

Einfluss der Helligkeit und des Reflexionsverhaltens von nassen Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern bei Nacht

FA 4.177

Forschungsstelle: Technische Universität Darmstadt, FG Lichttechnik (Prof. Dr.-Ing. H.-J. Schmidt-Clausen)

Bearbeiter: Schwenkschuster, L.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn
 Abschluss: Juli 1999

1. Aufgabenstellung

Unter der Annahme, dass ein Kraftfahrer etwa $p = 80\%$ seiner Informationen aus dem Straßenraum über das visuelle System aufnimmt, und diese Informationsaufnahme nur unter optimalen Randbedingungen erfolgen kann, erscheint es als außerordentlich wichtig, den Einfluss unterschiedlicher Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern zu untersuchen. Dies ist das Hauptziel dieses Forschungsprojektes, wobei Faktoren wie die Helligkeit und das Reflexionsverhalten der Oberfläche genauer zu betrachten sind. Außerdem soll speziell die nasse Fahrbahnoberfläche und der nächtliche Straßenverkehr in den Fokus der Untersuchungen gestellt werden.

Ein wesentlicher Orientierungsbereich bei der Fahrt während der Dunkelheit ist die Fahrbahn vor dem eigenen Fahrzeug. Außerhalb geschlossener Ortschaften sind die Scheinwerfer des eigenen Kraftfahrzeugs im Regelfall die einzigen Lichtquellen zur Ausleuchtung des Straßenraums und damit der Fahrbahnoberfläche. Die vom Kraftfahrer wahrgenommene Helligkeit einer Fahrbahnoberfläche kann durch die lichttechnische Größe der Leuchtdichte beschrieben werden. Die Leuchtdichte ist dabei den Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberfläche sowie der Lichtstärkeverteilung der Kraftfahrzeugscheinwerfer direkt proportional. Das Reflexionsverhalten von Straßenoberflächen wird durch den Absorptions- bzw. Reflexionsgrad des verwendeten Oberflächengesteins, aber auch durch die Struktur des Oberflächengesteins, welche die Reflexionsindikatrix festlegt, beeinflusst.

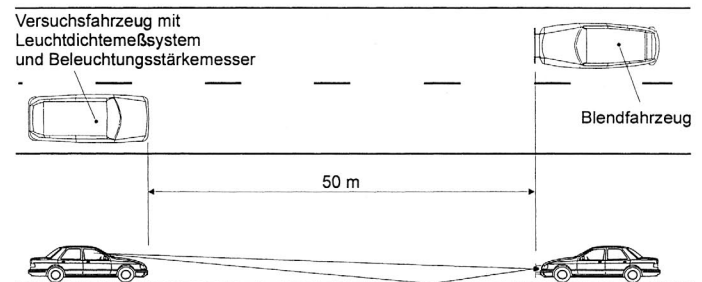
Eine für den Kraftfahrer besondere Situation ist die regennasse Fahrbahn bei Nacht. Bei Nässe ändert sich das Reflexionsverhalten von Fahrbahnoberflächen grundlegend. Dies führt zu einem verminderten Helligkeitseindruck aufgrund der zurückgehenden Leuchtdichte durch die geringere Rückwärtsreflexion. Zusätzlich ergibt sich über spiegelnde Reflexion an der Straßenoberfläche vermehrt Blendung für den Gegenverkehr. Die geringere Leuchtdichte der nassen Fahrbahnoberfläche hat ein Absenken des Adaptationsniveaus der Augen des Kraftfahrers zur Folge und damit verbunden eine Erhöhung der Blendempfindlichkeit. Zunächst ist der gegenwärtige Zustand anhand der Vermessung realer Fahrbahnoberflächen zu erfassen und die korrespondierenden Kennwerte zu bestimmen.

Der Einfluss der Rückwärts- und Vorwärtsreflexion bei Fahrbahnoberflächen unterschiedlichster Zusammensetzung und verschiedenen Fahrbahnzuständen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern soll in anschließenden physiologischen Untersuchungen im Labor ermittelt werden.

2. Untersuchungsmethodik

Mittels Grundlagenuntersuchungen im Labor wurde das Reflexionsverhalten von Fahrbahnproben bestimmt. Aus diesen Untersuchungen sowie vorangegangenen Untersuchungen konnte ermittelt werden, dass für Entfernungen größer $d = 50$ m vor

dem Kraftfahrzeug keine relevanten Unterschiede der Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen bei kraftfahrzeugeigener Beleuchtung existieren. Betreffend der ebenfalls zu untersuchenden Blendung von Kraftfahrern durch entgegenkommende Kraftfahrzeuge existieren gesetzliche Regelungen zur maximal zulässigen Blendung von Scheinwerfern in $d = 50$ m Entfernung. Aus diesen Gründen wurde bei den Realuntersuchungen die Fahrbahnoberfläche bis $d = 50$ m vor dem Kraftfahrzeug bezüglich ihrer Reflexionseigenschaften untersucht (Bild 1).



1: Versuchsaufstellung für die Realuntersuchungen

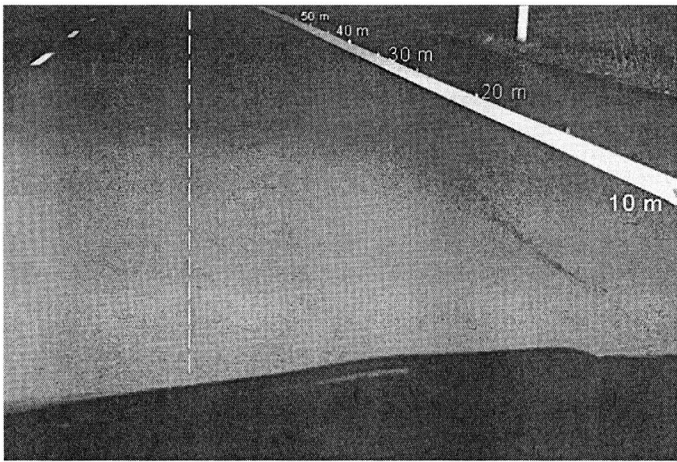
Eine Beschreibung des Reflexionsverhaltens wird durch die Leuchtdichtekoeffizienten R_R und R_V der Rückwärts- und Vorwärtsreflexion ermöglicht. Sie sind definiert als der Quotient zwischen der gemessenen Leuchtdichte L der Messstelle aus Kraftfahrerposition und der senkrechten Beleuchtungsstärke E an der Messstelle. Diese Beschreibung wurde in Anlehnung an den Leuchtdichtekoeffizienten für Fahrbahnmarkierungen ausgewählt, da hier die gleichen Geometrien verwendet werden. Der Leuchtdichtekoeffizient R_R der Rückwärtsreflexion beschreibt das Reflexionsverhalten einer Fahrbahnoberfläche bei der Anleuchtung aus der Richtung der Beobachtung, während der Leuchtdichtekoeffizient R_V der Vorwärtsreflexion das Reflexionsverhalten bei Anleuchtung aus der entgegengesetzten Richtung der Beobachtung beschreibt.

Der Leuchtdichtekoeffizient R_V der Vorwärtsreflexion ist dabei maßgeblich für den Anteil der indirekten Blendung am Auge des Kraftfahrers durch die Reflexion des Scheinwerferlichtstroms entgegenkommender Fahrzeuge an der Fahrbahnoberfläche. Die Auswahl der Messstellen erfolgte nach der Zusammensetzung der Fahrbahndeckschichten mit unterschiedlichen Aufhellgesteinen.

Zur Bestimmung der Leuchtdichtekoeffizienten wurden an den ausgesuchten Messstellen Leuchtdichteaufnahmen der Fahrbahnoberflächen bei kraftfahrzeugeigener Anleuchtung sowie Blendung durch Gegenverkehr durchgeführt. Aus diesen Aufnahmen wurde der Verlauf der Leuchtdichte entlang der Fahrbahn bestimmt (Bild 2) und durch den Verlauf der senkrechten Beleuchtungsstärke, der aus der Lichtstärkeverteilung der eingesetzten Scheinwerfer berechnet wurde, dividiert. Damit konnte für jede Entfernung bis $d = 50$ m vor dem Messfahrzeug der Leuchtdichtekoeffizient unter kfz-spezifischer Anleuchtung und Beobachtung berechnet werden. Für die Vorwärtsreflexion wurde der entsprechend berechnete Beleuchtungsstärkeverlauf der Blendscheinwerfer verwendet.

3. Untersuchungsergebnisse

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen geht es, bezogen auf die Gemischzusammensetzung der Deckschichten, im



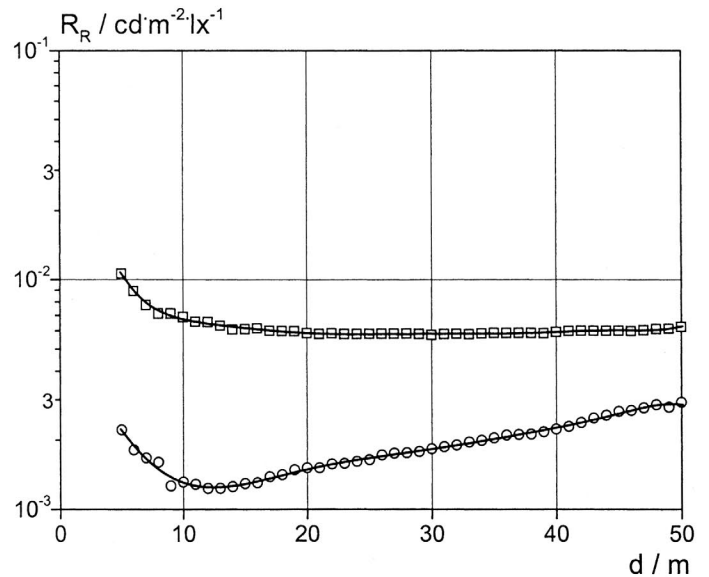
2: Leuchtdichteaufnahme mit Verlauf der Schnittführung

Besonderen um Zuschlagstoffe, die aufgrund ihrer optischen Eigenschaften als sogenannte Aufhellgesteine bezeichnet werden. Bei der Zustandsbeschreibung der Fahrbahndecken ist der Nässegrad der Oberflächen von entscheidender Bedeutung, da er einen großen Einfluss auf das Reflexionsverhalten der Fahrbahnoberflächen hat. Unter Berücksichtigung dieses Parameters ist dann die Wirkung des Reflexionsverhaltens auf die Verkehrsteilnehmer, insbesondere den Kraftfahrer, zu beachten.

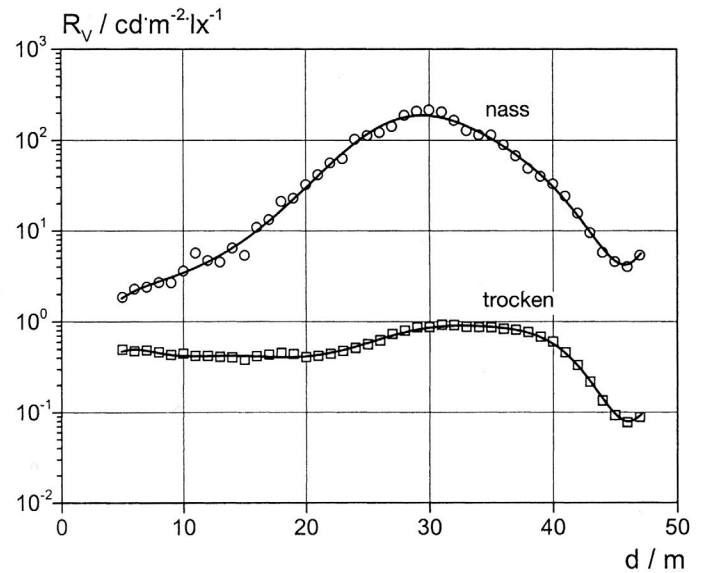
Aus den Untersuchungen ergab sich bei trockener Fahrbahnoberfläche ein erkennbarer Einfluss der verwendeten Aufhellgesteine auf die Leuchtdichtekoeffizienten R_R und R_V der Rückwärts- und Vorwärtsreflexion. Bezogen auf den Grad der Reflexion schneiden hierbei die Aufhellgesteine gut ab, die anhand ihrer optischen Eigenschaften als hell bzw. heller zu bezeichnen sind. Bei den untersuchten Messstellen sind dies die Aufhellgesteine Taunus-Quarzit, Lysit (Anorthosit) und Luxovit (künstl.). Dagegen erreichen dunklere Aufhellgesteine, wie Gabbro oder Granit, bezogen auf die Reflexionseigenschaften der Fahrbahnoberflächen, schlechtere Werte. Je nach verwendeten Aufhellgesteinen ergeben sich für den Leuchtdichtekoeffizienten R_R der Rückwärtsreflexion Unterschiede bis zu einem Faktor von $F \approx 4,5$. Das heißt, eine Fahrbahnoberfläche mit einem helleren Aufhellgestein besitzt einen bis zu 4,5-mal höheren Leuchtdichtekoeffizienten R_R der Rückwärtsreflexion als eine Fahrbahnoberfläche mit einem dunkleren Aufhellgestein. Bei der Vorwärtsreflexion ergeben sich Unterschiede bis zu einem Faktor von $F \approx 10$, wobei der Leuchtdichtekoeffizient R_V der Vorwärtsreflexion für die Fahrbahnoberfläche mit dem dunkleren Aufhellgestein bis zu 10-mal höher ist als der Leuchtdichtekoeffizient R_V der Vorwärtsreflexion für die Fahrbahnoberfläche mit dem helleren Aufhellgestein (Bilder 3-6).

Bei Nässe ändert sich das Reflexionsverhalten jedoch durch die Ausbildung eines mehr oder weniger ausgeprägten Wasserfilms auf der Straßenoberfläche grundlegend. Die Analyse der Leuchtdichtekoeffizienten R_R und R_V der Rückwärts- und Vorwärtsreflexion ergibt im Gegensatz zur trockenen Situation keinen eindeutigen Einfluss der Aufhellgesteine auf das Reflexionsverhalten der Fahrbahnoberflächen.

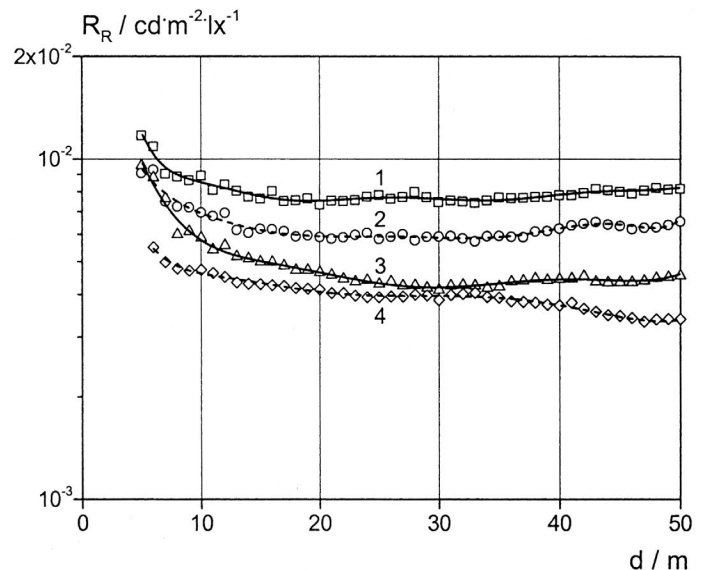
Lediglich für die Rückwärtsreflexion bei Nässe kann für die helleren Aufhellgesteine im Vergleich zu den dunkleren Aufhellgesteinen ein erhöhter Grad der Reflexion festgestellt werden. Bei der Vorwärtsreflexion streuen die Werte für die unterschiedlichen Fahrbahnoberflächen über einen großen Bereich, so dass hierfür keine eindeutige Aussage über den Einfluss der Aufhellgesteine möglich ist (Bilder 7, 8).



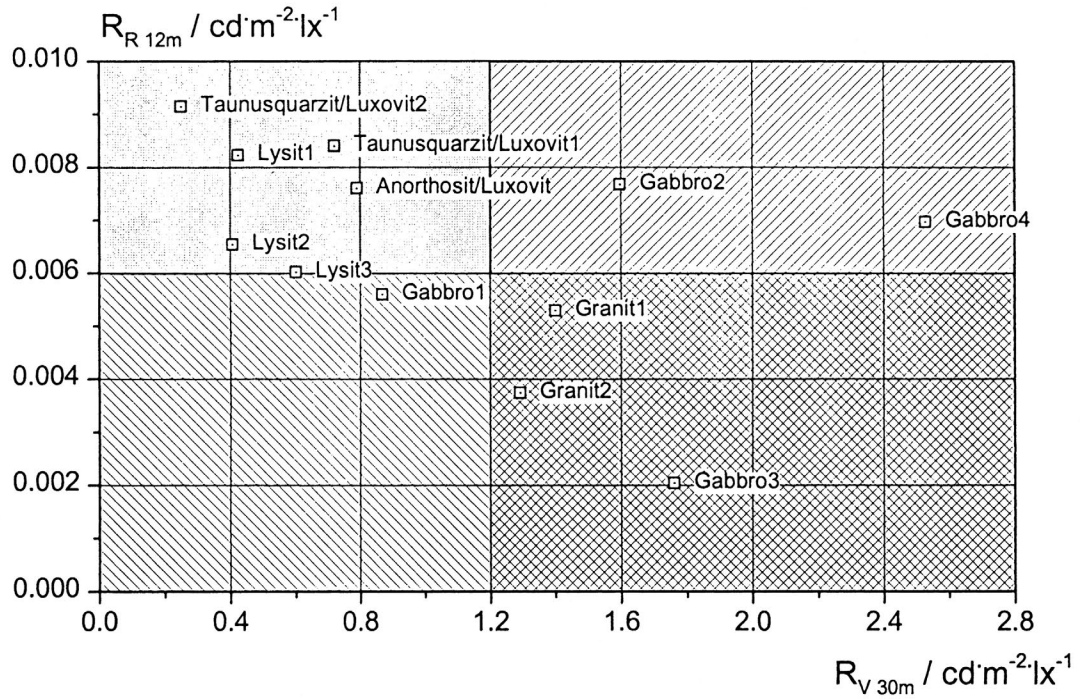
3: Mittelwerte der Leuchtdichtekoeffizienten R_R der Rückwärtsreflexion für die untersuchten Messstellen in Abhängigkeit des Nässegrades



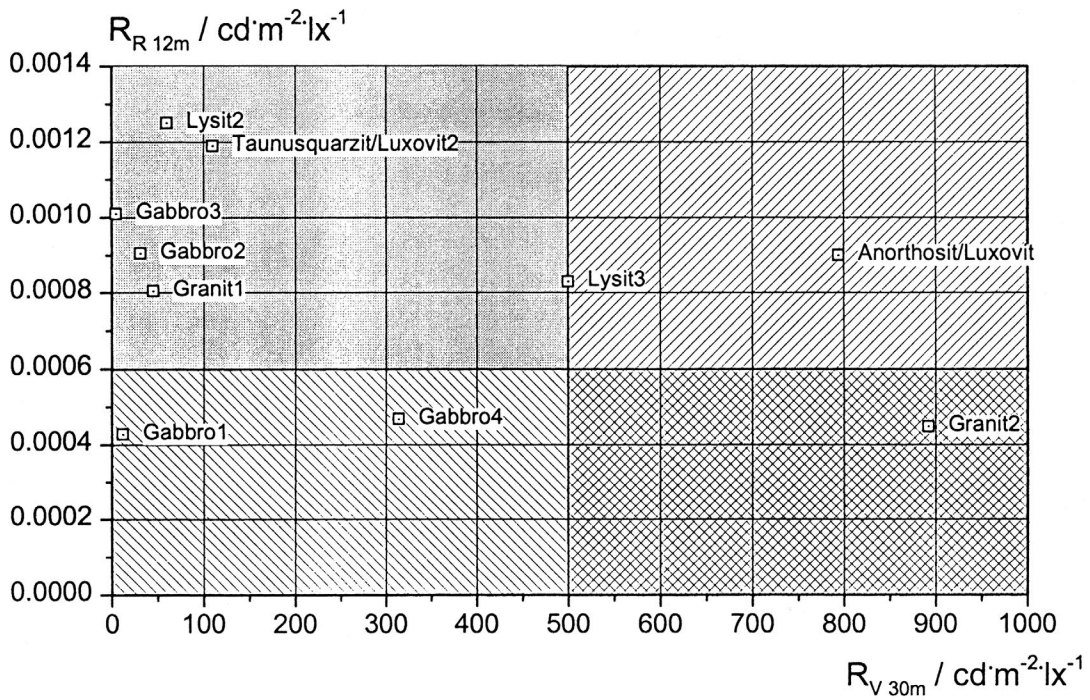
4: Mittelwerte der Leuchtdichtekoeffizienten R_V der Vorwärtsreflexion für die untersuchten Messstellen in Abhängigkeit des Nässegrades



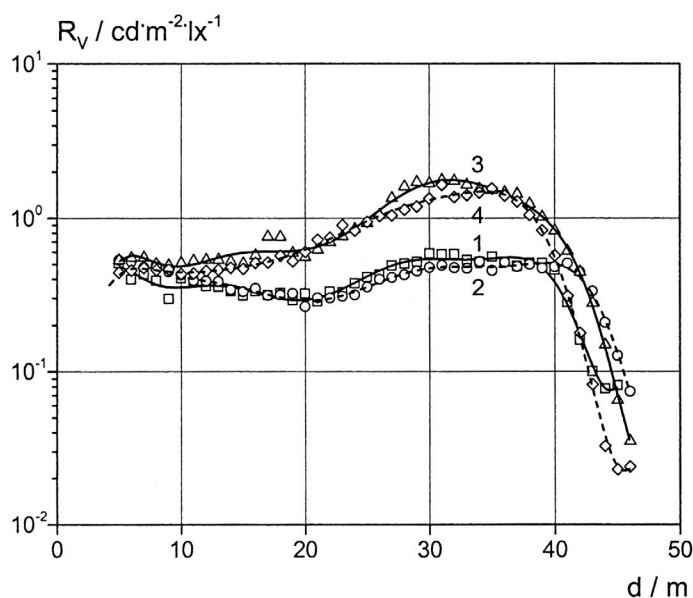
5: Verlauf der Leuchtdichtekoeffizienten R_R der Rückwärtsreflexion einer trockenen Fahrbahn in Abhängigkeit verschiedener Aufhellsteine



7: R_R - R_V -Diagramm der Messstellen bei trockener Fahrbahn
 Parameter: verwendete Aufhellgesteine



8: R_R - R_V -Diagramm der Messstellen bei nasser Fahrbahn
 Parameter: verwendete Aufhellgesteine



6: Verlauf der Leuchtdichtekoeffizienten R_V der Vorwärtsreflexion einer trockenen Fahrbahn in Abhängigkeit verschiedener Aufhellgesteine Gesteinsart: 1. Taunus-Quarzit/Luxovit, 2. Lysit (heller Anorthosit), 3. Gabbro, 4. Granit

Beim Vergleich des Einflusses der Aufhellgesteine mit dem Einfluss des Nässegrades auf das Reflexionsverhalten der Fahrbahnoberflächen fällt auf, dass die Abhängigkeit vom Nässegrad ungleich größer ist als von der Aufhellung. Das heißt, bei Nässe ist der Einfluss der lichttechnischen Eigenschaften von Deckschichten weniger stark ausgeprägt als bei Trockenheit. Im Falle einer nassen Fahrbahnoberfläche nimmt der Einfluss der geometrischen Eigenschaften der Deckschichten wie z.B. der Rauheit (Grob- und Feinrauheit), der Polierfähigkeit der eingesetzten Aufhellgesteine oder der Unebenheiten (Längs- und Querunebenheit) zu. Diese Eigenschaften beeinflussen die Ausbildung der Wasserfilmdicken auf den Fahrbahnoberflächen, die letztendlich für das Reflexionsverhalten verantwortlich sind.

Als Maß für den Einfluss des Nässegrades einer Fahrbahnoberfläche auf das Reflexionsverhalten kann man die Blendbeleuchtungsstärke am Auge des Kraftfahrers heranziehen, die durch die Reflexionsbilder der Scheinwerfer des entgegenkommenden Fahrzeuges erreicht wird. Diese indirekte Blendbeleuchtungsstärke nimmt bei Nässe um einen Faktor $F \geq 10$ gegenüber der trockenen Fahrbahn zu. Aufgrund dieses Anstieges liegen die Maximalwerte der Blendbeleuchtungsstärken im Straßenverkehr weit über den vom Gesetzgeber vorgeschriebenen Werten der direkten Blendung bezogen auf die Scheinwerfer.

Bei der Berücksichtigung der Blendbeleuchtungsstärke als Indikator für den Nässegrad ist allerdings zu beachten, dass es sich dabei um einen integralen Wert handelt. Die zugrundeliegenden Leuchtdichten der Reflexionsbilder auf der Fahrbahnoberfläche können an einzelnen Punkten um einige Zehnerpotenzen höher liegen.

Die Ergebnisse der physiologischen Untersuchungen im Labor zeigen einen signifikanten Einfluss der Blendung auf die Wahrnehmung und die Sehleistung der Testpersonen. Um bei Blendung aufgrund des Nässezustandes der Fahrbahnoberfläche Objekte im Straßenraum vergleichbar wahrnehmen zu können, müssen bei gleichem Umfeld 10-mal höhere Objektleuchtdichten dargeboten werden als im ungeblendeten Fall. Je nach Lage des Objektes im Straßenraum und den damit unterschiedlichen Winkeln zwischen Blendlichtquellen und Sehobjekt ergeben sich davon abweichende Leuchtdichten.

4. Folgerungen für die Praxis

Die Untersuchungen zeigen einen Einfluss der Zusammensetzung von Deckschichten auf deren Reflexionsverhalten. Dabei ist der Einfluss bei Trockenheit deutlicher zu erkennen als bei Nässe und für den Grad der Rückwärtsreflexion deutlicher ausgeprägt als für den Grad der Vorwärtsreflexion. Die Aufhellung von Deckschichten hat daher einen grundsätzlich positiven Einfluss auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern im nächtlichen Straßenverkehr.

Es sollte jedoch grundsätzlich eine einheitliche Definition der Qualität von Aufhellgesteinen eingeführt werden, um für die Aufhellung von Fahrbahnoberflächen verbindliche Richtlinien erstellen zu können, die bundesländerübergreifend anwendbar sind.

Durch die Durchführung der Untersuchungen an realen Fahrbahnoberflächen war man auf die gegebenen Parameter betreffend der einzelnen Messstellen angewiesen. Eine systematische Untersuchung des Einflusses der unterschiedlichen Parameter konnte nicht durchgeführt werden, da von Messstelle zu Messstelle jeweils mehrere Parameter variierten.

Für weiterführende Untersuchungen wäre es daher sinnvoll, eine systematische Variation der Parameter an Probekörpern durchzuführen. Dabei könnten der Einfluss der Gesteinsarten, der Mengenanteile in den Korngrößen-Fractionen und die Zusammensetzung des Mischgutes sehr genau untersucht werden.

Neben den Untersuchungen im Labor konnten auf Versuchsstrecken Deckenabschnitte unterschiedlichster Zusammensetzung und Einbauart eingerichtet und untersucht werden, um dadurch den Einfluss der Witterung, der Verkehrsbelastung und der Alterung auf die Reflexionseigenschaften der Fahrbahnbeläge zu untersuchen.

Da bei den Untersuchungen zu diesem Forschungsprojekt die lichttechnischen Eigenschaften von Fahrbahndeckschichten im Vordergrund standen, konnten andere bei Nässe maßgeblichen Parameter nicht annähernd genau untersucht werden. Gerade in Bezug auf das Reflexionsverhalten für die Vorwärtsreflexion bei nassen Oberflächen müssten weitere Untersuchungen bezüglich der oben genannten geometrischen Eigenschaften von Fahrbahnoberflächen durchgeführt werden.

Um weiteren Aufschluss über das Blendungsverhalten zu gewinnen, sollten auch Untersuchungen zu Blendung im dynamischen Straßenverkehr durchgeführt werden. Anhand dieser Untersuchungen können dann weitere kritische Fahrbahnbereiche für die Begegnungssituation zweier Kraftfahrzeuge genauer untersucht werden. □