

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Die 125-jährige Geschichte des Automobils ist vor allem dadurch geprägt, dass ständig neue Systeme sowie Funktionen entwickelt wurden, die das Autofahren erleichtern und sicherer machen sollen. Es ist ein Prozess, der seit langem andauert, dessen Fokus sich aber im Laufe der Jahre verschoben hat: Während die Bemühungen der Anfangsjahre des Automobils insbesondere darin bestanden, die Fortbewegung zu gewährleisten, so ist das heutige Bestreben zumeist, bereits vorhandene Funktionen noch weiter zu verbessern.

Die automobilen Lichttechnik ist dabei, wie auch das Auto selbst, fast 125 Jahre alt, denn bereits die ersten Fahrzeuge verfügten über einen Scheinwerfer. Auch wenn dieser in keiner Weise mit heutigen Lichtsystemen vergleichbar ist, so hatte er damals schon die Aufgabe, die Straße vor dem Fahrzeug auszuleuchten. Bestand die gesamte „Lichttechnik“ zu Beginn nur aus einer Petroleumlampe, stieg mit dem Einsatz der elektrischen Leuchtmittel am Automobil im Jahr 1912 auch die Lichtausbeute rasch an. Durch die Verbesserung der Leuchtmittel konnte die Lichtstärke im Laufe der Jahre weiter erhöht werden. Mit Einführung der Gasentladungslampen im Jahr 1991 vergrößerte sich die zur Verfügung stehende Lichtstrom auf einen Wert von bis zu 3.200 Lumen je Lichtquelle. 17 Jahre später (2008) konnte mit der Einführung des Voll-LED¹-Scheinwerfers erneut ein Meilenstein in der automobilen Lichttechnik gesetzt werden. LED-Scheinwerfer sind im Hinblick auf ihre Lichtausbeute vergleichbar mit Gasentladungslampen, sie werden diese aber in den nächsten Jahren deutlich übertreffen [8]. Ein großer Vorteil liegt in der emittierten Lichtfarbe, die mit 5.500 Kelvin sehr nah an der des Tageslichtes liegt und für den Fahrer angenehmer und heller wirkt als bei einem Scheinwerfer mit Gasentladungslampe.

Aber nicht nur im Bereich der eigentlichen Lichttechnik ist eine fortwährende Weiterentwicklung zu beobachten. Diese ist auch bei Sicherheitssystemen zu erkennen. Während der Schwerpunkt früher auf dem Ausbau der passiven Systeme lag, die bei einem Unfall Insassen schützen sollen, sind es heutzutage aktive Systeme, die verhindern sollen, dass ein Fahrzeug überhaupt in eine gefährliche Fahrsituation gerät. Lichtsysteme gehören dem Bereich der aktiven Sicherheit an, da ihre Funktion die Sicht des Fahrers ver-

¹LED = Light Emitting Diode

bessern soll, um kritische Situationen zu vermeiden. Die zunehmende Vernetzung von verschiedenen Sensoren und Steuergeräten im Fahrzeug ermöglicht die Umsetzung von völlig neuen Funktionen, die bisher nicht denkbar waren [48]. So ist ein Navigationssystem nicht mehr nur zur Routenberechnung nutzbar, sondern auch als Sensor für Fahrerassistenzsysteme [24], [70], [72]. Möglich ist dies durch die Bereitstellung der nötigen Navigationsinformationen als Eingangsgröße für entsprechende Assistenzfunktionen. Darüber hinaus sind in heutigen Fahrzeugen auch immer häufiger Kamerasysteme zu finden. In Verbindung mit dem optischen Messprinzip generieren sie eine aktuelle, vorausschauende Aussage über die Straßen- und Verkehrsverhältnisse vor dem Fahrzeug, die als Eingangsgröße moderner Lichtsysteme verwendet werden kann. Diese Lichtsysteme lassen sich grob in zwei Gruppen teilen: Fernlicht- und Abblendlichtsysteme.

Bei einem Fernlichtsystem wird durch Zuschalten weiterer Lichtquellen zum Abblendlicht die Sicht des Fahrers erhöht. Die Funktion des Systems besteht darin, durch Automation der Fernlichtaktivierung dessen Nutzungsdauer zu erhöhen. Hierbei existieren Systeme, die nur zwischen den zwei Zuständen Fern- und Abblendlicht wechseln können. Neben diesen gibt es adaptive Systeme, die auch Zwischenstufen in der Lichtverteilung annehmen können. Durch die Adaption der Hell-Dunkel-Grenze vergrößert sich die Sicht für den Fahrer, da sich die Lichtverteilung dem Verkehr automatisch anpasst.

Die zweite Gruppe bilden Abblendlichtsysteme. Sie verbessern die Sicht des Fahrers, indem sie die Lichtverteilung den Umgebungsbedingungen, zum Beispiel aufgrund der Fahrzeuggeschwindigkeit, anpassen. Eine Funktion, die beiden Gruppen zugeordnet werden kann, ist das dynamische Kurvenlicht, welches auf Basis fahrdynamischer Größen den Lichtkegel in horizontaler Richtung schwenkt. An diesem Punkt setzt die vorliegende Arbeit an. Sie beschreibt wie das dynamische Kurvenlicht durch den Einsatz prädiktiver Sensoren – wie Kamera- und Navigationssystem – verbessert werden kann, indem es in Abhängigkeit des zukünftigen Streckenverlaufs vorausschauend angesteuert wird.

1.2 Motivation

Laut Statistischem Bundesamt ereigneten sich im Jahr 2005 2,25 Millionen Unfälle auf Deutschlands Straßen. Dabei starben 5.361 Personen. Im Jahr 1966 dagegen betrug die Anzahl der Todesopfer noch 21.332 Personen, wobei allerdings die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge nur etwa einem Drittel der heutigen entsprach. Vergleicht man diese beiden Werte, so ist das eine sehr positive Entwicklung. Diese lässt sich auf staatliche Maßnahmen, wie die Einführung der Gurtpflicht für Vordersitze 1976, aber vor allem auch auf Entwicklungen der Automobilindustrie zurückführen. So haben Systeme wie das Elektronische-Stabilitätsprogramm (ESP) oder das Anti-Blockier-System (ABS) dazu beigetragen, die Anzahl der Unfälle zu reduzieren. Bei Nachtfahrten bleibt jedoch ein erhöhtes Risiko bestehen. Aufgrund von schlechten Sichtverhältnissen oder Blendung durch den Gegenverkehr geschehen nachts, trotz eines deutlich geringeren Verkehrsaufkommens, circa 28 Prozent der schweren Unfälle [15].

Diese Tatsachen verdeutlichen, dass visuelle Informationen für einen Fahrer zum Führen eines Kraftfahrzeugs von großer Bedeutung sind. Wada et. al. [134] zeigen auf, dass die wichtigste Information zum Erfüllen der Fahraufgabe für einen Fahrzeuglenker visuell ist. Shinar et. al. [117] publizierten, dass zum sicheren Fahren eines Fahrzeugs 90 Prozent der nötigen Informationen visueller Form sind. Die Studie von Nagayama [98] korreliert die Vorverlegung der Fahrerreaktion mit den dadurch vermeidbaren Unfällen. Er kommt zu dem Ergebnis, dass 50 Prozent der Nachtfahrerunfälle vermieden werden könnten, wenn der Fahrer ein Hindernis 0,5 bis 1 s früher erkennen würde.

Hinsichtlich des Unfallortes ist nach Cohen [19] die Häufigkeit von Unfällen in Kurven – verglichen mit geraden Strecken – überproportional hoch. Nach Sprute [122] wird etwa jeder zweite gefahrene Kilometer (47,8 Prozent) auf Bundes- oder Landstraßen zurückgelegt. Auf Landstraßen ereignen sich 40 Prozent aller Unfälle auf einer Geraden und 35 Prozent in Kurven. Da Kurven aber nur einen Anteil von 29 Prozent des Straßennetzes auf Landstraßen ausmachen, geschehen folglich doppelt so viele Unfälle im Bereich einer Kurve wie auf einer Geraden [19]. Auch erfolgt ein Unfall mit Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer bis zu 40 Prozent häufiger in einer Rechts- als in einer Linkskurve. Im Gegenzug ist der Anteil von selbstverschuldeten Unfällen in Linkskurven überdurchschnittlich hoch. Als Grund nennt Cohen eine höhere Geschwindigkeit aufgrund der größeren Radien im Vergleich zu Rechtskurven und die daraus resultierenden besseren optischen Verhältnisse [19].

Fasst man die verschiedenen Fakten zur Häufigkeit einer Fahrt auf einer Land- oder Bundesstraße, den Unfallschwerpunkten an Kurven und die Verringerung der Unfälle bei Vorverlegung der Fahrerreaktion zusammen, ergibt sich daraus Verbesserungspotential im Hinblick auf die Beleuchtung der Fahrbahn. Entwicklungen wie Halogen- oder Gasentladungslampen führten zwar bereits zu einer verbesserten Ausleuchtung der Straße, jedoch erlaubten es diese alleine noch nicht, die Lichtverteilung dem Verkehrsgeschehen, geschweige denn dem Kurvenverlauf, anzupassen. Dies wurde erst durch den Einsatz des adaptiven Kurvenlichts realisiert. Der Schwenkwinkel zur horizontalen Drehung der Lichtverteilung wird dabei in Abhängigkeit des Lenkwinkels und der Fahrzeuggeschwindigkeit errechnet. Grundlage des Systems ist die Annahme, dass sich der Streckenverlauf vor dem Fahrzeug nicht ändert und so die Größen des momentanen Fahrzustandes verwendet werden können. Dies führt jedoch in einigen Fällen, wie S-Kurven, zu einem Unter- beziehungsweise Übersteuern der Lichtverteilung. Für die Funktion des Systems bedeutet dies, dass erst nach der Reaktion des Fahrers mit einer Lenkbewegung die Lichtverteilung vor dem Fahrzeug in die jeweilige Richtung geschwenkt wird. Das Problem liegt hier in der falschen Annahme des zukünftigen Streckenverlaufs und nicht in der daraus resultierenden späten Reaktion des Fahrers.

Gründl [52] weist darauf hin, dass der primäre Sicherheitsgewinn eines Kurvenlichts darin besteht, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers bereits vor Befahren einer Kurve auf die sich ändernde Geometrie gelenkt wird. Auch Huhn [66] ist der Auffassung, dass ein Kurvenlicht dazu dienen sollte, bereits vor der Kurve in diese hineinzuleuchten, um die Wahrnehmung und die visuellen Verhältnisse für den Fahrer zu verbessern. Für eine sol-

che Erweiterung des lenkwinkelbasierten Kurvenlichts muss dem Fahrzeug der vorausliegende Streckenverlauf bekannt sein. Hierfür lassen sich synergetisch bereits im Fahrzeug befindliche Sensoren nutzen.

In dieser Arbeit werden dafür die Daten einer Kamera und des Navigationssystems verwendet. Der Ansteuerungsalgorithmus, der sich am Blickverhalten eines Fahrzeugführers am Tage orientiert, berechnet mit einer Sensordatenfusion (SDF) der beiden Eingangsdaten einen Schwenkwinkel für das vorausschauende Kurvenlicht. Dieses stellt gewissermaßen eine Erweiterung des herkömmlichen Kurvenlichts dar, ohne dieses in seiner ursprünglichen Funktion zu verändern. Hierfür wird zur Erhöhung der Sichtweite nicht die Lichtstärke beziehungsweise die Leistung erhöht, sondern die vorhandene Lichtstrom intelligent eingesetzt, um die Straße besser auszuleuchten und eine vorausschauende Fahrweise zu ermöglichen. Nach Nöcker et. al. [101] ist diese der Schlüssel für ein sicheres, komfortables und verbrauchsgünstiges Fahren.

1.3 Aufbau der Arbeit

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte System knüpft an die bisherigen Erkenntnisse wissenschaftlicher Arbeiten an, die sich bereits mit der Thematik des prädiktiven Kurvenlichts auseinandergesetzt haben. Diese Arbeiten beschäftigen sich mit der Implementierung eines vorausschauenden Kurvenlichts auf Basis einer einzigen Datenquelle [3], [12], [13], [17], [24], [58], [57], [69], [83], [86], [90], [106], [114], [131], [136].

Die Weiterentwicklung in dieser Arbeit konzentriert sich darauf, Informationen aus zwei vorausschauenden Sensoren miteinander zu fusionieren, um das gewünschte Systemverhalten zu erreichen. Kapitel 2 erläutert hierfür zunächst den Stand der Technik im Hinblick auf die verwendeten Sensoren, die verschiedenen lichtbasierten Fahrerassistenzsysteme und die Möglichkeiten des menschlichen Sehens. Kapitel 3 beschreibt die Verbesserungsmöglichkeiten der nächtlichen Wahrnehmung mit einem prädiktiven Lichtsystem. In Kapitel 4 werden die Aufgabenstellung in mehrere Teilprobleme zerlegt und die jeweiligen Lösungsanforderungen an diese definiert. Das nächste Kapitel beschreibt die in dieser Arbeit entwickelten Lösungsansätze und gibt einen Ausblick auf die Verbesserung der Gesamtsystem-Performance. In Kapitel 6 werden sowohl die Ergebnisse der statischen Probandentests zur Ermittlung der Schwenkstrategie als auch die der dynamischen Fahrversuche vorgestellt. Kapitel 7 fasst die Arbeit zusammen und gibt einen Überblick über potentielle Ansatzpunkte für eventuelle Folgeprojekte.

2 Grundlagen und Stand der Technik

Das folgende Kapitel beschreibt die Grundlagen der vorausschauenden Lichtsteuerung. Dafür wird zunächst auf die Kraftfahrzeuglichttechnik eingegangen, indem grundlegende Lichtfunktionen und deren gesetzliche Regelungen erläutert werden. Dieser Abschnitt gibt auch einen Überblick über bereits im Markt existierende lichtbasierte Fahrerassistenzsysteme und weitere, noch in der Entwicklung befindliche Funktionen, wie das blendfreie Fernlicht. Daran schließt sich Abschnitt 2.2 an, in dem die Wahrnehmung des Fahrers im nächtlichen Straßenverkehr sowie das Fahrverhalten, die Fahraufgabe und das Blickverhalten beschrieben werden. Darauf aufbauend wird die Regelung RAS-L¹ erläutert, in der die Trassierungsrichtlinien für den Bau von Straßen enthalten sind [1]. Abschnitt 2.4 thematisiert Sensoren, die in der Lage sind, den Straßenverlauf vor dem Fahrzeug zu erfassen. Hierbei wird auf die Radar- und die Lasersensorik eingegangen. Da in dieser Arbeit die Daten zum Ansteuern des prädiktiven Kurvenlichts hauptsächlich von einem Kamera- und einem Navigationssystem geliefert werden, werden im nächsten Abschnitt die Komponenten einer Kamera und die Bildverarbeitung erläutert. Danach wird der Aufbau eines Fahrzeugnavigationssystems, der Begriff der Positionierung sowie der des Map-Matchings dargestellt. Abschließend wird ein Überblick der aktuellen Gesetzeslage für ein vorausschauendes Kurvenlichtsystem gegeben.

2.1 Kraftfahrzeuglichttechnik

Heutige Fahrzeuge verfügen zur Beleuchtung der Fahrbahn über mindestens zwei Lichtfunktionen: das Abblend- und das Fernlicht. Der Fahrer kann manuell zwischen diesen Lichtverteilungen wählen. Beide unterliegen gesetzlichen Regelungen, in denen die maximale, beziehungsweise minimale Beleuchtungsstärke spezifischen Messpunkten auf einem Messschirm vorgegeben sind. Das Fernlicht besitzt eine Lichtverteilung, die es dem Fahrer erlaubt, Objekte auch noch in großer Entfernung erkennen zu können. Hierbei besteht vom europäischen Gesetzgeber die Anforderung, dass in unterschiedlichen Messpunkten gewisse Mindest-Beleuchtungsstärken einzuhalten sind [38].

Ein Nachteil der Fernlichtverteilung ist die Tatsache, dass sie auch Bereiche im Verkehrsraum beleuchtet, in denen andere Fahrer geblendet werden können. In Deutschland ist

¹RAS-L: Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil Linienführung

es nach Paragraph 17(2) der Straßenverkehrsordnung [16] nur auf Straßen ohne regelmäßige Beleuchtung gestattet, das Fernlicht zu aktivieren. Die am häufigsten genutzte Lichtverteilung ist daher das Abblendlicht. Dieses ist asymmetrisch ausgeführt und bei Rechtsverkehr auf der linken Fahrbahnhälfte beschnitten. Es stellt einen Kompromiss aus minimaler Blendung für andere Fahrzeuge und gleichzeitig größtmöglicher Reichweite für die eigene Sicht dar [70]. Die Form dieser Lichtverteilung aus der Vogelperspektive ist in Abbildung 2.1 ersichtlich.

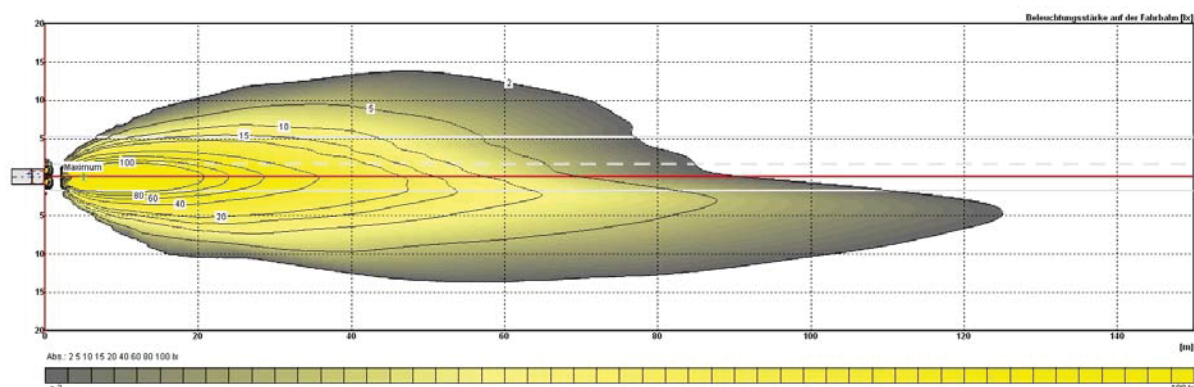


Abbildung 2.1: Abblendlichtverteilung in Falschfarbendarstellung

Wie bei der Fernlichtverteilung gelten auch für die Abblendlichtverteilung je nach Lichtquelle (Halogen-, Gasentladungslampe oder LED) gesetzliche Regelungen, die für eine Zulassung erfüllt werden müssen. In Abbildung 2.2 ist der verwendete Messschirm für Scheinwerfer im ECE-Raum² mit einigen Messpunkten dargestellt. Hierbei handelt es sich um eine perspektivische Darstellung einer geraden Straße mit zwei Fahrspuren aus Sicht des Fahrers in Fahrtrichtung. Deutlich sichtbar (rot), ist der Übergangsbereich zwischen beleuchteter und unbeleuchteter Fläche – der so genannten „Hell-Dunkel-Grenze“ (HDG). Des Weiteren sind die Messpunkte, für die ein Wert der Beleuchtungsstärke vorgeschrieben ist, eingezeichnet. Da der Bereich über der HDG im Abblendlicht nur durch Streulicht beleuchtet wird, dieses aber bei ungünstiger Scheinwerferauslegung entgegenkommende Fahrer blenden kann, befindet sich ein dafür vorgesehener Messpunkt in 50 m Entfernung auf Augenhöhe des entgegenkommenden Autofahrers. Die darin vorgeschriebene Beleuchtungsstärke sollte, um keine Blendung zu verursachen, den Wert von 0,5 lx nicht überschreiten [38].

Um die Sichtverhältnisse bei Nacht – trotz der strikten gesetzlichen Vorgaben – weiter verbessern zu können, existieren heutzutage eine Reihe von Fahrerassistenzsystemen, die den Fahrer aktiv unterstützen, indem sie das Licht den Umgebungsbedingungen anpassen.

Ein System, das die Ausleuchtung in Abhängigkeit der horizontalen Straßengeometrie verändert, ist das dynamische Kurvenlicht. Bei diesem wird nach Hamm et. al. [57] in einer Linkskurve mit dem Radius von 250 m die Erkennbarkeitsdistanz eines Objektes

²ECE = Economic Commission for Europe. Bei den ECE-Regelungen handelt es sich um international abgestimmte Vorschriften, die zur Erlangung der Betriebserlaubnis eines Fahrzeugs eingehalten werden müssen. Der ECE-Raum ist der Geltungsbereich der Gesetzgebung der Europäischen Union.

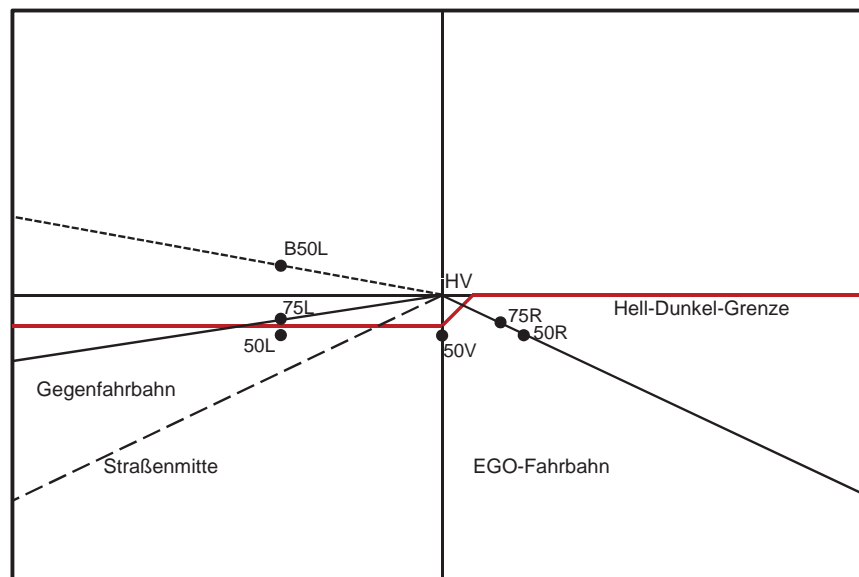


Abbildung 2.2: Messschirm für die Abblendlichtverteilung im ECE-Raum

am linken Straßenrand um 68 Prozent erhöht. Decker et.al. [24] berichten sogar von einer Verbesserung um 90 Prozent. Bei diesen Systemen wird die Lichtverteilung vor dem Fahrzeug auf Basis des aktuellen Fahrzustandes geschwenkt. Als Aktuator dienen dafür in den meisten Fällen drehbar gelagerte Abblendlichtmodule oder zusätzlich aktivierbare, statische Lichtquellen im Scheinwerfer. Für die Repräsentation des Fahrzeugzustandes werden die Größen des Lenkwinkels, der Gierrate und der Fahrzeuggeschwindigkeit verwendet. Aus diesen drei Größen kann für die meisten Fahrzustände auf die aktuell durchfahrene Fahrzeugkrümmung geschlossen werden [68], [124], [71], [75].

Die Verwendung der redundanten Messgrößen „Gierrate“ und „Lenkwinkel“ zur Bestimmung der Krümmung hat verschiedene Gründe: Nach Mitschke [96] bestehen bei der Berechnung der Krümmung über den Lenkwinkel Probleme in der Modellierung, da die bei möglichem Seitenwind oder einer zur Seite geneigten Straße auftretende Kraft nicht als Eingangsgröße zur Verfügung steht. Um in diesen Fällen dennoch die Spur halten zu können, ist der Fahrer gezwungen, der lateral auftretenden Kraft entgegenzuwirken, indem er „gegenlenkt“. Das hat zur Folge, dass sich die Lichtverteilung mitbewegt. Es ist daher erforderlich, die Gierrate als Plausibilisierung hinzuzunehmen. Diese Größe besitzt zwar auch die Einschränkung, dass die Krümmungsberechnung nur unter Addition der Schwimmwinkeländerung korrekt ist; da dieser in den meisten Fahrzuständen aber vernachlässigbar klein ist, kann er für stabile Fahrzustände ignoriert werden. Die alleinige Bestimmung des Schwenkwinkels über die Gierrate liefert jedoch kein zufriedenstellendes Ergebnis, da diese Größe aus einer Lenkwinkeländerung resultiert und eine verspätete Reaktion des Kurvenlichts im Bereich von 0 bis 800 ms des Kurvenlichts auf den Fahrzustand zur Folge hat. Um eine Fallunterscheidung durchführen und aus den soeben beschriebenen Situationen die Fälle ableiten zu können, wie über den Lenkwinkel geschwenkt werden darf, werden beide Größen zur Ansteuerung des dynamischen Kurvenlichts verwendet. Das Kurvenlicht unterliegt der Einschränkung nach

Regelung ECE-98 [38]. In dieser ist der maximale Schwenkwinkel auf einen Wert von ± 15 Grad festgelegt. Um in Kurven mit besonders kleinen Radien oder in Abbiegesituationen eine noch breitere, laterale Lichtverteilung zu erzeugen, besteht die Möglichkeit eine zusätzliche Lichtquelle – das Abbiegelicht – zu aktivieren, das den seitlichen Bereich vor dem Fahrzeug ausleuchtet.

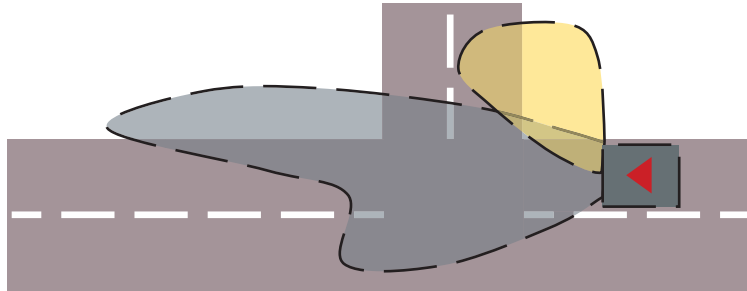


Abbildung 2.3: Eingeschaltetes Abbiegelicht vor einer Kreuzung

In Abbildung 2.3 ist eine Annäherung an eine Kreuzung dargestellt, bei der das Abbiegelicht eingeschaltet ist. Da die Anforderungen an eine Lichtverteilung in Kreuzungs- oder Stadtbereichen, auf der Landstraße oder der Autobahn teilweise sehr konträr sind, hatte Mortimer bereits 1969 [97] die Idee, die Lichtverteilung an die jeweilige Straßenart anzupassen. Mit diesen erweiterten Lichtverteilungen (Stadt-, Landstraßen- und Autobahnlicht) werden weitere Defizite der herkömmlichen Lichtverteilung, wie eine zu kleine Reichweite auf Autobahnen oder eine zu geringe laterale Ausleuchtung auf Stadtstraßen, behoben [83], [145], [35], [63], [146]. Seit Inkrafttreten der Regelung ECE-123 [40] im Jahr 2007 und mit dem Einsatz spezieller Aktuatoren, die die Lichtverteilung entsprechend anpassen können, ist dies möglich. Hierbei wird als Information zur Aktivierung der unterschiedlichen Zustände oftmals neben der Geschwindigkeit auch der Lenkwinkel einbezogen, um eine robustere Aussage darüber treffen zu können wo sich das Fahrzeug gerade befindet.

Weitere lichtbasierte Fahrerassistenzsysteme beschäftigen sich mit der effizienteren Nutzung des Fernlichtes. Aktuell liegt dessen Einschaltdauer nach [64] bei circa fünf Prozent einer nächtlichen Autofahrt. Mefford et. al. kommunizieren in [94] eine durchschnittliche Nutzungszeit von 3,1 Prozent auf allen Straßenklassen. Die Gründe für die sehr geringe Aktivierung führt Roslak in [112] auf folgende Ursachen zurück:

- Der Fahrer vergisst das Fernlicht zu aktivieren.
- Aus Bequemlichkeit wird das Fernlicht nicht aktiviert.
- Aus Angst des Autofahrers, er könne andere Verkehrsteilnehmer blenden, wird das Fernlicht nicht aktiviert.

Um das Ein- und Ausschalten des Fernlichtes zu automatisieren und damit die Nutzungszeit zu erhöhen, wurde der „Fernlichtassistent“ entwickelt. Dieses System erfasst über eine Kamera am Innenspiegel die Verkehrssituation vor dem Fahrzeug und aktiviert in Situationen ohne Gegenverkehr oder vorausfahrende Fahrzeuge das Fernlicht.

Nach der Probandenstudie von Sprute [122] erhöht sich mit diesem System die Nutzungsdauer des Fernlichtes um 15 Prozent gegenüber der manuellen maximalen Nutzung. Diese Ergebnisse wurden ermittelt, indem der Proband die Aufgabe bekam, das Fernlicht manuell so oft einzuschalten, wie er es für angemessen hielt. Unter regulären Fahrbedingungen liegt der Zuwachs für das automatische System noch deutlich höher. Da bei diesem System jedoch nur statisch zwischen zwei Lichtverteilungen umgeschaltet werden kann, reduziert sich die Aktivierung des Fernlichtes auf die Situationen ohne jeglichen Verkehr. Zudem entsteht direkt nach dem Abblenden zwischen eigenem und erkanntem Fahrzeug ein großer, schwach ausgeleuchteter Bereich, in dem potentielle Gefahren nicht mehr frühzeitig erkannt werden können. Aufgrund dieses Problems wurde das System der „adaptiven Hell-Dunkel-Grenze“ entwickelt. Aktuatoren erlauben es dem System nahezu stufenlos zwischen Abblend- und Fernlicht zu variieren [24], [108], [9]. Dadurch entstehen aber auch erweiterte Anforderungen an die Bildverarbeitung der Kamera, da jetzt nicht mehr nur von Interesse ist, ob sich ein Objekt im Erfassungsbereich befindet, sondern auch unter welchem relativen vertikalen Winkel es liegt. Hierbei sind die Entfernung und der Vertikalwinkel des detektierten Objektes von Interesse. Mit dem Einsatz des Systems der adaptiven Hell-Dunkel-Grenze kann die Sicht bei Nacht erheblich verbessert werden. Es ist jedoch nicht möglich, die Lichtverteilung völlig frei der Umgebung anzupassen, um somit beispielsweise auch noch den vertikalen Bereich zwischen zwei Fahrzeugen auszuleuchten. Das funktioniert unter anderem mit einem blendfreien Fernlicht, bei dem die Lichtverteilung in einem additiven Verfahren [137] aus mehreren LED-Chips realisiert wird [126]. Um hierbei Bereiche zu entblenden, sind lediglich die jeweiligen Lichtquellen abzuschalten. Bei diesem System werden die Sensoranforderungen erneut erweitert, da auch die horizontale Lageinformation sowie die Ausdehnung des Objektes benötigt werden [59].

Da sich diese Arbeit mit der Verbesserung des dynamischen Kurvenlichts beschäftigt, wird auf weitere aktive Lichtsysteme nicht näher eingegangen, sondern auf entsprechende Literatur verwiesen [112], [59], [138], [34], [65], [10].

2.2 Fahrzeugführung und visuelle Informationsaufnahme

Der Mensch nimmt einen Großteil der Informationen, die er zum Führen eines Kraftfahrzeugs benötigt, visuell auf. Im Folgenden wird auf die Wahrnehmung und Aufnahme dieser Informationen eingegangen. Grundlagen der Fahrzeugführung und Aufgaben beim Lenken eines Kraftfahrzeugs werden beschrieben.

2.2.1 Fahrzeugführung und Fahraufgabe

Das Führen eines Kraftfahrzeugs ist eine komplexe Tätigkeit, die in mehrere Prozesse und zu erfüllende Aufgaben gegliedert werden kann. Das Führen des Fahrzeugs kann dabei als geschlossener Regelkreis mit dem Fahrer als Regler, dem Fahrzeug als Regelstrecke

und der Umwelt als Störgröße angesehen werden [96]. In der Literatur weit verbreitet ist die Unterteilung in die folgenden fünf Fahraufgaben: Navigation, Fahrzeugführung, Stabilisierung, Überwachung und Antizipation [18]. Die Aufgaben Überwachung und Antizipation lassen sich – für eine einheitliche Modellierung – der Funktion „Stabilisierung“ hinzufügen.

Navigation:

Navigation impliziert die Orientierung eines Fahrers im Straßennetz. Er muss seine zu fahrende Route planen und gegebenenfalls an das Verkehrsaufkommen anpassen.

Führung:

Die Fahrzeugführung beinhaltet das Bedienen von Gaspedal, Bremse und Lenkrad, um der zuvor geplanten Route zu folgen. Auch die Fahrweise muss entsprechend dem Verkehrsaufkommen angepasst werden.

Stabilisierung:

Bei der Stabilisierung überprüft der Fahrer ständig, ob die von ihm gegebenen Eingangsgrößen noch die gewünschte Lage des Fahrzeugs auf der Fahrbahn hervorrufen und hält mit nötigen Korrekturmaßnahmen das Fahrzeug in der Spur. Zusätzlich überwacht er das Fahrzeugvorfeld, woraufhin er bei Störungen oder Hindernissen seine zu beeinflussenden Stellgrößen anpasst. Aufgrund seiner Erfahrung kann der Fahrer gezielter nach für ihn notwendigen Informationen suchen, was einem ruhigeren Fahrverhalten zu Gute kommt.

Auf Basis dieser drei „Hauptaufgaben“ lässt sich das Fahrverhalten darstellen. Donges entwickelte hierfür das Drei-Ebenen-Modell, das er für Fahrten in einem Simulator auf zwei Ebenen reduzierte, da der Faktor „Navigation“ durch vorgegebene Streckenverläufe entfallen konnte (vgl. Abbildung 2.4 nach [31]) [30], [31], [52].

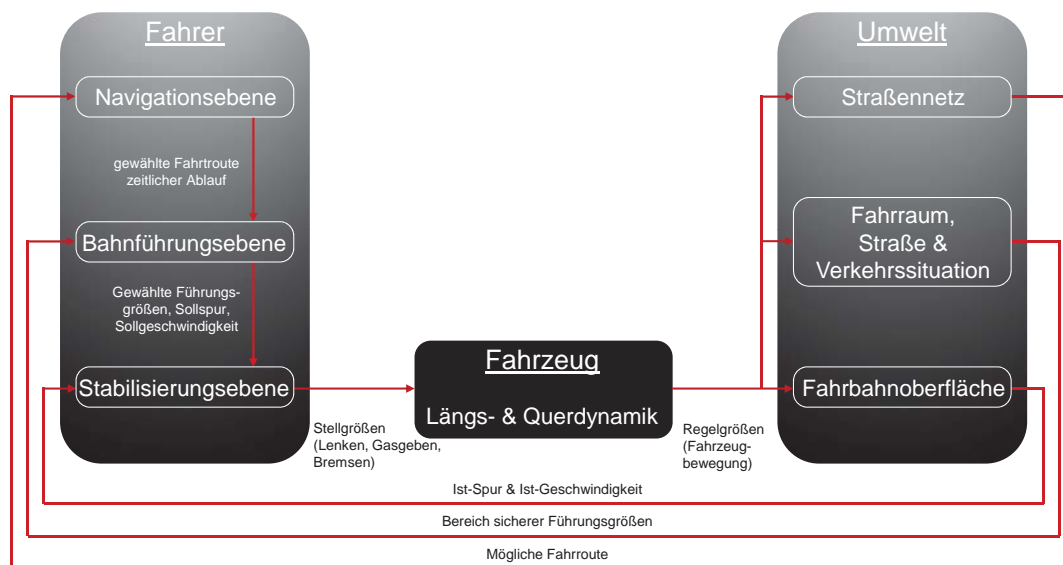


Abbildung 2.4: Hierarchische Drei-Ebenen-Struktur der Fahrzeugführungsaufgabe nach [31]