

# Optische Technologien im Automobil

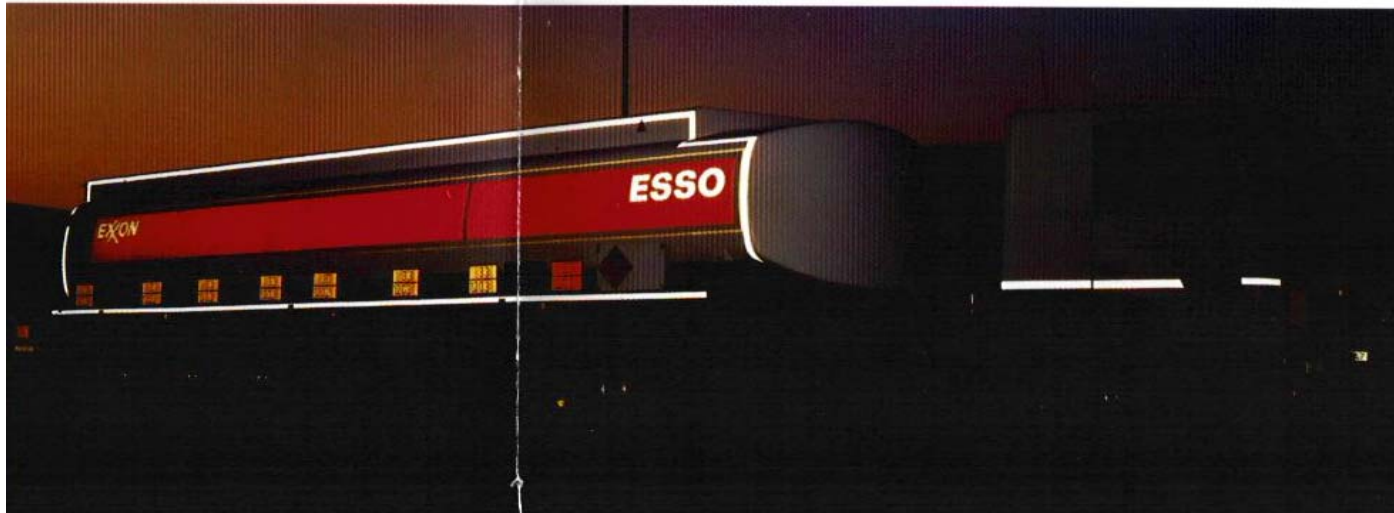
von

**Dr. Karl Manz**

**Sommersemester 2009**

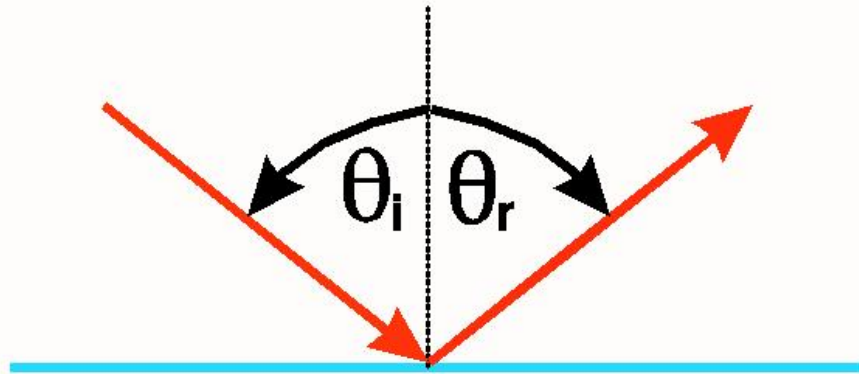
## Signalbild

- Reflexionsarten
- Reflektortypen
- Rückstrahlwerte



# Reflexion und Retroreflexion

## Reflexion



$$\theta_i = \theta_r$$

Reflexionsgesetz (Euclid?)

- Einfallswinkel = Ausfallswinkel
- Reflexion kann für unterschiedliche Wellenlänge unterschiedlich sein
- kann zur Farbfilterung eingesetzt werden
- kann zur Abbildung eingesetzt werden
- kann als Reflektor eingesetzt werden

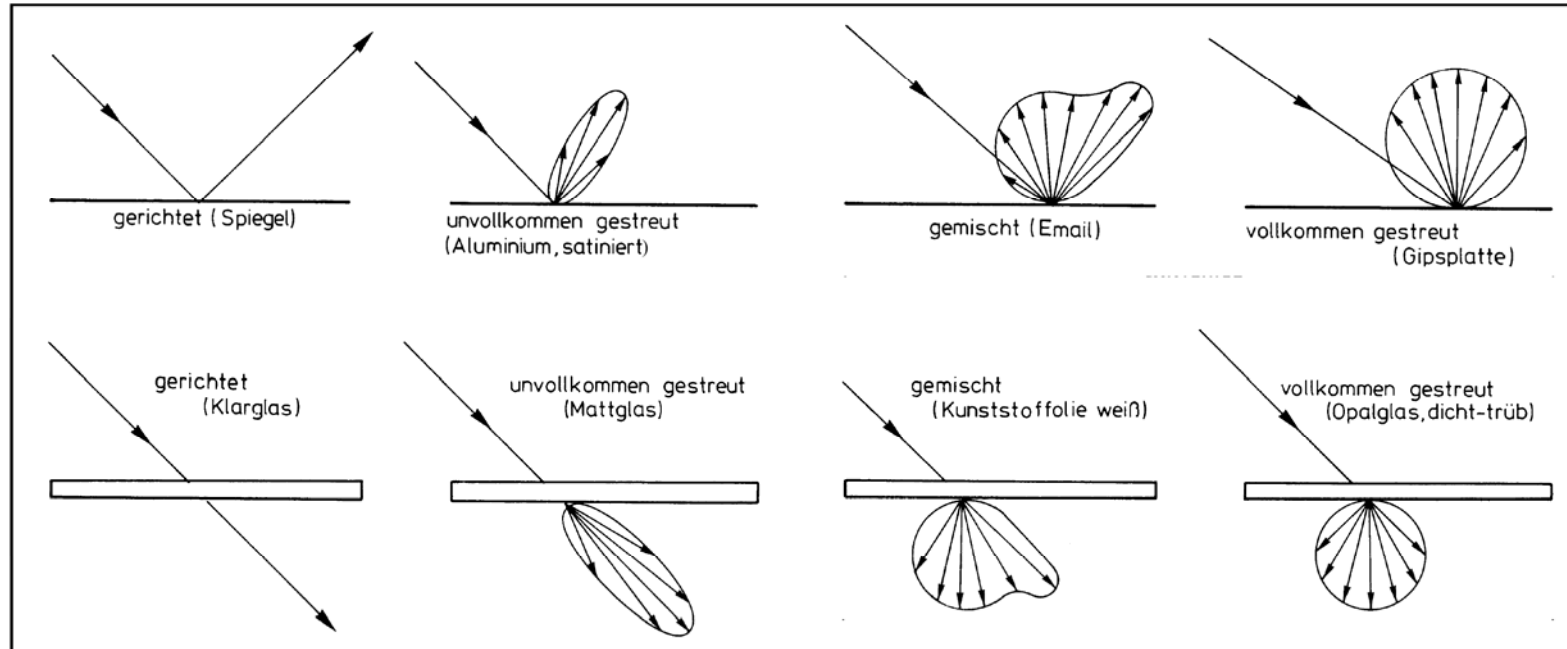
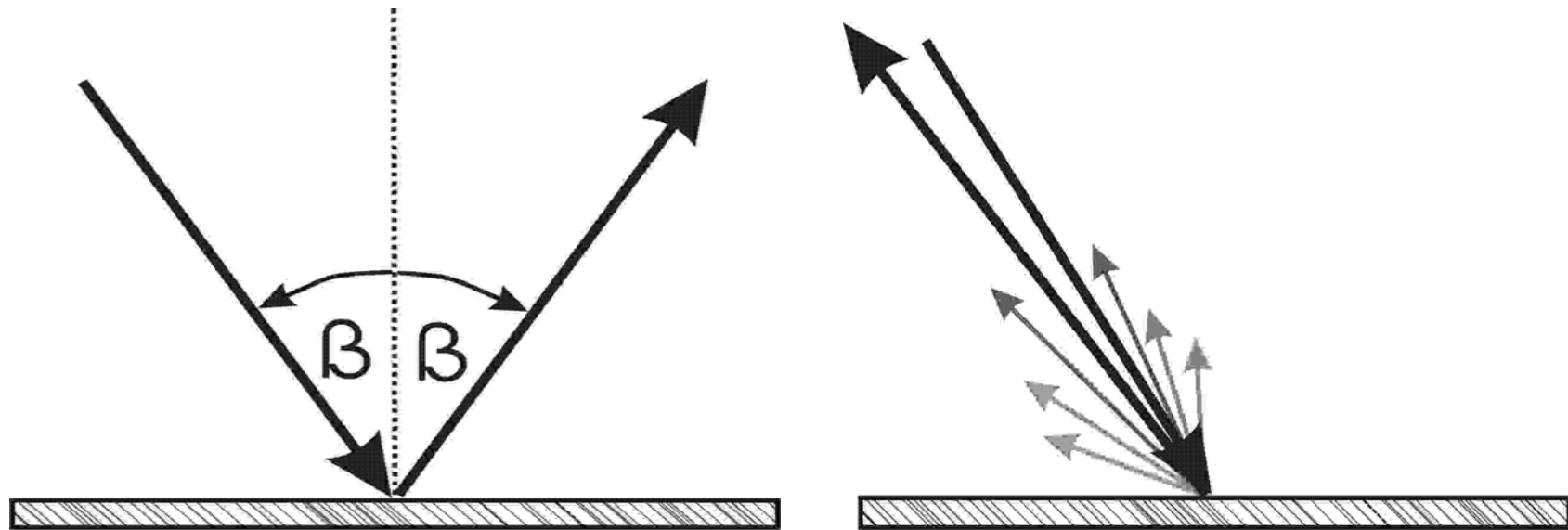
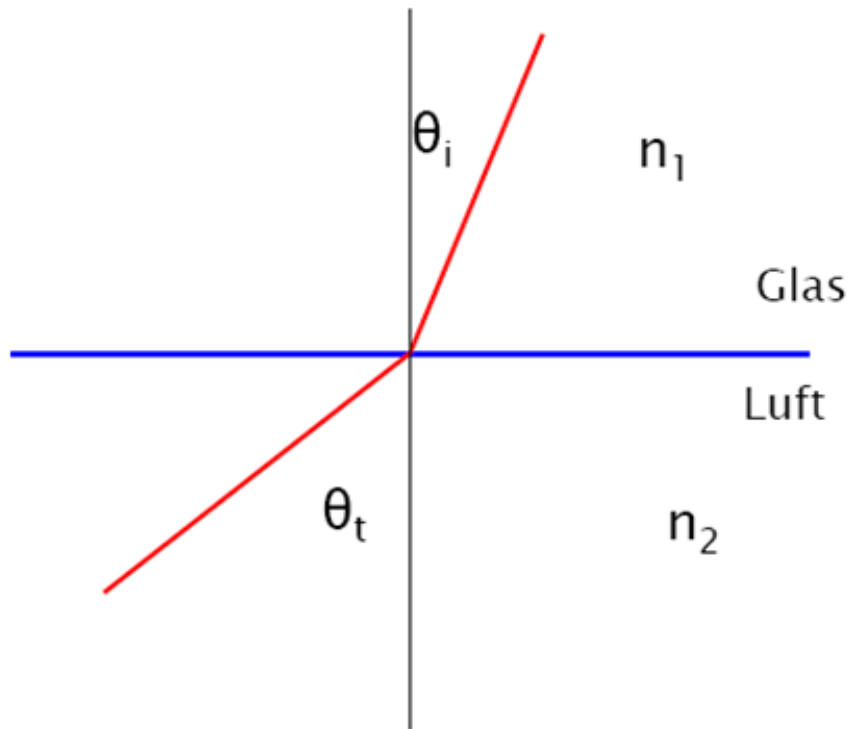


Bild 4.12:  
Schematische Darstellungen von Reflexionen (oben) und Transmissionen (unten) im Sinne von Lichtstärke-Indikatrices. (Handbuch der Beleuchtung, S. 98)



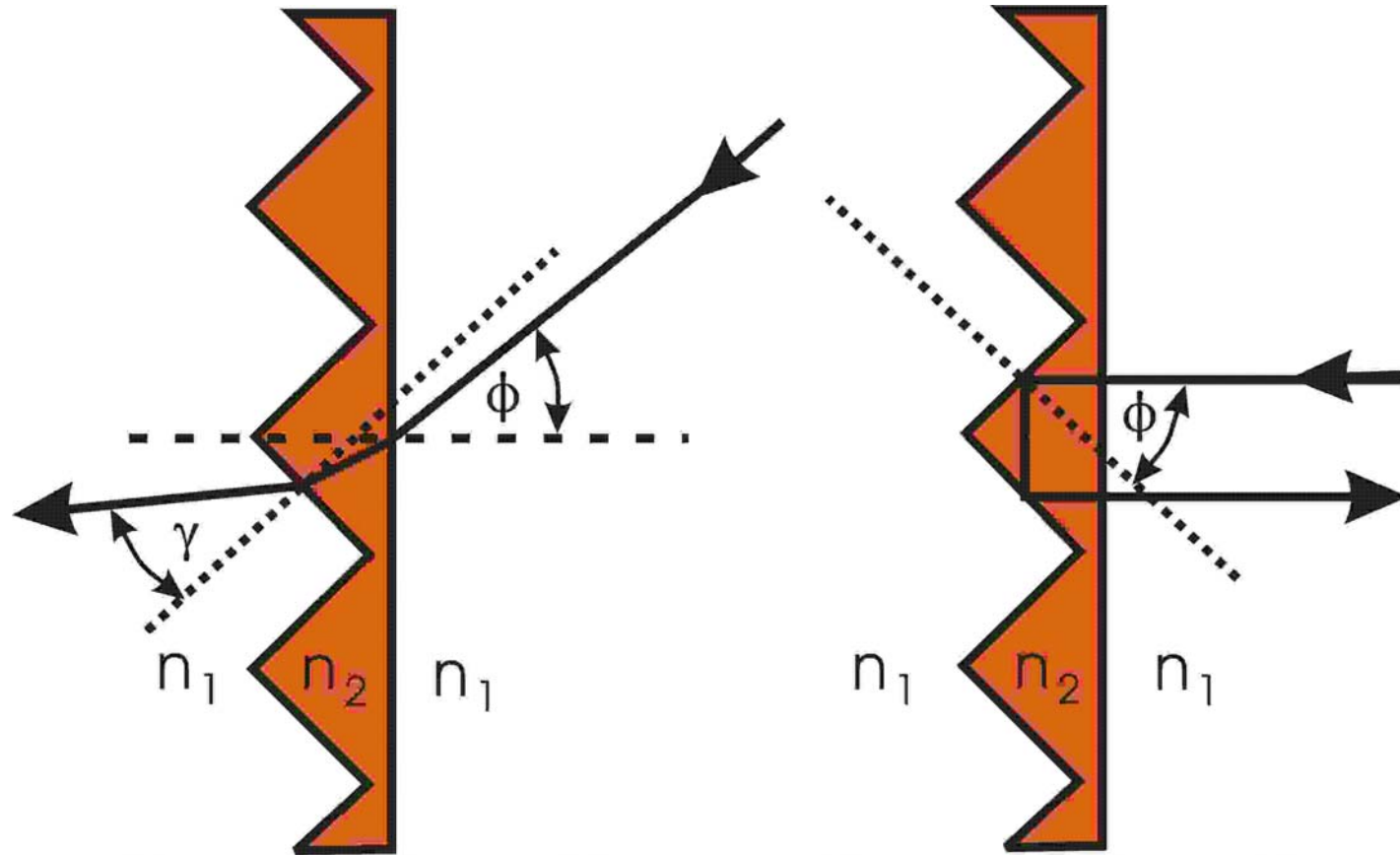


„Snell'sches“ Brechungsgesetz

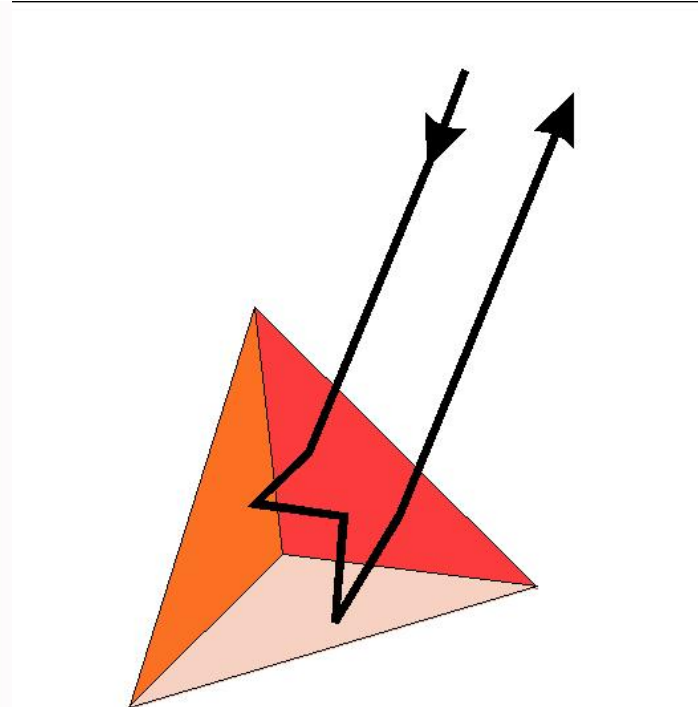
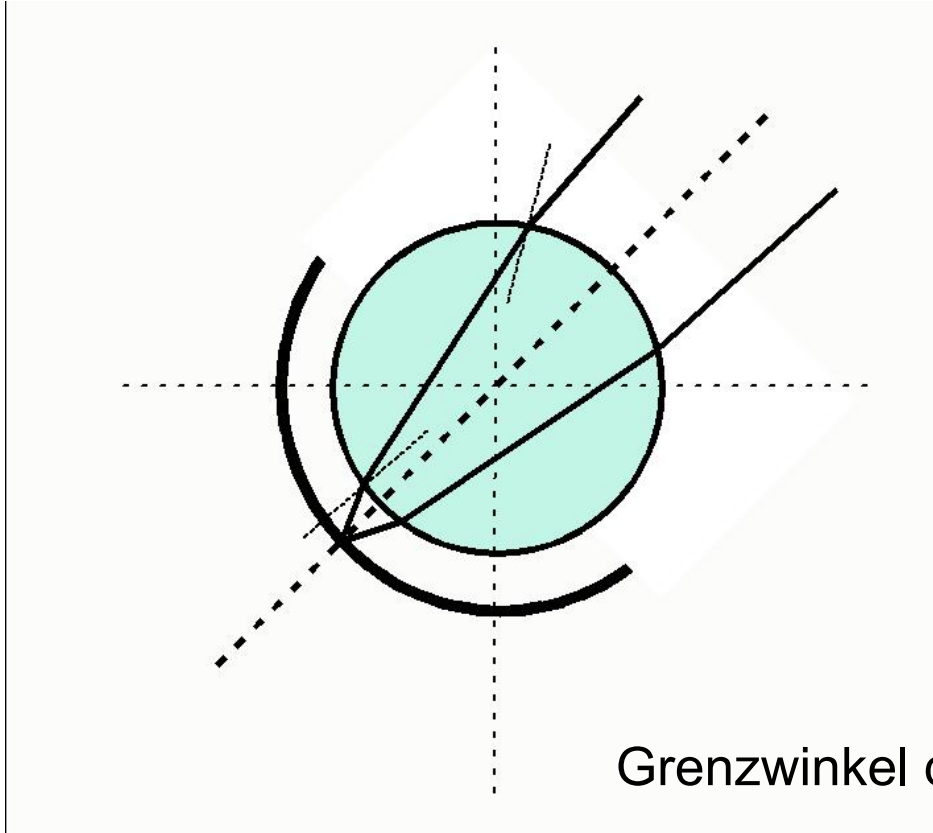
$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

-Licht wird im optisch dichteren Medium zum Einfallslot hin gebrochen



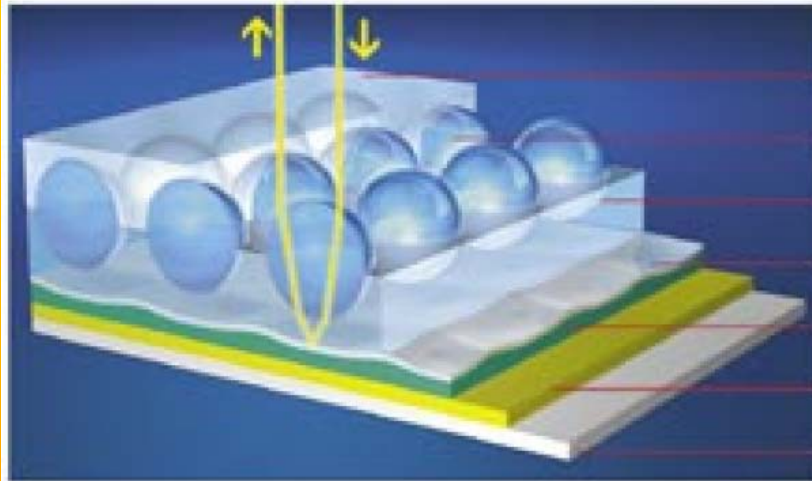


$n_1$ : Brechzahl Luft  
 $n_2$ : Brechzahl Prismen



Grenzwinkel der Totalreflexion:  $\sin(\Theta_T) = \frac{n_1}{n_2}$

$f = \frac{(n \cdot r)}{2(n-1)} \rightarrow \text{für } n = 2 \rightarrow f = r$

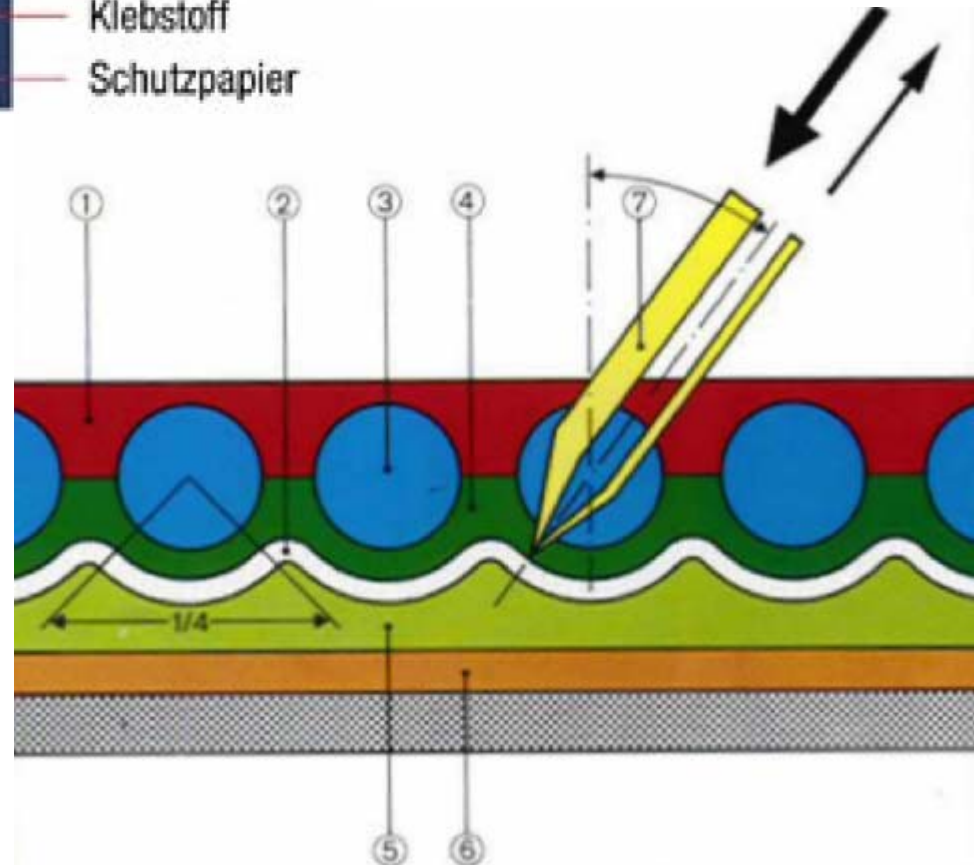


Deckschicht  
 Glaskugeln  
 Zwischenschicht  
 Reflexionsschicht  
 Trägerschicht  
 Klebstoff  
 Schutzpapier

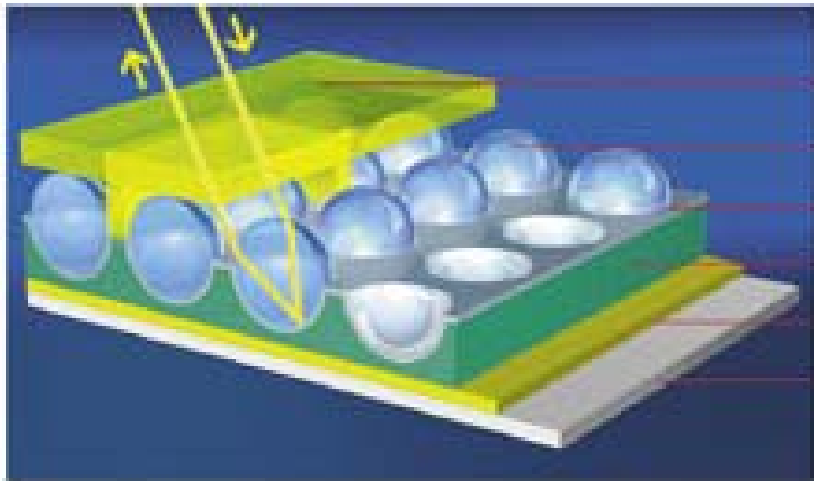
## Typ 1 Folien

Reflexmaterial mit  
Mikroglaskugeln in  
Material eingebettet

- 1) Deckschicht
- 2) Reflektionsschicht
- 3) Glaskugeln
- 4) Zwischenschicht
- 5) Trägerschicht
- 6) Klebstoff
- 7) Lichtfluss



[Aus: [www.3m.com](http://www.3m.com)]



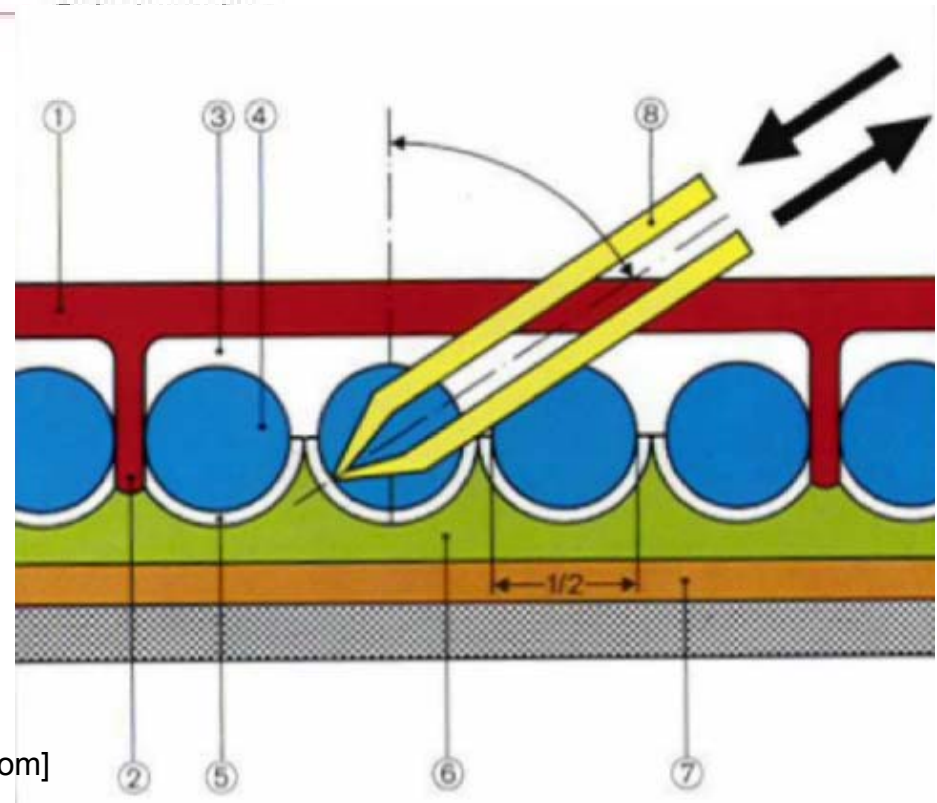
Deckschicht  
 Glaskugeln  
 Reflexionsschicht  
 Trägerschicht  
 Klebstoff

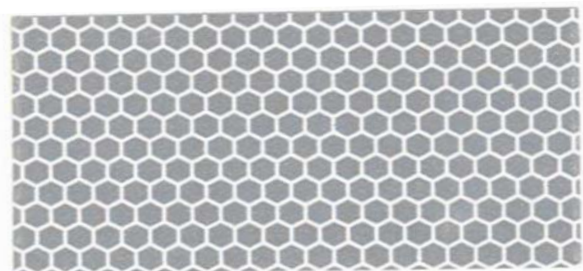
## Typ 2 Folien

Reflexmaterial mit  
 in Kammern  
 eingebundenen  
 Mikroglasskugeln

- 1) Deckschicht
- 2) Schweißnaht
- 3) Luftisolationsschicht
- 4) Glaskugeln
- 5) Reflektionsschicht
- 6) Trägerschicht
- 7) Klebstoff
- 8) Lichtfluss

[Aus: www.3m.com]

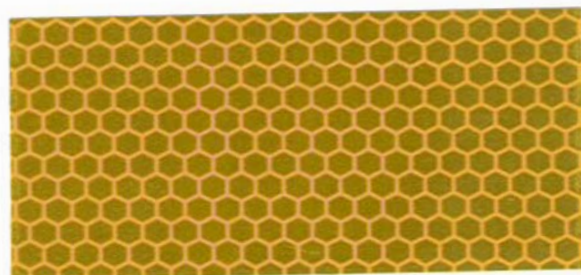




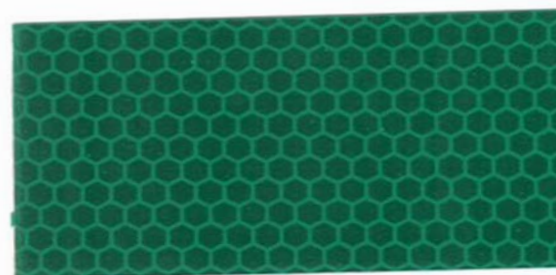
Silver



Blue



Yellow



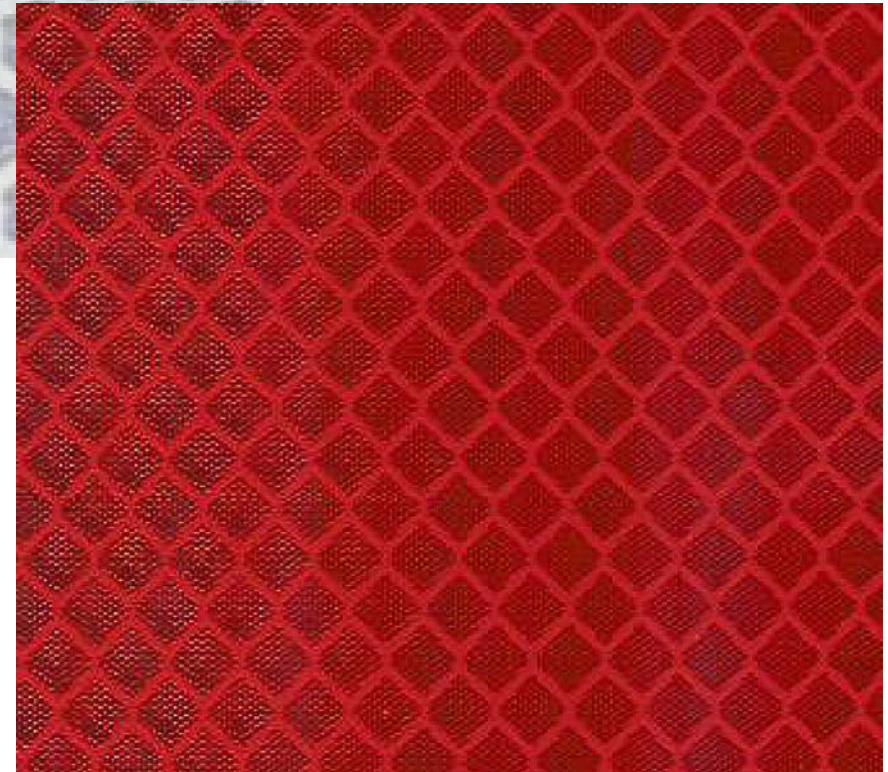
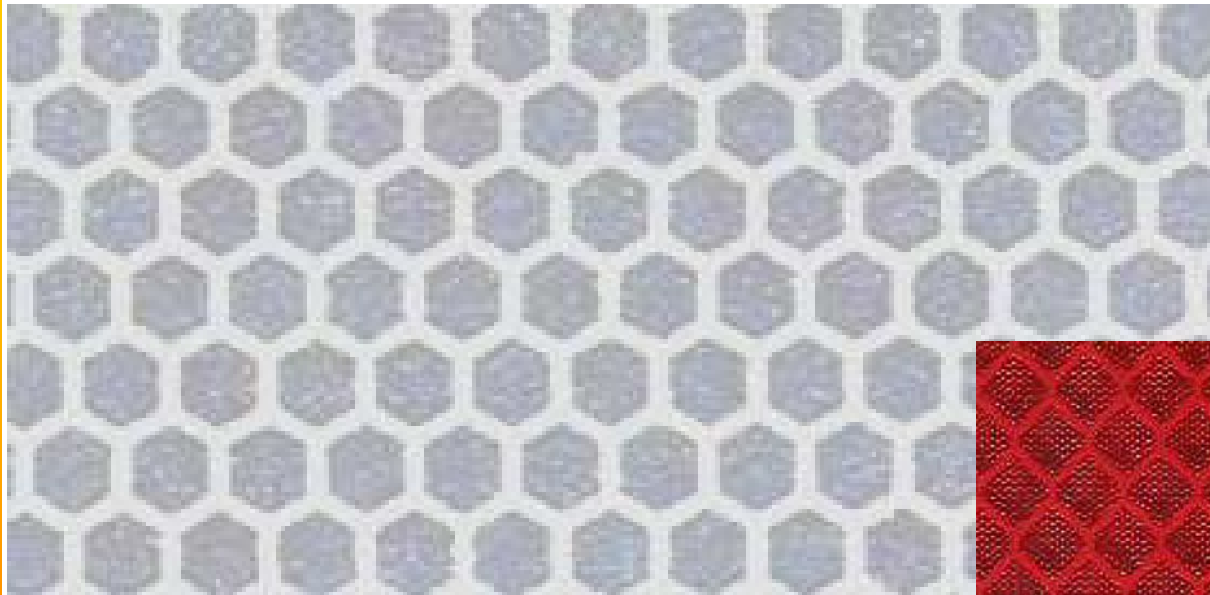
Green



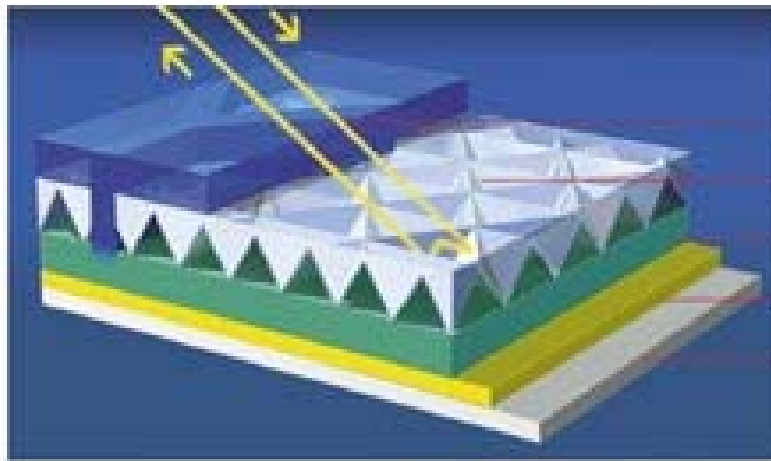
Red



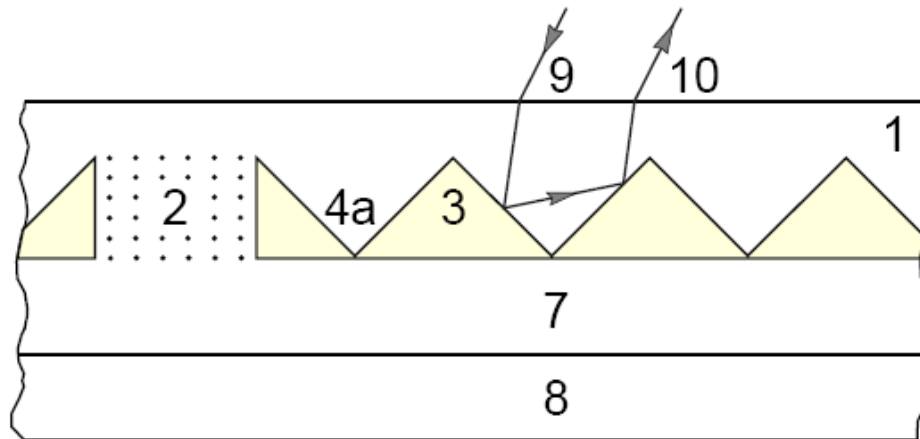
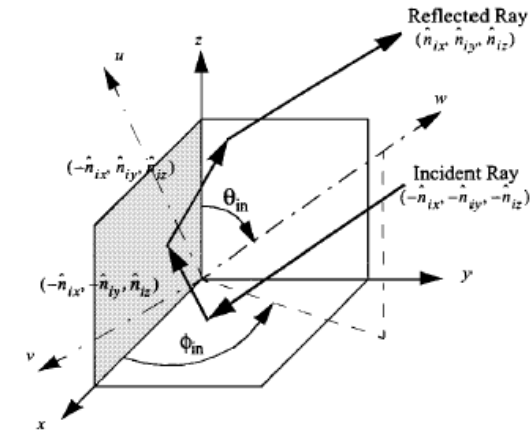
Brown



# Typ 3 Reflexstoffe auf Basis von Mikroprismen

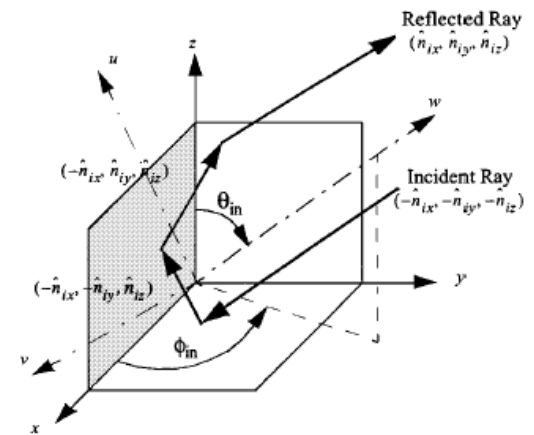
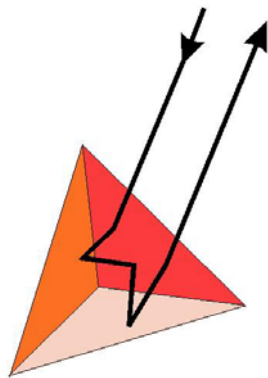
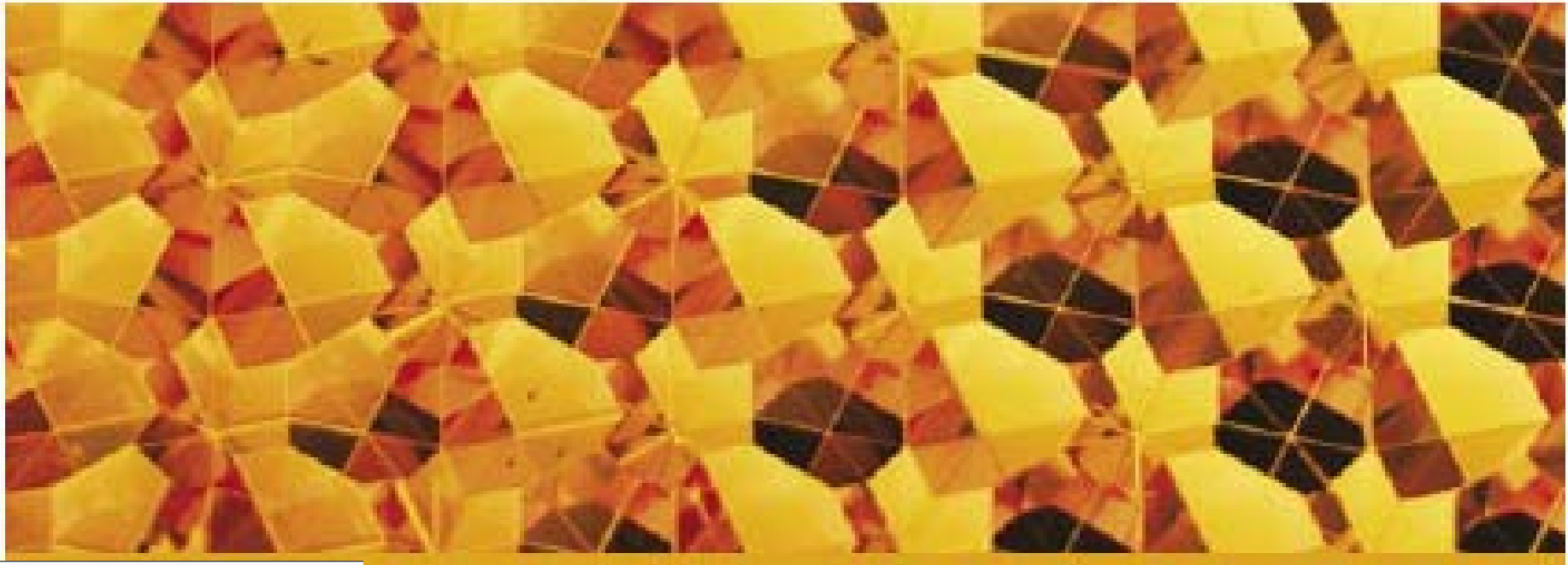


Deckschicht  
 Reflexionsschicht  
 Trägerschicht  
 Klebstoff  
 Schutzpapier



- 1) Deckschicht
- 2) Schweißnaht
- 3) Luftisolationsschicht
- 4a) Mikroprisma
- 7) Trägerschicht
- 8) Klebstoff
- 9/10) Lichtfluss

[Aus: www.3m.com]





Ein Rückstrahler oder Retro-Reflektor ist ein Spiegel, der das auf ihn einfallende Licht in entgegengesetzter Richtung zurücksendet. Dabei sind bei einem Tripelspiegel drei ebene Spiegelflächen senkrecht zueinander angeordnet.

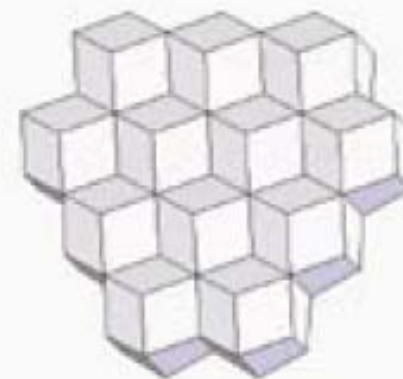
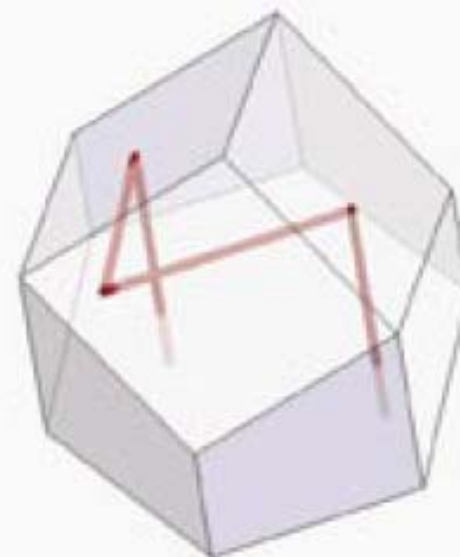
Auf seinem Weg wird ein eintretender Lichtstrahl dreimal total reflektiert und hat außerdem die Oberfläche des Rückstrahlers zweimal zu durchdringen. Zu beachten ist, dass der Strahl innerhalb des Tripels versetzt wird (Strahlenversatz).

Die reflektierte Lichtleistung hängt entscheidend von der Winkelgenauigkeit der drei ebenen Spiegel ab.

**Prismensysteme (Pyramidensysteme, Stiftesysteme)**

### Perkin-Elmer-Pyramiden

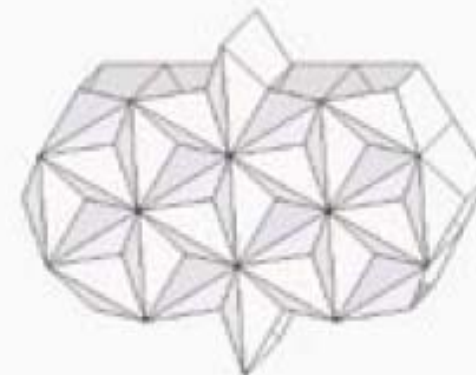
Perkin-Elmer-Pyramiden sind Pyramiden, die aus drei senkrecht zueinander stehenden ebenen Flächen aufgebaut sind. Diese werden dreifach angeschliffen. So entstehen rückstrahlende Sechsecke, die sehr wirkungsvoll in der Rückstrahlwirkung sind. Die rückstrahlende Fläche beträgt 100%.



Quelle: **ULTRAREFLEX**  
PRÄZISE LÖSUNGEN

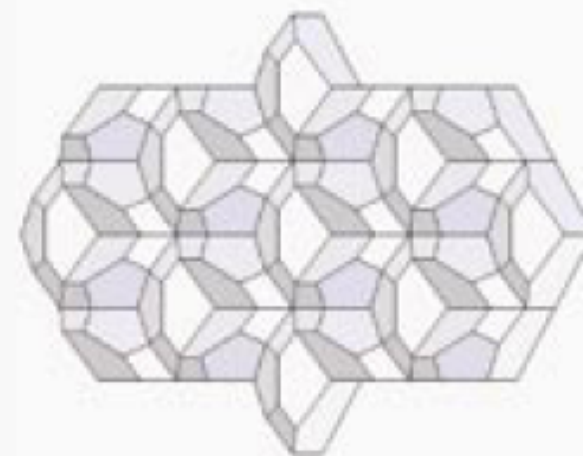
## Rhomben-Pyramiden

Rhomben sind dreiseitige Pyramiden mit nicht reflektierenden Dreiecken. Die Rückstrahlwirkung beträgt 66%. Bestimmte Reflexfolien basieren auf dem Rhombensystem.

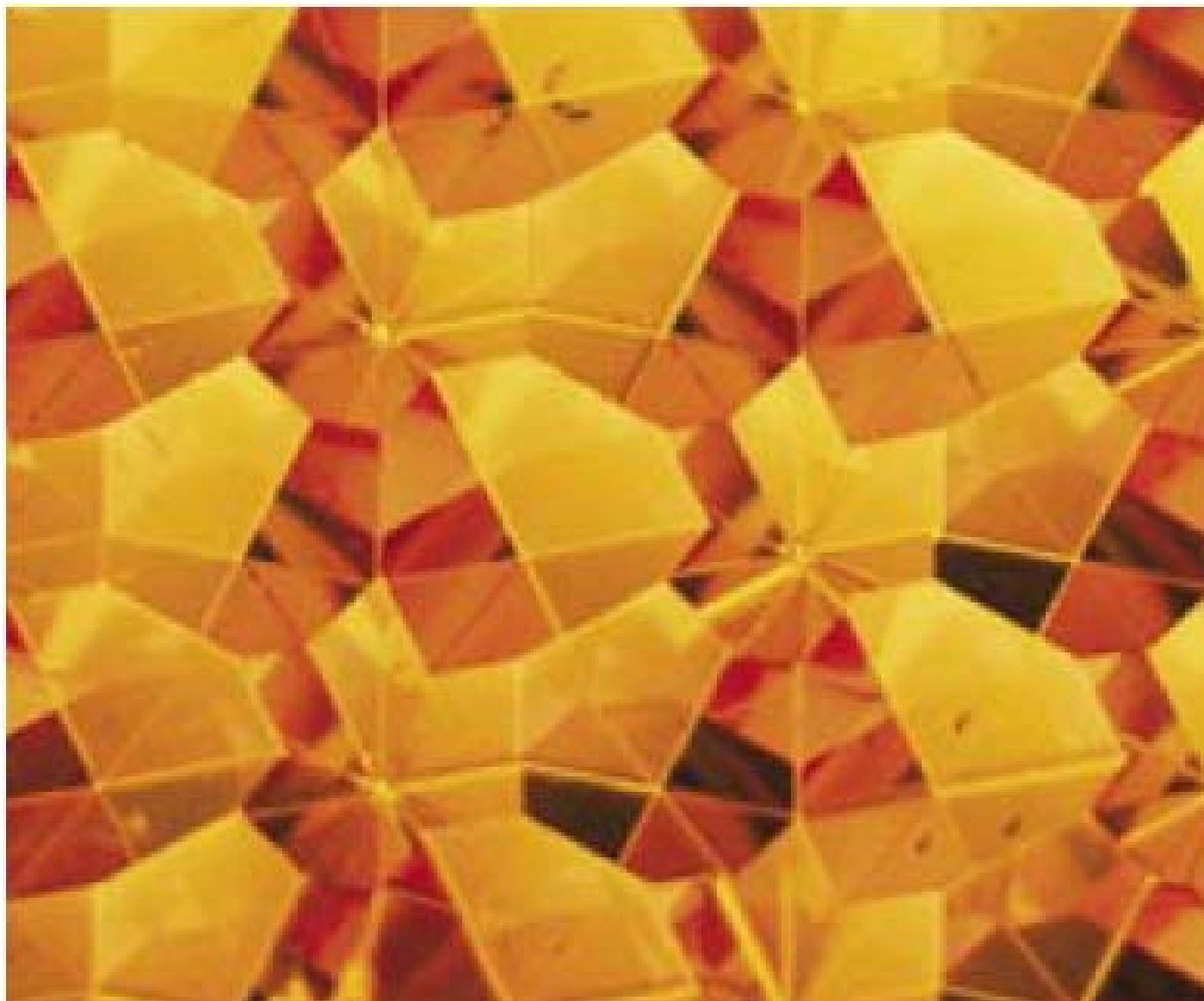


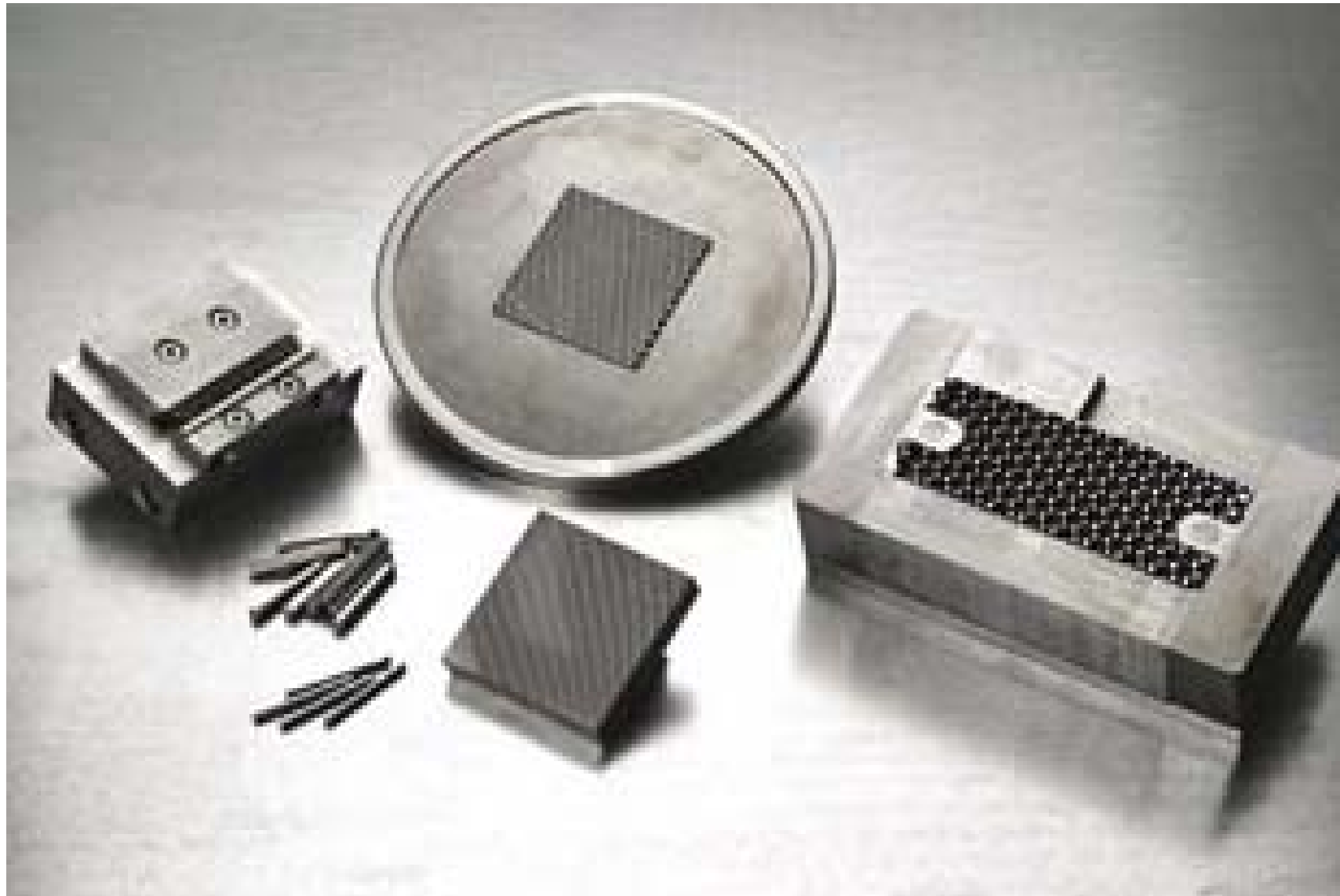
## Abgewandelte Rhomben-Pyramiden

Bei diesen Pyramiden werden die nicht reflektierenden Sechsecke der ursprünglichen Rhomben-Pyramiden durch Abschleifen zu reflektierenden sechseckigen Sternen umgewandelt. Die rückstrahlende Fläche beträgt 88,9%. Anwendung finden diese Pyramiden v.a. bei Rückstrahlern im Straßenbereich und in der Fahrzeugausrüstung.



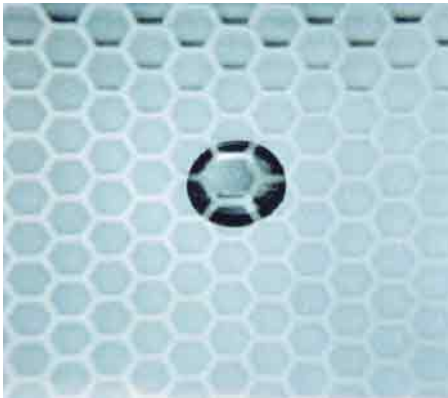
Quelle: **ULTRAREFLEX**  
PRÄZISE LÖSUNGEN





## Einfluss von Betauung auf die Wirkung von Rückstrahlern



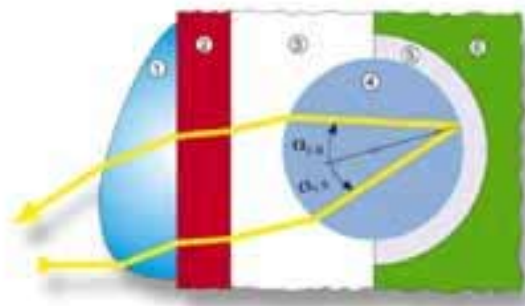


Lichtbrechung durch Wassertropfen - Reflexfolie



Lichtbrechung durch Wasserfilm - Reflexfolie

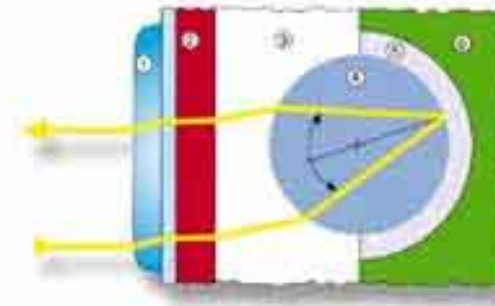
3M™ Reflexfolie  
(Folie ohne Antitau)



- 1 - Wassertropfen
- 2 - TOP-Film  
ohne DR-Beschichtung
- 2 - Luft
- 4 - Glaskugel
- 5 - Reflektor
- 6 - Grundschrift

Bedingt durch die Form des Wassertropfens wird das auftreffende Licht überwiegend *diffus reflektiert*.

3M™ Reflexfolie DR Antitau  
(Folie mit Antitau)



- 1 - Wassertropfen
- 2 - TOP-Film  
mit DR-Beschichtung
- 2 - Luft
- 4 - Glaskugel
- 5 - Reflektor
- 6 - Grundschrift

Auf der DR-Beschichtung zerläuft der Wassertropfen zu einem Wasserfilm. Der auftreffende Lichtstrahl wird lediglich zusätzlich gebrochen und *zur Lichtquelle reflektiert*.

## Messmethoden zur Bestimmung des Rückstrahlwertes



## Photometrisches Entfernungsgesetz

$$I = E_{\perp} r^2$$

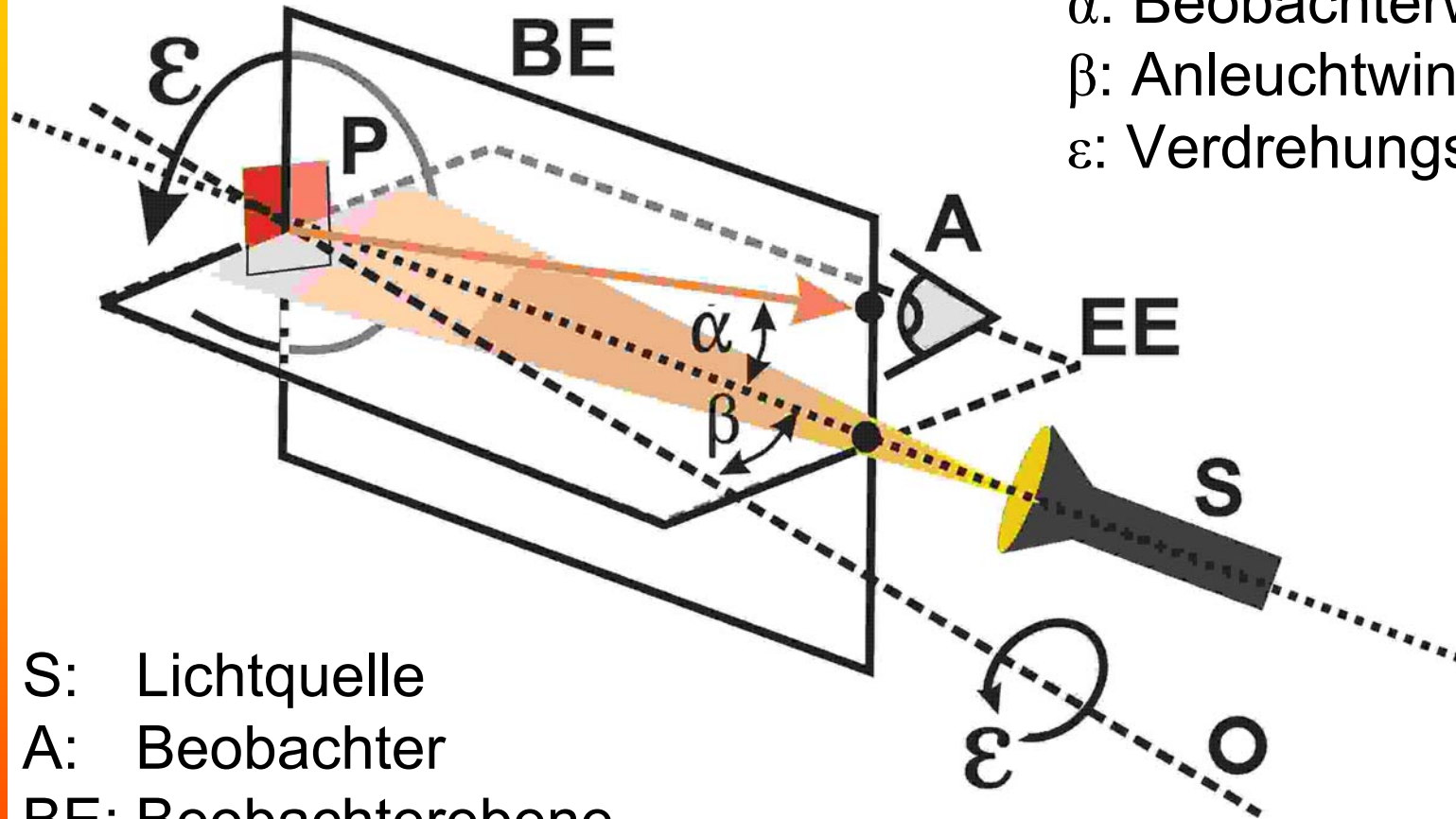
Mit der Beleuchtungsstärke  $E_{\perp}$  orthogonal zur Rückstrahlerebene und dem Abstand  $r$  Rückstrahler  $\rightarrow$  Beobachter

$\rightarrow$  **Lichtstärke von Reflektoren**  $I(\beta) \approx E_{\perp} r^2$

## Leuchtdichte $L$ von Reflektoren

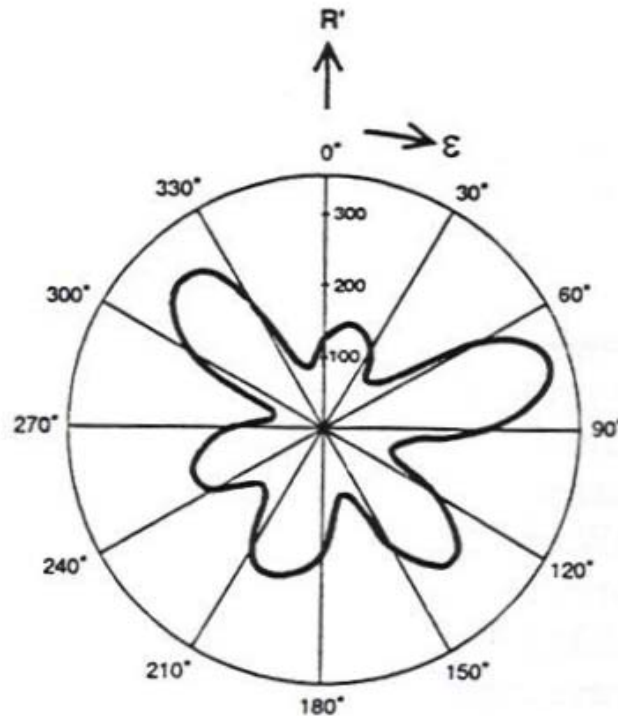
$$L = R'(\alpha, \beta, \varepsilon) \cdot E_{\perp}$$

Mit spezifischem Rückstrahlwert  $R'$

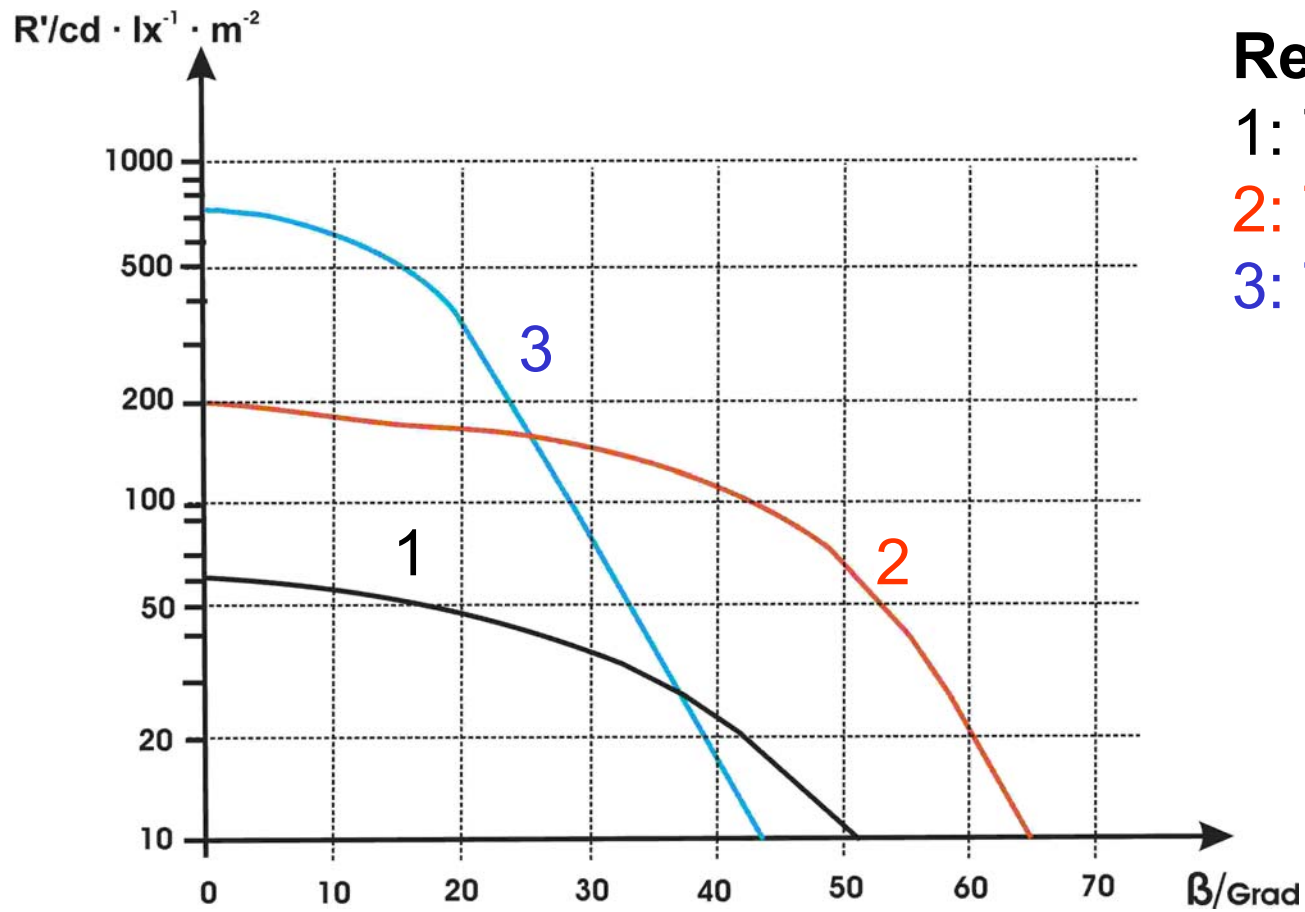


$\alpha$ : Beobachterwinkel  
 $\beta$ : Anleuchtwinkel  
 $\epsilon$ : Verdrehungswinkel

S: Lichtquelle  
 A: Beobachter  
 BE: Beobachterebene  
 EE: Beleuchtungsebene  
 O: Flächennormale



*Bild 3: Spezifischer Rückstrahlwert eines weißen mikroprismatischen Reflexstoffes in Abhängigkeit vom Verdrehungswinkel  $\epsilon$ .*



## Reflektortypen

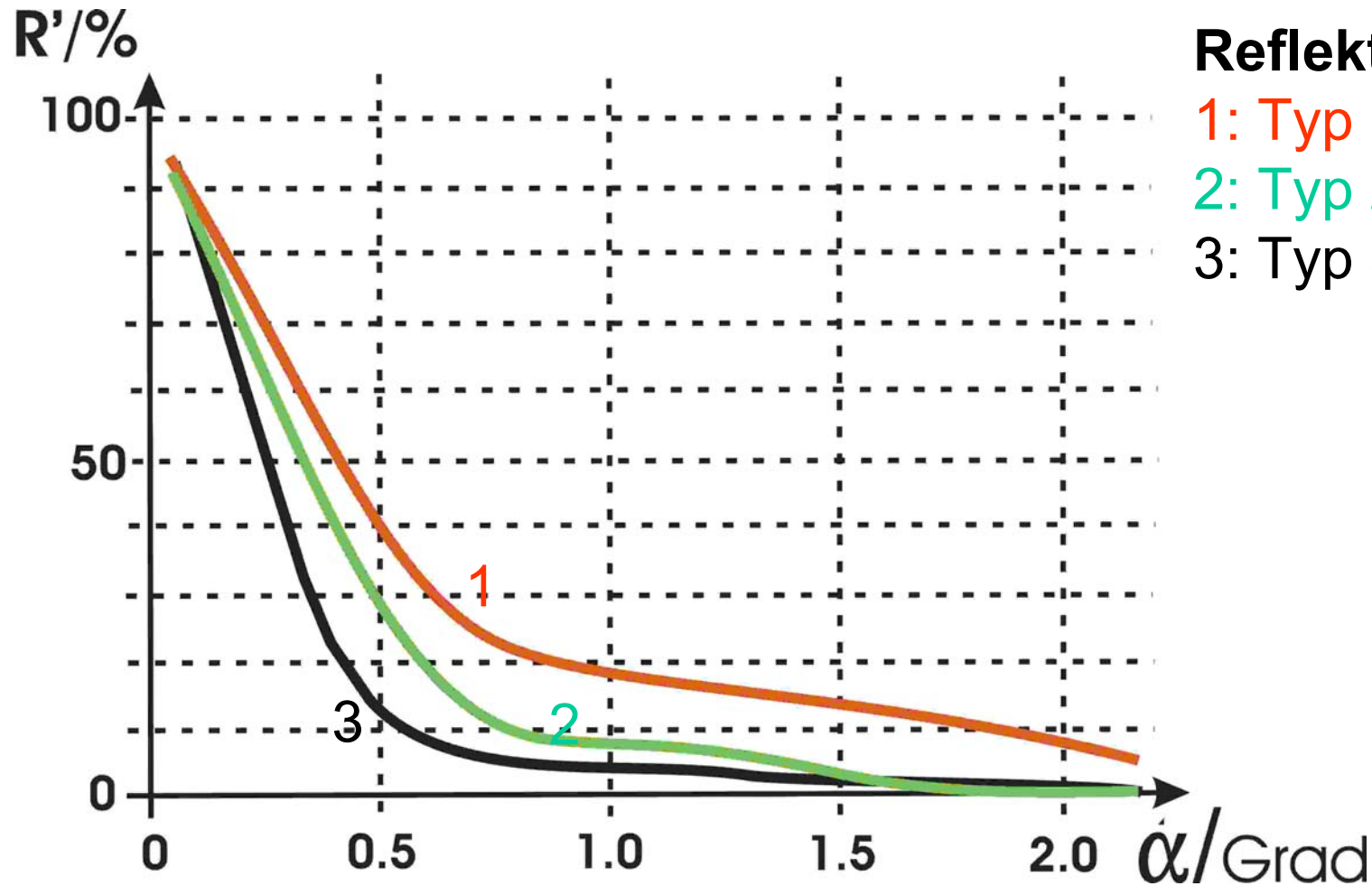
1: Typ 1

2: Typ 2

3: Typ 3

$\beta$ : Anleuchtwinkel

$R'$ : spezifischer Rückstrahlwert



**Reflektortypen**

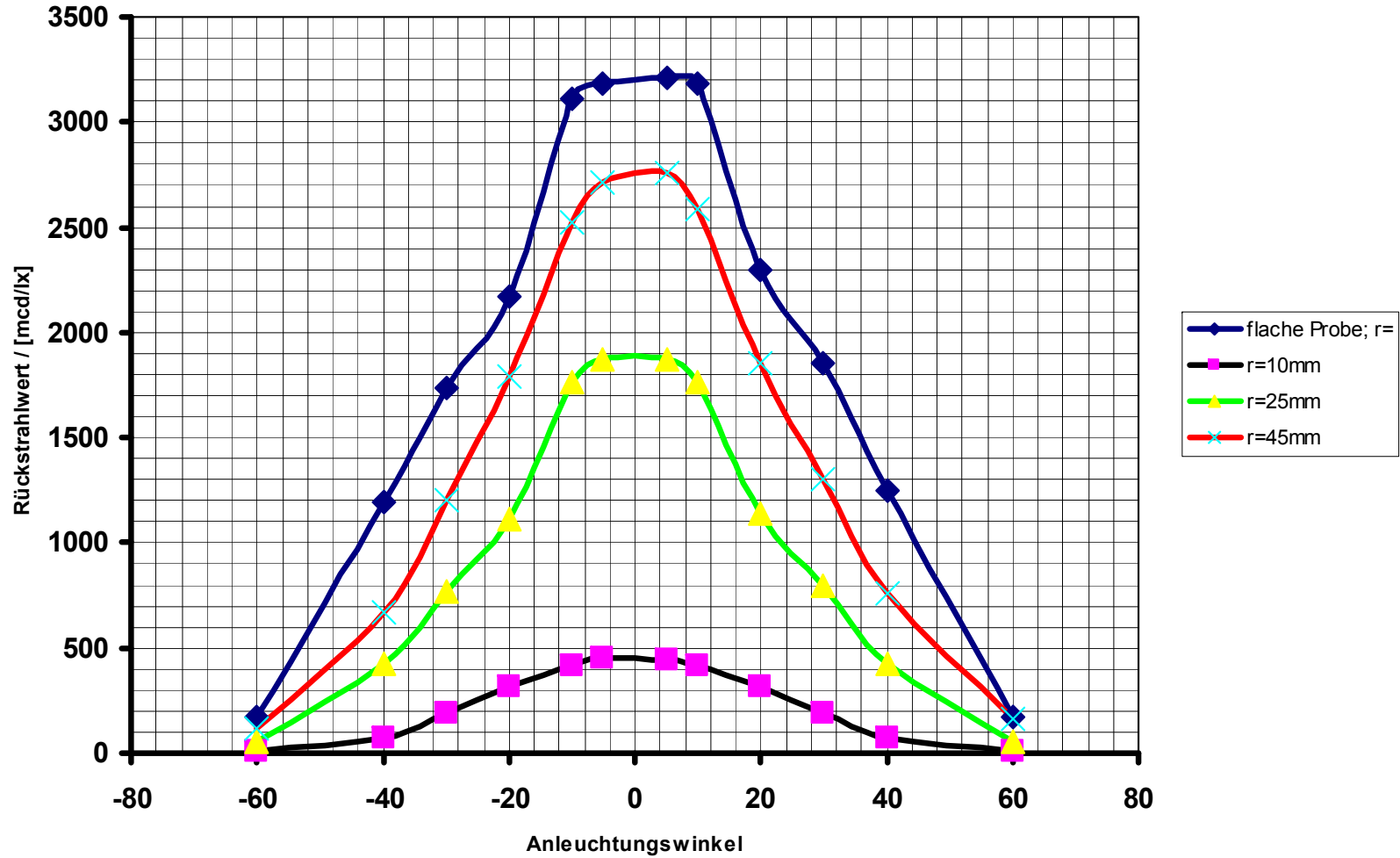
- 1: Typ 1
- 2: Typ 2
- 3: Typ 3

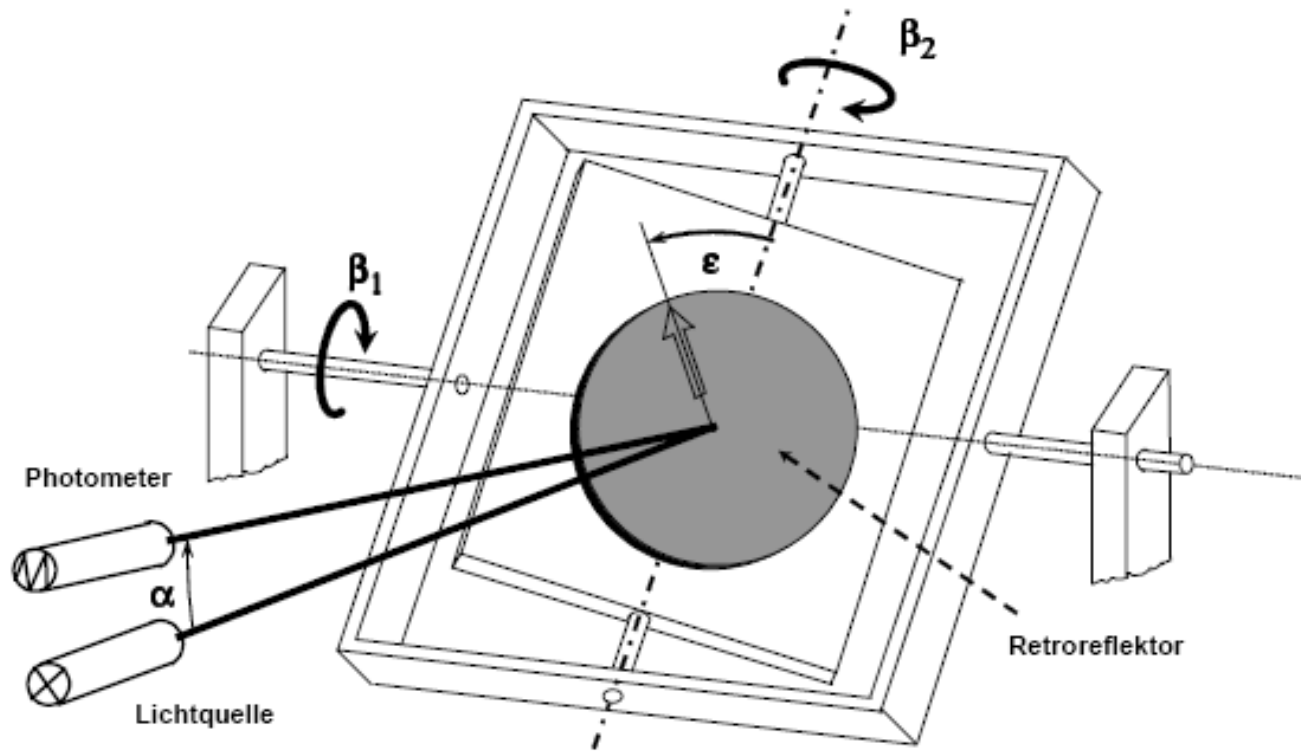
$\alpha$ : Beobachterwinkel

$R'$ : relativer spezifischer Rückstrahlwert



Verhalten von rückstrahlendem Material unter Krümmung [ Klasse C ECE-R 104]





### Stand der Technik (2005)

Rot: 1.000 mcd/lx

Gelb: 2.500 mcd/lx

Weiß: 4.000 mcd/lx

Rückstrahlwerte gelten für ein Messfeld von 10x10 cm.



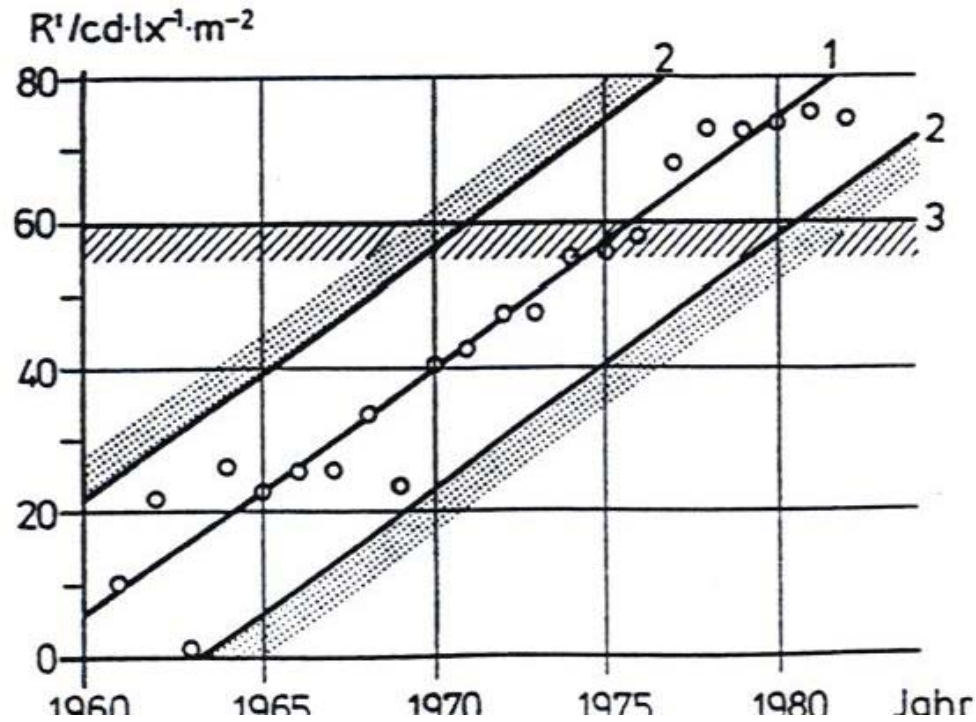


Bild 25

Spezifischer Rückstrahlwert  $R'$  und Herstellungsjahr von Reflexstoffen

1 : Mittelwert der Meßergebnisse

2 : Vertrauensbereich für die Meßergebnisse

3 : Mindestwert für  $R'$  für weiße Reflexstoffe Typ 1

<u>Tabelle 3</u>			
Mindestrückstrahlwerte R in in $cd \cdot lx^{-1}$			
Material	Farbe	4 x18 cm <sup>2</sup>	Ø 6 cm
<b>Glas</b>	<b>Weiß</b>	<b>300</b>	<b>100</b>
	<b>Gelb</b>	<b>225</b>	<b>120</b>
	<b>Rot</b>	<b>90</b>	<b>50</b>
<b>Kunststoff</b>	<b>Weiß</b>	<b>600</b>	<b>320</b>
	<b>Gelb</b>	<b>450</b>	<b>240</b>
	<b>Rot</b>	<b>180</b>	<b>100</b>

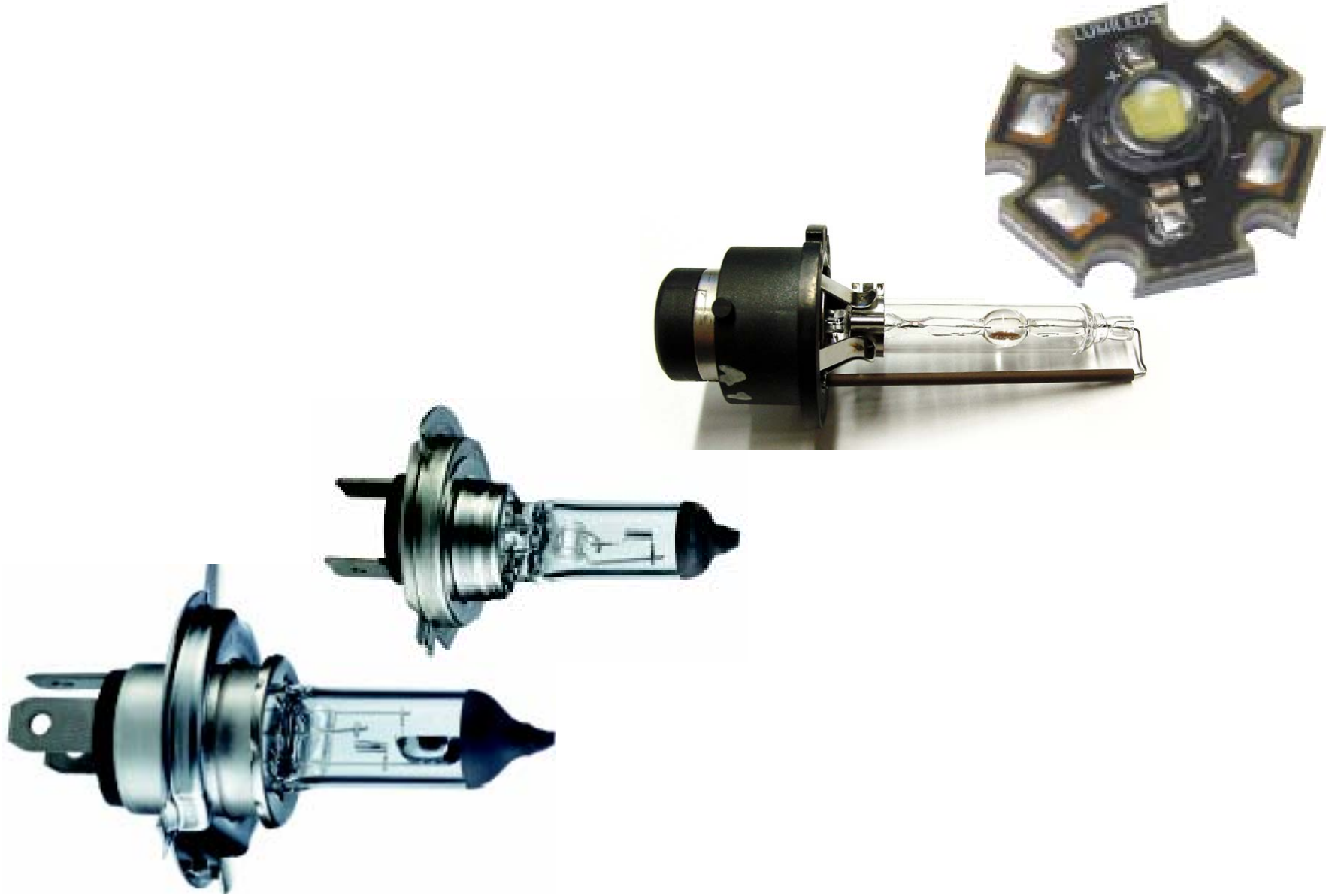
<u>Tabelle 2</u>				
<b>Mindestrückstrahlwerte <math>R'</math> in <math>cd \cdot lx^{-1} \cdot m^{-2}</math></b>				
<b>von Reflexstoffen zur Verkehrssicherung entsprechend DIN 67520</b>				
<b>Aufsichtfarbe</b>	$\alpha=0,33^\circ$ $\beta_V = 5^\circ, \beta_H = 0^\circ$		$\alpha= 2^\circ$ $\beta_V = 30^\circ, \beta_H = 0^\circ$	
	<b>Typ 1</b>	<b>Typ 2</b>	<b>Typ 1</b>	<b>Typ 2</b>
<b>Rot</b>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>
<b>Orange</b>	<b>15</b>	<b>45</b>	<b>0,6</b>	<b>0,6</b>
<b>Gelb</b>	<b>25</b>	<b>75</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
<b>Grün</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
<b>Blau</b>	<b>2,5</b>	<b>7,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>
<b>Purpur</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Weiß</b>	<b>60</b>	<b>180</b>	<b>2,4</b>	<b>2,4</b>

Tabelle 1

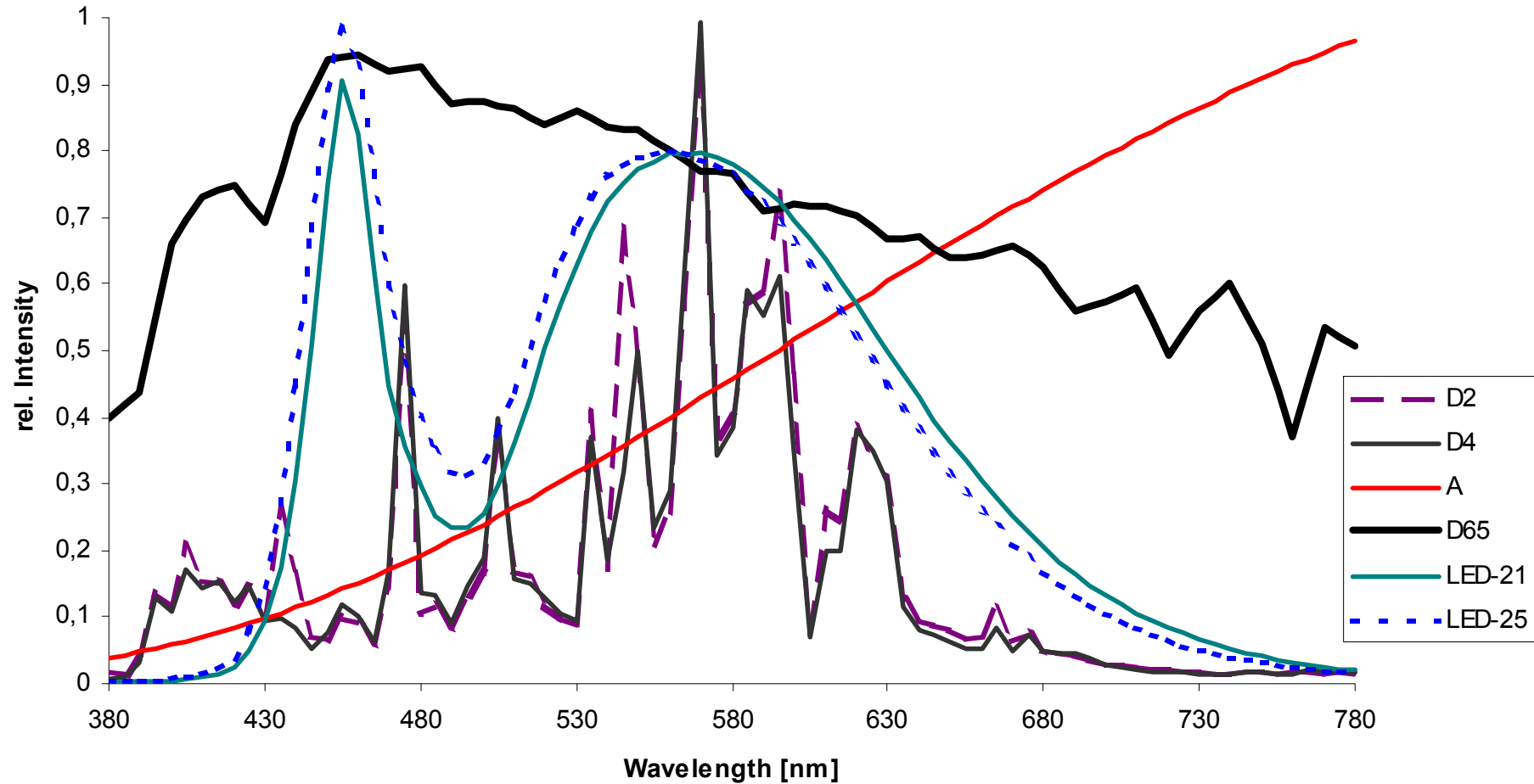
**Mindestrückstrahlwerte R in  $cd \cdot lx^{-1}$   
von roten Rückstrahlern an Kraftfahrzeugen entsprechend der ECE-Regelung 3**

Klasse	Beobachtungswinkel $\alpha$	Beleuchtungswinkel $\beta$		
		$\beta_V$	$\beta_H$	$\beta_{H \pm}$
		0°	+10°	+5°
		0°	0°	+20°
I A	20′	300	200	100
	1°30′	5	2,8	2,5
III A	20′	450	200	150
	1°30′	12	8	8

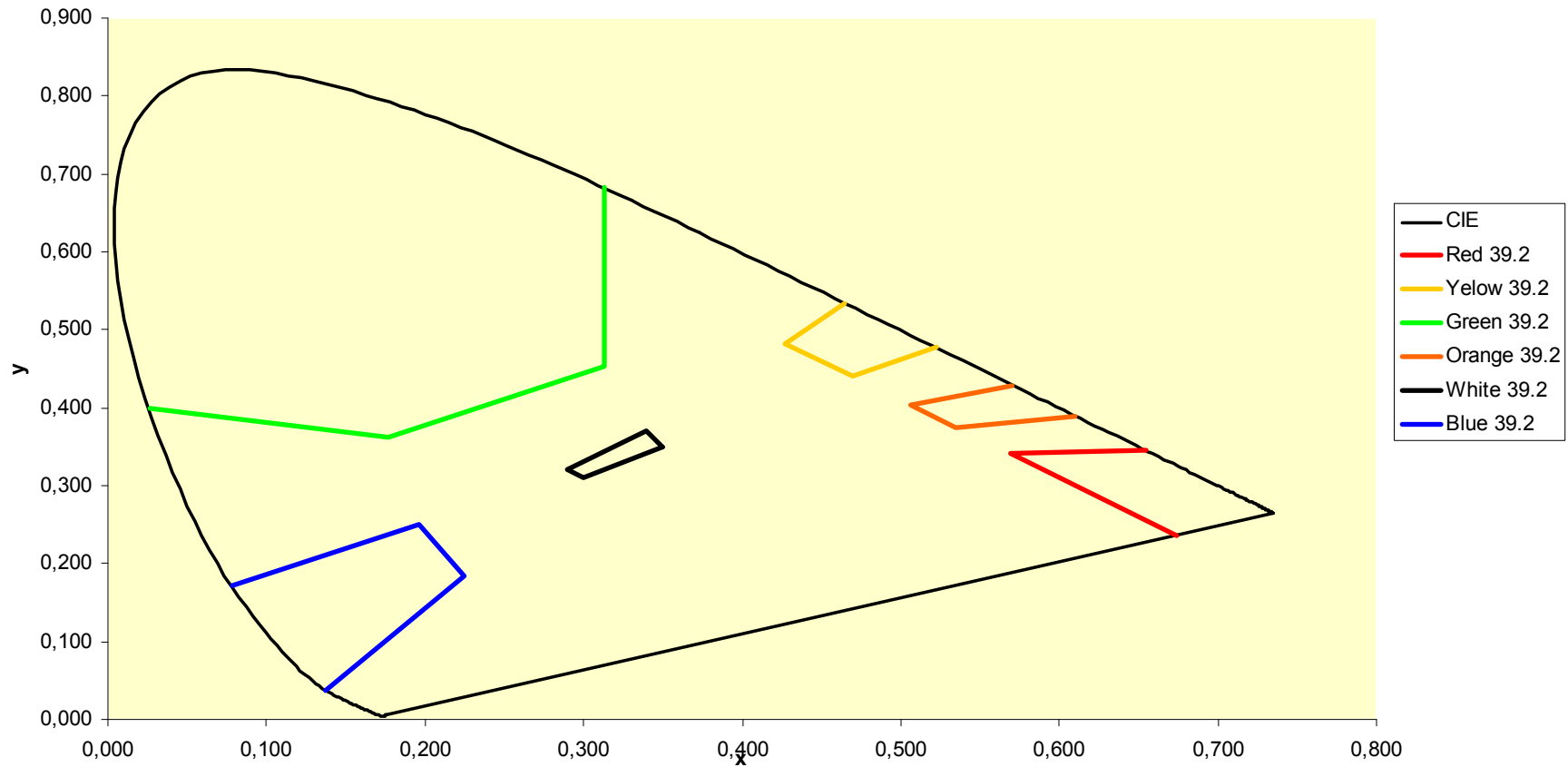
Messfläche 100cm<sup>2</sup> (maximal)

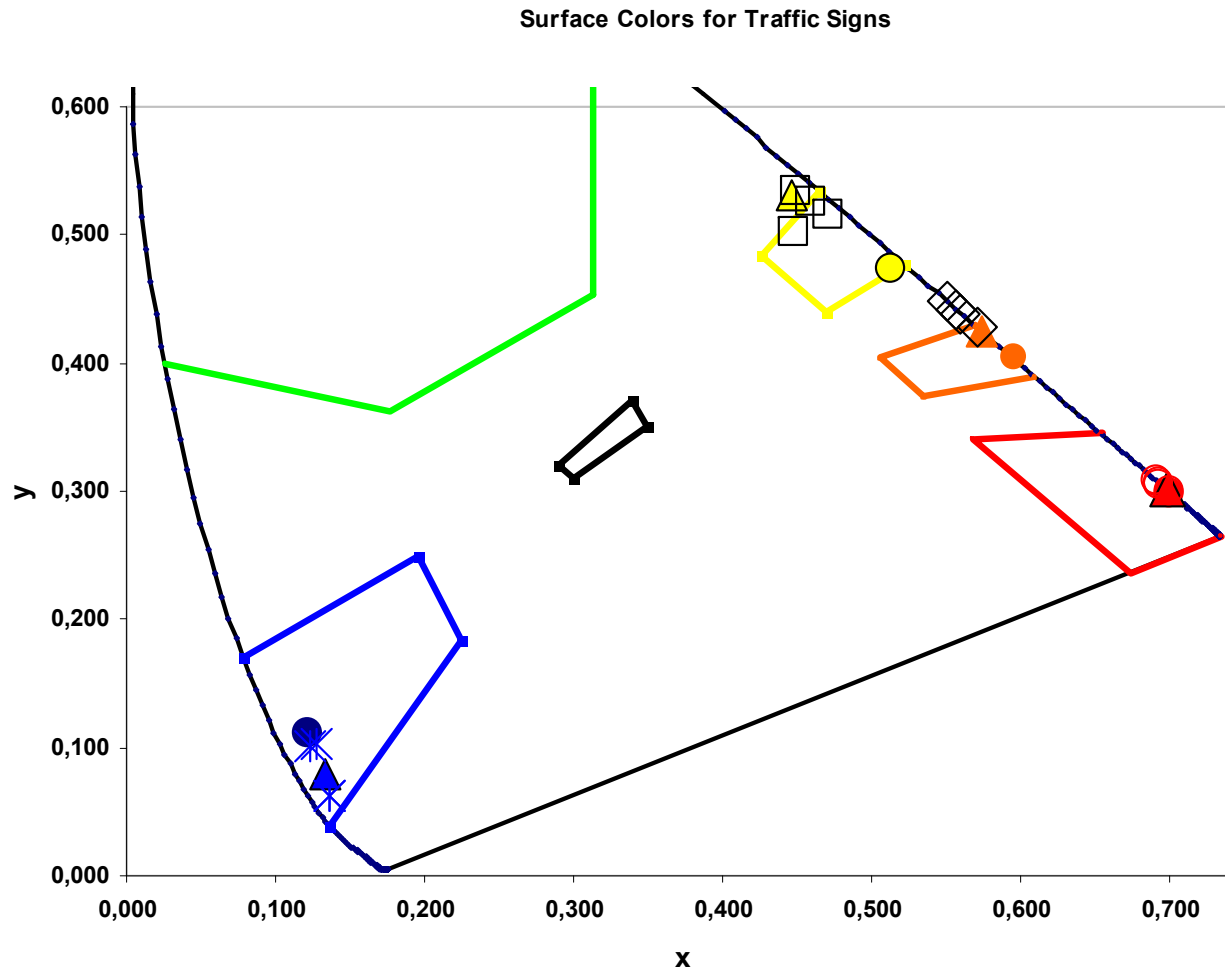


Spectral Distribution of Different Light Sources



Surface Colour for Traffic Signs CIE 39.2







## Anwendung Rückstrahler im Fahreugbereich



[www.street-racer.de](http://www.street-racer.de)

[www.street-racer.de](http://www.street-racer.de)

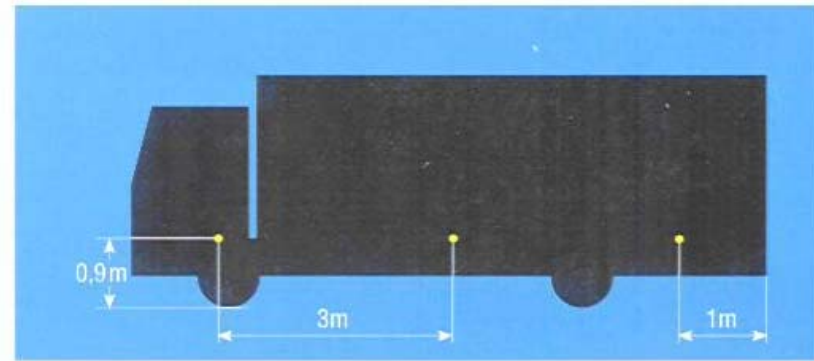
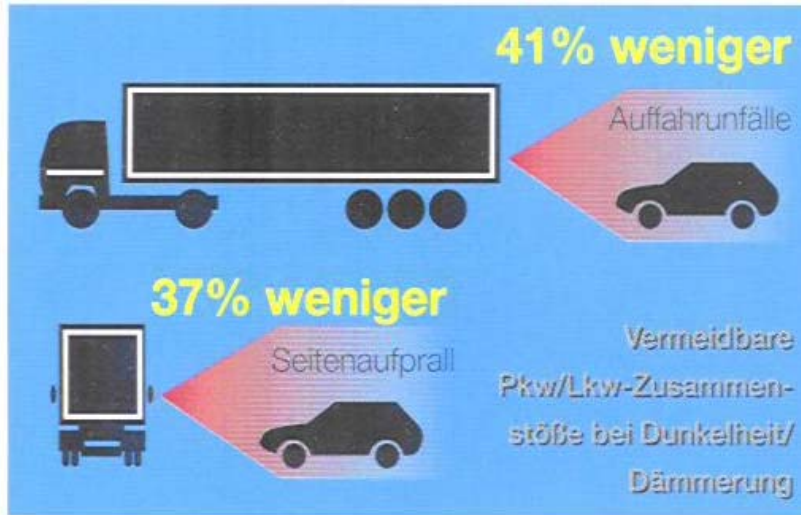
## Farb-Konvertierungsfaktor für Rückstrahlwerte von Rückstrahlern unterschiedlicher Farbe

<b>Farbe</b>	<b>weiß:</b>	<b>gelb:</b>	<b>rot:</b>
<b>Faktor</b>	<b>4,0</b>	<b>2,5</b>	<b>1</b>
	<b>1,6</b>	<b>1</b>	<b>0,4</b>
	<b>1</b>	<b>0,625</b>	<b>0,25</b>

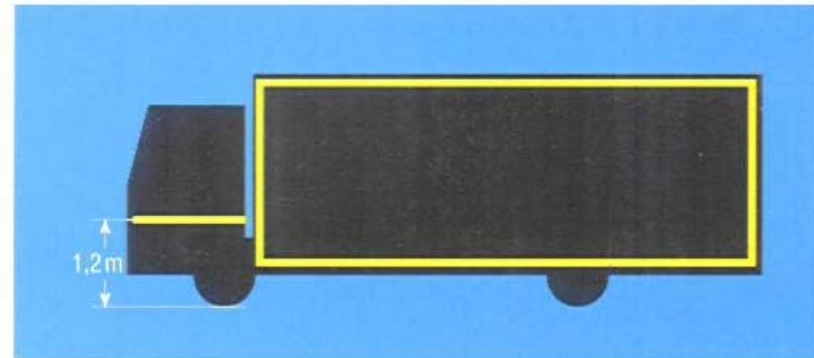
Vergleichstabelle für die Rückstrahlwirkung verschiedener rückstrahlender Einrichtungen der Farbe Gelb bei einem Beobachtungswinkel  $\alpha = 1/3^\circ$

Regelung	Meßfläche cm <sup>2</sup>	mcd/lx	Rückstrahlwert cd/lxm <sup>2</sup>	mcd/lx 20 cm <sup>2</sup>
R3 IA	100	750	75	150
	75	750	100	200
	20	750	375	750
IV A	100	1125	112,5	225
	75	1125	150	300
	20	1125	562,5	1125
R 70	min. 678	8272	122	244

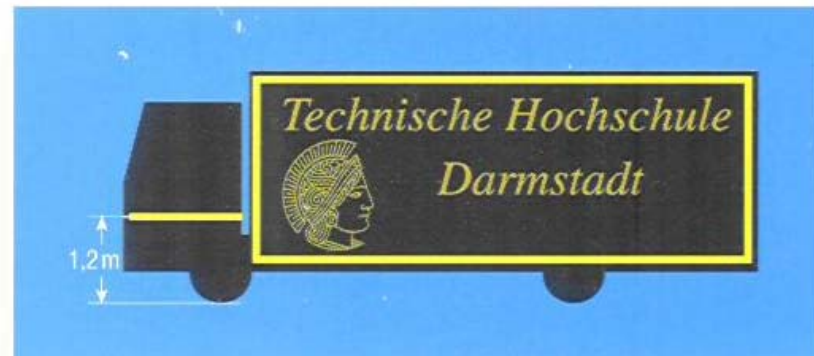




Heute vorgeschriebene seitliche Mindestkennzeichnung nach § 51a StVZO mittels Rückstrahler: Kennzeichnung durch punktförmige Rückstrahler (Punktdurchmesser: 60 mm).



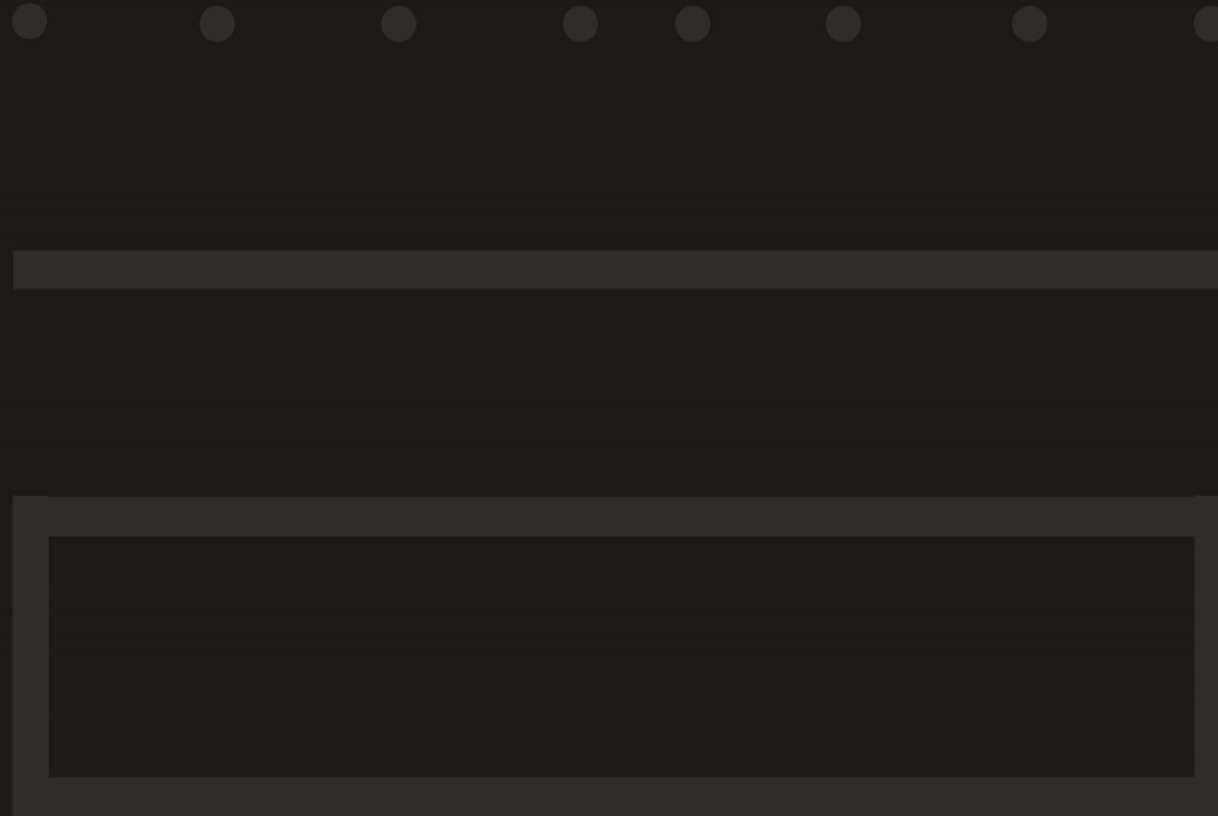
Kennzeichnung durch Konturmarkierung als Vorschlag zur Verbesserung der seitlichen Kenntlichmachung.



# Beispiel LKW-Kennzeichnung:

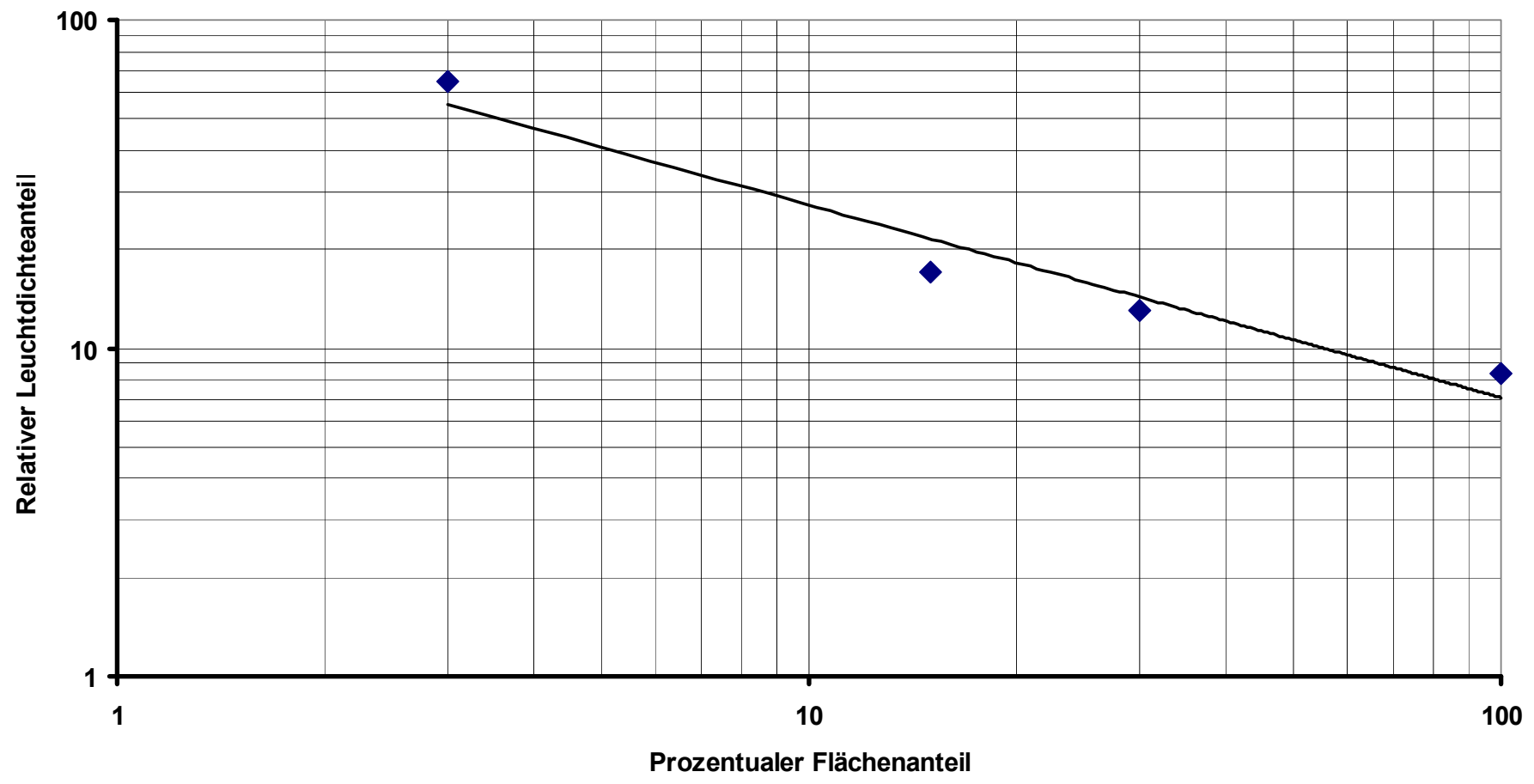


**Hohe Leuchtdichte**

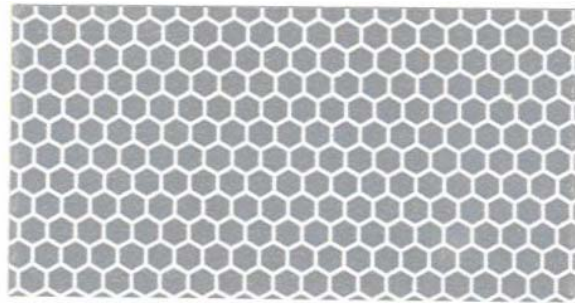


**Niedere Leuchtdichte**





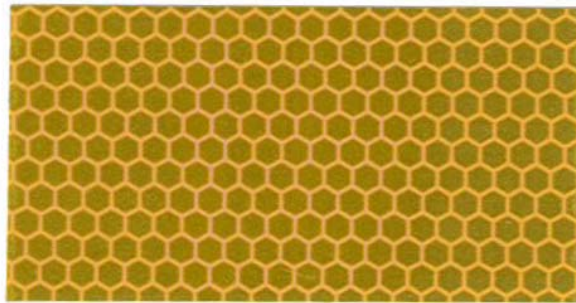




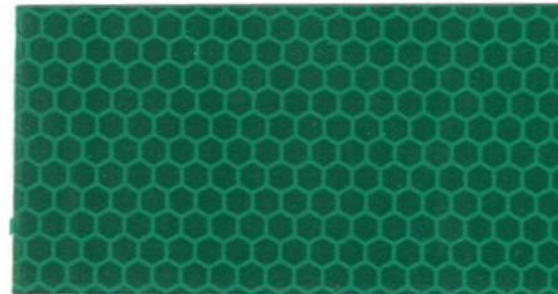
Silver



Blue



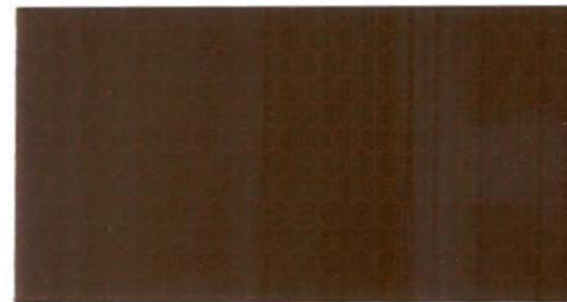
Yellow



Green



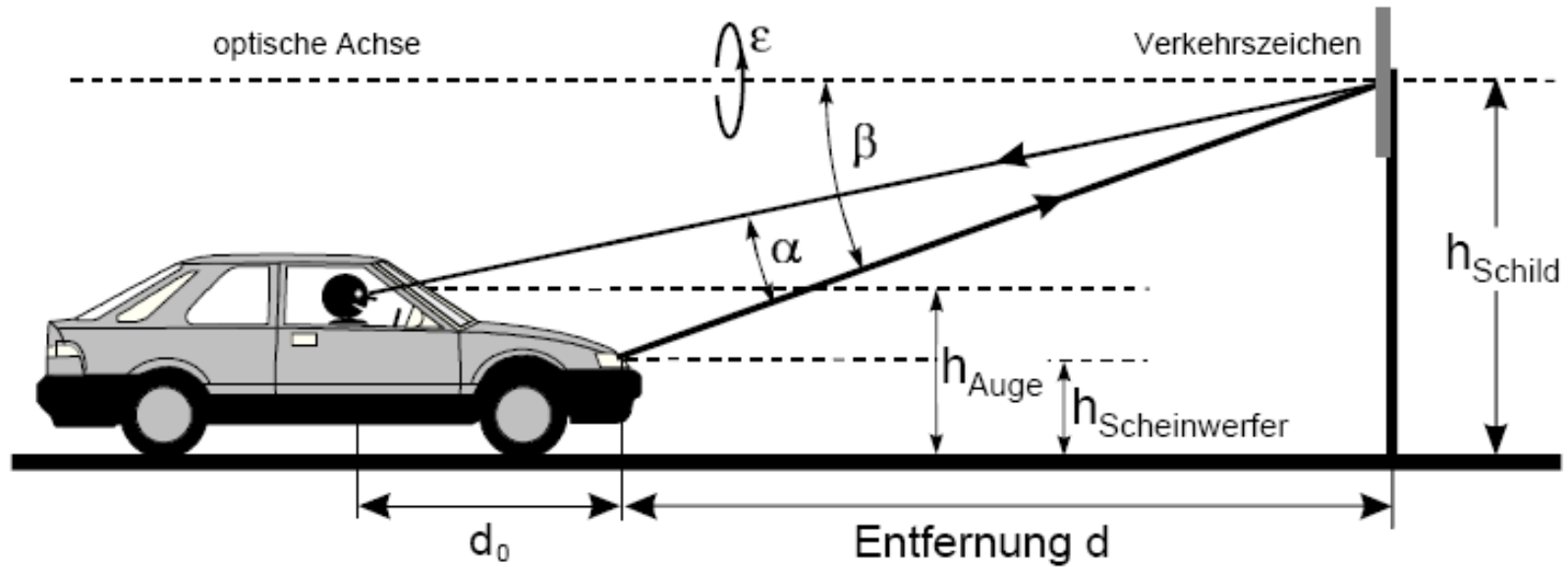
Red



Brown

## Anwendung Rückstrahler für Verkehrszeichen





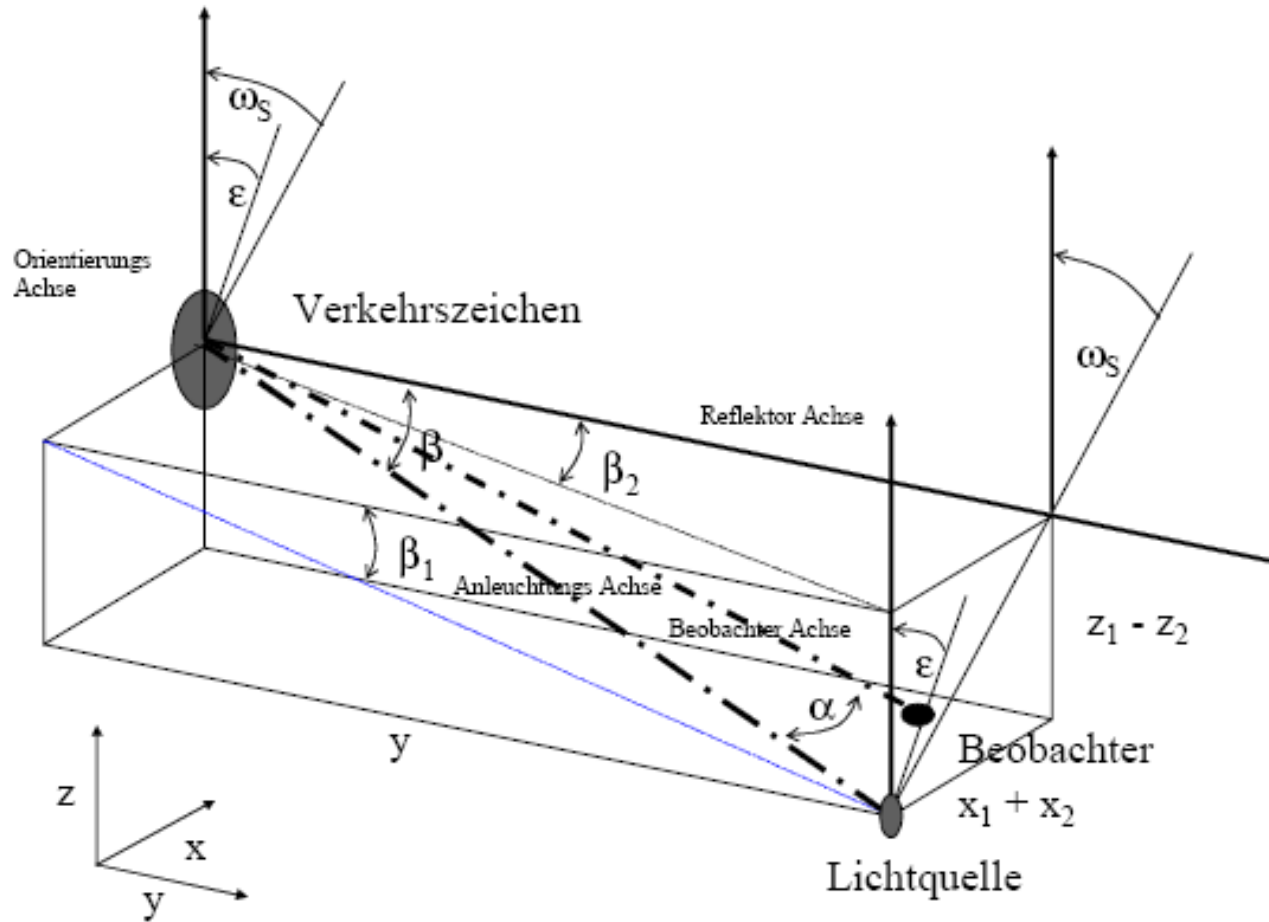
Legende zu *Abbildung 1*

$\alpha$  : Beobachtungswinkel / °

$\beta$  : Anleuchtungswinkel / °

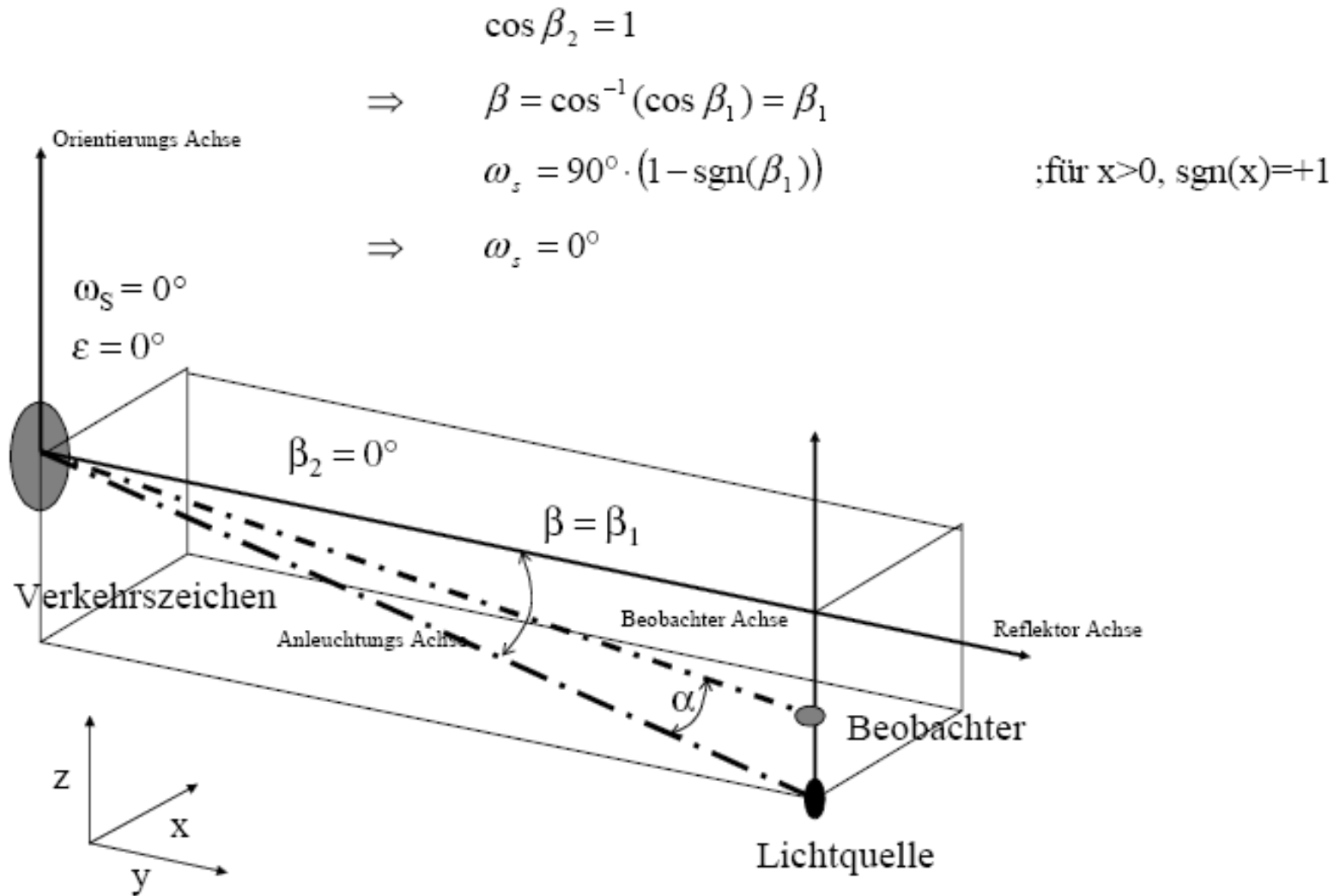
$\epsilon$  : Rotationswinkel / °

$d_{AS}$  : Entfernung Auge-Scheinwerfer / m



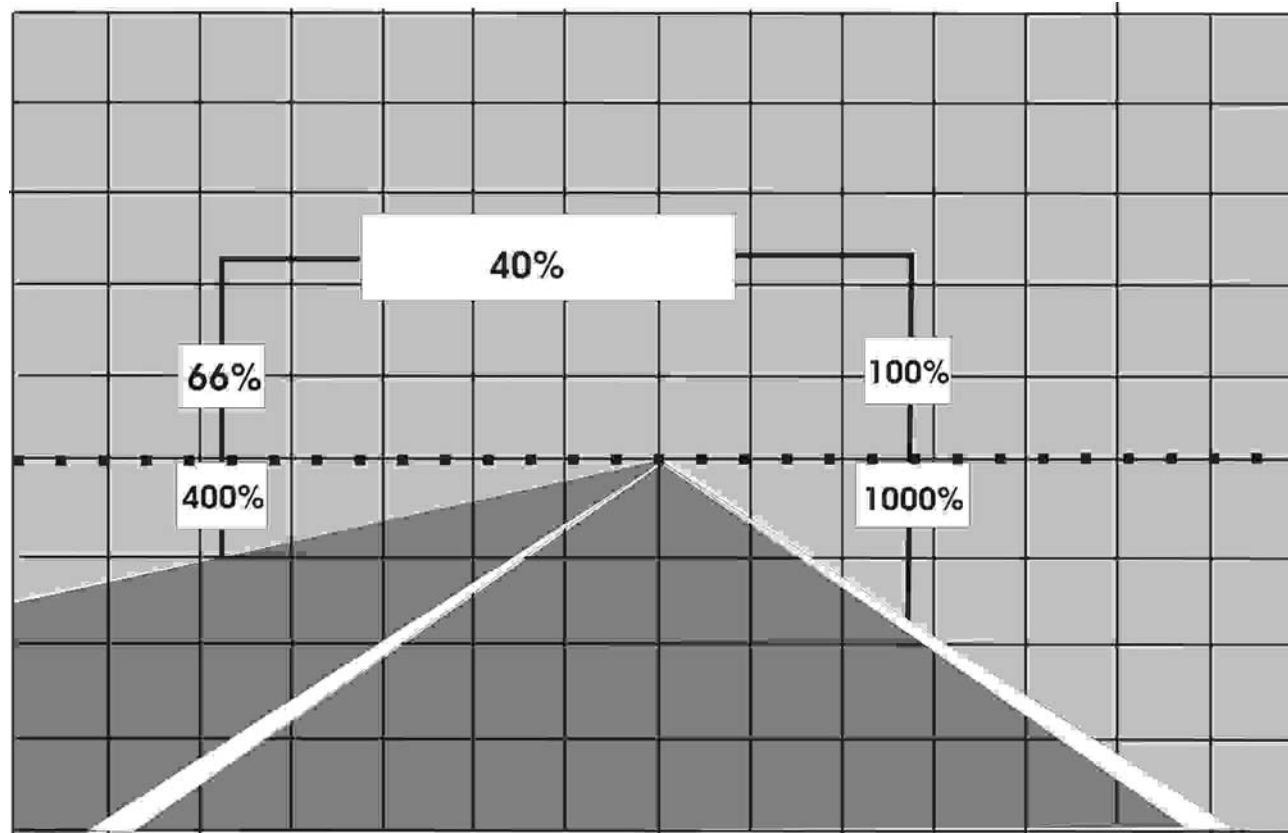
$$\beta = \cos^{-1}(\cos\beta_1 \cdot \cos\beta_2)$$

$$\omega_s = \varepsilon + \tan^{-1}\left(\frac{\sin\beta_2}{\tan\beta_1}\right) + 90^\circ \cdot (1 - \text{sgn}(\beta_1))$$



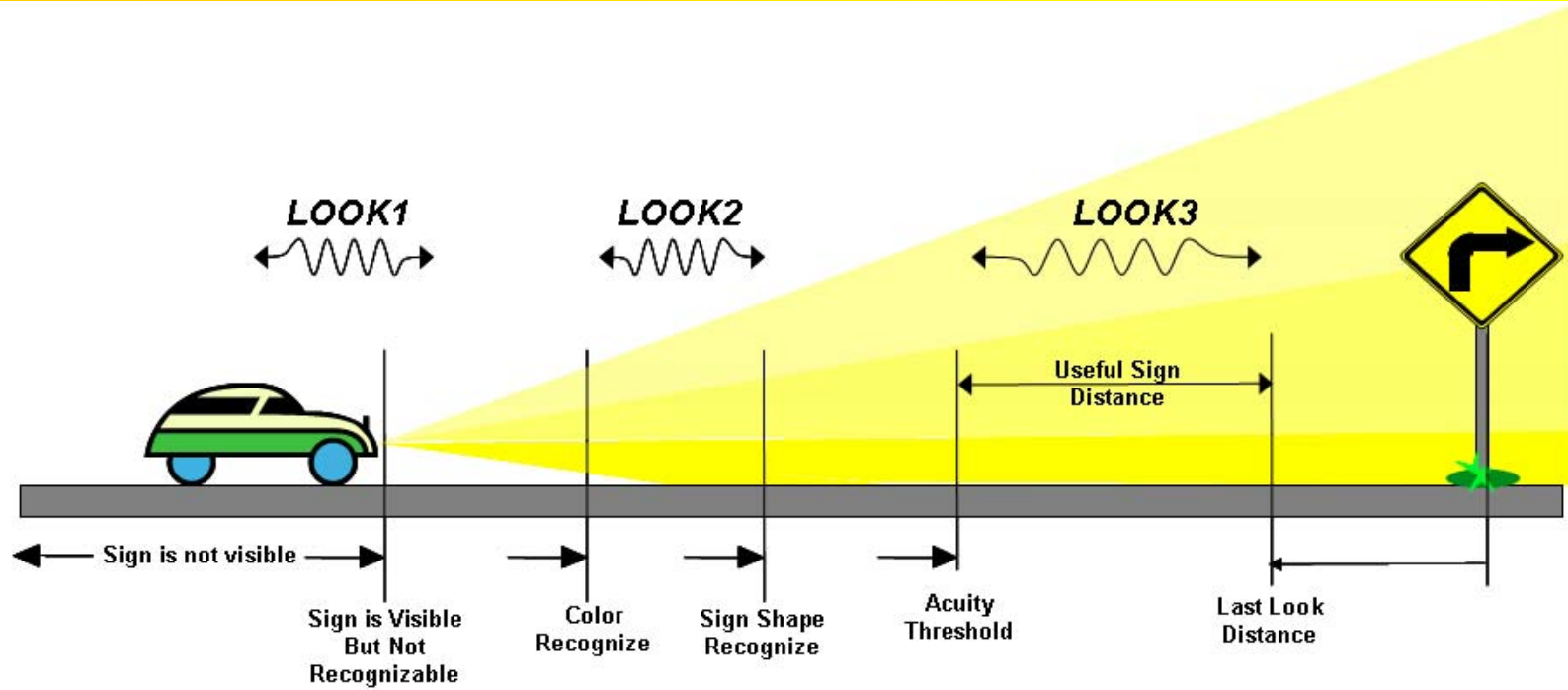
Mit den Vereinfachungen für die Geometrischen Bedingungen  $\beta_2 = 0^\circ$  and  $\epsilon = 0^\circ$





**Durchschnittliche Beleuchtungsstärken in relativen Werten, senkrecht zur Anleuchtungsrichtung gemessen.**

Quelle H. Frank



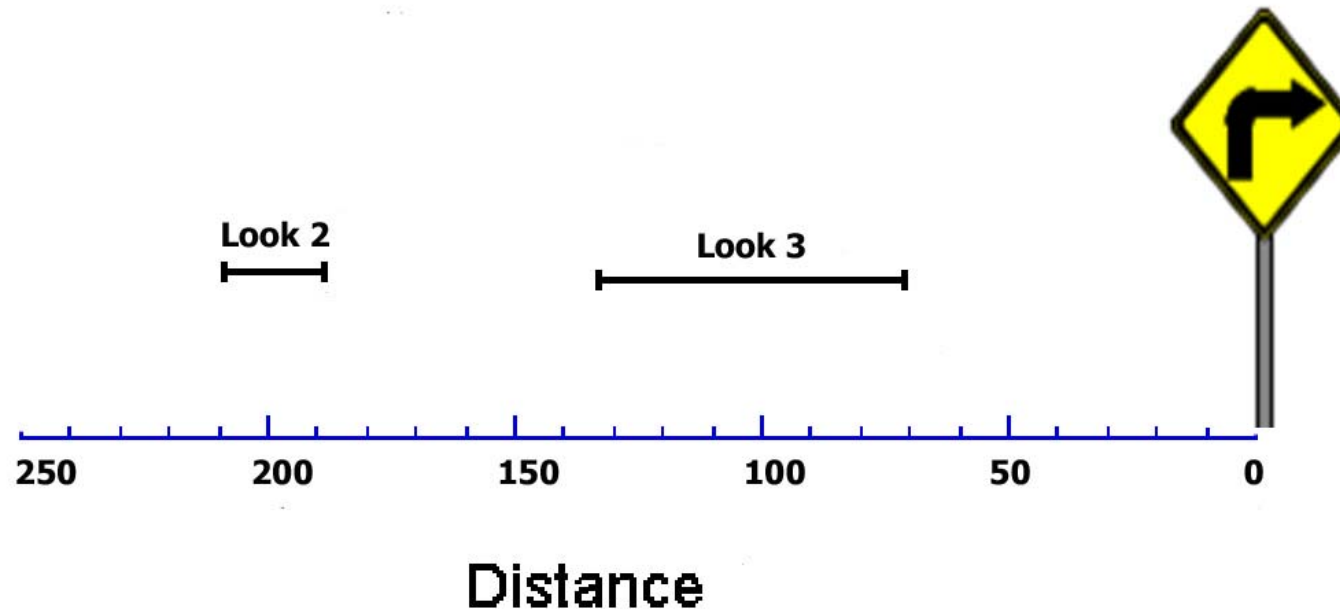
## Das drei Blick („look“) – Modell

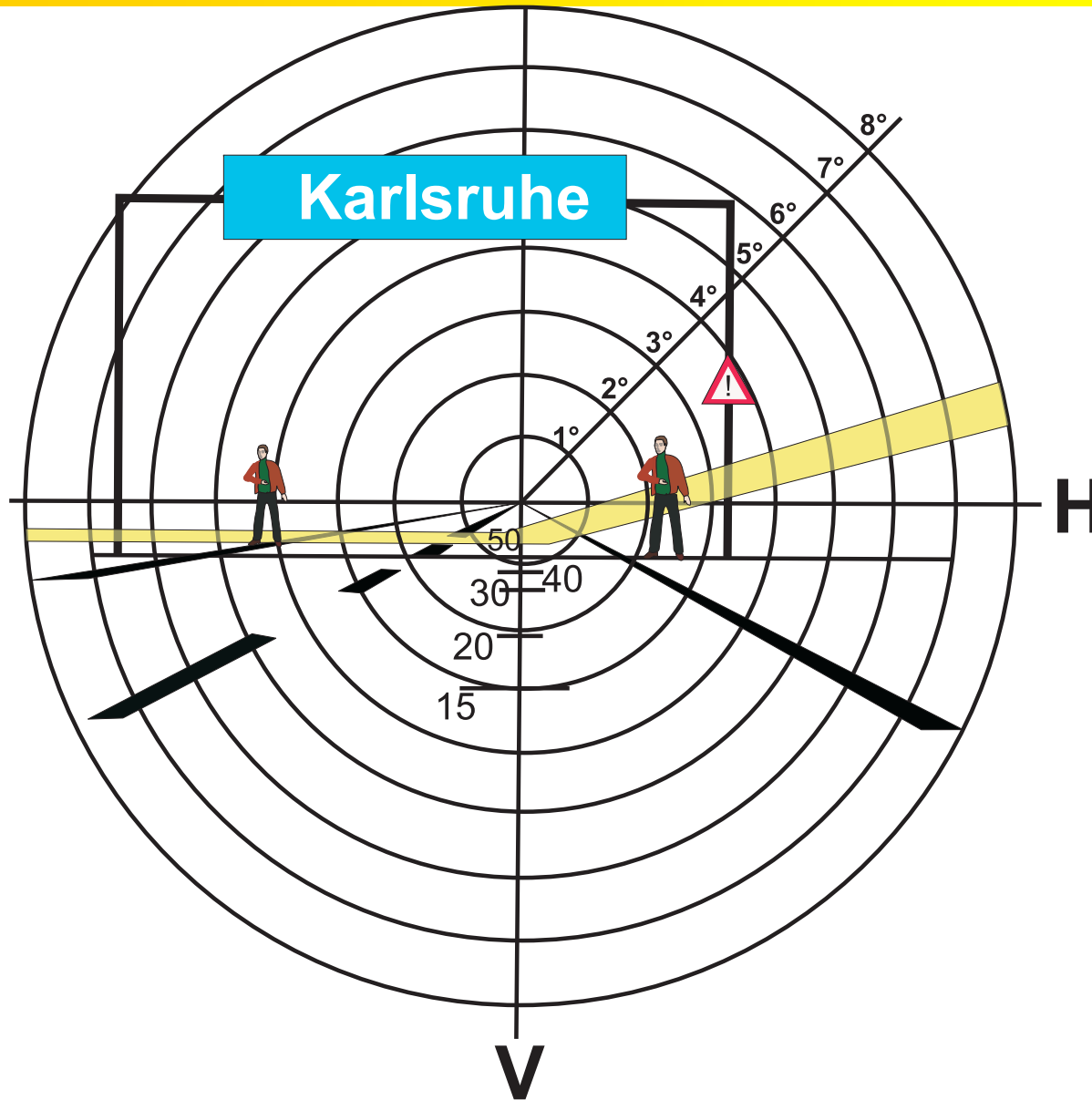
zum Wahrnehmungsprozess der Information eines Verkehrszeichens.

Quelle: CIE TC 4-40,

Draft: REQUIREMENTS FOR RETROREFLECTIVE TRAFFIC SIGNS

## Blickbereiche in Bezug zum Abstand:





Position	typische Montagehöhe	$E_{\perp} / lx$	$E_{\perp rel} / \%$	Kompensations-Factor $E^*/1$
überkopf	5.0	0.06	40	2.50
linke Seite	2.5	0.10	66	1.50
rechte Seite	2.5	0.15	100	1.00
links unten	0.5	0.60	400	0.25
rechts unten	0.5	1.5	1000	0.10

Durchschnittliche Beleuchtungsstärken in absoluten und relativen Werten, senkrecht zur Anleuchtungsrichtung gemessen.

Der Kompensationsfaktor  $E^*$  bezieht sich auf eine Anleuchtungsentfernung von 70m.

Die typische Montagehöhe ist auf die Unterkante des Schildes bezogen.

Quelle H. Frank



Für das Wahrnehmen und Erkennen von Verkehrszeichen gelten drei Kriterien

- Sehschärfe
- minimale Leuchtdichte
- optimale Leuchtdichte.

In Bild 21 ist die Abhängigkeit des Maßes  $d'$  von der Zeichenleuchtdichte  $L_Z$  dargestellt.

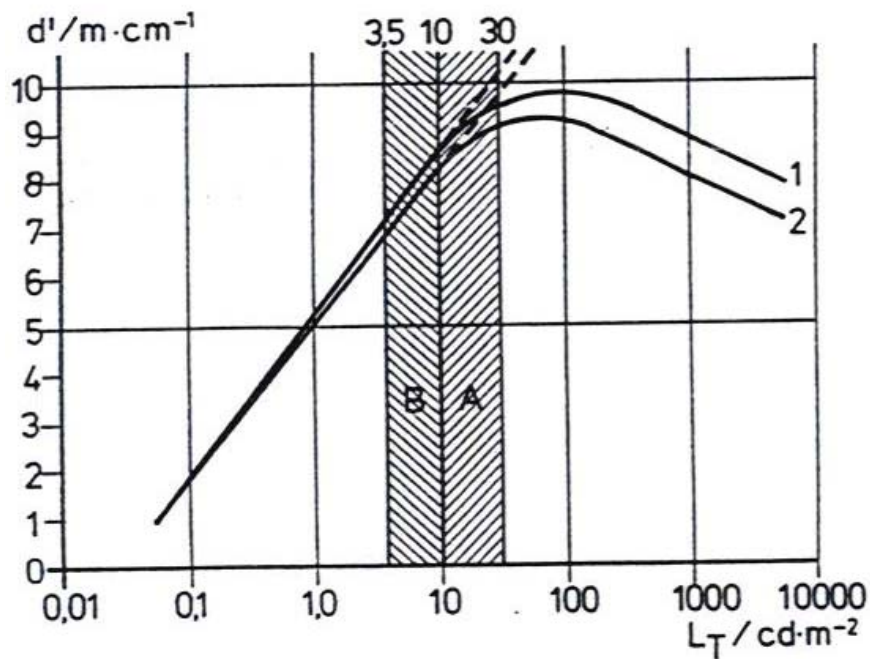


Bild 21

Sehschärfe  $d'$  und Leuchtdichte  $L_T$  von Testzeichen

1: Umfeldleuchtdichte

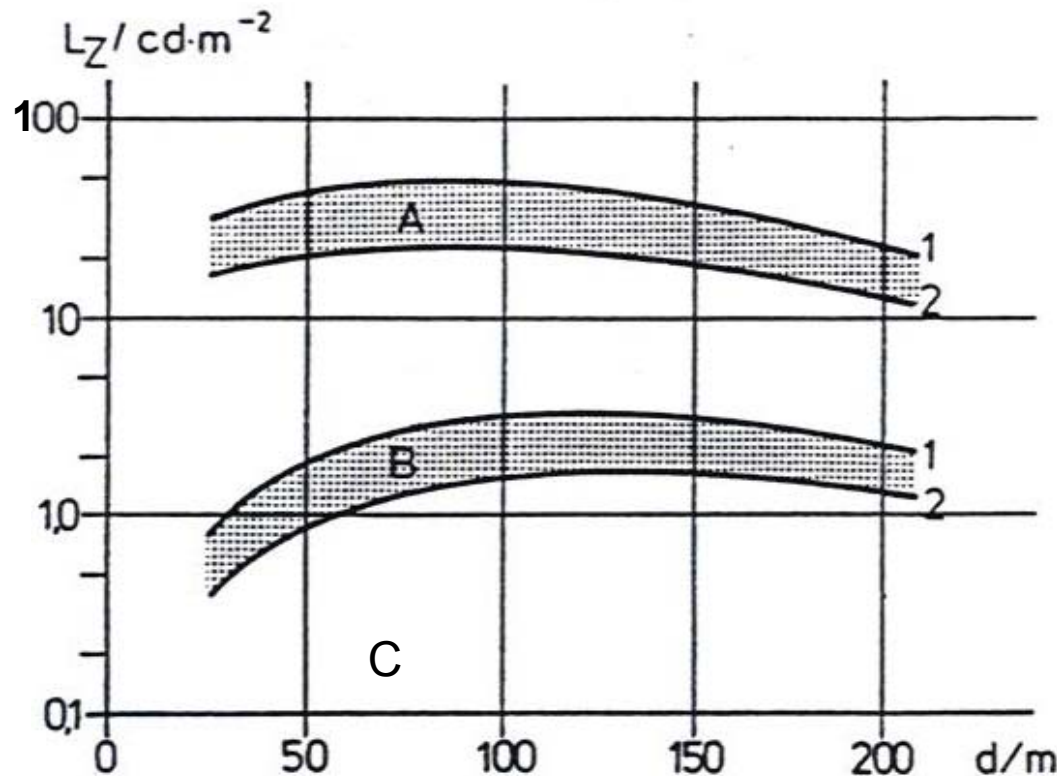
$$L_U = 2 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$$

2: Umfeldleuchtdichte

$$L_U = 0,1 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}$$

A, B: Leuchtdichtebereiche

Quelle: H.-J. Schmidt-Clausen



1: Mit Blendung durch entgegenkommendes Fahrzeug

2: Ohne Blendung

$L_z$ : Leuchtdichte von Verkehrszeichen

$d$ : Beobachterentfernung

A: Optimales Erkennen

B: Gutes Erkennen

C: Schwelle des Erkennens

Quelle: H.-J. Schmidt-Clausen

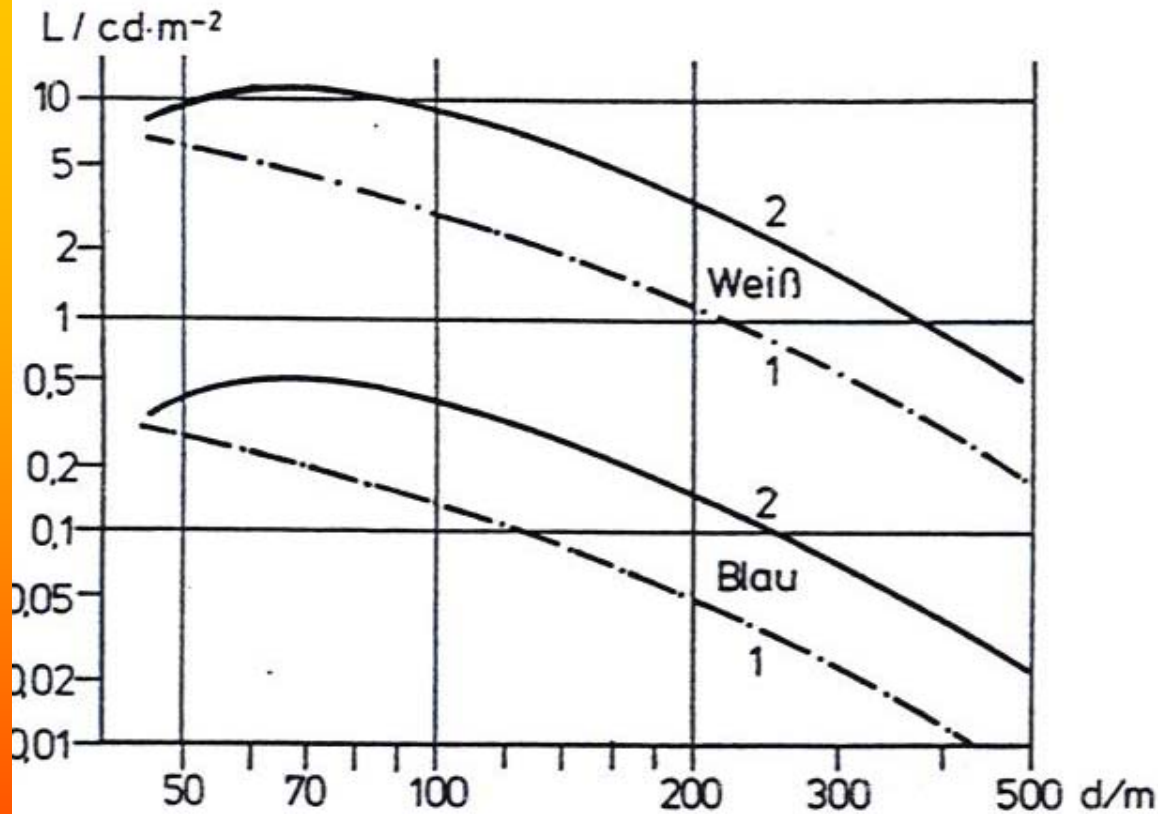


Bild 19

Leuchtdichten von Verkehrszeichen im Seitenraum der Straße bei Beleuchtung mit Scheinwerfern für das Abblendlicht

1, 2: Typ des Reflexstoffes  
 Weiß, Blau: Farbe des Reflexstoffes

Quelle: H.-J. Schmidt-Clausen



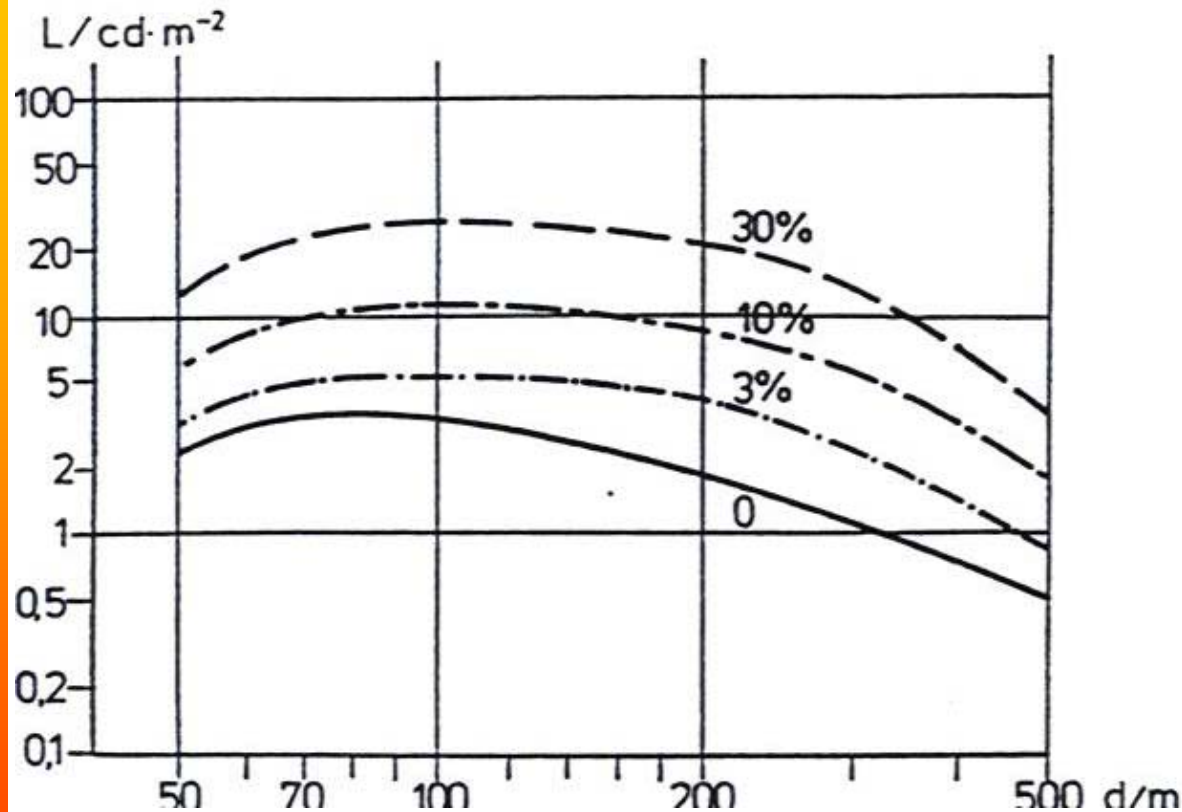


Bild 20

Leuchtdichte von Brücken-Verkehrszeichen bei Beleuchtung mit Scheinwerfern für das Abblendlicht

0, 3%, 10%, 30%: Anteil des von der Straßenoberfläche auf das Zeichen reflektierten Lichtstroms

Quelle: H.-J. Schmidt-Clausen

<b>Umfeld</b>			
<b>Kategorie</b>	<b>Dunkel</b>	<b>Hell</b>	<b>Sehr hell</b>
<b>Autobahn</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>30</b>
<b>Landstraße</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>10</b>
<b>Stadtstraße</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>30</b>

**Tabelle 1: Typische minimale Weißleuchtdichten  $L_{\min}$  /  $\text{cd m}^{-2}$  in Abhängigkeit von Straßenkategorie und lichttechnischem Umfeld**

Quelle H. Frank

<b>Kategorie</b>	<b>Bereich</b>	<b>Typische Entfernungen d/m</b>	<b>Typische Beobachtungs- winkel <math>\alpha/^\circ</math></b>
<b>Autobahn</b>	<b>fern</b>	<b><math>100 \leq d \leq 300</math> m</b>	<b><math>0,13 \leq \alpha \leq 0,41</math></b>
<b>Landstraße</b>	<b>mittel</b>	<b><math>50 \leq d \leq 150</math> m</b>	<b><math>0,27 \leq \alpha \leq 0,84</math></b>
<b>Stadtstraße</b>	<b>nah</b>	<b><math>30 \leq d \leq 70</math> m</b>	<b><math>0,59 \leq \alpha \leq 1,43</math></b>

**Tabelle 2: Typische Entfernungs- und Beobachtungswinkelbereiche (PKW) für verschiedene Straßenklassen.**

Quelle H. Frank

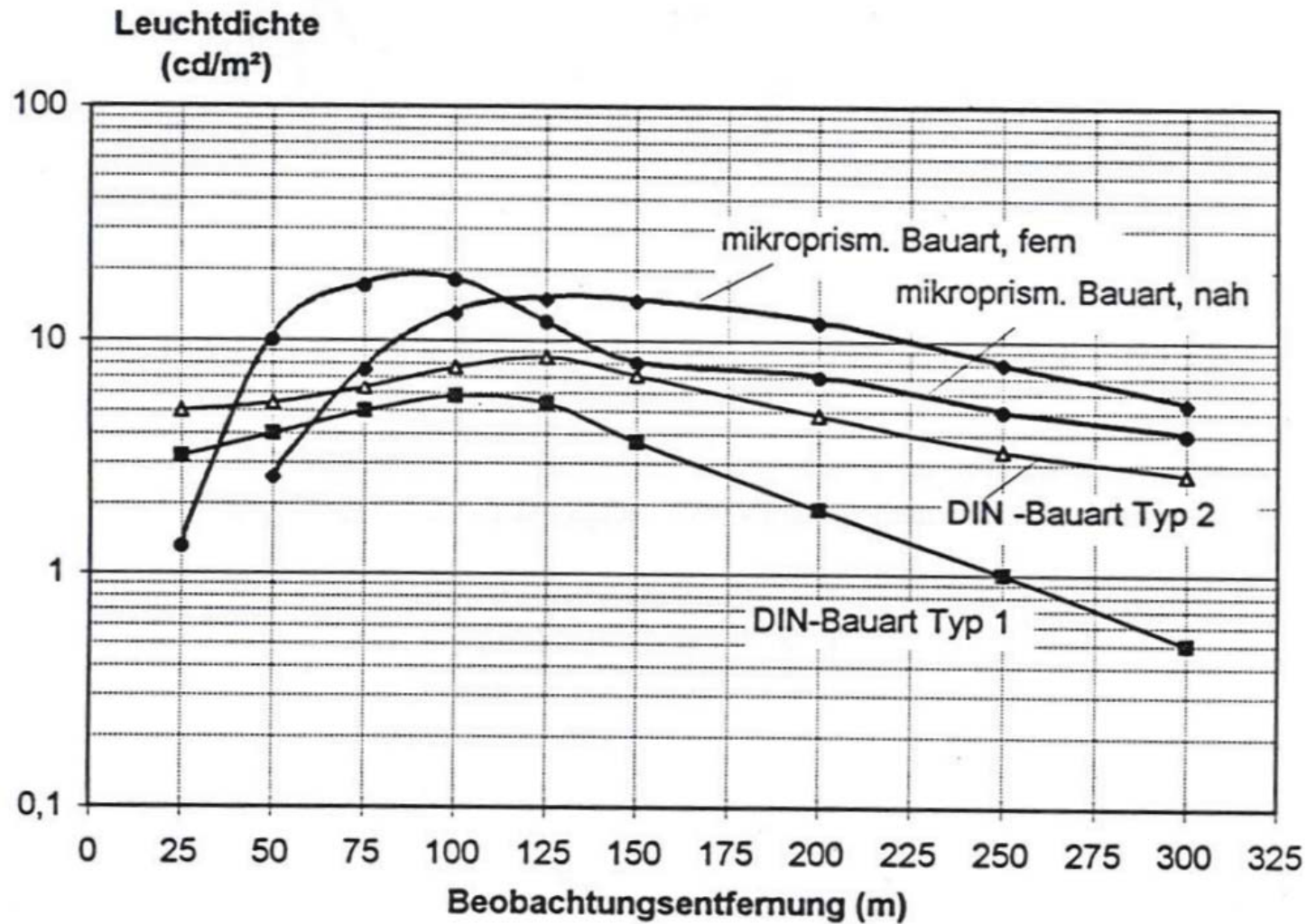
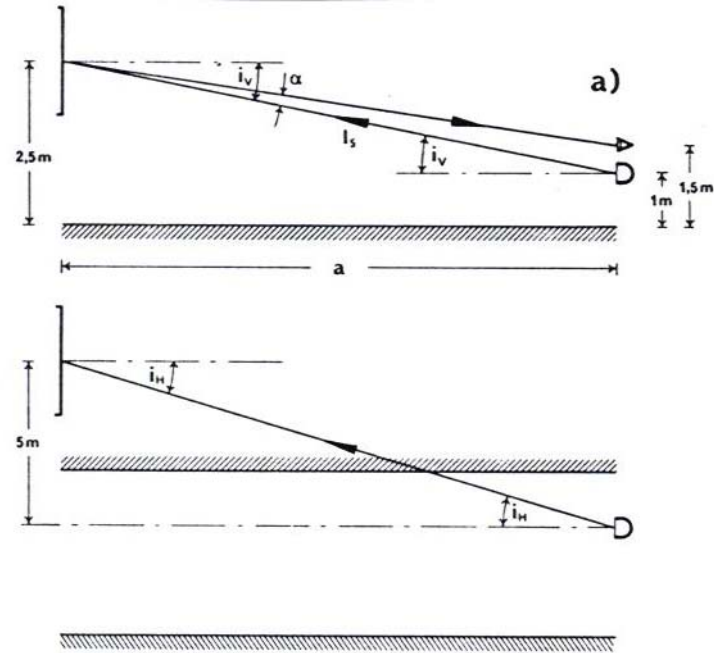


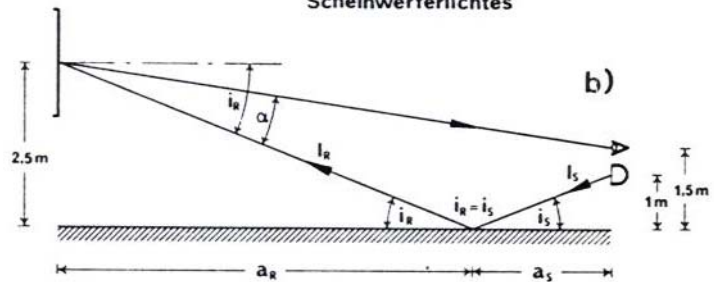
Bild 2: Leuchtdichte verschiedener weißer Reflexstoffe in Abhängigkeit von der Beobachtungsentfernung im Fahrlicht eines Pkw

Quelle: Meseberg

Tabelle 4			
Grenzwerte für Leuchtdichtefaktoren für Aufsichtfarben			
Aufsichtfarbe	Nicht retroreflektierend	Retroreflektierend	
		Typ 1	Typ 2
Rot	$\geq 0,07$	$\geq 0,05$	$\geq 0,03$
Orange	$\geq 0,22$	$\geq 0,17$	$\geq 0,14$
Gelb	$\geq 0,50$	$\geq 0,27$	$\geq 0,16$
Grün	$\geq 0,10$	$\geq 0,04$	$\geq 0,03$
Blau	$\geq 0,05$	$\geq 0,01$	$\geq 0,01$
Purpur	$\geq 0,05$	$\geq 0,03$	$\geq 0,02$
Weiß	$\geq 0,75$	$\geq 0,35$	$\geq 0,27$
Grau A	$\geq 0,29$ bis $0,31$	-	-
Grau B	$\geq 0,08$ bis $0,10$	-	-
Schwarz	$\leq 0,02$	-	-

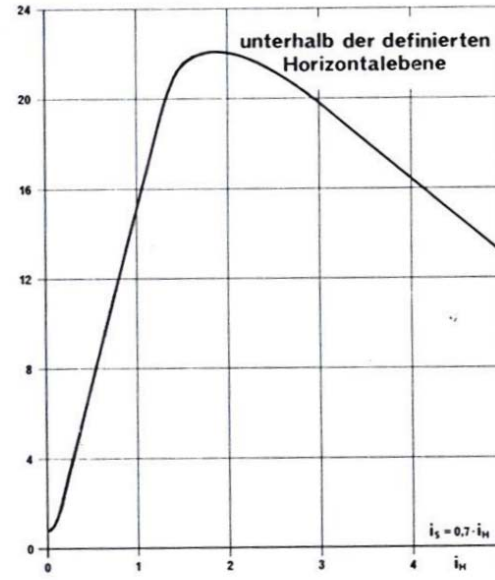
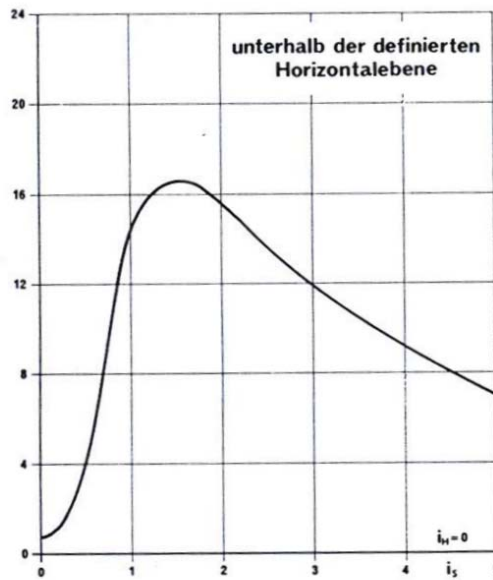
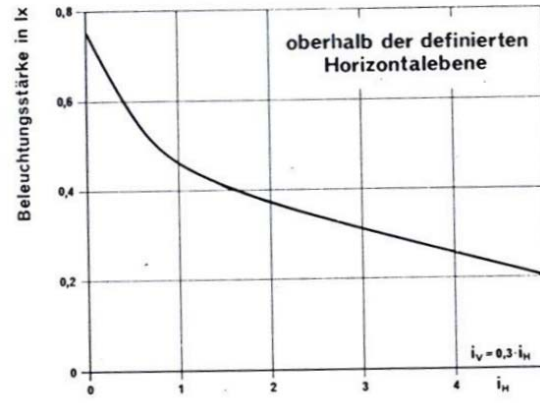
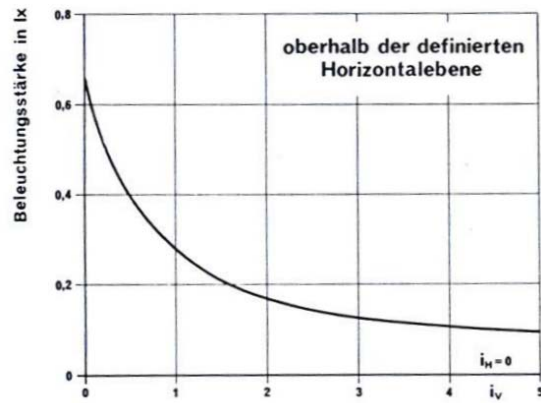


**Bankett**  
 a Anleuchtungs- Beobachtungsabstand  
 $\alpha$  Beobachtungswinkel  
 i Anleuchtungswinkel  
 $I_s$  Lichtstärke des Scheinwerferlichtes  
 $I_r$  Lichtstärke des reflektierten Scheinwerferlichtes



4: Winkel und Abstände zwischen dem Scheinwerfer am Kraftfahrzeug und dem Verkehrszeichen auf dem Bankett  
 a) bei direkter Beleuchtung  
 b) bei indirekter Beleuchtung

Quelle: Gerdes



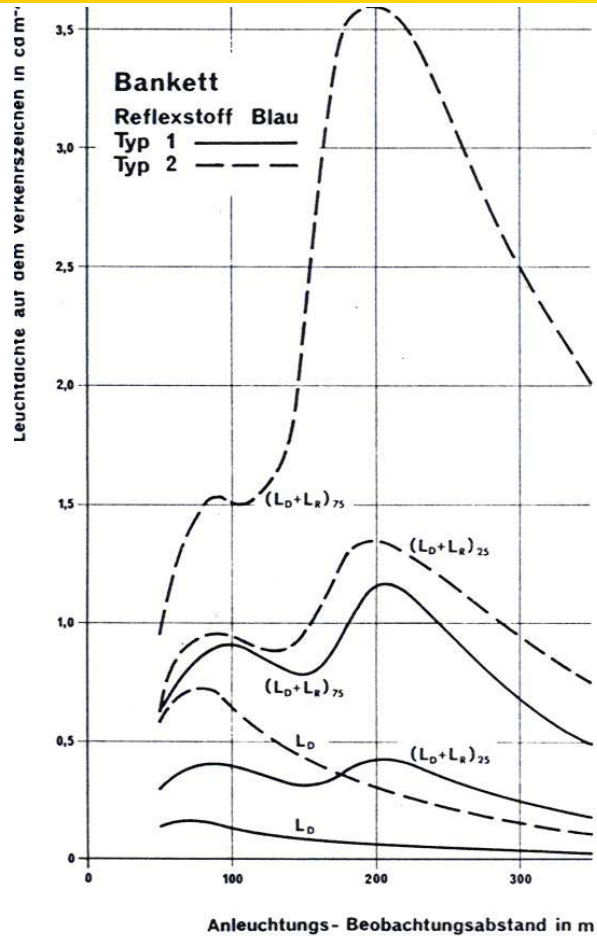
a) für die in den Bildern 3a und 3b angegebenen Geometrien

b) für die in den Bildern 4a und 4b angegebenen Geometrien

1: Beleuchtungsstärken E auf einem Meßschirm senkrecht zur Scheinwerferachse in 25 m Abstand vom Scheinwerfer in Abhängigkeit vom Anleuchtungswinkel

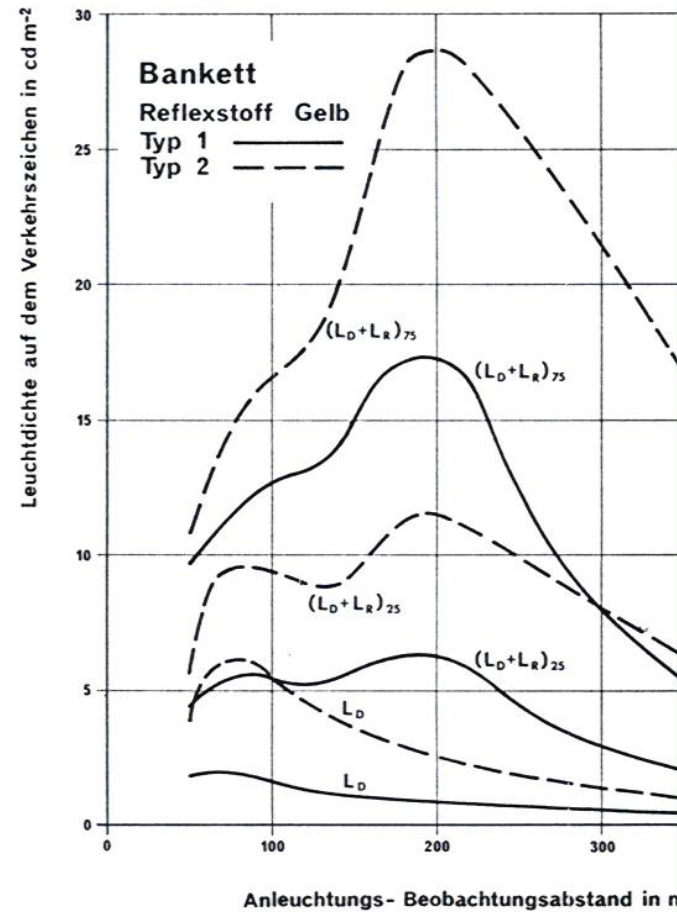
Quelle: Gerdes





7: Leuchtdichte auf einem mit dem Fahrlicht beleuchteten Verkehrszeichen mit blauen Reflexstoffen Typ 1 und Typ 2 auf dem Bankett in Abhängigkeit vom Anleuchtungs- und Beobachtungsabstand

- $L_D$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem direkten Anteil des Fahrlichtes
- $L_R$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem vom Fahrbahnbelag reflektierten Fahrlicht bei den Reflexionswerten 0,25 und 0,75

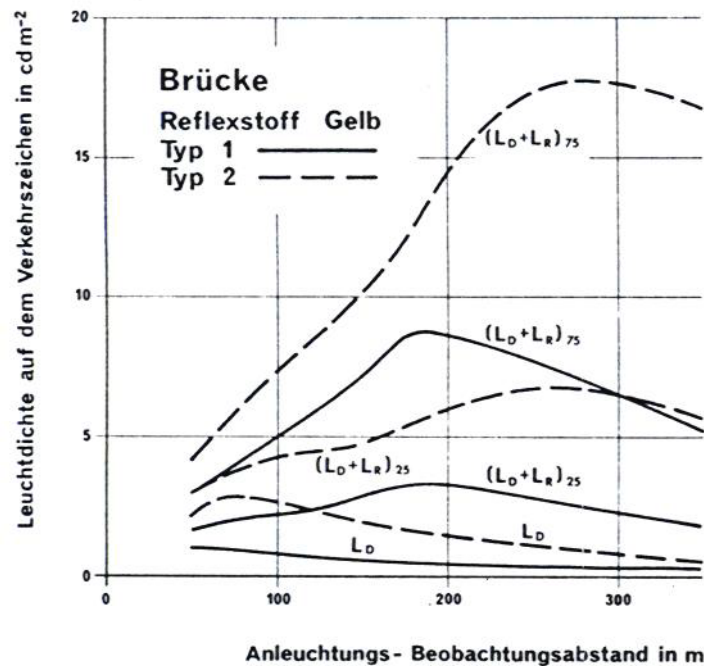


8: Leuchtdichte auf einem mit dem Fahrlicht beleuchteten Verkehrszeichen mit gelben Reflexstoffen Typ 1 und Typ 2 auf dem Bankett in Abhängigkeit vom Anleuchtungs- und Beobachtungsabstand

- $L_D$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem direkten Anteil des Fahrlichtes
- $L_R$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem vom Fahrbahnbelag reflektierten Fahrlicht bei den Reflexionswerten 0,25 und 0,75

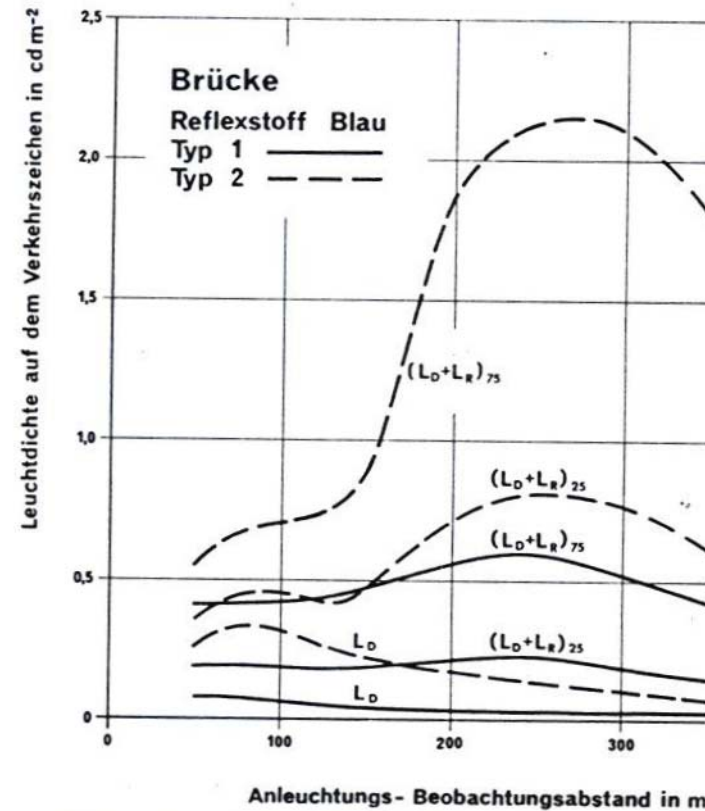
Quelle: Gerdes





5: Leuchtdichte auf einem mit dem Fahrlicht beleuchteten Verkehrszeichen mit blauen Reflexstoffen Typ 1 und Typ 2 an einer Schilderbrücke in Abhängigkeit vom Anleuchtungs- und Beobachtungsabstand

- $L_D$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem direkten Anteil des Fahrlichtes
- $L_R$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem vom Fahrbahnbelag reflektierten Fahrlicht bei den Reflexionswerten 0,25 und 0,75



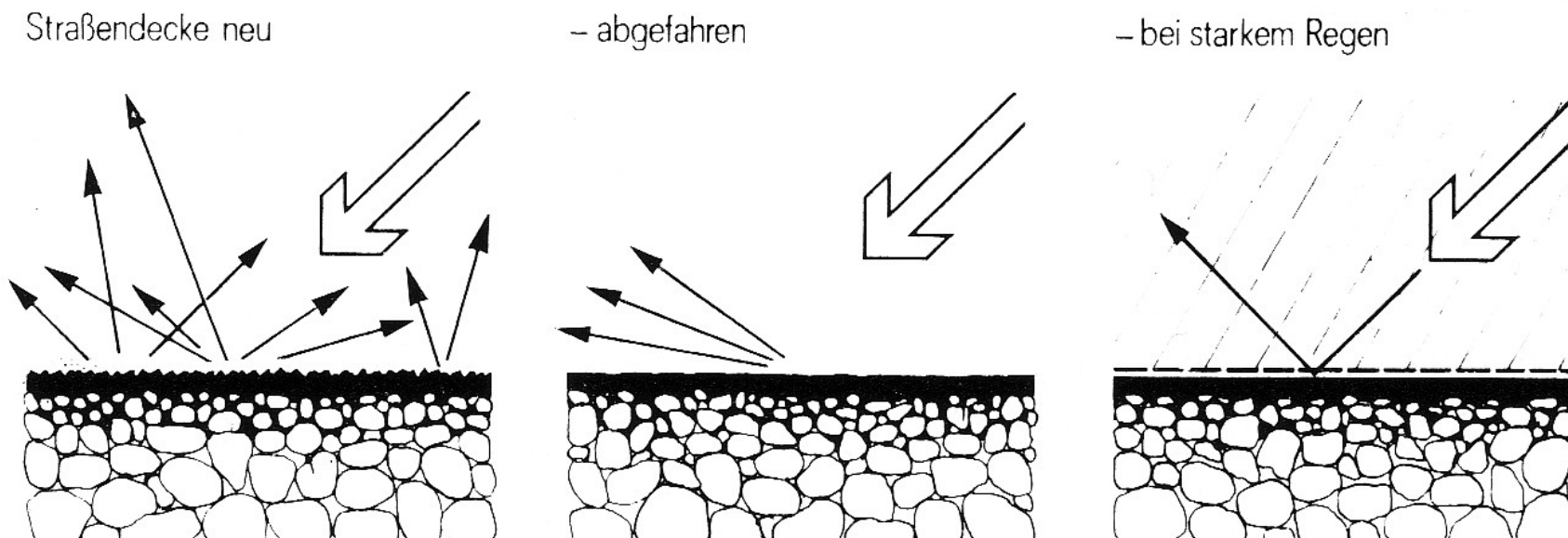
5: Leuchtdichte auf einem mit dem Fahrlicht beleuchteten Verkehrszeichen mit gelben Reflexstoffen Typ 1 und Typ 2 an einer Schilderbrücke in Abhängigkeit vom Anleuchtungs- und Beobachtungsabstand

- $L_D$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem direkten Anteil des Fahrlichtes
- $L_R$  Leuchtdichte auf dem Zeichen, beleuchtet mit dem vom Fahrbahnbelag reflektierten Fahrlicht bei den Reflexionswerten 0,25 und 0,75

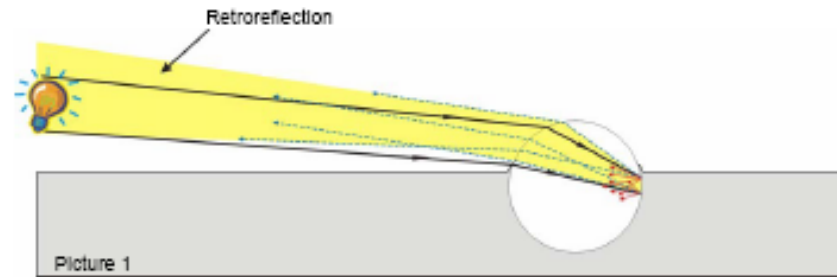
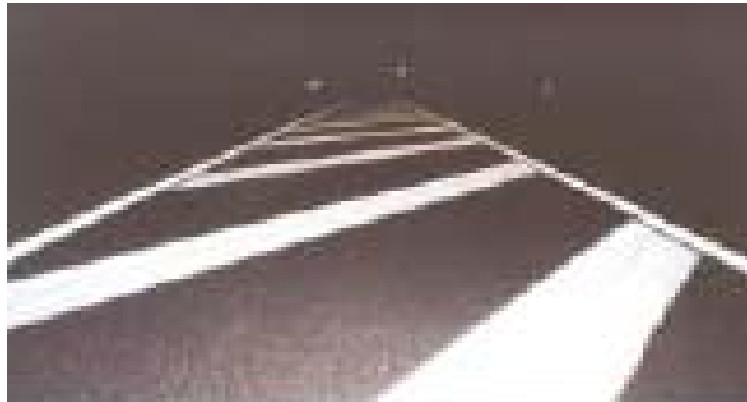
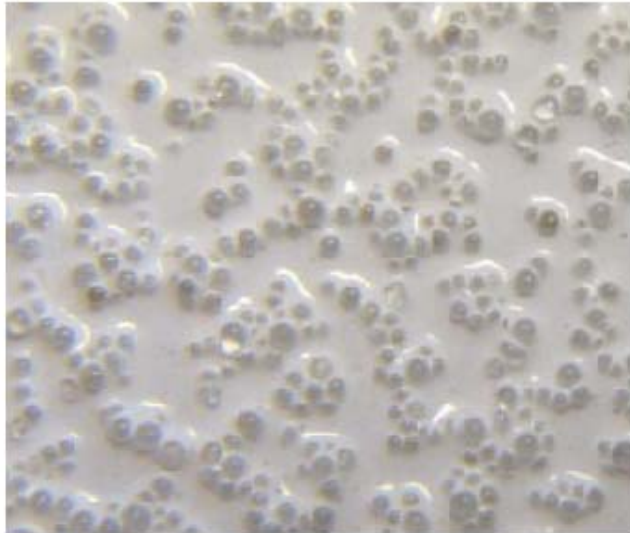
Quelle: Gerdes



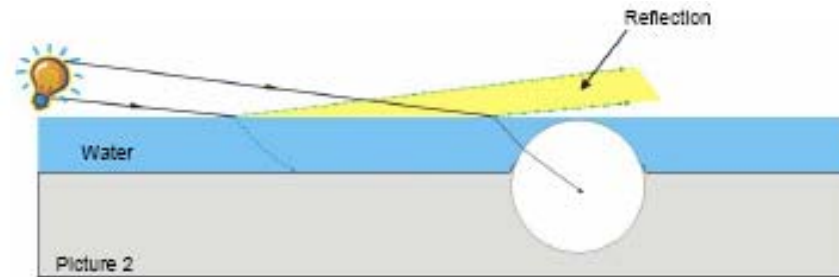
## Anwendung Straßenmarkierung



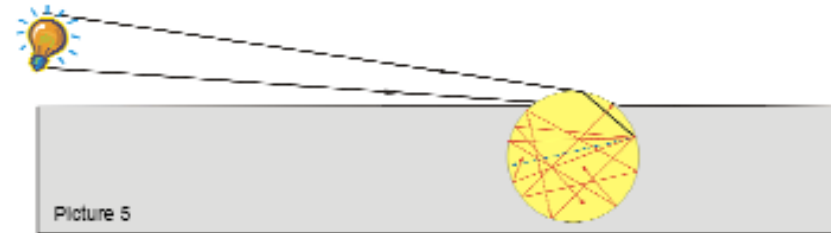
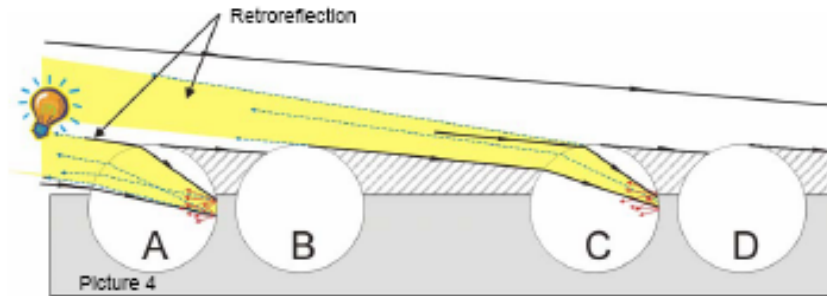
[Aus: Hentschel, Licht und Beleuchtung]



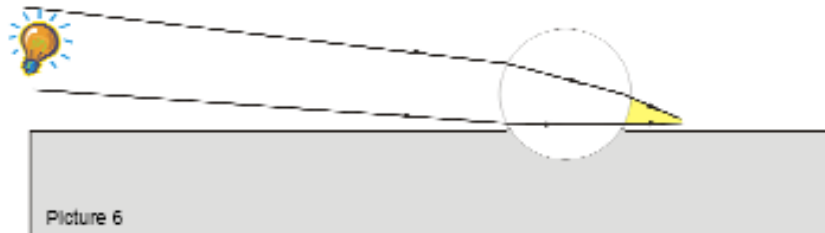
The best depth of the glass beads in the road marking is, approx. 50% - 60% (good night visibility)



The same illustration as above under wet road conditions. Traffic driving in the opposite direction will be blinded by the reflection.



Picture 5  
The Glass Bead is embedded too deeply in the road marking. The retroreflection is reflected inside glass bead. (No night visibility)

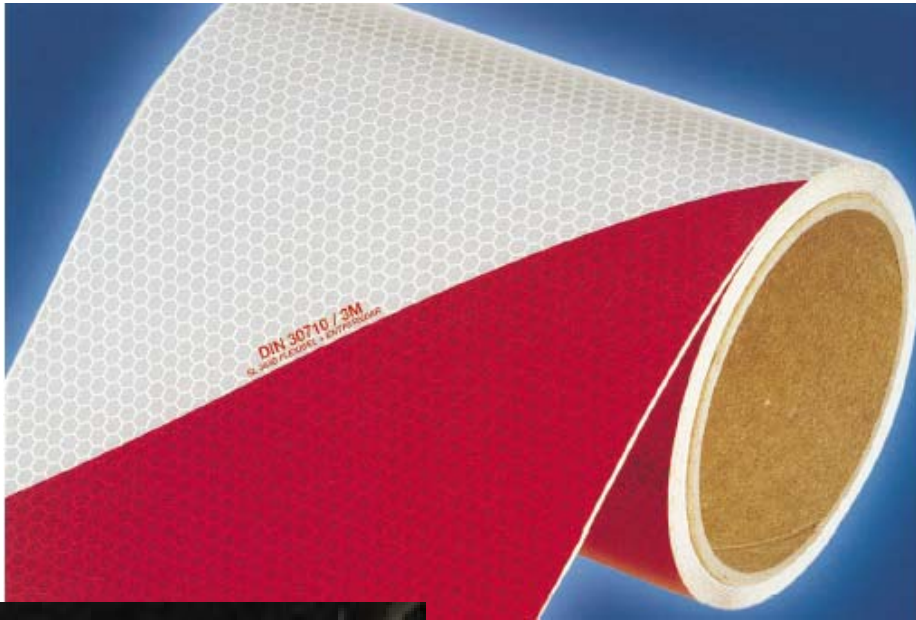


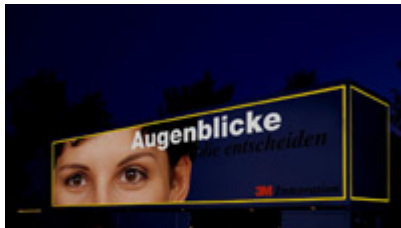
## Anwendung Rückstrahler für Warnkleidung



## Anwendung Warnmarkierung







**Licht und Beleuchtung**, Hans-Jürgen Hentschel,  
Hüthig Buch Verlag GmbH, 2002

**Handbuch der Beleuchtung**, Horst Lange, ecomed Verlagsgesellschaft,  
5. Auflage, 1992

**Grundlagen der Lichttechnik**, Siegfried Kokoschka,  
<http://www.lti.uni-karlsruhe.de>, Karlsruhe 2003

**CIE TC 4-40, Draft: REQUIREMENTS FOR RETROREFLECTIVE  
TRAFFIC SIGNS,**

**H. H. Meseberg ,Verkehrszeichensymposium Bundesanstalt für  
Straßenwesen FGLT/IVZ**

Eckert, **Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr**, Verlag Technik, 1993

Gramberg-Danielsen, **Sehen und Verkehr**, B. Springer-Verlag, 1967;

LTI, **Grundlagen der Lichttechnik aus fahrzeugtechnischer Sicht**, <http://www.lti.uni-karlsruhe.de>, Karlsruhe 2003

**Vorlesungsunterlagen zu „Automobile Licht- und Displaytechnik“**

<http://www.lti.uni-karlsruhe.de>, Karlsruhe 2005

