

Wirkungsweise von Wildwarnern

FA SV.0010

Forschungsstellen: Technische Universität Dresden, Professur für Verkehrspsychologie: Wahrnehmungslabor/Lichttechnik (Dipl.-Psych. Dipl.-Ing. C. Schulze)
Technische Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Dozentur für Wildökologie und Jagdwirtschaft (Prof. Dr. Dr. habil. S. Herzog)

Bearbeiter: Schulze, C. / Polster, J.-U.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: März 2016

1 Aufgabenstellung

Zur Verringerung der Anzahl von Wildunfällen werden häufig optisch wirkende Wildwarnreflektoren (WWR) an Leitposten montiert. Diese sollen das von den Frontscheinwerfern passierender Fahrzeuge abgegebene Licht in die straßennahen Bereiche des Seitenraums lenken. Anhand der Lichtreflexe soll das Wild aus diesen Bereichen vertrieben und dadurch Wildunfälle vermieden werden. Die Wirksamkeit von WWR ist wissenschaftlich nicht belegt. In Annahme einer potenziellen Wirkungskette besteht hinsichtlich des Wirkprinzips von WWR in den Bereichen innere Wirkung (optisch/lichttechnisch) sowie sehphysiologische Wirksamkeit Erkenntnisbedarf. Zielstellung des vorliegenden Forschungsprojekts war daher die wissenschaftliche Untersuchung und Darstellung des lichttechnischen Wirkprinzips von optischen Wildwarnreflektoren und die Untersuchung der Wahrnehmbarkeit reflektierter Lichtreize durch relevante Tierarten.

2 Untersuchungsmethodik

Die eingeschlossenen Untersuchungsobjekte umfassten die Tierarten Rehwild, Schwarzwild, Damwild sowie als kleinere Tierarten Rotfuchs und Feldhase. Insgesamt wurden neun verschiedene optische Wildwarnreflektoren untersucht. Es handelt sich bei allen untersuchten WWR um aktuell (Stand 2015) in Deutschland am Markt erhältliche Serienprodukte. Bei einem Produkt lag zu Beginn der Untersuchung ein Prototyp vor, der im Projektverlauf durch die Serienversion ergänzt wurde.

Bei zwei der neun untersuchten WWR besteht die Oberfläche ganz oder teilweise aus blauer retroreflektierender Verkehrszeichenfolie. Sieben der neun WWR weisen spiegelnde Oberflächen verschiedener Struktur auf. Ein WWR besteht aus einem transluzenten farbigen Kunststoff. Hinsichtlich der Oberflächenfarbe in Anschauung bei Tageslicht können fünf WWR als "blaue" oder "bläulich-spiegelnde" Objekte beschrieben werden. Bei einem dieser fünf WWR sind neben blauen auch andersfarbig (grün, metallisch/weiß und rötlich) spiegelnde Teilflächen vorhanden. Drei untersuchte WWR können vollflächig als "spiegelnd-metallisch" und einer als "rot" beschreiben werden. Die Bauhöhen (senkrechte Ausdehnung in Nutzposition) betragen zwischen etwa $h = 16 \dots 26$ cm, die Breiten zwischen etwa $b = 5 \dots 10$ cm. Die Bautiefe (in Nutzposition Weite des rück-

wärtigen Herausragens in den Seitenraum ausgehend von der Befestigung) betrug zwischen $t = 3 \dots 6$ cm.

In der Untersuchung wurden zunächst verschiedene Grundlagen anforderungsbezogen literaturbasiert aufgearbeitet. Dies waren die Position von WWR im Straßenraum, die Position von Wildtieren und auch die Straßengeometrie (Querschnitt und räumliche Linienführung von Landstraßen). Weiterhin wurden geometrische und lichttechnische Charakterisierungen von Kraftfahrzeugfrontscheinwerfern (Fern- und Abblendlicht) als beleuchtende Elemente sowie von Wildtieren als Beobachter hinsichtlich Sehphysiologie und Sehvermögen in der dynamischen Situation vorgenommen. Diese Grundlagen wurden zu einer mit komplexen Merkmalen (Helligkeitssituation, Blendwirkung) versehenen Untersuchungssituation zusammengeführt. Diese Untersuchungssituation bildete die Basis für die simulationsbasierte Beurteilung der lichttechnischen Wahrnehmbarkeit der untersuchten WWR durch relevante Tierarten. Der dazu notwendige Umfang lichttechnischer Messungen an WWR ergab sich aus diesem Anspruch.

Die lichttechnischen Messungen erfolgten in insgesamt drei verschiedenen Laboraufbauten. Ein Aufbau ermöglichte die gleichzeitige Abbildung der räumlichen Reflexion von WWR in den gesamten Seitenraum (halbräumliche Abbildung). Die Charakterisierung erfolgte anhand von richtungsaufgelösten Abstrahlwerten (A in cd/lx), aus denen Kennwerte (mittlere Abstrahlwerte, Gleichmäßigkeiten) sowie Erkenntnisse über die räumliche Verteilung der Quantität von Lichtreflexionen abgeleitet wurden. Ein zweiter Aufbau diente der Ermittlung spezifischer Abstrahlwerte (AA in $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$) für zwei exemplarische Beobachtungspositionen sowie eine Vielzahl praktischer Anwendungssituationen (Landstraßen verschiedener Querschnitte mit Fahrzeugen auf allen regelmäßig befahrenen Fahrstreifen in den Gestaltungen Gerade, Links- und Rechtskurve, Steigung, Gefälle, Kuppe und Wanne). Ein dritter Aufbau schließlich diente der Messung retroreflektierender Eigenschaften von WWR aus Fahrersicht (Charakterisierung anhand spezifischer Rückstrahlwerte RA in $\text{cd}/(\text{m}^2 \cdot \text{lx})$).

Um darüber hinaus erste orientierende Informationen über den Bekanntheitsgrad beziehungsweise Erfahrungsstand zu WWR unter Autofahrern und auch Anhaltspunkte über das Meinungsbild zur angenommenen Wirkungsweise zu erheben, wurde ergänzend zu den lichttechnischen Messungen eine standardisierte Befragung bei $N = 84$ Personen durchgeführt. Dabei wurde auch die Einstellung hinsichtlich potenzieller Verhaltensadaptation bei Vorhandensein von WWR im Straßenraum erfragt.

Im Ergebnis des Vorgehens stehen neben weiteren Erkenntnissen vor allem für einen Großteil der praktisch relevanten Anwendungssituationen von WWR Quantifizierungen zu Art und Umfang optischer Reize, die ausgehend von passierenden Lichtquellen (Kraftfahrzeugen) vermittelt durch WWR in straßennahe Bereiche an potenziell darin befindliche Tiere gelangen können.

3 Untersuchungsergebnisse

Auf Basis der Befunde zu Befestigungsgeometrie von WWR, Querschnittsgestaltung von Landstraßen sowie Augpunkthöhen relevanter Tiere wurde als potenzieller Beobachtungsbereich ein Ausschnitt des Seitenraums vertikal $\pm 45^\circ$ sowie horizontal $\pm 90^\circ$ (ausgehend vom WWR) identifiziert. Für diesen Bereich darf unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit eine lichttechnische Wirkung von WWR erwartet werden (identifizierter Wirkbereich). Unter Hinzunahme der räumlichen Linienführung von Landstraßen und der Lichtverteilung von Fahrzeugscheinwerfern wurde als relevanter Beleuchtungsbereich vertikal $\pm 7^\circ$ sowie horizontal $\pm 45^\circ$ (ausgehend von ebener, gerader Straßenlängsachse) belegt.

In der Literatur sind Wildtiere als Beobachter sehphysiologisch bislang nicht umfassend beschrieben. Die verfügbaren Anhaltspunkte reichen daher nicht aus, um das optische Wahrnehmungsvermögen der Wildtierarten, insbesondere in nächtlichen Situationen, explizit quantifizieren zu können. Die Befundlage reicht jedoch sehr wohl aus, um in maßgebenden Aspekten einen Vergleich zum menschlichen Sehvermögen herbeizuführen, für das entsprechende Wahrnehmungsmodelle verfügbar sind.

Die Mehrzahl der betrachteten Wildtierarten verfügt über ein verglichen zum Menschen deutlich größeres horizontales Blickfeld (seitliche Lage der Augen, linienartiger Bereich "scharfen Sehens"). Daraus folgt, dass diese Tiere in typischer Beobachtungsposition im Seitenraum stehend in ihrem Gesichtsfeld gleichzeitig den WWR als auch die Straße und das sich annähernde Fahrzeug visuell abbilden. Hinsichtlich des räumlichen Auflösungsvermögens für kleine Details sind alle untersuchten Wildtierarten nicht besser als menschliche Beobachter. Außer dem Wildschwein verfügen alle betrachteten Arten über ein Tapetum cellulosum lucidum (kurz: Tapetum), eine reflektierende Gewebeschicht in oder hinter der Netzhaut, die einfallendes Licht erneut auf die Rezeptorzellen reflektiert und damit eine Art "Restlichtverstärker" bildet. Dieses verbessert das Sehen bei gleichmäßig schwachem Umgebungslicht (zum Beispiel Mondlicht). Kommen jedoch einzelne helle Lichtquellen (zum Beispiel Scheinwerfer herannahender Kraftfahrzeuge) hinzu, bewirkt das Tapetum eine bedeutsam größere physiologische Blendwirkung bei diesen Tieren verglichen mit einem menschlichen Beobachter der identischen Szenerie.

Die Berechnungen zur nächtlichen Wahrnehmungssituation zeigen, dass die Helligkeitsverteilung im Gesichtsfeld eines Wildtiers im Seitenraum bereits ab etwa 300 m Entfernung von dem Scheinwerferlicht und dessen Reflexion über die Straßenoberfläche bestimmt wird. Die dabei erzielten Helligkeiten übersteigen das Mondlichtniveau um ein Vielfaches. Sie charakterisieren damit auch das Helligkeitsniveau, vor dem die durch WWR erzeugten Lichtreflexionen bewertet werden müssen. Weiterhin zeigten die Berechnungen auf Basis veröffentlichter Scheinwerferlichtverteilungen, dass verglichen zur Ausleuchtung der Straßenoberfläche in aller Regel erheblich weniger Licht in den Seitenraum und damit auf WWR gelangt.

Die halbräumliche lichttechnische Charakterisierung der WWR zeigte eine stark ausgeprägte Inhomogenität des Reflexionsverhaltens der Wildwarnreflektoren. Bei der Mehrzahl der WWR erfolgen die hauptsächlichen Reflexionen in Ebenen wenige

Grad um den vertikalen Abstrahlungswinkel von 0° herum. Die Reflexionen erfolgen zudem auf geringem Niveau im Mittelwert. Von den untersuchten WWR werden im Mittel der horizontalen Abstrahlung im zentralen Abstrahlbereich (vertikaler Abstrahlungswinkel 0° , horizontaler Abstrahlungswinkel zwischen $+45^\circ$ und -45°) Werte kleiner 10 mcd/lx erzeugt. Die mittlere Reflexionswirkung im zentralen Abstrahlbereich ist somit um den Faktor 30-100 geringer als die retroreflektierende Wirkung der Nachtkennzeichen an den Leitpfosten.

Die lichttechnische Charakterisierung der WWR aus Tiersicht zeigte, dass die Reflexionen von Licht durch die Wildwarnreflektoren in die Wirkungsrichtungen nicht als vollflächige Abstrahlung erfolgen. Es handelt sich vielmehr um sehr kleinflächig spiegelnde Reflexionen in der Ausdehnung weniger Millimeter. Bei allen untersuchten WWR erfolgen bei Betrachtung aus dem Seitenraum über mehr als 75 % der Oberfläche keine Reflexionen, bei zwei Drittel der untersuchten WWR bleiben mehr als 90 % der Oberfläche dunkel. Befindet sich das Wildtier außerhalb des zentralen Abstrahlbereichs, gehen die lichttechnisch wirksamen Oberflächenanteile weiter zurück. Für die wirksam reflektierenden Oberflächenanteile wurden bei den untersuchten WWR im zentralen Abstrahlbereich typische spezifische Abstrahlwerte der Größenordnung $AA = 0,5 \dots 5 \text{ cd/(m}^2 \cdot \text{lx)}$ ermittelt. Die spezifischen Abstrahlwerte nehmen bei Beobachtung von außerhalb des zentralen Abstrahlbereichs in aller Regel ab.

Die Simulationen der Wahrnehmungssituation aus Sicht von Wildtieren für verschiedenste Landstraßenquerschnitte und räumliche Linienführungen zeigten, dass die Annäherungssituation auf einer Geraden eines einbahnig-zweistreifigen Landstraßenquerschnitts zu den für die lichttechnische Wirksamkeit günstigsten Verhältnissen aus Sicht von Wildtieren führt. In keiner der untersuchten Varianten hinsichtlich Straßenquerschnitt (drei- oder vierstreifig) oder räumlicher Linienführung (Kurve, Steigung, Gefälle, Wanne oder Kuppe) werden während einer Fahrzeugannäherung systematisch hellere Lichtreflexe durch WWR abgegeben als auf der einbahnig-zweistreifigen Geraden.

Die rechnerische Simulation der Sichtbarkeit der durch WWR in den Seitenraum abgegebenen Lichtreflexe erfolgte für die beschriebene Situation der Geraden. Die Varianten umfassten für die Annäherung eines zweiseitigen Kraftfahrzeugs mit Abblend- und Fernlicht über die Distanz von 300 m vier exemplarische Tierpositionen (linker und rechter Seitenraum, jeweils an einer Position im zentralen Abstrahlbereich und an einer Position außerhalb des zentralen Abstrahlbereichs, jedoch deutlich innerhalb des aus Sicherheitserwägungen identifizierten Wirkbereichs von WWR). Als Sichtbarkeitskriterium wurde die Sichtbarkeit für einen menschlichen Beobachter herangezogen, die gemäß des für Wildtiere belegt eher schlechteren Sehvermögens in der relevanten Situation (höhere Blendwirkung, niedrigeres Detailauflösungsvermögen) eine konservative Schätzung darstellt.

In 148 (92,5 %) der insgesamt 160 simulierten Annäherungssituationen auf der Geraden kam es zu keiner Sichtbarkeit der durch die jeweiligen WWR erzeugten Lichtreflexe. Die zwölf Situationen mit wenigstens abschnittsweiser Sichtbarkeit traten bei vier verschiedenen Wildwarnreflektoren sowie ausnahmslos

bei Fernlichtverteilung des sich annähernden Fahrzeugs auf. Bei zwei der vier teilweise sichtbaren WWR trat nur bei jeweils einer bestimmten Annäherung eine kurzzeitige Sichtbarkeit auf. Zwei WWR zeigten in der Annäherung auf der Geraden für das exemplarisch im zentralen Abstrahlbereich befindliche Tier in mehr als einer der simulierten Situationen sichtbare Lichtreflexe. Für die exemplarische Tierposition außerhalb des zentralen Abstrahlbereichs ergab lediglich eine Situation eine Sichtbarkeit, die in einem Abschnitt (ca. 25 % der Annäherungsstrecke) vorlag.

Die Verallgemeinerung dieser Befunde anhand der halbräumlichen Messungen auf den gesamten identifizierten Wirkbereich von WWR erbrachte, dass das lichttechnische Wirkpotenzial der untersuchten WWR auf räumlich eng umgrenzte Bereiche konzentriert ist. Im Mittel aller WWR wird ein Abdeckungsumfang des identifizierten Wirkbereichs zu weniger als 5 % belegt. Außerhalb eines engen, oft entlang der horizontalen Hauptebene orientierten "Wirksamkeitsstreifens" nimmt die Abstrahlcharakteristik sehr stark ab. Punktuell starke Abstrahlbereiche einiger WWR in anderen kleinräumigen Zonen wurden berücksichtigt, führen jedoch zu keiner signifikanten Erhöhung des Abdeckungsumfangs. Gegenüber diesen Betrachtungen treten die Einflüsse horizontal und vertikal variierender Beleuchtung auf den Umfang der Reflexion deutlich zurück.

Die Beobachtungsposition von Wildtieren verlassend, stellen WWR möglicherweise für Fahrer als potenziell sichtbarer Teil der Straßenausstattung einen Hinweisreiz dar, der zu Verhaltensanpassungen führen könnte. Als mögliche Verhaltensanpassung sind sowohl sicherheitsförderliche (zum Beispiel aufmerksamer fahren) als auch potenziell sicherheitsvermindernde Verhaltensweisen (zum Beispiel auf die "verschreckende" Wirkung vertrauend schneller fahren) im Zusammenhang mit WWR denkbar. Die lichttechnischen Messungen der retroreflektierenden Wirkung von WWR ergaben, dass die Mehrzahl der untersuchten WWR nicht in nennenswertem Umfang retroreflektierend wirkt. Insbesondere kann eine Beeinträchtigung der Signalwirkung der Nachtkennzeichnung der Leitpfosten für die untersuchten WWR ausgeschlossen werden. Eine auch nächtliche Erkennbarkeit der WWR auf kürzere Betrachtungsentfernungen während der Vorbeifahrt wird dadurch jedoch nicht ausgeschlossen.

Der Informationsstand unter Autofahrern ist einer Befragung an N = 84 Personen (Gelegenheitsstichprobe) nach im Mittel recht gut. Etwas weniger als die Hälfte der Befragten kannte WWR. Diejenigen, die aktiv darüber berichten konnten, benannten überwiegend die Funktionalität als Wildwarner anhand optischer Reflexe. Zudem war eine Mehrheit der Befragten von der diesbezüglich positiven Wirksamkeit der WWR überzeugt. Eine Verhaltensanpassung ist aufgrund der Befragungsergebnisse nicht auszuschließen, wobei beide Richtungen (positive und negative) eröffnet werden. Die Beschreibung tatsächlicher Verhaltenswirkungen von WWR auf Autofahrer bleibt nachfolgenden Untersuchungen vorbehalten.

4 Folgerungen für die Praxis

Für die untersuchten optischen Wildwarnreflektoren wurde als optisches Prinzip überwiegend die spiegelnde Reflexion an kleinflächigen Oberflächenstrukturen belegt. Der mittlere Anteil

der reflektierenden Objektoberfläche beträgt aus Tiersicht über alle untersuchten WWR und Situationen weniger als 5 %. Weiterhin wurden Wildtiere in ihrem Sehvermögen in den relevanten Wahrnehmungssituationen als nicht besser verglichen zum Menschen herausgestellt, wobei das gegenüber menschlichen Beobachtern deutlich größere, vor allem seitliche Gesichtsfeld sowie die größere Blendempfindlichkeit bedeutsam sind.

Die umfangreichen lichttechnischen Untersuchungen und darauf fußenden Wahrnehmungssimulationen an neun verschiedenen Wildwarnreflektoren lassen demnach belastbare Schlussfolgerungen zu. Einzelne der untersuchten WWR verfügen für jeweils ideale Konstellation aus Beobachtung und Beleuchtung über eine den Simulationen nach ausreichende lichttechnische Wirksamkeit, um wahrnehmungsrelevante optische Signale für Wildtiere zu erzeugen.

Dennoch ist keiner der untersuchten Wildwarnreflektoren in der Lage, für eine unter Praxis Gesichtspunkten angemessene Streubreite an straßengeometrisch, fahrzeugbeleuchtungstechnisch und beobachtungsgeometrisch typischen Situationen ausreichend wahrnehmbare optische Reize für Wildtiere zu generieren. Vor dem Hintergrund der praktischen Straßenverhältnisse mit den vielfältig bewegten räumlichen Linienführungen, dem in einem weiten Bereich variierenden anstehenden Gelände und der dadurch sowie durch verschiedene Augpunkthöhen und Positionen von Wildtieren stark wechselnden Beobachtungsgeometrie ist im Fazit der grundsätzliche Ansatz optischer Wildwarnreflektoren nicht aussichtsreich. Eine Beschränkung auf "zentrale Nutzbereiche" der Ausdehnung weniger Grad ist vor dem Hintergrund des praktischen Anwendungskontexts der Verkehrssicherheit nicht sinnvoll.

Mit der räumlich breiten Streuung des mit sehr geringen Lichtströmen von den Fahrzeugscheinwerfern auftreffenden Lichts lässt sich keine für praktische Ansprüche funktional als Warnung geeignete Lichtwirkung in den gesamten relevanten Seitenraum erzeugen. Diese Erkenntnis wird noch dadurch unterstützt, dass die "Nutzlichtquelle Fahrzeuglichtverteilung" auch gleichzeitig Blendlichtquelle und Hintergrundbeleuchtung der aus Sicht der Wildtiere relevanten Szenerie ist. Eine Intensivierung der Beleuchtung der Wildwarnreflektoren durch lichtstärkere Scheinwerfer an Fahrzeugen kann demnach ebenfalls zu keiner für die Anwendungssituation "optischer Wildwarnreflektor" nutzbringenden Lösung führen.

Für die Praxissituation typische Einflüsse, die sich in aller Regel vermindern auf den Umfang der Lichtreflexion durch WWR auswirken (Verschmutzung, Betauung, Verschleiß, partielle Abschattung oder Sichtverdeckung durch Bewuchs usw.) wurden in der Untersuchung nicht berücksichtigt.