

SEITENREFLEKTOREN FÜR FAHRRÄDER

Vortrag Licht 84, Mannheim, 5.-7. Juni 1984

In: Tagungsberichte Licht 84 Mannheim, Band I, Vortrag 11.

R-84-17

Dr. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1984

Forschungsgesellschaft für Verkehrssicherheit SWOV, Niederlande

## 1. EINFÜHRUNG

Aus einer Anfang der siebziger Jahre durchgeführten SWOV-Untersuchung ging hervor, dass das Risiko eines Radfahrers bei Dämmerung und im Dunkeln mit einem Motorfahrzeug zusammenzustossen vier mal grösser ist als bei Tageslicht (SWOV, 1973). Aufgrund dieses Untersuchungsergebnisses hat SWOV Empfehlungen gemacht, um die Wahrnehmbarkeit der Radfahrer im Dunkeln zu verbessern.

Seit dem 1. November 1979 sind in den Niederlanden an der Rückseite des Fahrrades ein roter Rückstrahler und Pedalrückstrahler gesetzlich vorgeschrieben. Aus den von SWOV durchgeführten Zählungen geht hervor, dass etwa 95% der Fahrräder mit derartigen Rückstrahlern versehen sind. Man kann also ruhig sagen, dass diese Massnahme gut befolgt worden ist.

Schätzungen von SWOV zeigen, dass diese Massnahme einen positiven Beitrag zur Verkehrssicherheit liefert: jährlich etwa 60 Toten und ernsthaft Verwundeten weniger (Van Minnen, 1982).

Inzwischen bemüht man sich in den Niederlanden auch, um die seitliche Wahrnehmbarkeit von Fahrrädern zu verbessern.

Dieser Vortrag ist zum grössten Teil basiert auf einen Bericht einer Forschungsauftrag des niederländischen Verkehrsministeriums (Blokpoel, Schreuder & Wegman, 1982).

## 2. FUNKTIONELLE FORDERUNGEN FÜR DAS SIGNALISIEREN VON FAHRRADERN

Das Signalisieren von Fahrrädern soll gewährleisten, dass Fahrer von Kraftfahrzeugen den Radfahrer rechtzeitig und richtig beobachten, damit Zusammenstöße vermieden werden können. Wenn wir von Signalisieren sprechen, dann betrachten wir sowohl Lampen als auch Rückstrahler. Aufgrund von dem was über die Fahraufgabe der Fahrer von Kraftfahrzeugen bekannt ist, bedeutet dies, dass zunächst genügende (und richtige) Information über die Anwesenheit des Radfahrers beschafft werden soll: Sichtbarkeit und Auffälligkeit. Ferner sollte es deutlich sein, dass es sich um einen Radfahrer handelt: Erkennbarkeit. Ausserdem ist Information über den genauen Platz des Radfahrers erforderlich: Lokalisierung. Auskunft über Geschwindigkeit und Fahrtrichtung des Radfahrers (absolute Richtung und/oder relative Richtung hinsichtlich des Kraftfahrzeuges) ist ebenfalls von grosser Bedeutung: Wahrnehmbarkeit der Bewegung. Schliesslich sind die Möglichkeiten zur Voraussage der Manöver des Radfahrers wichtig.

Die Anwesenheit eines Radfahrers ist theoretisch leicht festzustellen. Dazu genügt es, dass das Fahrrad selbst oder eine am Fahrrad befestigte Lampe oder Rückstrahler zu sehen sind. Der Schwellenwert für das Wahrnehmen einer weissen, punktförmigen Lichtquelle im vollständigen Dunkel beträgt etwa  $2 \times 10^{-7}$  lx Beleuchtungsstärke an der Augenfläche. Obwohl dieser Wert oft angewendet wird, ist die praktische Verwendbarkeit sehr gering. Für die Praxis sind 100 bis 1000 mal höhere Werte notwendig. Ein Licht (d.h. eine punktförmige Lichtquelle) ist in der Nacht genügend wahrnehmbar wenn die Lichtstärke mindestens 2 - 5 cd beträgt. Für grössere Lichtquellen werden etwas höhere Werte empfohlen: 10 - 25 cd. Diese Faustregel wurde aufgestellt aufgrund der Ergebnisse von Beobachtungen und subjektiven Schätzungen unter praktischen Verkehrsumständen (Balder, 1956; Douglas & Booker, 1976; Fisher, 1974; Schreuder, 1976).

Auffälligkeit kann beschrieben werden als Wahrnehmbarkeit in einer Umgebung die als Störung aufgefasst wird.

In dieser Umgebung befinden sich jedoch auch wieder Gegenstände, die für einen sicheren Verlauf des Verkehrs von Bedeutung sein können. Das Intensivieren der Auffälligkeit einer bestimmten Art von Gegenständen (in diesem Falle Fahrräder) kann dazu führen, dass andere für die Verkehrs

sicherheit bedeutende Gegenstände weniger auffällig werden. Dann besteht die Möglichkeit, dass man diese Gegenstände auch auffälliger gestalten möchte, so dass ein unerwünschter "spiralförmiger Effekt" entstehen könnte.

Die Erkennbarkeit von Fahrrädern kann gefördert werden, indem die Zweiradfunktion betont wird, z.B. indem die Räder mit einem reflektierenden Rand an dem Reifen oder Felgen versehen werden.

Das Erkennen von zwei Kreisen ähnelt wohl etwas einer Art von Lesbarkeitsproblem. Daher scheint es wohl gerechtfertigt zu sein, dass die maximale Anforderung für derartige reflektierende Fahrräder mindestens eine Leuchtdichte von etwa  $100 \text{ cd/m}^2$  sein sollte. Dieser Wert ist für die optimale Lesbarkeit von Verkehrszeichen mit hellen Buchstaben auf einem dunkel (schwarzen) Hintergrund ermittelt worden (Van Norren, 1974).

Um einem Zusammenstoss mit einem Radfahrer vermeiden zu können ist es wesentlich, dass der Fahrer eines Kraftfahrzeuges genau weiss, wo sich das Fahrrad befindet, sowohl im absolutem Sinne (hinsichtlich der Strasse) als auch in relativem Sinne (hinsichtlich des eigenen Fahrzeuges): ein Radfahrer sollte also lokalisiert werden können.

Im allgemeinen kann man feststellen, dass wenn eine "gute" öffentliche Beleuchtung vorhanden ist, Fahrräder genügend sichtbar und auch lokalisierbar sind. Genauer gesagt: bei einer durchschnittlichen Leuchtdichte von etwa  $1 \text{ cd/m}^2$  oder bei einer Beleuchtungsstärke von etwa 10 - 15 lx werden diese Bedingungen wohl erfüllt (De Boer, 1967). Für Wohnstrassen wird öfters ein Beleuchtungsniveau von 2 - 5 lx bereits schon als ausreichend betrachtet. Diese Werte genügen jedoch nicht, um eine deutliche Wahrnehmbarkeit - geschweige denn Lokalisierung - von Objekten in der Grösse und der Form von Fahrrädern zu garantieren. Die Sichtbarkeit des Gegenstandes selbst sollte also durch Signalleuchten verbessert werden.

### 3. REFLEKTOREN FÜR FAHRRÄDER

Um zu ermitteln, ob Speichenreflektoren und reflektierende Reifen das Fahrrad genügend sichtbar und auffallend machen können, wurde der erforderliche Rückstrahlwert berechnet. Dabei wurden für die Speichenreflektoren die folgenden Voraussetzungen angenommen:

- die Wahrnehmungsentfernung beträgt 50, bzw. 75 und 100 m;
- der Reflektor befindet sich an der rechten Strassenseite;
- sowohl der Speichenreflektor als auch die Autoscheinwerfer befinden sich auf einer Höhe von 60 cm;
- die beiden Autoscheinwerfer (die den Reflektor bestrahlen) überdecken sich auf einer Höhe von 60 cm;
- die Scheinwerfer zeigen das normale a-symmetrische Abblendlicht (E-Typ);
- die Lichtstärken in der Richtung des Reflektors sind für beide Autoscheinwerfer zusammen 8000 bzw. 4200 und 3400 cd;
- der Reflektor hat eine Arbeitsfläche von  $0,005 \text{ m}^2$ .

Aus Tabelle 1 sind die erforderlichen Werte für den Rückstrahlwert eines kompletten Speichenreflektors ( $r$ ) und des Materials ( $R$ ) ersichtlich. Die Werte sind hergeleitet vom Schwellenwert für eine Adaptationsleuchtdichte von  $2 \text{ cd/m}^2$  (Douglas & Booker, 1977). Um eine minimale Auffälligkeit zu garantieren, wurden die ermittelten Schwellenwerte anschliessend mit 1000 multipliziert. Bei einer Entfernung von 50 bzw. 75 und 100 m bedeutet dies, dass die Mindestlichtstärke des Reflektors 0,1 cd, 0,225 cd und 0,4 cd sein soll. In Tabelle 2 sind praktische Werte für den Rückstrahlwert von bekannten Materialien zusammengefasst, die zur Herstellung von Speichenreflektoren gebraucht werden können. Ein Vergleich zwischen Tabelle 1 und 2 zeigt, dass diese Materialien den Anforderungen genügend entsprechen. Tabelle 3 enthält praktische Angaben für den Rückstrahlwert von Fahrradreifen (Anon., 1978). Auch diese scheinen den Anforderungen annähernd zu genügen, obwohl der Rückstrahlwert geringer ist als jene der meisten Speichenreflektoren.

Was die Erkennbarkeit betrifft, so wurde untersucht, ob der Rückstrahlwert der Reifen dem "Lesbarkeitskriterium" entspricht; in diesem Falle sollte die Leuchtdichte etwa  $100 \text{ cd/m}^2$  betragen. Beim Ermitteln des

erforderlichen Rückstrahlwerts wurde von den folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- die Fahrradgeschwindigkeit beträgt 20 km/h;
- das Fahrrad kommt von links;
- die Autogeschwindigkeit beträgt 30 bzw. 50, 70 und 80 km/h (Unfallanalysen zeigen, dass es auf Strassen mit höherer Geschwindigkeitsbegrenzung nur wenige Fahrradunfälle gibt);
- die Fahrbahnen für Autos und Fahrräder sind senkrecht auf einander gerichtet;
- es wird mit einer Notbremsung gerechnet; dafür wurden eine Reaktionszeit von  $t = 2$  s und eine Bremsverzögerung von  $a = 5 \text{ m/s}^2$  (etwa das gesetzliche Minimum) angenommen; diese Angaben entsprechen Anhaltestrecken von 30 bzw. 50, 80 und 100 m (die Werte wurden nach oben abgerundet);
- zur Vereinfachung der Berechnungen wurde angenommen, dass die beiden Autoscheinwerfer sich räumlich überdecken und dass sich das Auge des Beobachters/Autofahrers 0,5 m gerade oberhalb der Scheinwerfer befindet;
- die Lichtstärke der Autoscheinwerfer ist auf je 300 cd geschätzt (das Streulicht links ausserhalb des Lichtbündels).

Die erforderlichen Werte für den Rückstrahlwert der Reifen (R) sind in Tabelle 4 angegeben.

Ein Vergleich dieser Werte mit den praktischen Angaben aus Tabelle 3 zeigt, dass reflektierende Reifen dem "Lesbarkeitskriterium" ziemlich genau entsprechen.

Speichenreflektoren zeigen die Zweiradfunktion eines Fahrrades weniger deutlich als reflektierende Reifen. Wieviel weniger, hängt deutlich damit zusammen, wieviel Reflektoren pro Rad angebracht sind.

#### 4. UNFALLANALYSE

Wieviel Radfahrerunfälle können verhindert werden, wenn ihre seitliche Wahrnehmbarkeit mit Hilfe von reflektierenden Materialien verbessert wird? Um diese Frage beantworten zu können, müssen wir zunächst wissen, unter welchen Umständen ihre Wahrnehmbarkeit ohne derartige Vorkehrungen unzulänglich wäre.

Von Reflexion kann nur bei Dämmerung und im Dunkeln ein günstiger Effekt erwartet werden. Bei ungünstigen Wetterumständen am Tage kommen reflektierende Mittel zum Markieren von Fahrzeugen nicht in Betracht.

Die Bewegungsrichtungen der Radfahrer und deren potentiellen Zusammenprallpartner können entweder zusammenfallen, einen spitzen oder stumpfen Winkel bilden oder senkrecht aufeinander gerichtet sein. Im ersten Falle spielt die Seitenreflexion keine Rolle, da lediglich die Vorder- oder Rückseite des Rades beobachtet werden kann. Im zweiten Falle spielen sowohl Seitenreflexion als auch die Vorder- und Hintermarkierung eine Rolle, während im dritten Falle nur die Seitenreflexion von Bedeutung ist.

In den Jahren 1978 bis einschl. 1980 wurden in den Niederlanden 13 389 Radfahrer getötet oder schwer verletzt. 1304 dieser Verunglückten wurden bei Dämmerung oder im Dunkeln durch ein Kraftfahrzeug (oder Moped) seitlich angefahren. Dies bedeutet also, dass durch eine Seitenreflexion von Fahrrädern die Anzahl der schwer verletzten Radfahrer maximal um 10% reduziert werden kann. Von den 1304 Fahrradopfern bei Dämmerung und im Dunkeln waren 873 im senkrechten Winkel von einem Motorfahrzeug angefahren. Wir werden diese Gruppe als "relevante Opfer" bezeichnen. Die übrigen 431 Opfer können wir hinsichtlich der Seitenreflexion als "weniger relevant" betrachten (siehe Tabelle 5).

Weitere Analysen zeigen, dass die relevanten Opfer hauptsächlich in Ortschaften zu finden waren, und zwar im Winter, auf nassen Strassen, während der Hauptverkehrszeit am Morgen und am Abend und bei brennender Strassenbeleuchtung. Wenn man die möglichen Nutzen von Seitenreflexion studiert, muss man aber bedenken dass ihre Wirksamkeit auf beleuchteten Strassen nur gering ist.

## 5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aufgrund der Ergebnisse der Unfallanalyse ist es nicht möglich, genau zu ermitteln, wieviel Radfahrer weniger verletzt werden, wenn die Seite des Fahrrades mit reflektierendem Material versehen wird. Man kann erwarten, dass bei mangelnden öffentlichen Beleuchtung höchstens ein Viertel der relevanten Unfälle und höchstens ein Achtel der weniger relevanten Unfälle durch Anwendung von Seitenreflexion hätten verhindert werden können. Weiter nehmen wir an, dass der Effekt bei Strassenbeleuchtung nur halb so gross ist als ohne öffentliche Beleuchtung.

Aufgrund dieser Annahmen und mit Hilfe der Angaben aus Tabelle 5 können wir vermuten, dass in der Periode 1978 bis einschl. 1980 etwa 170 Radfahrer weniger verletzt worden wären, wenn die Seiten aller Fahrräder mit gut sichtbarem reflektierendem Material versehen gewesen wären. Falls alle Fahrräder künftig mit Seitenreflexion versehen werden, würde die Zahl der schwer verletzten Radfahrer erwartungsgemäss maximal um etwas mehr als 1% abnehmen.

Bei der Beurteilung der Seitenreflexion von Fahrräder soll man bedenken dass in vielen Länder, und ins besondere in den Niederlanden, die Fahrräder vor allem von jugendlichen Verkehrsteilnehmern benutzt werden. Obwohl vielleicht nicht viel mehr als etwa 1% der Verletzten und Getöteten unter den Radfahrer mittels der Seitenreflexion bespaht werden können, muss man damit rechnen dass wahrscheinlich die Quote unter den Jugendlichen beträchtlich höher liegen kann.

Ein grosser Teil der Unfällen mit Radfahrern betrifft Situationen in denen der Kraftwagen Vorfahrtsrecht hat über die Radfahrer. In den Niederlanden ist normalerweise das Vorfahrtsrecht derartig geregelt, im Gegensatz zu die meisten anderen europäischen Länder. Man plant jetzt eine Umänderung der Vorfahrtsregelung damit eine bessere europäische Harmonisierung stattfinden kann. Man muss ernsthaft damit rechnen dass eine derartige Umänderung erheblichen Folgen haben kann für die Gefährdung der Radfahrer, und deshalb auch die eventuelle Rolle der Seitenreflexion erheblich ändern kann. Damit hängt zusammen einen Vorschlag um die Klassifikation von Verkehrsmitteln auf zwei Räder zu ändern. Und dass bringt uns zu die letzte Bemerkung: wir haben ausschliesslich über Rad-



fahrer gesprochen, aber sehr viel was hier besprochen ist, gilt ohne Weiteres auch für Mopeds. In der holländischen Gesetzgebung werden Fahrräder und Mopeds in dieser hinsicht gleich behandelt. Eine Umänderung der Klassifikation könnte aber auch der Einfluss von Seitenreflexion auf der Verkehrssicherheit gewissenmassen beeinträchtigen.

LITERATURHINWEIS

Anon (1978). "Scotchlite" brand reflective tire sheeting 8150.P.351. Safety Systems Product Bulletin, 1978.

Balder, J.J. (1956). Stadslichten op goed verlichte wegen (Standlicht auf gut beleuchteten Strassen). Wegen 30 (1956) 4: 1-5.

Blokpoel, A.; Schreuder, D.A.; Wegman, F.C.M. (1982). De waarneembaarheid bij duisternis van de zijkant van fietsen (Die Wahrnehmbarkeit der Seite von Fahrrädern bei Dunkelheit). R-82-36. SWOV, Leidschendam, 1982.

De Boer, J.B. (ed.) (1967). Public lighting. Philips Technical Library. Centrex, Eindhoven, 1967.

Douglas, C.A. & Booker, R.L. (1977). Visual range: Concepts, instrumental determination and aviation application. NBS Monograph 159. National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1977.

Fisher, A.J. (1974). The luminous intensity requirements of vehicle front lights for use in towns. Ergonomics 17 (1974) 1: 87-103.

Schreuder, D.A. (1976). Voertuigverlichting binnen de bebouwde kom (Fahrzeugbeleuchtung innerhalb bebauten Gebieten). R-76-7. SWOV, Voorburg, 1976.

SWOV (1973). Fietsen bij schemer en duisternis (Radfahren bei Dämmerung oder Dunkelheit). Publikatie 1973-3N. SWOV, Voorburg, 1973.

Van Minnen, J. Het effect van achterreflector en reflecterende pedalen op de veiligheid van fietsers (Der Effekt von Rückstrahler hinten und in Pedalen auf der Verkehrssicherheit von Radfahrer). R-82-29. SWOV, Leidschendam, 1982.

Van Norren, D. (1974). Leesbaarheid van bewegwijzering langs autosnelwegen (Lesbarkeit von Wegweiser auf Autobahnen). Rapport 1974-C15. IZF-TNO, Soesterberg, 1974.

Entfernung d	50 m	75 m	100 m
$d^2$	2500	5625	10000
I Lampen (cd)	8000	4200	3400
E Reflektor (lx)	3,2	0,75	0,34
I Reflektor (cd)	0,1	0,225	0,4
r (cd per lx)	0,031	0,3	1,18
R (cd/m <sup>2</sup> pro lx)	6,3	60	235

Tabelle 1. Minimal benötigte Rückstrahlwert für genügende Sichtbarkeit eines kompletten Reflektors (r) und des reflektierenden Materials (R).

Material	Farbe	Rückstrahlwert (cd/m <sup>2</sup> pro lx)	Quelle
Cornercube	rot	etwa 225	SWOV (1973)
Cornercube	rot	etwa 440	SWOV (1973)
Linsenreflektor	keine Angabe	100 - 150	SWOV (1973)
Folie	weiss	70 - 80	SWOV (1973)
Engineering Grade	weiss	70	*)
High Intensity Grade	weiss	250	*)

\*) Produktdokumentation 3M

Tabelle 2. Praktische Rückstrahlwerte von einigen bestehenden reflektierenden Materialien.

Beobachtungswinkel	0,2° = 12'			1,5° = 90'		
Einfallswinkel	-4°	20°	40°	-4°	20°	40°
Rückstrahlwert						
R <sub>1</sub>	21,5	19,5	4,5	1,0	1,0	0,45
R <sub>2</sub>	356	322	74	16,5	16,5	7,4

Tabelle 3. Die Rückstrahlwert eines reflektierenden Reifens (Anon., 1978) ausgedrückt in candlepower pro 50 lin.inch (R<sub>1</sub>) und umgerechnet in die übliche Grösse cd/m<sup>2</sup> pro lx (R<sub>2</sub>).

Geschwindigkeit	30 km/h	50 km/h	70 km/h	80 km/h
Halteweg s (m)	30	50	80	100
tg α	0,67	0,40	0,286	0,25
α (Grad)	34	22	16	14
Entfernung d (m)	36	53,8	83,2	103
d <sup>2</sup>	1300	2900	6923	10625
I zwei Scheinwerfer (cd)	600	600	600	600
E (I/d <sup>2</sup> )	0,46	0,21	0,087	0,056
R für 100 cd/m <sup>2</sup> (cd/m <sup>2</sup> pro lx)	217	483	1154	1770

Tabelle 4. Minimal benötigte Rückstrahlwert (R) von Reifen um Lesbarkeitskriterium zu genügen.

Art des Unfalles	Anzahl schwer verletzte Radfahrer bei Dämmerung und im Dunkeln		
	Öffentliche Beleuchtung vorhanden	Keine öffentliche Beleuchtung	Insgesamt
Relevant	773	100	873
Weniger relevant	367	64	431
Nicht relevant	1105	375	1981
Insgesamt	2245	540	2785

Tabelle 5. Getötete oder schwer verletzte Radfahrer infolge Zusammenstöße mit Motorfahrzeugen bei Dämmerung und im Dunkeln im Zusammenhang mit der Art des Unfalles und dem wohl oder nicht Vorhandensein öffentlicher Beleuchtung (1978-1980).