

Die dynamische Leuchtweitenregelung und ihre Relevanz für die Verkehrssicherheit

Autoren: Christian Jebas, Karsten Klinger, Uli Lemmer

1. Einleitung

Die dynamische Leuchtweitenregelung ist ein wichtiger Entwicklungsschritt auf dem Weg zu einem adaptiven Scheinwerfersystem. Durch die Optimierung der Sichtweite des Fahrers, sowie der Blendungsreduzierung anderer Verkehrsteilnehmer besitzt diese Technologie ein großes Potential zur Steigerung der Verkehrssicherheit bei vergleichsweise einfacher technischer Realisierung.

2. Relevanz automobiler Beleuchtungssysteme für die Verkehrssicherheit

Einer Mannheimer Marktstudie zufolge werden aktive Sicherheitssysteme im Kraftfahrzeug von den Endverbrauchern als besonders wichtig eingeschätzt [IQ1]. Autofahrer erkennen das Potential von Sicherheitssystemen, wie beispielsweise dem Antiblockiersystem (ABS) oder dem Stabilitätsprogramm (ESP) und achten bereits beim Fahrzeugkauf auf eine umfangreiche Sicherheitsausstattung.

Jedoch besitzen Scheinwerfer dabei eine untergeordnete Rolle, obwohl Untersuchungen eine deutliche Erhöhung des Unfallrisikos während der Nacht bereits mehrfach nachgewiesen haben. So ereignen sich dem statistischen Bundesamt zufolge etwa 40 % aller schweren Unfälle während einer Nachtfahrt, obwohl der Anteil dieser Fahrten lediglich 20 % der Gesamtfahrleistung beträgt [WEID06]. Folglich steigt das Risiko, in einen nächtlichen Verkehrsunfall verwickelt zu werden, im Vergleich zur Tagfahrt etwa um den Faktor 2,7. Diese und ähnliche Statistiken beweisen die Wichtigkeit guter automobiler Beleuchtungseinrichtungen für die Verkehrssicherheit. Trotz dessen geht bei der Wahl eines Neuwagens selten mehr als das Design des Scheinwerfers mit in die Kaufentscheidung ein. Die Bereitschaft, einen Aufpreis für ein höherwertiges Beleuchtungssystem zu zahlen, ist gering. So beträgt beispielsweise der Anteil der mit Xenon-Licht ausgestatteten Fahrzeuge lediglich 25 % [IQ2], obwohl durch den im

Vergleich zum Halogenscheinwerfer deutlich höheren Lichtstrom in der Regel ein Sicherheitsvorteil erreicht wird. Auch moderne lichttechnische Fahrerassistenzsysteme, wie das dynamische oder statische Kurvenlicht, werden selten von den Autokäufern geordert. Weiterhin ist der Anteil der defekten oder falsch justierten Scheinwerfer der derzeit im Straßenverkehr befindlichen Fahrzeuge sehr hoch. Nach Angaben der deutschen Verkehrswacht (DVW) wurden im Jahr 2005 von 10.000 überprüften Scheinwerfern etwa 39 % [IQ3] als mangelhaft eingestuft. Als Grund kann unter Anderem die schlechte Wartung der Systeme angenommen werden.

Das Verhalten vieler Fahrzeugführer steht folglich in einem deutlichen Kontrast zu ihren Wünschen nach einer hohen Sicherheit im Straßenverkehr. Hier ist sicherlich nicht zuletzt das mangelnde Bewusstsein der Autofahrer in Hinsicht auf die Relevanz eines hochwertigen Beleuchtungssystems für die Verkehrssicherheit bei Nacht verantwortlich. Eine Aufklärung der Autofahrer in Bezug auf die verfügbaren Technologien im Bereich der automobilen Beleuchtung und deren Vorteile im Straßenverkehr könnte das Verständnis der Fahrzeugführer verbessern und damit den Wunsch nach besseren Systemen verstärken. Hier seien nicht nur Systeme genannt, die der Optimierung der Ausleuchtung des Verkehrsraumes dienen. Vielmehr sollte der Autofahrer auch die Wichtigkeit blendungsminimierender Komponenten erkennen, obwohl diese seinen persönlichen Komfort nicht direkt steigern.

3. Situativ-adaptive Systeme als Ziel automobiler Lichttechnik

Heutige Serienscheinwerfer sind meist statische Systeme. Sie generieren in der Regel zwei Lichtverteilungen, eine Fern- und eine Abblendlichtverteilung. Der Verkehrsraum und das Fahrzeug selbst sind jedoch keine statischen, sondern hochdynamische, komplexe Systeme. Die Fahrzeugneigung, die Witterungsbedingungen, sowie der befahrene Straßentyp und seine Geometrie ändern sich ständig. Um den hohen Anforderungen in jeder Situation gerecht zu werden, muss der Scheinwerfer in der Lage sein, sich den ständig wechselnden Bedingungen anzupassen. Ziel der Entwicklung ist daher ein intelligentes, situativ-adaptives System. Die Basis eines solchen Systems bildet die Vernetzung vieler Sensoren, welche dem Scheinwerfer relevante Daten aus der Umgebung, wie beispielsweise die aktuellen Witterungsbedingungen, zur Verfügung stellen. Die Kombination neuer Lichtquellen, wie beispielsweise die Leuchtdiode (LED), mit

modernen mechatronischen Bauteilen ermöglicht in der Folge die Anpassung des Systems auf die jeweilige Situation.

Bekannte Konzepte sind das horizontale Schwenken der Lichtverteilung, um eine Anpassung an Kurven zu gewährleisten oder das Zuschalten weiterer Lichtquellen zur gezielten Ausleuchtung der Seitenbereiche beim Abbiegen. Man spricht in diesem Fall vom dynamischen bzw. statischen Kurvenlicht. Meist sind adaptive Systeme dieser Art jedoch nicht obligatorisch und aufgrund des höheren Preises nur in Fahrzeugen der Oberklasse integriert.

4. Statische und dynamische Leuchtweitenregelung

Besonders hohe Anforderungen werden an die Abblendlichtverteilung eines Scheinwerfers gestellt. Diese soll nicht nur den Verkehrsraum ausleuchten, damit der Fahrzeugführer potentielle Gefahrenquellen rechtzeitig erkennt, sondern auch die Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer vermeiden. Die Reichweite der Ausleuchtung ist daher von großer Bedeutung. Eine zu kurze Reichweite führt zu einer zu geringen Sichtweite, wogegen aus einer zu großen Reichweite eine Blendung des Gegenverkehrs resultiert. In der Regel beträgt die Neigung des Scheinwerfers $0,57^\circ$ bzw. 1 %. Bei einer typischen Anbauhöhe von 65 cm wird so die Reichweite des Scheinwerfers auf 65 m begrenzt.

Die Längsneigung, also die Lage des Fahrzeuges bezogen zur Fahrbahnebene, ist nicht konstant. Wechselnde Beladungszustände, sowie die Fahrdynamik verursachen ein ständiges Schwanken der Karosserie und führen somit zu einer Änderung der Scheinwerferreichweite. Dementsprechend kommt es beim Beschleunigen des Fahrzeuges zu einer möglichen Blendung des Gegenverkehrs. Umgekehrt führt ein Bremsen zu einer verkürzten Reichweite (Abbildung 1). Insbesondere bei einer Gefahrenbremsung ist mit der geringeren Sichtweite des Fahrzeugführers ein hohes Gefahrenpotential verbunden.

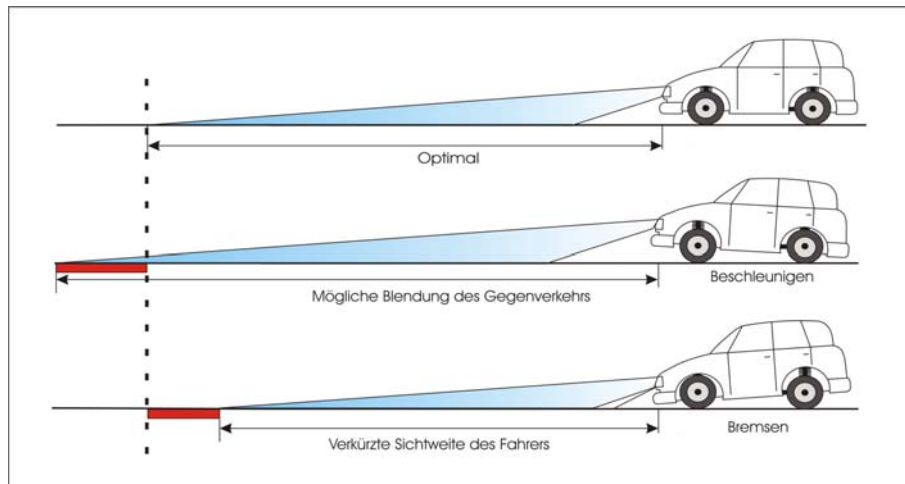


Abbildung 1: Veränderung der Reichweite des Abblendlichtes
beim Bremsen und Beschleunigen

Zur Gewährleistung einer konstanten Reichweite des Scheinwerfers sind Kompensationseinrichtungen erforderlich, die in der Lage sind, Längsneigungen des Fahrzeuges auszugleichen. Diese Systeme werden als Leuchtweitenregelung (LWR) bezeichnet und sind im Kraftfahrzeug bereits etabliert. Man unterscheidet statische und dynamische Systeme. Statische Systeme gleichen lediglich die durch die Beladung verursachte Neigung des Fahrzeuges aus. Die Korrektur erfolgt dabei entweder manuell durch den Fahrer oder sensorbasiert autonom. Dynamische Systeme kompensieren neben den beladungsabhängigen Neigungen auch fahrdynamikabhängige Bewegungen und bieten somit im Vergleich zu statischen Systemen eine deutlich bessere Anpassung, da auch die beim Bremsen und Beschleunigen entstehenden Nickwinkel ausgeglichen werden. Diese sind keinesfalls gering. Bei einer mittleren positiven oder negativen Beschleunigung von 3 m/s^2 können die Neigungswinkel je nach Fahrzeugtyp bis zu 1° betragen (Abbildung 2). In diesem Fall besitzt der Scheinwerfer beim Abbremsen des Fahrzeuges fast eine dreimal größere Neigung, als im Normalfall. Die Reichweite entspricht dann nur noch einem Drittel des Ausgangswertes, also in etwa 22 m. Beim Beschleunigen mit diesem Wert besitzt der Scheinwerfer eine fernlichtähnliche Charakteristik und führt zu einer Blendung des Gegenverkehrs. Bei Fahrzeugen mit besonders hoher Zuladung, wie beispielsweise im Fall von Kleintransportern können die Nickwinkel bei starker Verzögerung sogar Werte bis zu 2° erreichen.

Der Ausgleich dieser Nickwinkel ist ein entscheidender Punkt zur Steigerung der Sicherheit im Straßenverkehr. Zum Einen wird durch die stets konstante Sichtweite des Fahrzeugführers besonders bei Notbremsungen die Gefahrensituation weiterhin

ausgeleuchtet. Nur so kann der Fahrzeugführer eine korrekte Entscheidung in Bezug auf ein eventuell notwendiges Ausweichmanöver treffen. Zum anderen wird eine Beeinflussung anderer Verkehrsteilnehmer durch eine Blendung beim Beschleunigen verringert. Die dynamische Leuchtweitenregelung stellt daher einen grundlegender Schritt auf dem Weg zu einem adaptiven Scheinwerfersystem dar.

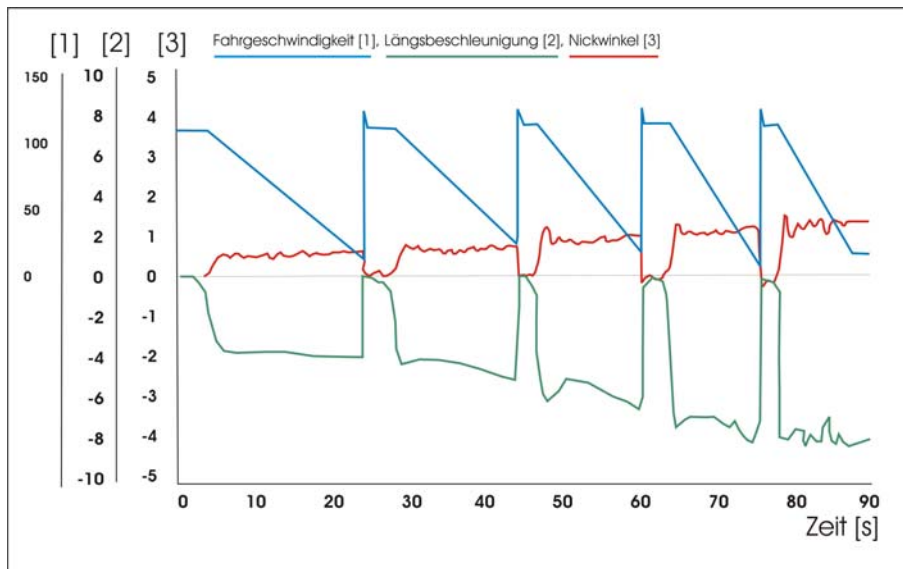


Abbildung 2: Nickwinkel in Abhängigkeit der Längsbeschleunigung, der Lenkwinkelrate und der Geschwindigkeit

Seitens des Gesetzgebers ist lediglich der Einbau der statischen Leuchtweitenregulierung vorgeschrieben. Aus diesem Grund ist diese Variante in allen modernen Kraftfahrzeugen zu finden. Halogen-Scheinwerfer besitzen mindestens eine manuelle, Xenon-Scheinwerfer aufgrund des höheren Lichtstroms mindestens eine automatische statische Leuchtweitenregelung. Eine Vorschrift für die Implementierung eines dynamischen Systems existiert nicht. Aufgrund dessen ist nur ein relativ geringer Anteil der Fahrzeuge im Straßenverkehr mit der dynamischen Leuchtweitenregelung ausgestattet. Als mögliche Zusatzausstattung werden diese Systeme in der Regel nicht angeboten. Welche Fahrzeuge mit einer solchen Technik ausgestattet werden, entscheidet der Hersteller ausschließlich nach eigenem Ermessen. Eine Eingliederung in jedes Fahrzeug unabhängig vom Scheinwerfertyp wäre jedoch sinnvoll und empfehlenswert.

Die technische Umsetzung ist relativ einfach. Die Neigung der Fahrzeugkarosserie wird mittels Vorder- und Hinterachssensoren ermittelt. Die Sensordaten werden im weiteren Verlauf beispielsweise an ein elektronisches Steuergerät übermittelt, welches die

notwendige Korrektur der Scheinwerfermodule berechnet. Die vom Steuergerät ermittelte Korrektur wird an den Aktor weitergeleitet, welcher das gesamte Reflexions- bzw. Projektionsmodul vertikal schwenkt (Abbildung 3). Aufgrund seiner hohen Dynamik und Genauigkeit werden Stellmotoren für die Bewegung der Scheinwerfermodule verwendet.

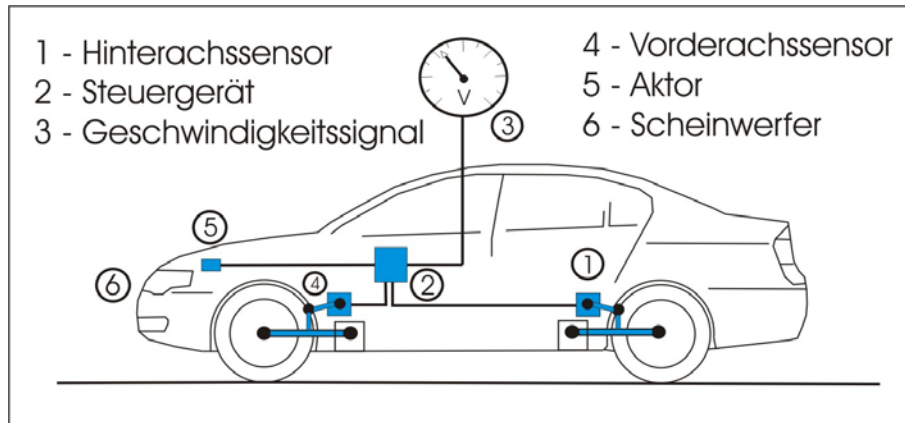


Abbildung 3: Prinzipdarstellungen der Steuerung einer automatischen Leuchtwertenregelung

Bedenkt man, dass eine vertikale Einstellung der Scheinwerfermodule ohnehin aufgrund der gesetzlichen Vorschriften vorhanden sein muss, so sind der zusätzliche Aufwand und die zusätzlichen Kosten für ein dynamisches System vergleichsweise gering. Im Wesentlichen liegt die Modifikation in der Erhöhung der Geschwindigkeit der Sensoren und Aktoren, sowie des CAN-Busses. Im Fall einer Serienfertigung könnte der Aufpreis möglicherweise weniger als 100 € betragen. Jedoch hat eine Umfrage des Lichttechnischen Institutes in Karlsruhe (LTI) ergeben, dass nur etwa die Hälfte aller Autofahrer bereit wären, einen erhöhten Kaufpreis bei einer Integration einer dynamischen Leuchtwertenregelung im eigenen Fahrzeug zu akzeptieren [KLIN06]. Immerhin billigen etwa ein Drittel der Befragten einen Mehrpreis von bis zu 200 €. Die Bereitschaft, einen Mehrpreis von über 200 € zu zahlen, besaßen nur wenige der Befragten. Hier sei darauf hingewiesen, dass eine Metalliclackierung, die keinen Sicherheitsnutzen besitzt, mit einem Aufpreis von immerhin durchschnittlich 700 € sehr häufig vom Endverbraucher bestellt wird.

5. Adaptive Hell-Dunkel Grenze

Eine Weiterentwicklung der Leuchtwertenregelung ist die sogenannte adaptive Hell-Dunkel Grenze. Dieses hochdynamische System optimiert auf der Basis der Position anderer

Verkehrsteilnehmer stets die Reichweite des Abblendlichtes [IQ4]. Bewegen sich beispielsweise zwei Fahrzeuge aufeinander zu, so reduziert sich die Reichweite ihres Abblendlichtes kontinuierlich mit abnehmender Distanz zueinander. Bisher wurden Autofahrer bei einer Umschaltung vom Fern- auf das Abblendlicht mit einer sofortigen drastischen Reduzierung der Sichtweite von etwa 250 m auf 65 m konfrontiert. In Zukunft könnte die gleitende Leuchtweite diesen Übergang stufenlos gestalten. Ferner wird bei hintereinander fahrenden Fahrzeugen die Rückspiegelblendung des Vorfahrenden verringert (Abbildung 4).

Systeme dieser Art befinden sich momentan noch in der Entwicklungsphase. Untersuchungen mit ersten Prototypen ergaben bereits sehr positive Ergebnisse. Eine Serieneinführung wird jedoch vermutlich erst in einigen Jahren denkbar sein. Hier ist neben der technischen Optimierung auch die Anpassung der gesetzlichen Regelwerke notwendig.

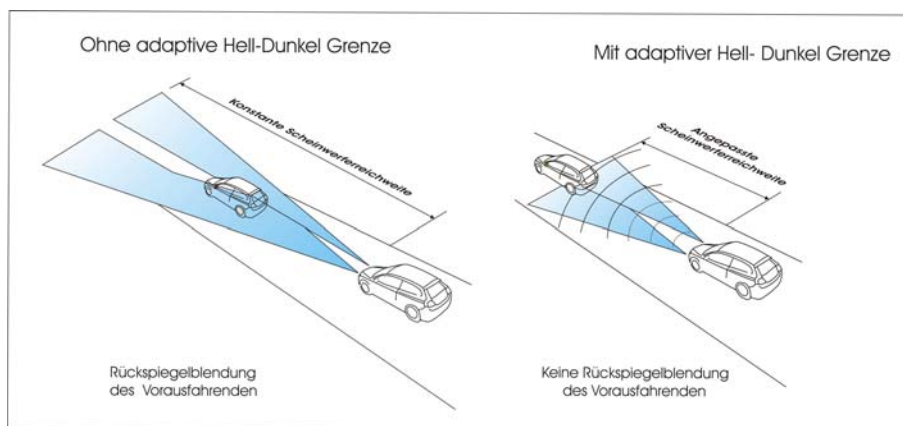


Abbildung 4: Funktion der adaptiven Hell-Dunkel Grenze bei Kolonnenverkehr

6. Zusammenfassung

Zur Gewährleistung einer hohen Sicherheit im nächtlichen Straßenverkehr sind Weiterentwicklungen im Bereich der Automobilscheinwerfer besonders wichtig. Auf dem Weg zu einem situativ-adaptiven System ist die dynamische Leuchtweitenregelung ein wichtiger Schritt. Ein vergleichsweise geringer Aufpreis bietet bei einer Serieneinführung ein großes Plus an Sicherheit und Komfort.

7. Literatur

[WEID06] WEIDENHAMMER, PETER: Klare Sicht selbst im Gegenlicht, VDI Nachrichten, S. 09, 04/2000

[KLIN06] KLINGER, KARSTEN: New Technologies for Night Vision, SPIE, 04/2006

Internetquellen:

[IQ1] <http://www.spiegel.de/auto/aktuell/0,1518,282781,00.html>; Stand 06/2007

[IQ2] http://business.thgweb.de/2006/01/18/kaltes_licht_leds_ersetzen_gluehlampen/;
Stand 06/2007

[IQ3] <http://www.spiegel.de/auto/werkstatt/0,1518,442966,00.html>; Stand 06/2007

[IQ4] <http://www.hella.de>; Stand 06/2007