

Klaus Schmedding\*

## Verkehrsrelevante Rückstrahlwerte von Prismenreflektoren

### Zusammenfassung

Die häufig anzutreffende Meinung, Rückstrahler seien in der nächtlichen Verkehrssituation ein praktisches Mittel zur Kenntlichmachung nicht selbstleuchtender Objekte, wird in dieser Untersuchung überprüft. Die durchgeführten lichttechnischen Messungen weisen den Wirkungsgrad dieser z.B. zur seitlichen Kenntlichmachung von Fahrrädern vorgeschriebenen passiven Lichtquellen unter realen Verkehrsbedingungen aus.

### Summary

The public opinion, reflex reflectors are in nightly traffic situations a proved way of marking non luminous objects, is verified in this study. The carried out light-technical measurements showed the efficiency of these passive light sources, as they are specified for flank recognition signs on bicycles by german traffic rules real traffic conditions.

### 1 Aufbau von Rückstrahlern und deren Wirkungsweise

Der Rückstrahler ist ein optisches System, in dem die Richtung des eingetretenen Strahls gleich der Richtung des ausgetretenen Strahls sein soll. Er hat die Aufgabe, ein unter dem Einfallswinkel  $\alpha$  gegen seine Achse einfallendes, teilzentrisches Bündel praktisch kollinear Strahlen in sich selbst zu reflektieren, wobei der Winkel  $\alpha$  in der realen Verkehrssituation natürlich erhebliche Beträge annehmen kann.

Die Lösung dieser Aufgabe gelingt durch Verwendung optischer Systeme, die entweder auf der Spiegelung an ebenen Flächen beruht oder lichtbrechende und lichtreflektierende Bauteile in geeigneter Kombination enthalten. Der Ausnahmefall, bei dem sowohl Beobachtungs- als auch Anstrahlwinkel zu 0 werden, wird in idealer Weise durch einen ebenen Spiegel gelöst. Je größer  $\alpha$  ist, um so schwieriger sind im allgemeinen prinzipielle Lösung und exakte Fertigung eines Rückstrahlers.

Wurden vor Jahren noch verschiedenste Kombinationen von Linsensystemen (Dom-, Eichel-, Tellerlinse) verwandt, so haben sich in jüngster Zeit mittels exakter Herstellungsmöglichkeiten spritzgegossene Rückstrahler durchsetzen können. Das gute Fließverhalten der gängigsten

Thermoplaste erlaubt die Herstellung exakt ausgerichteter, sehr kleiner Pyramiden in einem Gesamtverband. Diese Prismenreflektoren werden in einem Ultraschallschweißverfahren gegen Witterungseinflüsse »imprägniert«.

Auf dem Markt sind verschiedene Prismenanordnungen im Reflektorverband gebräuchlich, auf deren konstruktive Unterschiede hier nicht weiter eingegangen werden soll. Häufig anzutreffen ist ein aus Romben zusammengesetzter Sechseckverband.

Natürlich obliegen solche Rückstrahler wie auch andere retroreflektierende Materialien einer DIN-Norm<sup>1</sup>. In dieser wird in erster Linie auf die zur lichttechnischen Bewertung nötige Meßgeometrie abgestellt. Eine genauere Klassifizierung der Meßpunkte und Einstelldaten findet sich in der ECE-Norm R 3 wieder. Sofern nicht gesondert festgelegt (z.B. in Normen für bestimmte Rückstrahler) sind zur lichttechnischen Kennzeichnung eines Rückstrahlers die Rückstrahlwerte für Beobachtungswinkel von 0,33° bis 1,5° bei Anleuchtungswinkeln von  $\pm 10^\circ$  bzw.  $\pm 20^\circ$  (Vertikal-/Horizontalabweichung) zu messen.

Es fällt sofort auf, daß für die lichttechnische Beurteilung sehr geringe Beobachtungswinkel und relativ kleine Neigungswinkel der Probe zur Lichtquelle eingestellt werden. Entsprechende Labormesswerte hierzu liegen von führenden Herstellern hier vor. Die ermittelten Rückstrahlwerte (alle in mcd/lx) belegen, daß die Rückstrahlwerte für gelblich eingefärbte Rückstrahler (Speichenreflektoren) zwischen den Meßgeometrieextremen um den bis zu 10-fachen Wert abnehmen. Dies belegt bereits, daß trotz der nach ECE festgelegten technisch günstigen Beobachtungswinkel und der relativ kleinen Anstrahlwinkel hohe Einbußen bei der Signalwirkung solcher Einrichtungen beobachtet werden können.

Da bei der Beurteilung von Verkehrsunfällen eine Vielzahl weiterer Kombinationen von Beobachtungs- und Anstrahlwinkeln anfällt und auch die in der Normung festgelegte Relativentfernung zwischen der Beleuchtungsquelle und der Probe von  $10 \pm 0,01$  m verkehrstechnisch nicht relevant sein dürfte, wurden unter nächtlichen Versuchsbedingungen mehrere Rückstrahler in verschiedenen Entfernungen und Querpositionen zu einer Beleuchtungsquelle (Pkw-Abblendlicht) vermessen.

### 2 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde auf einer feuchten, unbeleuchteten Teerstraße durchgeführt. An einem aufrecht stehenden schwarz lackierten Probenhalter wurden 4 Speicherreflektoren entlang eines Kreisumfangs (Durchmesser 50 cm) angeordnet. Der Probenhalter konnte in horizontaler Richtung um  $\pm 35^\circ$  abweichend von der Normalen in 5°-Abständen geschwenkt werden. Eine Variation in vertikaler Richtung erscheint uns bei der Vermessung von Speichenreflektoren aus naheliegenden Gründen für nicht erforderlich. Die Bodenstandshöhe des untersten Reflek-

verbleibende  
Restleuchtdichte in %

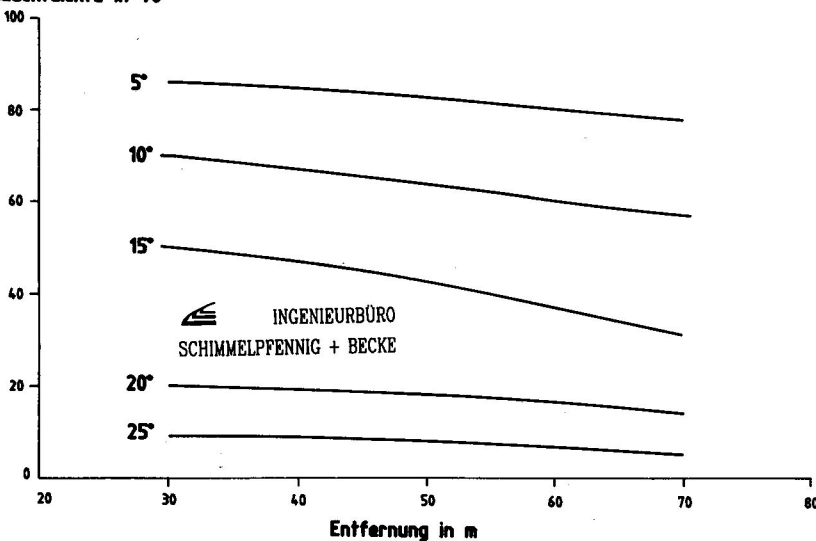


Bild 1 Prismenöffnung abgewandt

\*Dipl.-Phys. Klaus Schmedding, Sachverständiger im Ingenieur-Büro Schimmelpfennig und Becke, Münsterstr. 101, 4400 Münster-Wolbeck

verbleibende  
Restdichte in %

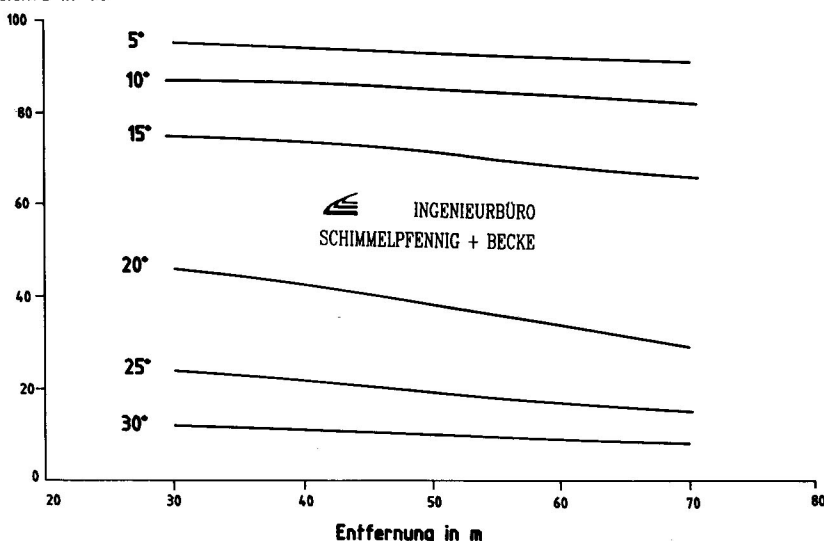


Bild 2 Prismenöffnung zugewandt

Leuchtdichte  
in cd/qm

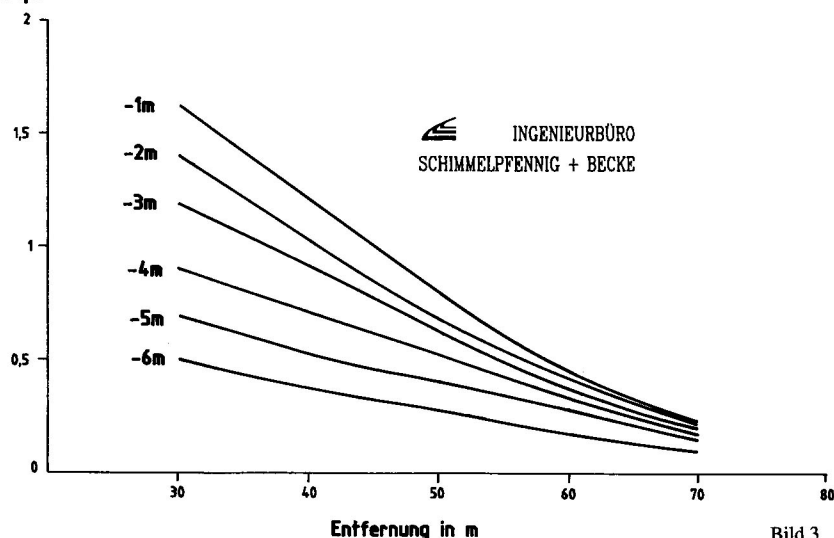


Bild 3 Leuchtdichtewerte von Speichenreflektoren (senkrechter Anstrahlwinkel)

tors entsprach in etwa der, wie man sie bei einem normalen 28 Zoll-Fahrrad ebenfalls vorfindet. Die Probe selbst wurde quer zur Fahrzeuglängsachse des Pkw, aus dem gemessen wurde, in Meter-Abständen stetig verschoben.

An der Versuchsdurchführung waren zwei Pkw mit unterschiedlichen Scheinwerfersystemen beteiligt, einmal ein VW Passat neueren Baujahres mit herkömmlichem Abblendlicht (Parabolreflektor) und in der zweiten Versuchsreihe ein 3-er BMW mit Ellipsoid-Scheinwerfern.

Die Proben wurden aus Entfernungen von 30 bis 70 m in 10 m-Abständen mit einem Leuchtdichtemesser der Fa. LMT vermessen. Die Scheinwerferstreuscheiben, die Fahrzeugwindschutzscheiben, sowie die Speichenreflektoren befanden sich im gereinigten Zustand.

### 3 Meßergebnisse

Bei der Versuchsdurchführung konnte festgestellt werden, daß für Positionen der Probe sowohl links bzw. rechts vor der Frontmitte des Pkw die Winkelstellung der Probe relativ zum Pkw eine Rolle spielt. War die Probe der Pkw-Front zugewandt, so waren im statistischen Mittel deutlich höhere Leuchtdichtewerte zu verzeichnen, als wenn sie vom Beobachter abgewandt eingestellt wurde. Diese Zusammenhänge lassen sich prozentual ausgedrückt sowohl für das linksseitige als auch für das rechtsseitige Scheinwerfernah- bzw. Scheinwerferfernfeld wiedergeben. Die günstigste Anordnung, bei der die Probe kollinear zur Normalen der Fahrzeuglängsachse orientiert war, dient als Ausgangspunkt der entworfenen Diagramme (Maximalwert).

Unabhängig von der seitlichen Position der Probe zur Fahrzeuglängsachse konnte festgestellt werden, daß in den Fällen, in denen die Probenebene dem Beobachter zugewandt war, die relative Abnahme in Abhängigkeit vom Anstrahlwinkel deutlich höher ausfiel als bei abgewandter Anordnung (Bild 1/2). Sind beispielsweise aus einer Beobachtungsentfernung von 30 m bei zugewandter Probe und einem Einstellwinkel von 20° noch knapp 50% des Ausgangswertes (Winkel 0°) vorhanden, so sind es bei abgewandter Prismenöffnung lediglich noch knapp 20%. Man erkennt, daß, wie man es aus den hier vorliegenden Laborwerten bereits vermuten konnte, eine erhebliche Abhängigkeit zwischen dem Anstrahlwinkel zur Probe, der Beobachtungsrichtung und der Beobachtungsentfernung existiert. Unbestrittenermaßen wirkt sich bei kleinen Vertikalwinkeln und Beobachtungsentfernungen bis zu 50 m die relative Abnahme bei zugewandter Prismenöffnung nicht besonders stark aus. Sie fällt dann oberhalb dieses Grenzwertes so stark ins Gewicht, daß zwangsläufig starke Auffälligkeitseinbußen dieser Signaleinrichtungen bei Dunkelheit zu verzeichnen sind. Für Anstrahlwinkel oberhalb von 30° ist die Leuchtdichteabnahme, insbesondere natürlich für größere Querpositionen relativ zum Pkw, so beträchtlich, daß eine sichere Erkennbarkeit im nächtlichen Verkehrsgeschehen trotz der Rotation der Speichenstrahler nicht gewährleistet ist.

In Bild 3 ist dargestellt, welche konkreten Leuchtdichtewerte für eine links vom Pkw angeordnete Probe (Ellipsoid-Scheinwerfer) gemessen wurden. Anhand dieses Diagramms erkennt man die starke Abhängigkeit zwischen der Leuchtdichte und dem Anstrahlwinkel. Bei geringeren Entfernungen nimmt die Verkleinerung der Leuchtdichte mit zunehmenden

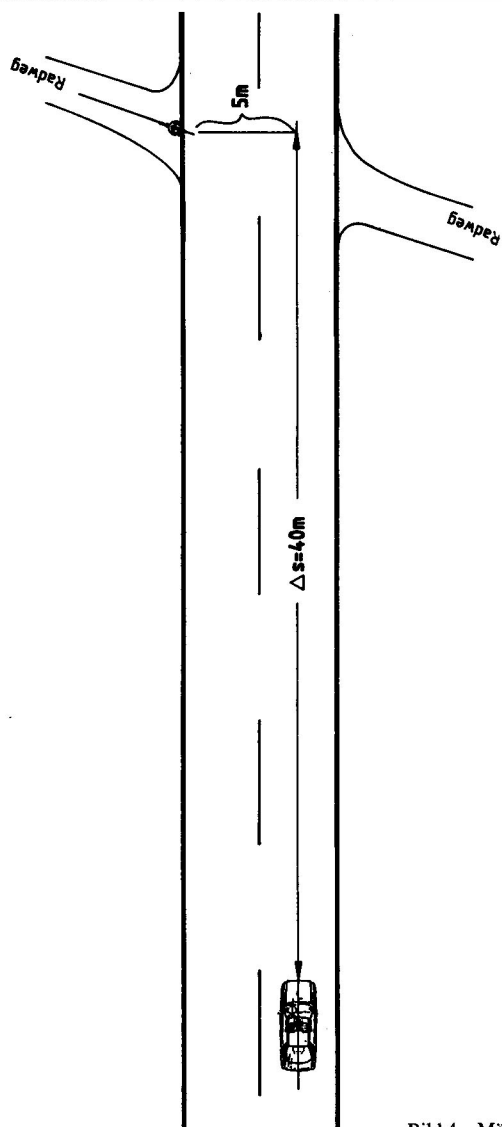


Bild 4 Mögliche Unfallsituation

der Exzentrizität der Probe stark ab. Bei größeren Entfernungen fällt dieser Effekt nicht so stark ins Gewicht, da hier nur geringe Winkelgradunterschiede zwischen den Einzelpositionen vorliegen. Verknüpft man die aus diesem Diagramm abgreifbaren konkreten Zahlenwerte mit der relativen Leuchtdichteabnahme über den Anstrahlwinkel, so stehen beispielsweise für eine Probenposition 5 m links der Fahrzeugmitte bei einer Beobachtungsentfernung von 40 m lediglich 20% des Ausgangswertes, also etwa  $0,1 \text{ dc/m}^2$  zur Verfügung. Bei einer mittleren Adaptionsleuchtdichte für einen Fixpunkt im Scheinwerfernahfeld wäre der Leuchtdichteunterschied zu einer ansonsten dunklen Umgebung nicht mehr so groß, als daß er von einem Normalsichtigen sicher hätte wahrgenommen werden können.

Dieses Ergebnis soll aus Gründen der Anschaulichkeit auf eine reale Verkehrssituation übertragen werden. Bild 4 zeigt eine Verkehrssituation, in der ein Radfahrer nach Verlassen des schräg angeordneten Radweges die angrenzende Bundesstraße zu überqueren versucht. Bei einer normalen Straßenbreite von 7 m und einer Fahrposition des Pkw inmitten seiner Fahrbahnhälfte sei der Radfahrer bereits mit der halben Fahrradlänge in den linken Fahrstreifen eingefahren. In dieser Situation ist er aufgrund der Speichenreflektoren für den Pkw-Fahrer noch nicht sicher zu erkennen. Unterstellt man eine Annäherungsgeschwindigkeit des Pkw von 80 km/h, so hätte der Radfahrer bei einer konstanten Bewegungsgeschwindigkeit von knapp 15 km/h den Raumbedarf des Pkw noch nicht verlassen, wenn sich der Pkw weiter ungebremst der potentiellen Anstoßstelle nähert.

Mit den im Versuch gemessenen Leuchtdichten ginge vom Radfahrer (geradlinige Bewegung auf der Ideallinie vorausgesetzt) erstmalig eine sichere überschwellige Auffälligkeit aus, wenn sich dieser der späteren Unfallstelle bis auf etwa 3,5 bis 4 m genähert hat. Dies entspräche einem Zeitpunkt ca. 1 s vor dem fiktiven Unfallgeschehen. Er hätte

angesichts seines Geschwindigkeitsniveaus keine Möglichkeit mehr gehabt, das Unfallgeschehen zu vermeiden.

Es ließen sich noch eine Fülle weiterer Beispiele darbieten, die auf die nicht immer ausreichende Signalwirkung zur Kenntlichmachung von Fahrrädern durch Speichenrückstrahler abzielt. Bei der Untersuchung von Dunkelheitsunfällen ist bei Anwesenheit von Rückstrahlern daher generell genauestens zu prüfen, unter welchem Winkel solche Reflektoren für den Pkw-Fahrer erscheinen, da diese, neben den bekannten Einflußparametern, wie Entfernung und Querposition zum Pkw, eine ausschlaggebende Bedeutung besitzen.

Es wurden hier auch Untersuchungen mit retroreflektierenden Materialien, wie beispielsweise der von Scotchlite hergestellten 3 M »High Intensity« unter gleichen Bedingungen durchgeführt. Bei diesen Materialien wird die Retroreflektion durch eine große Anzahl sehr kleiner katadioptrisch wirkender Partikel erzeugt. Sie können in großen Flächen hergestellt werden und finden mittlerweile auch bei der Beschichtung von Fahrradreifenseitenflanken Anwendung.

Diese retroreflektierenden Materialien zeigen im Gegensatz zum klassischen Rückstrahler bei geringen Anstrahl- und Beobachtungswinkeln insgesamt geringere Leuchtdichtewerte. Sie liegen aber allesamt um ein Vielfaches oberhalb der Wahrnehmungsschwelle, so daß sie ihre Funktion in ausreichender Weise auch unter diesen Umständen erfüllen. Ihre Wirkungsweise ist aber weitaus weniger richtungsabhängig, als die der Rückstrahler; eine ausreichende Leuchtdichte geht von diesen Materialien auch unter extremen Anstrahlwinkeln aus, auch wenn die mittlere Leuchtdichte mit zunehmenden Anstrahlwinkel ebenfalls abnimmt. Insgesamt müssen daher aus lichttechnischer Sicht solche Materialien zur Kenntlichmachung von dunklen Objekten als geeigneter bewertet werden, da man in der realen Unfallsituation leider nicht allzu oft die für lichttechnische Bewertung von Rückstrahlern vorgegebene Maßgeometrie vorfindet. Daß die Verwendung solcher retroreflektierenden Materialien zur Kenntlichmachung dunkler Objekte hervorragend geeignet sind, konnte bereits in einer frühen Untersuchung herausgestrichen werden.<sup>2,3</sup>

Eine deutlich verbesserte Signalwirkung von Rückstrahlern wäre nach derzeitigem Erkenntnisstand durch die Abkehr von der ebenen Bauweise zu erzielen, also dann, wenn statt dessen ein Körper, bestehend aus mehreren angeschrägten Reflektorflächen eingesetzt würde.

#### 4 Zusammenfassung

Die hier unter realen Verkehrsbedingungen durchgeführte umfangreiche lichttechnische Meßreihe zeigt auf, daß der bis heute vorgeschriebene Speichenrückstrahler seinen eigentlichen Zweck dann gut erfüllt, wenn zwischen der Anstrahlrichtung, der Beobachtungsrichtung und der Reflektoroberfläche ein annähernd rechter Winkel vorliegt. Überschreitet man einen Bereich von  $\pm 20^\circ$  um die Normale zur Fahrzeuglängsrichtung, so sinken die Probenleuchtdichten, je nach Probenstellung um bis zu 50% bzw. darüber. Auch die zusätzliche Auffälligkeitssteigerung durch die Reflektorrotation um die Radachse reicht dann nicht mehr in die Bereiche, die für eine sichere Wahrnehmung eines querenden Fahrrades notwendig ist. Die immer öfter anzutreffende retroreflektierenden Materialien (Scotchlite »High Intensity«...) sind demgegenüber weitaus richtungsempfindlicher und daher für die Kenntlichmachung von dunklen Objekten unter den oftmals anzutreffenden Verkehrsbedingungen geeigneter. Eine Abkehr von der ebenen Bauweise von Speichenreflektoren könnte bzgl. der vorgenannten Problematik Abhilfe schaffen.

#### Literaturnachweis

- [1] DIN 67 520, September 1982
- [2] P. Green, Paul L. Olson: Eye fixation of Drivers in Response to Various Retroreflective Treatments of a Semitrailer; in THE HRSI RESEARCH REVIEW, Vol 10, Nr. 3, 1979
- [3] Produktmitteilung 3M Deutschland GmbH, Neuss, Zeitschrift für Verkehrssicherheit 39 (1993) 1