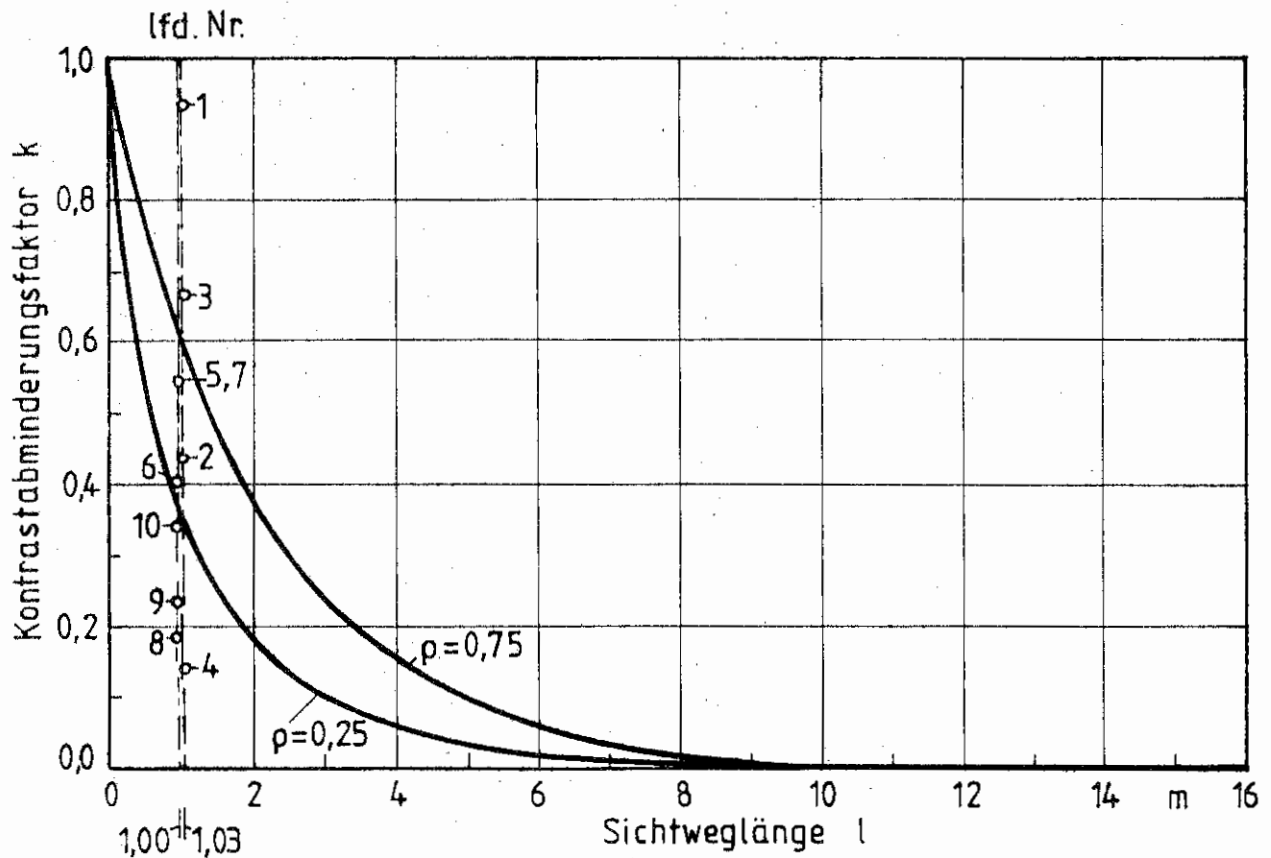


Bild 26: Optische Dichte des Brandrauch-Luftgemisches $\sigma = 0,5$.

Bild 25 und Bild 26: Abhängigkeit der Kontrastabminderungsfaktoren (siehe Tabelle und Kurven nach Bild 5) von der Sichtweglänge.