

Müssen Verkehrsschilder nachts erkannt werden können müssen?

Olaf Schultz, Hamburg

Die Antwort auf diese Frage fällt nicht so einfach wie auf die Frage: „Sollten Verkehrsschilder nachts erkannt werden können müssen?“.



(Quelle: Bernd Sluka)

1 Problemstellung

Die grundsätzliche Problematik liegt darin, daß zum Erkennen von Gegenständen diese einen Kontrast zum Umfeld aufweisen müssen.



Olaf Schultz,

Maschinenbauingenieur, Hamburg-Harburg, renitent-ter Großstadtalltags- und Reiseradler, Gründungsmitglied der Fahrrad-AG der TUHH, Selbstbau von mehreren Liegerädern, seit längerem immer weiter in den Untiefen der Fahrradbeleuchtung versinkend.

Im einfachsten Fall reicht dafür die Reflektion des von der Fahrzeugbeleuchtung abgesonderten Lichtes. Der am Gegenstand vorbeistreifende Anteil verliert sich im dunklen „Unendlichen“. In lichtverschmutzten Städten oder bei selbstleuchtenden Gegenständen mag es auch ohne fahrzeugeigenes Licht gehen. Das nach oberhalb des Fahrbahnniveaus vom eigenen Fahrzeug entsandte Licht hat aber den unangenehmen Nebeneffekt Entgegenkommende blenden zu können. Damit dies nicht passiert haben die Gesetzgeber unterschiedliche Vorschriften und Grenzwerte erlassen.

Dieser Artikel befaßt sich mit der Situation des Fahrradfahrers.

Symbol	Einheit	Bedeutung
α	Grad	Winkel in der horizontalen Ebene
α	Grad	Beobachtungswinkel
β	Grad	Winkel in der vertikalen Ebene
β_R	Grad	Anleuchtwinkel
γ	Grad	Winkel in der vertikalen Ebene zwischen HV und Schild
E_{\max}	lx	max. Beleuchtungsstärke (in 10 m Entfernung)
E_S	lx	Beleuchtungsstärke auf dem Schild
HV	lx	Beleuchtungsstärke in der Mitte des Meßfeldes (in 10 m Entf.)
L	cd m ⁻²	mittlere Leuchtdichte
ΔL	cd m ⁻²	Leuchtdichteunterschied
R	cd m ⁻²	Leuchtdichte
R'	cd lx ⁻¹ m ⁻²	Mindestrückstrahlwert
a	m	Entfernung vom Scheinwerfer (auf der Fahrbahn)
h_A	m	Höhe Auge
h_L	m	Anbauhöhe Scheinwerfer (Lampe)
h_S	m	Anbringungshöhe Verkehrsschild

Tabelle 1: Nomenklatur

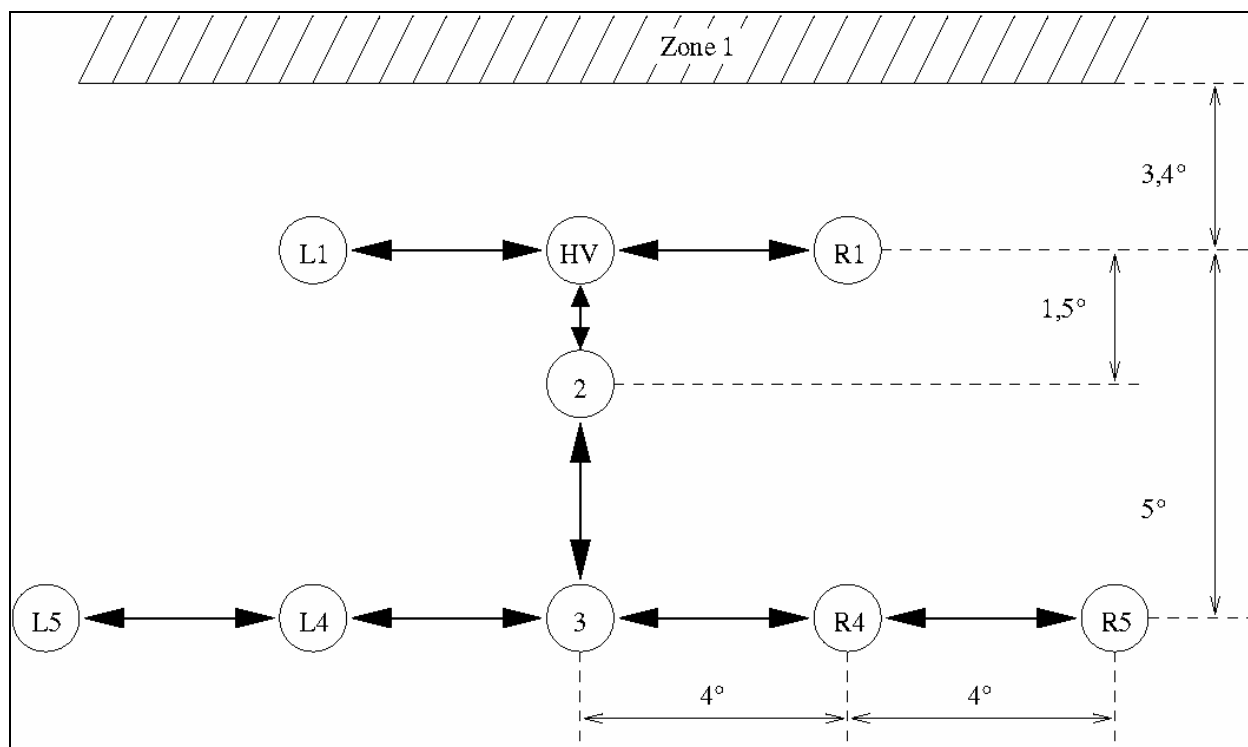


Abbildung 1: Meßraster der TA23

2 Vorschriften und andere Randbedingungen

Um die Eingangs gestellte Frage beantworten zu können¹ kann man sich zuerst mit der vorgeschriebenen Ausleuchtung des Scheinwerfers befassen. So unsinnig die Vorschriften in manchen Punkten auch sind! Die hier wesentlichen Punkte sind:

- StVZO §67 (3): „...Der Lichtkegel muß mindestens so geneigt sein, daß seine Mitte in 5 m Entfernung vor dem Scheinwerfer nur noch halb so hoch liegt wie bei seinem Austritt aus dem Scheinwerfer...“. Damit soll wohl die Blendung des Gegenverkehrs verhindert werden. Eine gute Ausleuchtung der Fahrbahn weiter als 10 m vor dem Rad wird aber auch verboten!
- Ergänzend zur StVZO werden über §22a StVZO Technische Anforderungen (TA) gestellt. Die Blendung des Gegenverkehrs soll auch ein Kriterium in den TA

23 verhindern: Die Zone 1. Sie beginnt $3,4^\circ$ über dem hellsten Punkt (E_{max}), der auf der Linie L1-R1 liegt. In der Zone 1 sind nach alter Fassung $\leq 0,7$ lx zulässig. In der aktuellen Fassung sind es ≤ 2 lx.

- Die Anbauhöhe des Scheinwerfers h_L . Sie liegt meist zwischen 30 und 90 cm.² Hier wird von 70 cm ausgegangen.

Der erste Punkt läßt mit „Mitte“ einen großen Interpretationsspielraum übrig. Ich gehe hier von HV aus. Das ist bei symmetrischen Scheinwerfern, wie z.B. dem alten Union U100, der Fall. Andere Antworten könnten aber z.B. lauten:

- Der geometrische Mittelpunkt der ausgeleuchteten Fläche. Bei wieviel Lux soll diese begrenzt sein?
- Der, mit der Beleuchtungsstärke gewichtete, Flächenschwerpunkt.
- Die Mitte des TA 23-Rasters? Beginnend bei Zone 1 oder bei L1-R1?
- ...

¹ Erstes intensives Schreiben an diesem Artikel 2003, aufgrund diverser Umstände aber späte Veröffentlichung.

² Anbau am vorderen Ausfallende-Lenker Trekkingrad.

Literatur für den zweiten Punkt: Bibliothek mit Bundesgesetzblattsammlung oder Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wirtschaft (BMVBW) anschreiben, oder einen ca. 150 € teuren Kommentar zur StVZO besorgen. Übrigens sind im Blendbereich bei Kfz 8,8 lx, bei Fahrrädern nur 2 lx zugelassen.³

Der dritte Punkt, die Anbauhöhe, wird nach Durchmusterung einiger Fahrräder mit dem Gliedermaßstab beantwortet. Die StVZO gibt hierfür (zum Glück) keinen Wert vor.

3 Exemplarische Daten und Berechnungen

Als Muster wird im Folgenden ein StVZO-konformer Scheinwerfer (BiSy FL) mit HS3 ausgewählt und bei einer Leistungsaufnahme von 2,34 W vermessen (vgl. Bild 2).⁴ Die 2,5 %ige Abweichung von der Nennleistung macht sich in einer Helligkeitsreduzierung von ca. 5% bemerkbar.

Die gerechnete Straßenausleuchtung des ordnungsgemäß ausgerichteten Scheinwerfers zeigt Abbildung 3.

Zur Definition der hier verwendeten Bezeichnungen siehe Abbildung 4.⁵

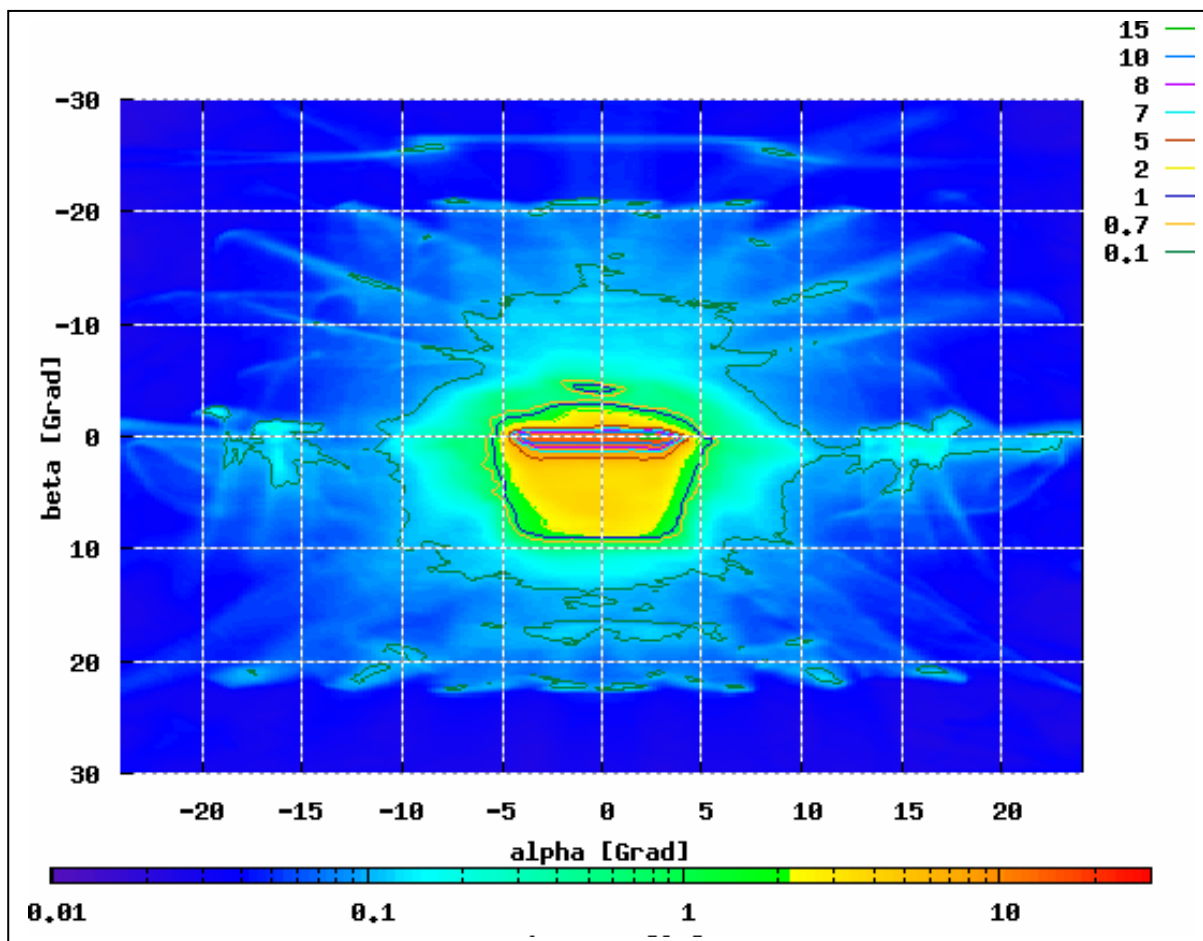


Abbildung 2: Beleuchtungsstärke auf einer Wand in 10 m Entfernung

³ Dort heißt der Bereich *Zone 3*. Der Wert gilt für beide Scheinwerfer zusammen. Der Wert ist auf 10 m Meßentfernung umgerechnet.

⁴ Maßgebend bei der Vermessung war die Spannung und nicht der Strom. Die Birne liegt innerhalb der zulässigen Toleranzen der Leistungsaufnahme nach DIN49848.

⁵ Die Winkelbezeichnungen erscheinen ein bißchen wirr. Das liegt an der Mischung der unterschiedlichen Definition und Verwendungen. Sowohl in der Scheinwerfervermessung wie in der Reflektorvermessung werden die gleichen Bezeichnungen für unterschiedlichen Bedeutungen verwendet.

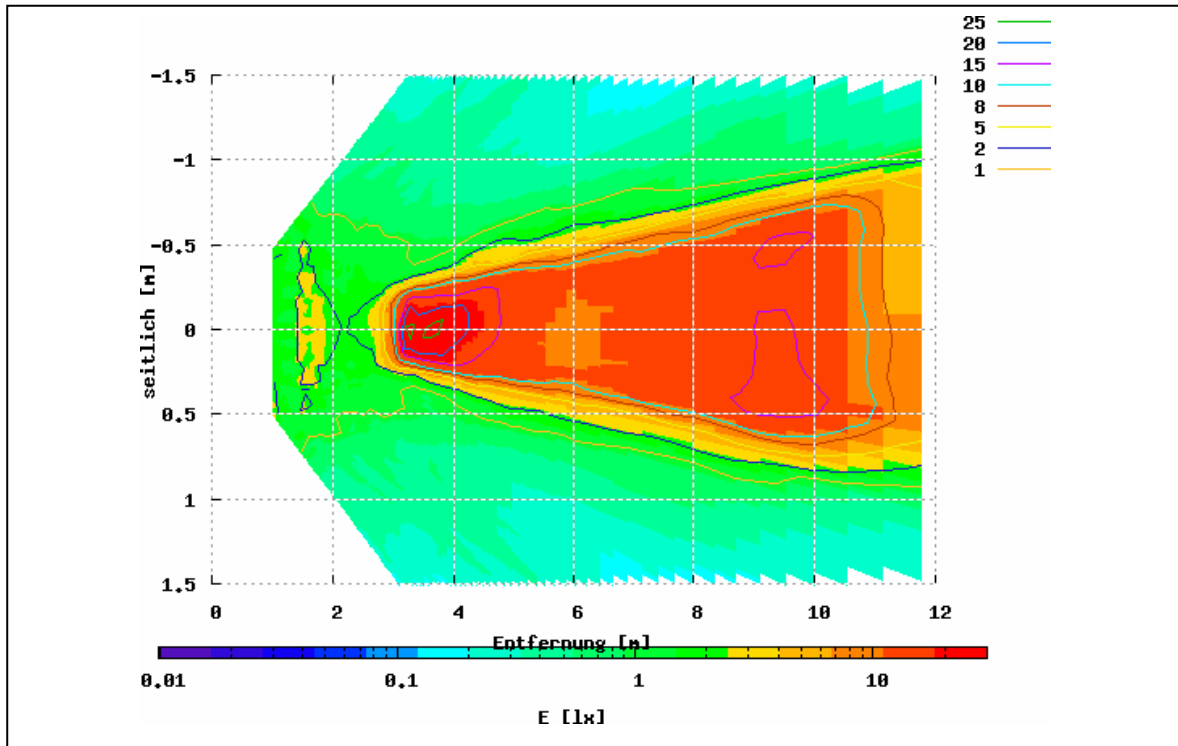


Abbildung 3: Straßenausleuchtung BiSy mit HS3 bei 2,34 W

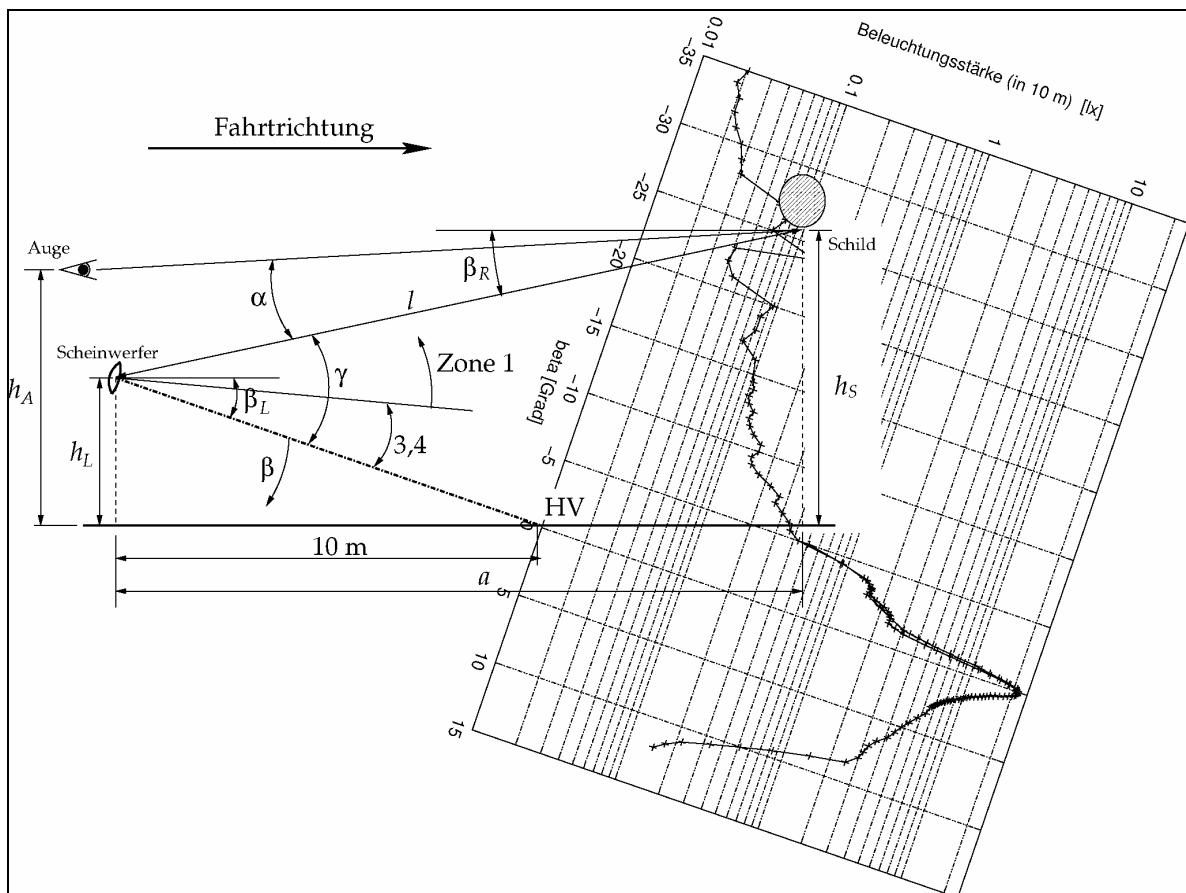


Abbildung 4: Winkel und Entfernungen (nicht maßstäblich, Graph der Beleuchtungsstärke in 10 m Entfernung nur zu Verdeutlichung, Definitionen im Text)

Dabei ist h_A die Augenhöhe des Radfahrers. An Verkehrsschild werden die Winkel α zwischen Scheinwerfer und Auge und β zwischen der Normalen des Schildes und dem Scheinwerfer aufgespannt. Aus den bisherigen Daten ergibt sich unter anderem, daß Zone 1 bei $h_L = 0,7$ m in etwa

$$a_{zone1} = h_L \tan\left(3,4^\circ + \arctan\frac{10m}{h_L}\right) = 66,4m \quad (1)$$

vor dem Fahrrad beginnt und irgendwo oberhalb des Fahrers endet.

Als Beispiel wird hier ein unvorschriftsgemäß zu niedrig angebrachtes Radwegschild verwendet.⁶ Es ist mit der Unterkante 2 m oberhalb der Fahrbahn angebracht. Bei einem Durchmesser von 0,4 m ergibt sich eine mittlere Höhe von $h_S = 2,2$ m. Konservativ wird hier mit $h_S = 2$ m gerechnet. Damit kann γ als

$$\gamma = \arctan\frac{h_L}{10m} + \arctan\frac{h_S - h_L}{a} \quad (2)$$

berechnet werden. Den Winkel γ spannt das Radwegschild mit HV auf. Sollen Aussagen bis ca. 2 m vor dem Fahrrad getroffen werden, so sind die Scheinwerfer also bis zu einem Winkel $\beta = -30^\circ$ zu vermessen.

Fahrradscheinwerfer erzielen i.A. jenseits der $3,4^\circ$ über HV deutlich weniger als die zugelassenen 2 lx (vgl. Kurvenverlauf in Abbildung 4).

Rechnet man die bisher zusammengetragenen Daten um, so ergibt sich die Abbildung 5. Die hellste Beleuchtung erfolgt in diesem Beispiel etwa 3,5 m vor dem Schild.

Für die Ermittlung des Reflexverhaltens des Schildes benötigt man den Anleuchtungswinkel⁷ β_R und den Beobachtungswinkel α . Diese ergeben sich aus

$$\beta_R = \arctan\frac{h_S - h_L}{a} \quad (3)$$

$$\alpha = \beta_R - \arctan\frac{h_S - h_A}{a} \quad (4)$$

Für zwei ausgewählte Fahrrad-Typen sind in Tabelle 2 exemplarische Werte aufgeführt. Dabei wird für die Position nahe am Schild als aufrechtes Rad ein Trekkingrad mit Hornlenker, also eher kleinem α , ausgewählt.⁸ Ein noch kleineres α liegt z.B. bei einem Tieflieger bei einer großen Entfernung vor.

Bei reflektierenden Schildern wird laut DIN 67520-2 für die nächstliegenden Werte ($\alpha = 2^\circ$ und $\beta_R = 5^\circ$) ein Mindestrückstrahlwert von $R' = 0,2$ cd lx⁻¹ m⁻² gefordert. Wohlgermerkt für eine neue Folie, nicht ein veralgtes, nicht reflektierend bedrucktes Radwegschild! Für den Tieflieger lassen sich bei den wenigen Stützpunkten $R' = 12$ cd lx⁻¹ m⁻² für eine Folie Typ 2 bzw. $R' = 2,5$ cd lx⁻¹ m⁻² für eine Folie Typ 1 nur grob abschätzen.⁹

Aus Abbildung 5 ist die Beleuchtungsstärke des Schildes $E_S(a)$ ersichtlich.

Im realen Alltagseinsatz wird man für einen Spurwechsel bei 25 km/h mit 10 m als minimal zurückgelegter Strecke rechnen können. Fährt man auf der Fahrbahn, so sind Radwegsschilder 1 bis 5 m neben dem Scheinwerfer. Das ergibt bei 10 bzw. 20 m Entfernung einen seitlichen Winkel von ca. 3 bis über 17° . Jenseits von $\pm 4^\circ$ sieht es aber schon auf der Linie L1-HV-R1¹⁰ zugelassen duster aus. Außerdem steigt β_R an, und der Rückstrahlwert sinkt bei beiden Folientypen schnell auf $R' = 0,2$ cd lx⁻¹ m⁻².

Ris führt in [Ri03] eine preiswerte Methode an, die Leuchtdichten zu bestimmen: Mit Fotoapparaten kann man für den jeweiligen Bildausschnitt bei 200 ASA die mittlere Leuchtdichte L mit

$$L[\text{cd/m}^2] = 0,2 \frac{(\text{Blendenwert})^2}{\text{Belichtungszeit[s]}} \quad (5)$$

abschätzen. So erreicht man innerstädtisch, egal ob Radwegsschild¹¹ oder Straßenhinter-

⁶ Siehe Verwaltungsvorschriften (VwV) zu §39-43 StVO. Harburg, Eißendorfer Pferdeweg, Ecke Heimfelder Straße.

⁷ Zwischen Lichtquelle und Normale des Schildes.

⁸ Je kleiner α , desto größer die Reflektion, hier also konservative Annahme.

⁹ Folien nach DIN 67520-2 verwenden Mik-roglaskugeln als Reflexmedium: Typ 1 ohne, Typ 2 mit Luftschicht. Typ 2 erzielt bei kleinem höhere Rückstrahlwerte als Typ 1. Bisher sind keine Angaben über real verwendete Typen bekannt.

¹⁰ L1 und R1 liegen vier Grad links bzw. rechts neben HV. Auf dieser Linie liegt E_{max} .

¹¹ Nicht durch Kfz oder Fahrrad angestrahlt.

	h_A [m]	a [m]	β_R [°]	$\beta\alpha$ [°]	R' [cd lx ⁻¹ m ⁻²]	$E_S(a)$ [lx]	R [cd m ⁻²]
Aufrecht	1,4	20	4,004	2,286	0,2	0,2	0,04
Tieflieger	1	50	1,718	0,573	12	0,015	0,18

Tabelle 2: Winkel und Reflektionen bei unterschiedlichen Fahrradtypen

grund¹², mit $f=1,8$ und zwei Sekunden Belichtungszeit (Olympus C4040) $0,3 \text{ cd m}^{-2}$. Damit liegt man mitten im Übergangsbereich von Nachtsehen ($L' < 10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$) und Tagsehen ($L > 10 \text{ cd m}^{-2}$). Dunkler Nachthimmel wird in Literaturquellen $14 \cdot 10^{-6} \text{ cd/m}^2$ angegeben.

Ein Radwegschild erscheint in ca. 20 m Entfernung ca. $1,14^\circ$ groß. Aus [He02] entstammt Abbildung 6. Danach werden in diversen Untersuchungen meist 1° große Testfelder verwendet. Für diese Testfeldgrößen kann man zum Glück in anderen Untersuchungen nachschlagen.

Für die Unterschiedsempfindlichkeiten wären die Untersuchungen nach Jainski¹³ anwendbar.

Blackwell verwendet eine Erkennungswahrscheinlichkeit von 50 % [He02]. Natürlich sind die Erkennungswahrscheinlichkeiten mit einer gewissen Streubreite versehen, erkennbar an dem schraffierten Bereich.

Damit ist zumindest ohne Fahrradscheinwerfer laut der hier verwendeten Meßtechnik kein ausreichender Kontrast zwischen Schild und Hintergrund vorhanden. Die Kontrasterhöhung durch den Scheinwerfer mit $0,04 \text{ cd m}^{-2}$ zusätzlich zu den schon vorhandenen $0,3 \text{ cd m}^{-2}$ erzeugt ein $L/\Delta L_S \approx 0,3/0,04 = 7,5$ und liegt damit unterhalb des, nach Jainski, notwendigen Wertes von ca. 15. Dabei geht es aber nur um das Erkennen, daß da ein Schild ist, und nicht, was für ein Schild es sein könnte!

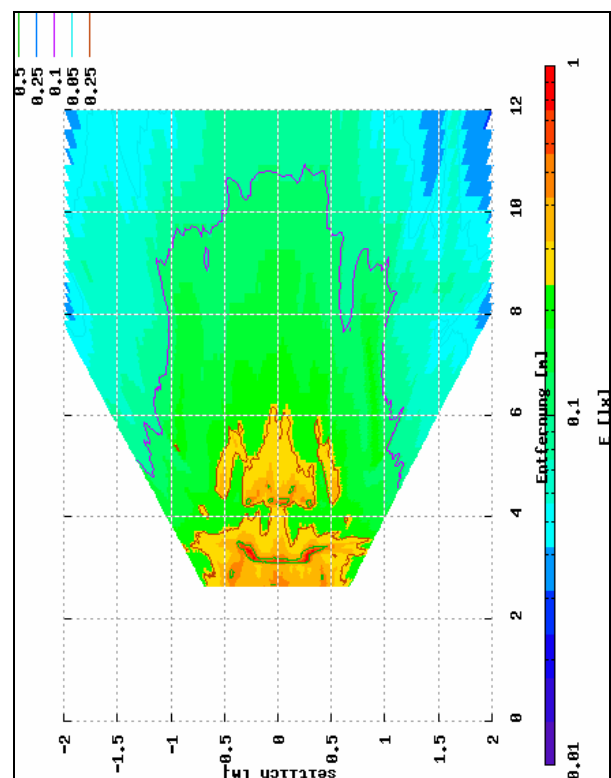
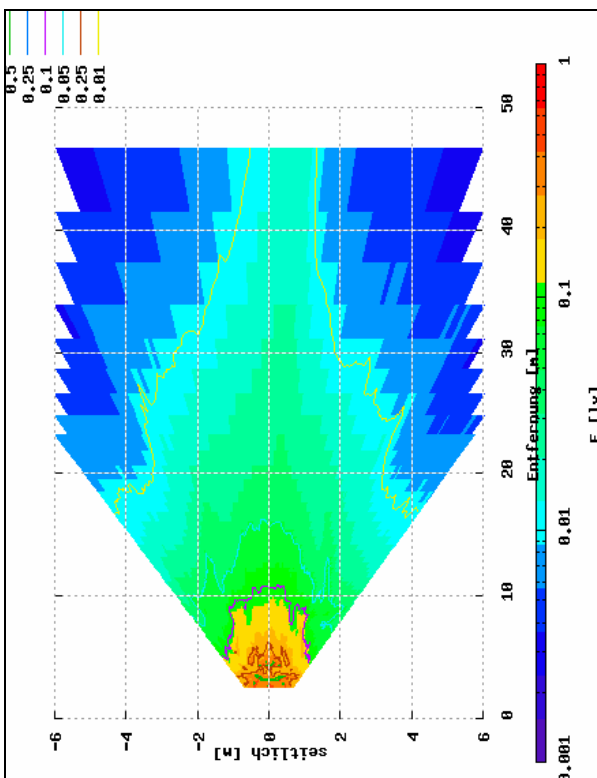


Abbildung 5: Ausleuchtung des ordnungsgemäß ausgerichteten Scheinwerfers 2 m über der Fahrbahn

¹² Hamburg, 04.06.2004, 22:15

¹³ Jainski, P.: Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges bei verschiedenen Lichtarten, Lichttechnik 12 (1960) 6, S. 355-359

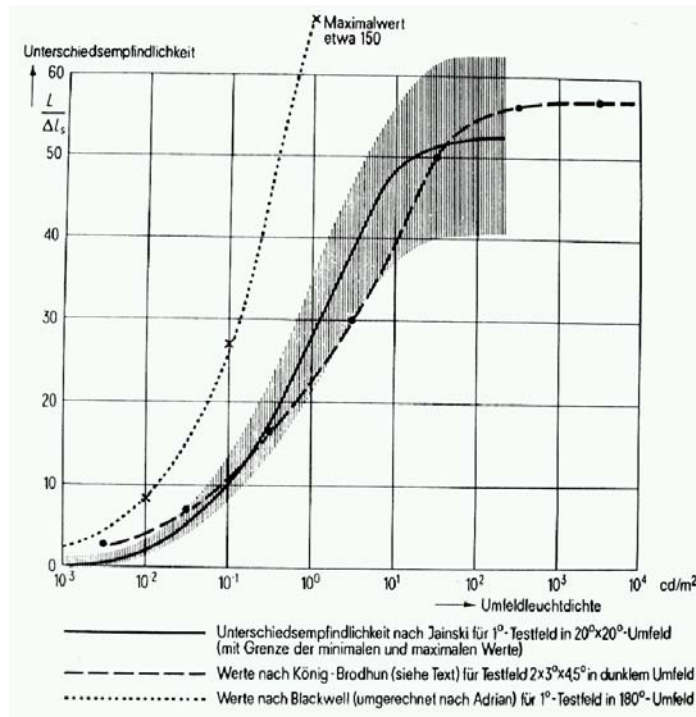


Abbildung 6: Verlauf der Unterschiedsempfindlichkeit [He02]

4 Zusammenfassung

Damit kann nun die eingangs gestellte Frage mit „Nein!“ beantwortet werden. Ergo: „Wenn Sie (Herr Wachtmeister) wollen, daß ich auch nach der nächsten Einmündung weiter auf dem Radweg fahre, dann fahren Sie bitte weiterhin neben mir her und leuchten mit ihrem asymmetrischen Abblendlicht. Ich darf gemäß StVZO das Radwegschilder nachts gar nicht erkennen können.“ Nicht berücksichtigt wurden bisher:

- Blendungseffekte durch entgegenkommende Kfz, Straßenrandbeleuchtung etc.
- Mit dem Lebensalter zunehmende Nachtblindheit und andere Alterungseffekte des Auges.
- Laut VwV zu §39-43 StVO müssen u.A. Radwegschilder nicht rückstrahlend sein.

Dies wären weitere Untersuchungen. Auch die Vorschriften müßten auf Berücksichtigung obiger Punkte untersucht werden. Einfach langsamer fahren geht nicht, da dann bei Dynamobleuchtung weniger Licht erzeugt wird. Die Brisanz liegt auch darin, daß man nach obigen Betrachtungen nachts als Radfahrer auch Autobahnschilder oder Gefahrenzeichen gar nicht erkennen können dürfte. Nach [Jo05] ist dieses Thema anscheinend selbst für Autofahrer noch nicht endgültig ausdiskutiert.

Zur eingangs häufig erwähnten Blendung ist noch anzumerken, daß dieser Vorgang nicht einfach durch die Vorschrift einer maximalen Beleuchtungsstärke in eine gewissen Entfernung verhindert wird. Der Vorgang der Blendung wird eher durch die Leuchtdichte und der Kontrast zum Umfeld ausgelöst. Von diversen subjektiven Ursachen ganz zu schweigen. Nach obigen Erkenntnissen wäre auch die Erkennbarkeit von Pfosten auf Radwegen, besonders mit verwitterter Verzinkung, betrachtenswert. Zumal einige Urteile (OLG Hamm, NZV 2002, 506 und (9.11.2001 Az. 9U252/98) 129) schon die „Unzureichendheit“ von Fahrradscheinwerfern auf der Straße und Waldwegen attestieren. Wie soll das dann erst mit höher gelegenen Gegenständen, Schildern und Absperrbalken sowie -ketten aussehen?

Literatur

- [He02] Hentschel, Hans-Jürgen: Licht und Beleuchtung, Hüthig Verlag, Heidelberg, 5. Auflage, 2002
- [Ri03] Ris, Hans Rudolf: Beleuchtungstechnik für Praktiker, VDE-Verlag, 3. Auflage, 2003
- [TA03] BMVBW: Technische Anforderungen, Entweder im Kommentar zur StVZO oder z.B. in Auszügen im Beleuchtungstext auf www.enhydralutris.de/Fahrrad/index.html#beleuchtung
- [Jo05] Johnson, Norbert L.: Percent Drivers Served for Headlight Illuminated Retroreflective Overhead Signs, ISAL-Symposium, Darmstadt 2005