



PORSCHE

Praxisbericht des 2. Studienjahres

T2000

**Entwicklung und Inbetriebnahme eines Testframeworks
eines Matlab-Simulink-Modells**

im Studiengang Elektrotechnik

in der Studienrichtung Automation

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

Moritz Schüler

14.03.2016

Bearbeitungszeitraum: 280 h

Matrikelnummer, Kurs 7735199, STG-TEL14GR3

Ausbildungsfirma: Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart

Betreuer der Ausbildungsfirma: Gerd Mauthe, Diplom-Ingenieur



PORSCHE



Sperrvermerk

Die vorliegende Studienarbeit enthält zum Teil Informationen, die nicht für die Öffentlichkeit bestimmt sind. Alle Rechte an der Studienarbeit einschließlich der Verbreitung auf elektronischen Medien liegen bei der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG.

Abweichend hiervon darf der Inhalt der Arbeit während einer Sperrzeit von 5 Jahren ab dem Abgabedatum mit der ausdrücklichen schriftlichen Genehmigung der Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG an Dritte weitergegeben werden. Nach Ablauf der Sperrzeit ist diese Genehmigung nicht mehr erforderlich.

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema: „Entwicklung und Inbetriebnahme eines Testframeworks eines Matlab-Simulink-Modells“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ort

Datum

Unterschrift

Abstract

The importance of the setting of the headlight to avoid accidents has been highlighted by several studies in recent years. Current statistics on accidents show that in about 28% of the accidents with car body damage also human casualties happen at dusk and at night. In addition, the number of deaths is much higher at night. 42% of the deadly accidents are occurring on the highway to the late evening hours, especially outside of urban areas. This can be explained very easily, as 90% of the information is received visually while driving. Therefore, it is very important to provide good visibility in the dark by the available options.

Another statistic shows that approximately 41% of vehicles have improperly adjusted headlights, where by nearly a quarter have set too high headlights and thus risk to glare oncoming traffic. The remaining vehicles have too deep set headlights, by what the road is not optimally illuminated, resulting in poorer visibility and the probability of an accident increases.

Based on these facts, a regular maintenance of the lighting system of a vehicle is essential in the daytime but especially at night to avoid unnecessary accidents and thus save lives. In 1957, a legal requirement was passed supervising the setting of the headlights to get the best possible compromise between effective illumination of the street and protecting the oncoming traffic from glare.

Inhaltsverzeichnis

Sperrvermerk.....	II
Eidesstattliche Erklärung	III
Abstract	IV
Formelgrößen und Einheiten	VII
Abkürzungen	VIII
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	IX
Abbildungen	IX
Tabellen	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation	2
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Aufbau der Arbeit.....	3
2 Theoretische Grundlagen	5
2.1 Hell-Dunkel-Grenze	5
2.2 Scheinwerfer	6
2.3 Lichtfunktionen	16
2.4 Scheinwerfereinstellung	19
2.5 V-Modell	22
2.6 Simulink Test.....	25
2.6.1 Überblick	25
2.6.2 Erstellen von Testumgebungen.....	26
2.6.3 Erstellen und Ausführen von Testfolgen.....	27
3 Analyse zur Anwendung von Simulink-Test	32
3.1 Kostenaspekt.....	32

3.2	Benutzerfreundlichkeit und Einstellmöglichkeiten.....	33
3.3	Darstellung der Testdaten	34
3.4	Auswertung	34
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	37
5	Literaturverzeichnis	38

Formelgrößen und Einheiten

Formelzeichen	Einheit	Bezeichnung
P	W	Leistung
Φ_v	lm	Lumen

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AFS	Adaptive Front Lighting System
AHS	Adaptive Headlight System
ECE	Economic Comission of Europe (Genf)
GLW	gleitende Leuchtweitenregulierung
H0V0	Horizontal 0 und Vertikal 0
HDG	Hell-Dunkel-Grenze
LED	Light Emitting Diode
MDF	maskiertes Dauerfernlicht
MxB	Matrix Beam
PWM	Pulsweitenmodulation

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: HDG eines LED-Scheinwerfers für den Rechtsverkehr	5
Abbildung 2: Aufbau einer Halogenlampe	7
Abbildung 3: Aufbau einer Gasentladungslampe.....	8
Abbildung 4: Aufbau einer weißen LED.....	10
Abbildung 5: Erzeugung der HDG durch einen Freiformreflektor	12
Abbildung 6: Erzeugung der HDG durch ein Projektionssystem.....	13
Abbildung 7: HDG des MxB-Systems (b) gegenüber bisherigen Systemen (a).....	15
Abbildung 8: Funktionsdarstellung der gleitenden Leuchtweitenregulierung	16
Abbildung 9: Funktionsdarstellung des adaptiven Kurvenlichts	17
Abbildung 10: Funktionsdarstellung des AFS	18
Abbildung 11: Funktionsweise des MDF	19
Abbildung 12: Scheinwerfereinstellung mit 10m entfernter Wand	20
Abbildung 13: Scheinwerfereinstellgerät der Firma Hella	21
Abbildung 14: Schematische Darstellung des V-Modells	23
Abbildung 15: Schema Blackbox-Testing	26
Abbildung 16: Beispielkomponente (links) und zugehörige Testumgebung (rechts)	27
Abbildung 17: Varianten der Testfälle.....	28
Abbildung 18: Verzeichnisstruktur Test-Manager	29
Abbildung 19: Ergebnisdarstellung Test-Manager.....	30

Tabellen

Tabelle 1: Wirtschaftliche Auswertung der Untersuchungen	35
Tabelle 2: Auswertung der Ergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit.....	35
Tabelle 3: Technische Auswertung der Untersuchungen	36

1 Einleitung

Die Bedeutung der Scheinwerfereinstellung zur Vermeidung von Unfällen wurde durch mehrere Studien in den letzten Jahren hervorgehoben. So zeigen aktuelle Unfallstatistiken, dass rund 28% der Unfälle, bei denen neben Blebschäden auch Menschen zu Schaden kommen, bei Dämmerung oder in der Dunkelheit passieren. Zudem ist die Anzahl der Todesfälle nachts deutlich höher. 42% der tödlichen Unfälle ereignen sich zu den späten Abendstunden, vor allem auf den Landstraßen.¹ Dies lässt sich sehr leicht erklären, denn 90% der Informationen beim Autofahren werden visuell aufgenommen.² Deshalb ist es bei Dunkelheit von enormer Wichtigkeit durch die zur Verfügung stehenden Mittel gute Sichtverhältnisse zu schaffen.

Eine weitere Statistik besagt, dass ungefähr 41% der Fahrzeuge falsch eingestellte Scheinwerfer haben, wobei bei knapp einem Viertel die Scheinwerfer zu hoch eingestellt sind und damit eine Blendung des Gegenverkehrs riskiert wird. Die Übrigen haben zu tief eingestellte Scheinwerfer, wodurch die Straße nicht optimal ausgeleuchtet wird, was zu schlechteren Sichtverhältnissen führt und die Unfallwahrscheinlichkeit erhöht.³

Aufgrund dieser Tatsachen ist eine regelmäßige Wartung des Lichtsystems eines Kraftfahrzeugs zwingend erforderlich, um tagsüber und vor allem nachts unnötige Unfälle zu vermeiden und somit Leben zu retten. Für den bestmöglichen Kompromiss aus effektiver Ausleuchtung der Straße und gleichzeitigem Schutz des Gegenverkehrs wurde bereits 1957 eine gesetzliche Vorgabe erlassen, wie der Scheinwerfer eingestellt sein muss, um maximale Sichtweite bei minimaler Blendung zu erreichen.⁴

¹ (Lerner, Albrecht und Evers 2005)

² (Lachenmayr, Buser und Keller 1996)

³ (ADAC 2012)

⁴ (Reif und Dietsche, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. 25. Vieweg+Teubner 2003)

Um die regelmäßige Überprüfung der Scheinwerferstellung zu gewährleisten, wurde in den letzten Jahren vermehrt an einer automatischen Kalibrierung gearbeitet. Die Vorzüge dieser Idee werden in der nachfolgenden Motivation beschrieben.

1.1 Motivation

Aktuell werden Scheinwerfer nur manuell in den Werkstätten beim Kundenservice oder der Kfz-Hauptuntersuchung überprüft und nachgestellt.⁵ Dieser Vorgang beinhaltet allerdings einige Nachteile, denn er ist vom Menschen abhängig und sehr zeitaufwändig. Ein Mechaniker muss hierbei die entscheidenden Elemente visuell erfassen und interpretieren. Allerdings ist die visuelle Wahrnehmung bei jedem Menschen subjektiv, sodass es selbst bei einem geschulten Auge zu merklichen Abweichungen bei der Leuchtausbeute kommen kann.

Um die Nachteile durch menschliche Fehleinschätzung zu minimieren wird zurzeit an einem kamerabasierten System gearbeitet. Ein solches automatisches Verfahren zur Kalibrierung der Scheinwerfer mithilfe einer Kamera ist deutlich genauer, da die Kamera die Bilder immer gleich interpretiert. Der wichtigste Vorteil der Online-Kalibrierung liegt jedoch in der Aktualität und damit in der Sicherheit. Durch die immer optimale Einstellung des Lichtsystems erhöht sich die Sichtweite für den Fahrer und die Blendung der entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer wird gleichzeitig minimiert.

Ein weiterer wichtiger Punkt aus unternehmenstechnischer Sicht sind die Produktionskosten. Zurzeit werden 50 Sekunden für die Scheinwerfererstkalisierung am Produktionsband eingeplant.⁶ Mit einer Online-Kalibrierung könnte diese Zeit deutlich verringert werden oder im Falle einer Einstellung im Fahrbetrieb sogar komplett entfallen.

Für die Umsetzung wurde in diesem Fall auf eine Kombination aus Scheinwerfer und Fahrerassistenzkamera gesetzt. Da dieses System bereits für andere Komponenten,

⁵ (Bundesministerium der Justiz 2012)

⁶ [Mitteilung VW AG]

wie der gleitenden Leuchtweitenregulierung, im Fahrzeug verbaut ist und somit keine zusätzlichen Sensoren oder Module eingesetzt und entwickelt werden müssen.

Die Ansteuerung des Scheinwerfers und der Fahrerassistentenkamera für die Kalibrierung wurde in dem Porsche Softwaremodul „Adaptive Headlight System“ (im Weiteren AHS) umgesetzt. Um das entwickelte Verfahren auch in Serienfahrzeugen in Betrieb nehmen zu dürfen, müssen die erforderlichen Testfälle für das System geschrieben und erfolgreich durchlaufen werden. Die vorliegende Arbeit stellt die Bewertung einer neuen Testmethodik für das AHS auf Basis von Simulink-Test vor.

1.2 Zielsetzung

Das primäre Ziel der Arbeit ist es, das bereits vorhandene Framework eines Matlab-Simulink-Modells auf erforderliche Anforderungen zu testen und falls nötig zu modifizieren.

Dabei sollen die Testfälle zunächst im Modell selbst erstellt und durchgeführt werden und anschließend in das neue Mathworks-Tool Simulink-Test eingearbeitet werden, um das Tool auf Benutzerfreundlichkeit und Umfang zu testen. Nach erfolgreicher Testung und Überarbeitung steht die Verifizierung der korrekten Funktionsweise des Gesamtmodells an, um die Integration in ADTF, in die bei der seriennahen Fahrzeugentwicklung verwendete Umgebung, vorzubereiten. Zudem dient dies als Entscheidungshilfe, um herauszufinden, ob Simulink-Test in zukünftigen Projekten wiederverwendet wird, da es eine Erleichterung für den Aufwand der Erstellung und Evaluierung von Testfällen darstellt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Nach der Einleitung gliedert sich die Arbeit in drei weitere Kapitel. In **Kapitel 2** werden theoretische Grundlagen über den Aufbau von Scheinwerfern, ihrer Systeme und ihrer besonderen Anwendung in den intelligenten Lichtsystemen gelegt. Zudem

werden Vorgehensweisen der Softwareentwicklung anhand des V-Modells dargelegt und das Tool Simulink-Test zur Erstellung und Evaluierung von Testfällen beschrieben. Im **dritten Kapitel** ist eine Bewertung über die Eignung dieses Tools in der Softwareentwicklung aufgeführt. Das **vierte Kapitel** fasst die Kernaussagen der Arbeit zusammen und zeigt einen Ausblick auf das weitere Potential und die weiteren Forschungsmöglichkeiten.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel geht es um theoretische Grundlagen zum Aufbau und zur Funktion von Hauptscheinwerfern. Des Weiteren wird ein Basiswissen zu den Lichtfunktionen und zur Hell-Dunkel-Grenze vermittelt. Letztere wird sowohl bei der manuellen Einstellung als auch bei der Online-Kalibrierung benötigt.

2.1 Hell-Dunkel-Grenze

Um den Konflikt aus maximaler Lichtausbeute und minimaler Blendung zu lösen, wurde im Jahr 1957 das asymmetrische Abblendlicht und damit die Hell-Dunkel-Grenze (im Weiteren HDG) eingeführt⁷. Sie beschreibt den Verlauf des Fernlichts, wenn dieses auf einen in gewissem Abstand aufgestellten Schirm projiziert wird. Genauer gesagt ist die HDG die Kante des Übergangs zwischen den hellen Flächen im unteren Bereich und dem dunklen Flächen im oberen Bereich. Seit 2007 darf die HDG in ihrer Lichtverteilung auch aktiv, beispielsweise durch vertikale und horizontale Verschiebung beim adaptiven Kurvenlicht, den aktuellen Fahrsituationen angepasst werden⁸. In Abbildung 1 ist dies noch einmal anschaulich dargestellt.⁹

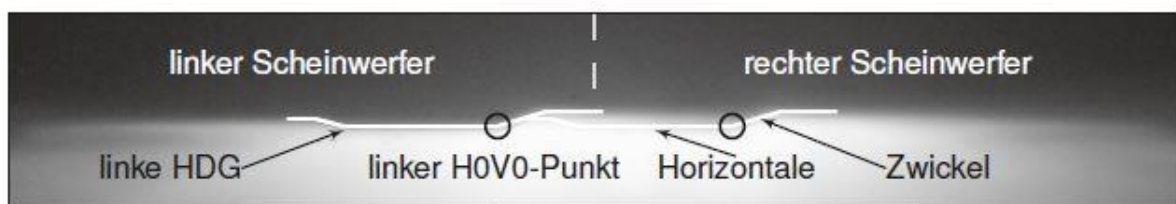


Abbildung 1: HDG eines LED-Scheinwerfers für den Rechtsverkehr^{10 11}

⁷ (Reif und Dietsche, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch. 25. Vieweg+Teubner 2003)

⁸ (United Nations Economic Commission for Europe, EUREKA-Projekt 1403: Adaptive Frontlighting System 2002)

⁹ (Pollack 1998)

¹⁰ Für den Linksverkehr entsprechend gespiegelt

¹¹ (Saralajew 2014)

Zu sehen ist die charakteristische Fernlichtverteilung, die einer Wannenform ähnelt. Gemäß ECE-112¹² besteht die HDG aus einem waagrechten Teil, auch Horizontale genannt, und einem linear ansteigenden Teil (im Falle eines herkömmlichen Scheinwerfers) oder einem senkrechten Teil (im Falle eines Matrix Beam Scheinwerfers). Der zweite Abschnitt der HDG wird als Zwickel bezeichnet. Als Charakteristika für die Lichtverteilung und zur Kalibrierung der Scheinwerfer wird der Schnittpunkt der beiden Geraden verwendet, der H0V0-Punkt.

Die HDG wird heutzutage absichtlich unscharf gemacht, da scharfe Lichtkanten für den Menschen als stark blendend empfunden werden. Um hierbei den Grat zwischen Blendung und korrekter Einstellung der Scheinwerfer zu wahren, wird in der Regelung ECE-112 zudem eine Maximal- und Minimalschärfe definiert. Die Schärfe der HDG ist von diversen Faktoren abhängig. Hierbei spielt das optische System der Scheinwerfer eine entscheidende Rolle.

2.2 Scheinwerfer

Inzwischen gibt es vielfältige Variationen der Frontscheinwerfer. Zunächst unterscheidet man die Leuchtmittel in Halogenlampen, Gasentladungslampen und Leuchtdioden. Weiterhin kann man die Scheinwerfersysteme unterscheiden in Reflexions-, Projektions- oder Matrix-Beam-Systeme.

Halogenlampen besitzen eine Glühwendel aus Wolfram und gehören zur Gattung der Temperaturstrahler. Bei dieser Art wird die Lichtenergie durch Wärmeenergie erzeugt. Der Nachteil liegt hier in der Effizienz, denn die Halogenlampen haben einen Wirkungsgrad von 3%¹³. Anwendung finden Halogenlampen trotzdem aufgrund ihrer

¹² Regelung Nr. 112 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und / oder Fernlicht, die mit Glühlampen und / oder LED-Modulen ausgerüstet sind

¹³ (Schweiz TCS 2008)

hohen Lichtausbeute von 22-26 lm/W¹⁴. Herkömmliche Glühlampen erreichen nur einen Wert von 10-18 lm/W¹⁵.

Der Innenraum der Lampe ist mit einem Halogengas gefüllt, wodurch der Verschleiß der Glühwendel reduziert wird¹⁶. Deshalb nennt sich der Prozess im Innern „Halogenprozess“. In Abbildung 2 ist der Aufbau einer Halogenlampe zu sehen.

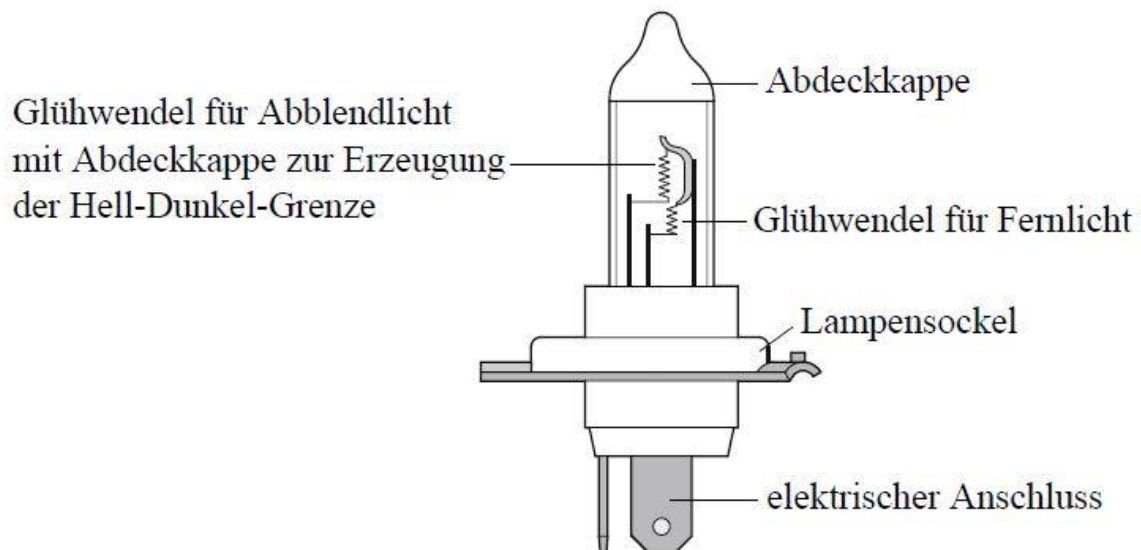


Abbildung 2: Aufbau einer Halogenlampe¹⁷

Hierbei verbindet sich das Halogengas mit dem verdampften Wolfram der Glühwendel. Dieses Gemisch zersetzt sich am heißen Wolframdraht wiederum in seine Grundstoffe. Durch diesen Kreisprozess hält sich der Verschleiß der Glühwendel relativ klein¹⁸.

Ein Nachteil der Halogenlampe ist allerdings die Farbtemperatur von 3200K, die der Mensch als eher gelblich empfindet. Sie ist der des Tageslichts von etwa 6000K sehr verschieden¹⁹.

¹⁴ Einheit für die Lichtausbeute. Lumen pro Watt.

¹⁵ (Reif, Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik 2011)

¹⁶ (Gscheidle, Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 2004)

¹⁷ (Reif, Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik 2011)

¹⁸ (Reif, Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik 2011)

¹⁹ (Schweiz TCS 2008)

Gasentladungslampen liegen hierbei mit einem Wert von 4000K für die Farbtemperatur in einem für den Menschen angenehmeren Farbspektrum. Sie bestehen aus einem Lampenkolben, der mit dem Gas Xenon und weiteren Halogeniden gefüllt ist. Deshalb werden Scheinwerfer aus Gasentladungslampen auch Xenon-Scheinwerfer genannt. Das Gasgemisch wird zwischen zwei Elektroden mit Wechselstrom betrieben, wodurch es zunächst ionisiert wird und anschließend verdampft.

Ein weiterer Vorteil gegenüber Halogenlampen ist die längere Lebensdauer von ca. 3000 Stunden (Glühlampe: 2000 Stunden), da die Lampen keinen mechanischen Verschleiß haben²⁰. Der Aufbau einer Gasentladungslampe ist in Abbildung 3 dargestellt.

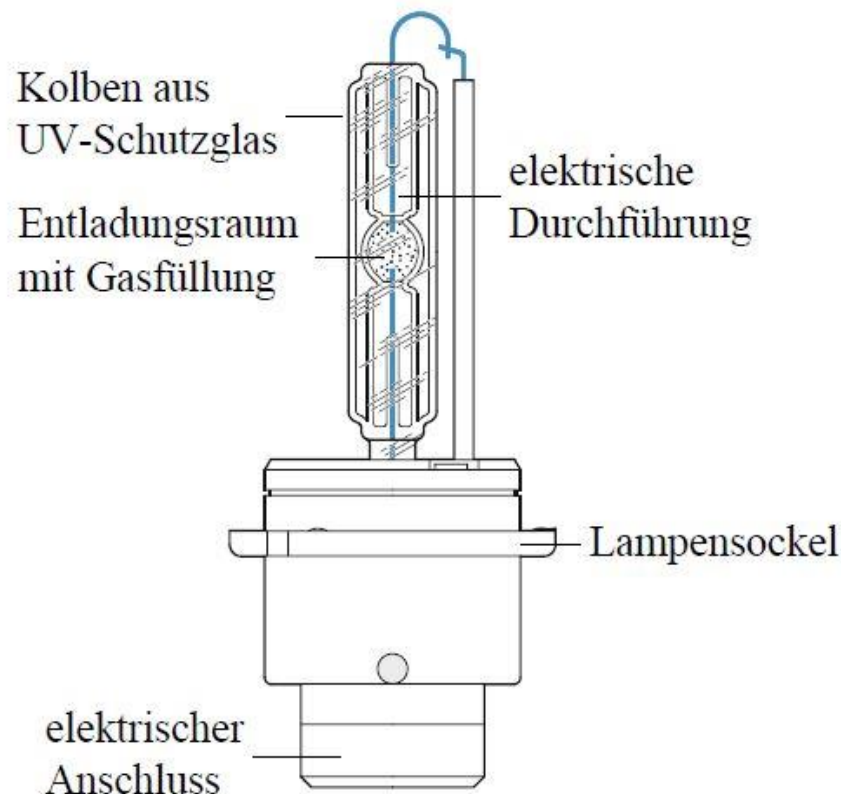


Abbildung 3: Aufbau einer Gasentladungslampe²¹

²⁰ (Hella KGaA Hueck & Co 2000)

²¹ (Reif, Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik 2011)

Der größte Vorteil der Xenon-Scheinwerfer liegt allerdings in der höheren Lichtausbeute von 85 lm/W, weshalb sie in neuen Autos vermehrt zum Einsatz kommen. Negativ zu erwähnen ist ebenfalls die Wärmeentwicklung, welche soweit führt, dass eine Elektrode im Betrieb rot glüht und gekühlt werden muss.

Eine weitere Lichtquelle, die in Scheinwerfer eingesetzt wird, befindet sich ebenfalls im aufsteigenden Trend. Die Light Emitting Diode (im Weiteren LED) erfreut sich immer größerer Anwendung dank ihrer besonderen Flexibilität. Die Technik fand für Voll-LED-Scheinwerfer zwar erst Ende 2006 mit der Vorstellung des neuen Audi Sportwagens R8 Einzug ins Automobilgeschäft, entwickelte sich jedoch rasch weiter bis hin zu den Matrix-Beam-Scheinwerfern, welche heute vor allem in Oberklasse Fahrzeugen angeboten werden.

Eine Leuchtdiode ist ein Halbleiterelement, welches einen PN-Übergang besitzt. Das bedeutet sie besitzt einen Materialübergang zwischen Bereichen mit entgegengesetzter Dotierung. Durch diese Anordnung werden Elektronen-Loch-Paare gebildet, die wiederum eine Raumladungszone zur Folge haben. Es entsteht eine Bandlücke (unterschiedliche Energieniveaus zwischen Leitungs- und Valenzband), welche durch das Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung wieder behoben werden kann. Das entspricht der Rekombination der Elektronen-Loch-Paare. Dabei fallen die Elektronen auf ein geringeres Energieniveau herab und geben ihre überschüssige Energie in Form von Strahlung bzw. Licht an die Umgebung ab²².

In Abbildung 4 wird der Aufbau einer Leuchtdiode gezeigt. Die Verwendung von Kunststofflinsen, welche durch die geringe Wärmeentwicklung des LED-Chips ermöglicht wird, erspart Kosten und Platz gegenüber der Glaslinsen bei den anderen Leuchtmethoden. Zudem ergeben sich hieraus neue Designmöglichkeiten, welche zum Beispiel im Falle des Matrix-Beam-Scheinwerfers (siehe unten) umgesetzt wurden.

²² (Hella KGaA Hueck & Co 2000)

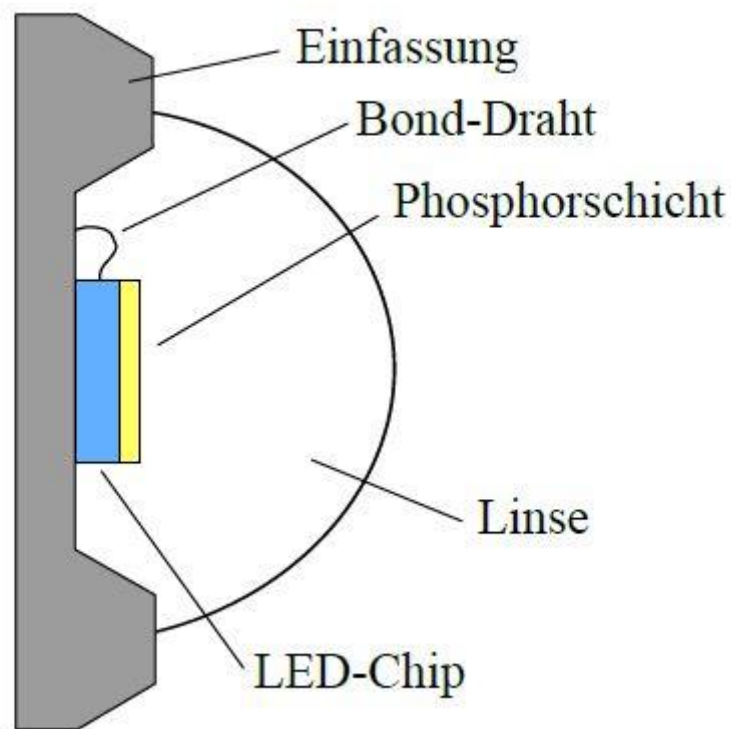


Abbildung 4: Aufbau einer weißen LED²³

Die Schwierigkeit bei Voll-LED-Scheinwerfern liegt darin, dass LEDs generell nur Licht in den Farben Rot, Gelb, Grün, Orange oder Blau aussenden. Welche Lichtfarbe abgegeben wird ist abhängig vom verwendeten Material des Halbleiters. Das heißt, dass weißes Licht erst erzeugt werden muss, beispielsweise durch das Überlagern unterschiedlich farbiger LEDs. Eine weitere Möglichkeit ist die Transformation eines Teils des Lichts blauer LEDs mithilfe eines fluoreszierenden Stoffes in gelbes Licht, welches zusammen mit dem restlichen Blauanteil weißes Licht erzeugt²⁴.

Ein großer Vorteil hingegen ist das Lichtspektrum von LEDs, da statt des breiten Spektrums nur ein schmalbandiges Licht, welches im Sichtbereich des Menschen

²³ (La Marca 2013)

²⁴ (Elektronik Kompendium o. J.)

liegt, abgegeben wird. Das bedeutet LEDs enthalten weder ultraviolette, noch infrarote Strahlung, wodurch nur eine minimale Wärmeentwicklung entsteht²⁵.

Zudem ist die Farbtemperatur des weißen LED-Lichts (5500K) sehr angenehm für das menschliche Auge, da es der des Tageslichts (6000K) ähnelt. Ein Nachteil bildet allerdings aktuell noch die Lichtausbeute von etwa 36 lm/W. Jedoch soll dieser Wert in Zukunft um ein Vielfaches gesteigert werden (über 100 lm/W). Im Labor wurde der Grundstein dafür bereits gelegt, denn es werden schon Werte über 140 lm/W erreicht²⁶.

Eine weitere Unterscheidung der Scheinwerfer ist das Lichtsystem mit dem dieser arbeitet. Hierbei unterscheidet man in Reflexions-, Projektions- und Matrix-Beam-Systeme.

Ein Reflexionssystem erzeugt die Lichtverteilung der HDG mithilfe eines speziell geformten Reflektors. Es werden momentan zwei verschiedene Systeme eingesetzt, welche sich einerseits durch einen parabolischen Reflektor und andererseits durch einen Freiform- oder Facettenreflektor auszeichnen.

Parabolische Reflektoren nutzen lediglich einen Reflektor für Abblend- und Fernlicht, wodurch sich Bauraum sparen lässt. Die HDG lässt sich dadurch allerdings nicht erzeugen, sie entsteht im Leuchtmittel selbst. Hierzu wird eine Abdeckkappe in der Form der gewünschten Lichtverteilung benutzt. Nachteilig an diesem System ist die Bauhöhe der Scheinwerfer, denn bei diesem System hängt die Reichweite von der Bauhöhe ab. Je höher der Scheinwerfer sitzt, desto weiter ist die Reichweite. Da die Scheinwerfer meist nicht hoch gebaut sind aus aerodynamischen Gründen, haben diese Systeme einen Nachteil durch die geringe Reichweite²⁷.

Bei Freiform- oder Facettenreflektoren wird die HDG durch die speziell geformten Reflektoren erzeugt. Für Abblend- und Fernlicht berechnen Lichtverteilungsprogramme jeweils die Form der Abdeckkappe, wodurch mehr Bauraum im Vergleich zu den parabolischen Varianten benötigt wird, da es zwei Reflektoren gibt. Anhand

²⁵ (Schweiz TCS 2008)

²⁶ (Hansen 2012)

²⁷ (Reif und Dietsche, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch 2011)

der Form kann jedem Punkt auf der Reflektorfläche einem Punkt der Lichtverteilung direkt zugeordnet werden. Allerdings ist eine Kombination der beiden Formen für Abblend- und Fernlicht nicht möglich. In Abbildung 5 wird ein Beispiel für die Erzeugung der HDG mit einer Freiformvariante dargestellt.

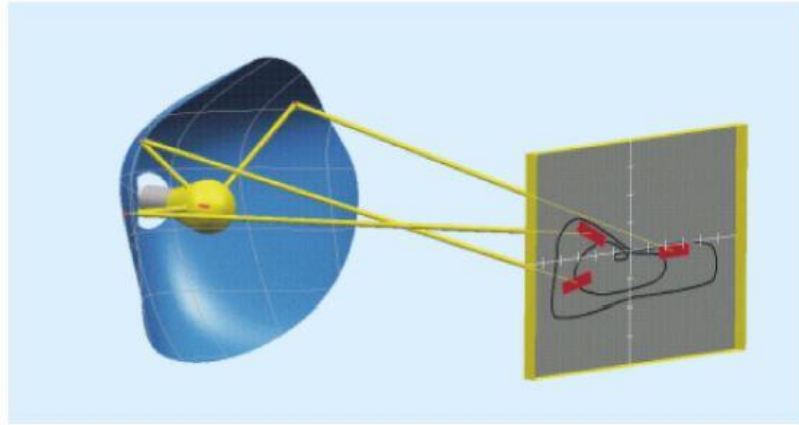


Abbildung 5: Erzeugung der HDG durch einen Freiformreflektor²⁸

Bei diesen Systemen besteht die Gefahr von Blendung durch einen unkontrollierten Lichtaustritt. Um diesen zu verhindern, ist es Pflicht das Leuchtmittel nach vorne abzuschirmen. Ein zusätzlicher Nachteil von Reflexionssystemen ist die HDG-Erkennung, v.a. mithilfe einer Kamera. Denn die Form und der Schärfegrad der HDG variieren stark über die Entfernung²⁹.

Um diese Nachteile zu umgehen werden heute vermehrt Projektionssysteme angewendet. Bei ihnen wird die Lichtverteilung über eine Linse erzeugt, indem das Licht mit einem Polyellipsoid-Reflektor über zwei Brennpunkte darauf gelenkt wird. Wichtig ist, dass der zweite Brennpunkt des Reflektors identisch mit dem der Linse ist. Dieses Schema ist in Abbildung 6 veranschaulicht.

²⁸ (La Marca 2013)

²⁹ (Gscheidle, Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik 2004)

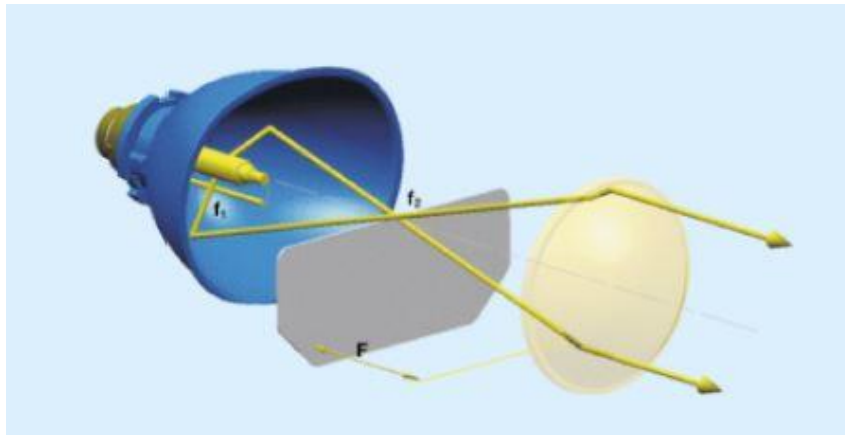


Abbildung 6: Erzeugung der HDG durch ein Projektionssystem³⁰

Die Aufgabe des Reflektors ist das Vereinen der Lichtstrahlen vom ersten Brennpunkt auf den zweiten Brennpunkt. Dazwischen ist eine Blende angebracht, welche durch Beschatten der gewünschten Bereiche die markante Form der HDG erzeugt. Dies wird auch mit beweglichen Walzen umgesetzt. Dabei wird die Lichtverteilung durch das Profil der Walzen erstellt. Diese Variante bietet den Vorteil sowohl Abblend- als auch Fernlicht durch Verstellen der Walzen erzeugen zu können.

Die Unschärfe der HDG ist bei Projektionssystemen gewollt und wird zusätzlich verstärkt. Auf der Oberfläche der Linse befindet sich eine kleine Mikrostruktur um die Lichtstrahlen zu streuen und eine Unschärfe zu erzeugen. Der Grund liegt darin, dass das menschliche Auge scharfe Kanten bzw. Kontraste als stark blendend empfindet. Wie stark der Kontrast ist hängt nicht nur von der Linse ab, sondern auch von der Endlichkeit der Schärfentiefe. Jede Lichtquelle hat bei räumlicher Ausdehnung eine gewisse Unschärfe.

Im Gegensatz zu Reflexionssystemen nimmt der Schärfegrad der HDG bei Projektionssystemen deutlich langsamer bzw. geringer ab, dadurch lässt sich die HDG auf größerer Entfernung deutlich besser erkennen. Jedoch hat dieses System nicht nur Vorteile. So bildet sich am oberen Rand der HDG ein Farbsaum. Dieser entsteht durch die unterschiedlich starke Brechung von Lichtstrahlen unterschiedlicher Wellenlänge. Die Linse zerlegt das weiße Licht in seine

³⁰ (Hella KGaA Hueck & Co 2000)

Spektralfarben und macht den Farbsaum über der realen HDG sichtbar. Dieser Abbildungsfehler ist charakteristisch für optische Linsen. Man nennt ihn auch chromatische Aberration³¹.

Um dieses Problem zu lösen, wurden Matrix-Beam-Scheinwerfersysteme (im Weiteren MxB) entwickelt. Sie bestehen aus mehreren Reihen von LEDs, die in einer Matrix-Form angeordnet sind. Die Besonderheit liegt darin, dass die einzelnen LED-Chips alle getrennt voneinander angesteuert werden können. So können gezielt bestimmte Bereiche beleuchtet, ausgeblendet oder gedimmt werden³².

Der große Vorteil liegt nun darin, dass sogar mehrere Bereiche unabhängig voneinander angesteuert werden können. Dadurch lässt sich eine maximale Lichtausbeute in den gewünschten Bereichen gewährleisten ohne andere Verkehrsteilnehmer zu blenden. Limitiert wird dieses System nur durch die Anzahl der LED-Chips pro Array. Sie bestimmen, wie genau einzelne Segmente ausgeblendet werden können. Durch diese Möglichkeiten eröffnen sich auch ganz neue Anwendungen für die Lichtfunktionen. So ist die HDG sowohl vertikal als auch horizontal verschiebbar und durch den Wegfall der Stellmotoren sogar noch toleranzfrei bei der Umverteilung des Lichts.

Ein weiterer Unterschied zu den bisherigen Systemen ergibt sich auch in der Lichtverteilung. Die HDG weist statt eines monoton ansteigenden Zwickels einen rechtwinkligen Knick auf. In Abbildung 7 ist der Unterschied der HDGs vergleichend dargestellt.

³¹ (Jähne 2012)

³² (Fleury, et al. 2012)

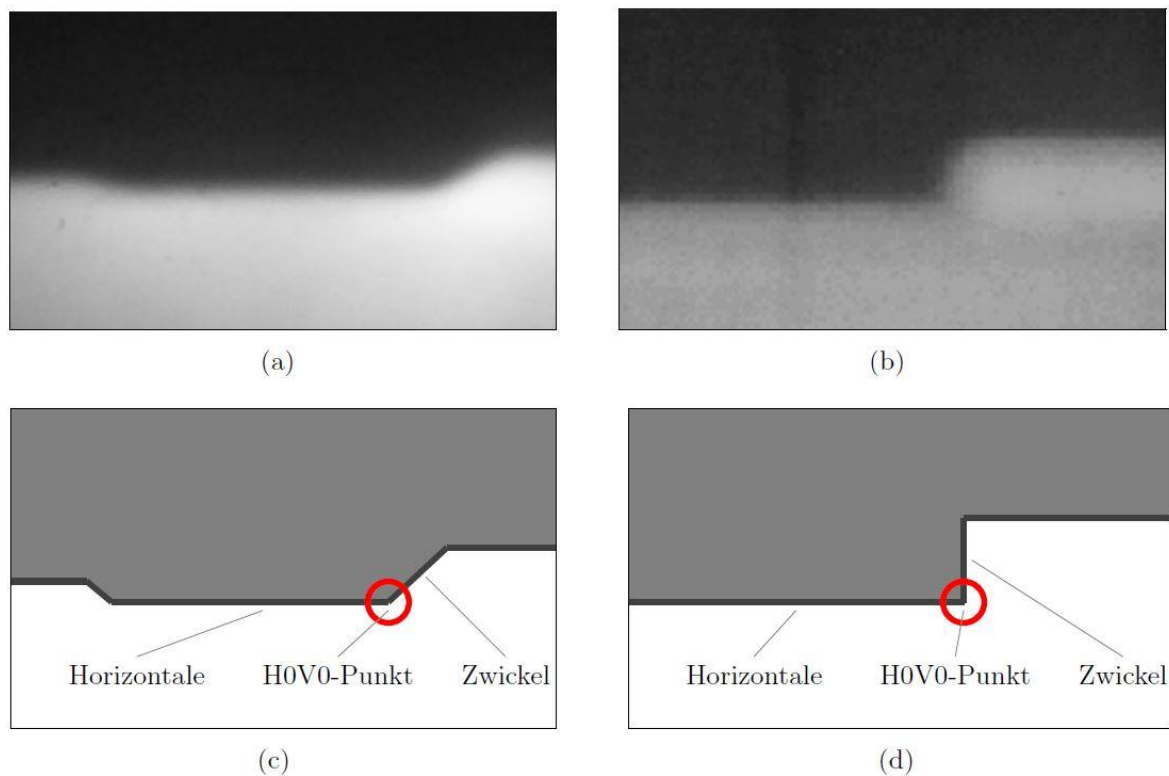


Abbildung 7: HDG des MxB-Systems (b) gegenüber bisherigen Systemen (a).
Schematisch mit Beschriftung für MxB (d) und bisheriges System (c).³³

Im Vergleich zu Projektionssystemen zeigen MxB-Scheinwerfer fast keinen Farbsaum und stellen die HDG sehr scharf dar. Eine Gemeinsamkeit bietet die Dimmbarkeit der Lichtverteilung. Im Falle des MxB-Systems ist dies über eine Pulsweitenmodulation (im folgenden PWM) umgesetzt. Hierbei wird der Scheinwerfer mit einem pulsierenden Rechteckstrom versorgt. Die Frequenz liegt hier bei über 60 Hertz, sodass sie für das menschliche Auge nicht mehr wahrnehmbar ist und die HDG dauerhaft sichtbar scheint. Die Helligkeit kann über den Duty Cycle, also den Abstand zwischen zwei Rechteckpulsen geregelt werden^{34 35}.

³³ (Strebel 2016)

³⁴ (Mikrocontroller.net, Pulsweitenmodulation o. J.)

³⁵ (Mikrocontroller.net, LED-Fading o. J.)

2.3 Lichtfunktionen

Heutzutage gibt es diverse Lichtfunktionen. So existieren neben Abblend- und Fernlicht inzwischen dynamische Systeme, die die Ausleuchtung der Fahrbahn unterstützen. Zum Beispiel die gleitende Leuchtweitenregulierung (im Weiteren GLW), welche die Hauptscheinwerfer automatisch vertikal verstellt, um die Fahrbahn bestmöglich auszuleuchten ohne die anderen Verkehrsteilnehmer, wie vorausfahrende Autos, zu blenden. Dieser Fall ist in Abbildung 8 noch einmal bildlich dargestellt.

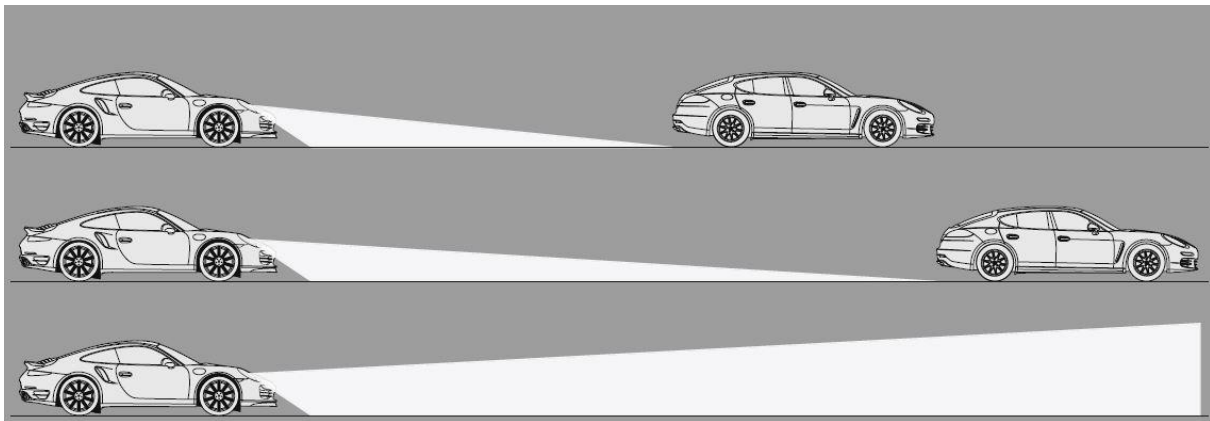


Abbildung 8: Funktionsdarstellung der gleitenden Leuchtweitenregulierung³⁶

Bei der GLW erfasst eine Kamera die Verkehrssituation und erkennt dadurch andere Verkehrsteilnehmer. Nun werden die Scheinwerfer vertikal verfahren und so die Lichtverteilung an die Situation angepasst. Die stufenlose Anpassung reicht vom normalen Fernlicht bis hin zum Abblendlicht.

Neben der GLW erhielten noch weitere Funktionen Einzug in die Automobilbranche. Durch das Walzensystem, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, können die Scheinwerfer auch horizontal verfahren werden, was die Anwendung des dynamischen Kurvenlichts ermöglicht hat. Hierbei wird die Lichtverteilung abhängig von Fahrzeuggeschwindigkeit und Einlenkwinkel bis zu 15° in die Kurve verlagert. Dadurch konnte die Sichtweite in engen Kurven um bis zu 90% erhöht werden, was

³⁶ (Saralajew 2014)

die Unfallwahrscheinlichkeit deutlich reduziert³⁷. Die Anpassung der Lichtverteilung bei einer Kurvenfahrt ist in Abbildung 9 noch einmal veranschaulicht.

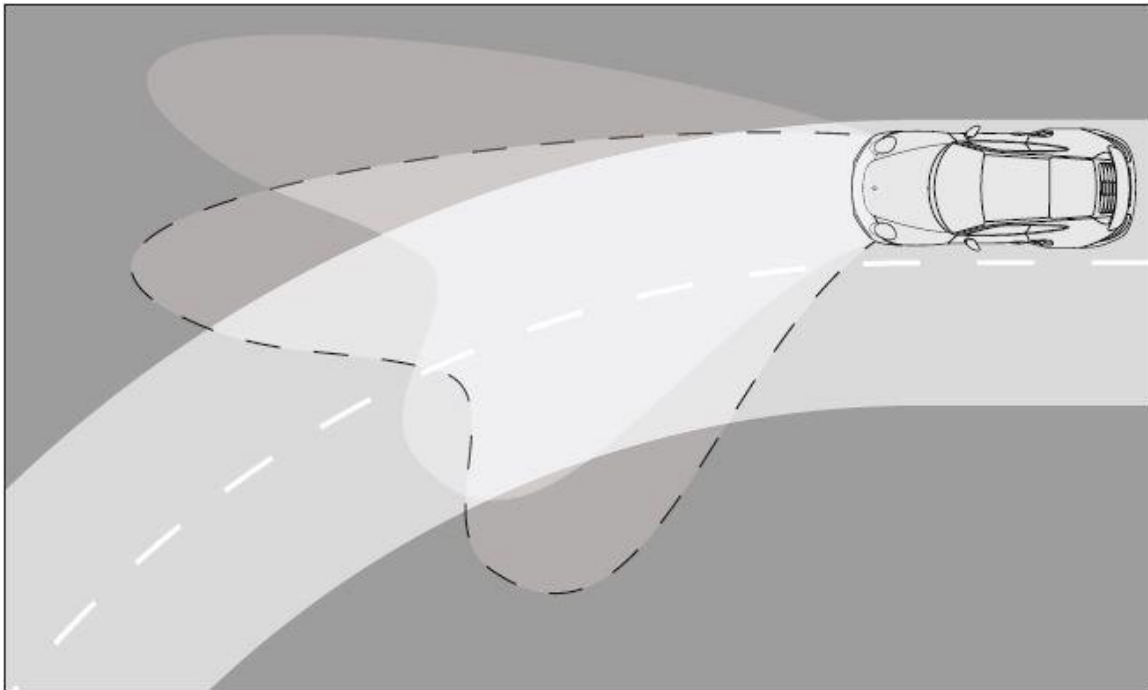


Abbildung 9:Funktionsdarstellung des adaptiven Kurvenlichts³⁸

Das Adaptive Front Lighting System (im Weiteren AFS) stellt mehrere, an die Verkehrssituation angepasste Lichtverteilungen dar. So gibt es für den Stadtverkehr, die Landstraße und die Autobahn voreingestellte Lichtbilder, die anhand der Geschwindigkeit gesteuert werden³⁹. In Abbildung 10 werden die situativen Lichtverteilungen verdeutlicht.

³⁷ (Braess und Seiffert 2011)

³⁸ (Saralajew 2014)

³⁹ (Braess und Seiffert 2011)

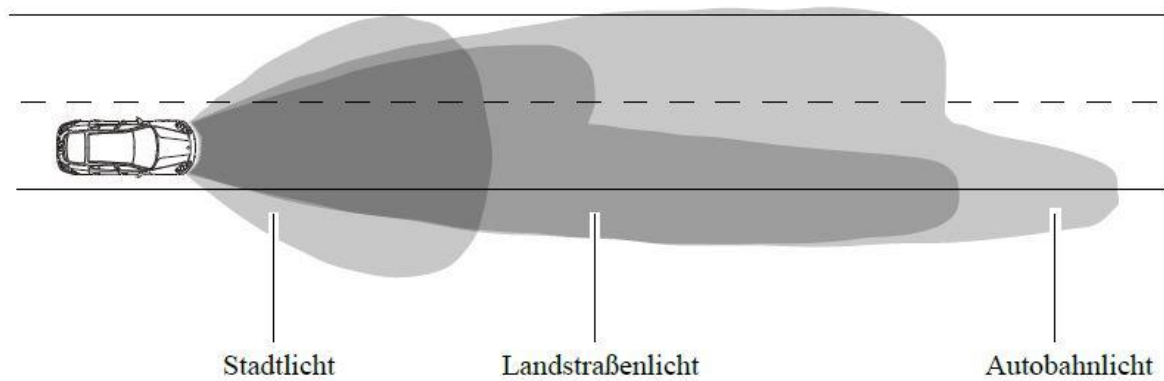


Abbildung 10: Funktionsdarstellung des AFS⁴⁰

Zu sehen ist, dass das Autobahnlicht eine erhöhte Sichtweite gegenüber den anderen Lichtverteilungen bietet. Das ist vor allem bei höheren Geschwindigkeiten sinnvoll, deshalb wird diese Lichtverteilung ab 110 km/h verwendet. Schon ab 50 km/h wird das Landstraßenlicht eingesetzt. Es entspricht der normalen Lichtverteilung von Standardscheinwerfern und bietet eine breitere Ausleuchtung, um zum Beispiel Rehe am Fahrbahnrand noch zu erkennen. Das Stadtlicht bietet eine deutlich kürzere Sichtweite, dafür allerdings auch eine breitere Lichtverteilung. Es ist so ausgelegt um Objekte am Straßenrand besser zu erkennen und an Kreuzungen einen besseren Überblick zu haben.

Mit Einführung der MxB-Systeme bieten sich jetzt auch ganz neue Möglichkeiten, wie das maskierte Dauerfernlicht (im Weiteren MDF). Hierbei wird sich die Besonderheit der MxB-Scheinwerfer zu Nutze gemacht, bei denen alle Segmente einzeln angesteuert werden können. Beim MDF werden gezielt die Bereiche der Lichtverteilung ausgeblendet, in denen sich gerade andere Fahrzeuge befinden. Ein Beispiel ist in Abbildung 11 dargestellt.

⁴⁰ (La Marca 2013)

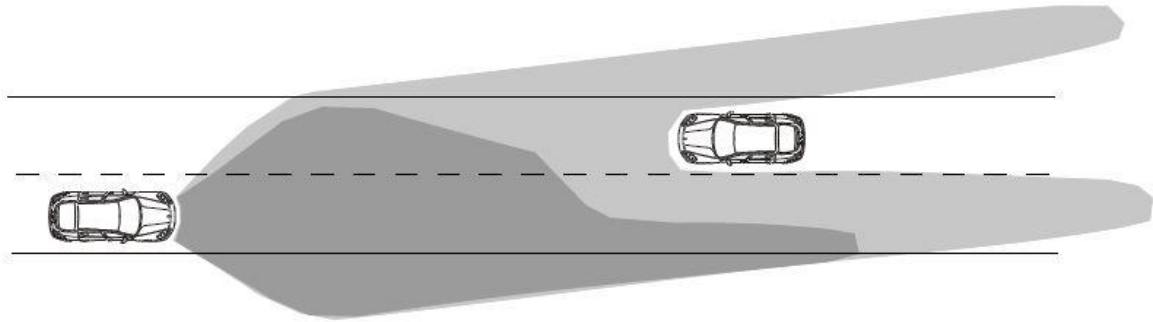


Abbildung 11: Funktionsweise des MDF⁴¹

Die Erkennung der anderen Verkehrsteilnehmer erfolgt mithilfe einer Fahrerassistenzkamera. Daraus wird eine Abblendmaske abgeleitet, welche mittels eines verschiebbaren Walzenausschnitts realisiert wird.

Bei diesem Extra ist es von größter Wichtigkeit, dass die Kamera eine sehr genaue Erkennung der anderen Fahrzeuge gewährleistet, sowie der Algorithmus die Abblendmaske daraus richtig ableitet. Bei Fehlern oder Ungenauigkeiten kann es zur Folge haben, dass das Fernlicht nicht abgeblendet wird, obwohl ein Fahrzeug entgegen kommt, und somit der Fahrer geblendet wird. Dadurch entstehen hohe Sicherheitsrisiken, weshalb Sicherheitstoleranzen vorgegeben und eingehalten werden müssen.

2.4 Scheinwerfereinstellung

Da sich die meisten Lichtfunktionen auf die Grundstellung der Scheinwerfer beziehen, wie beispielsweise das dynamische Kurvenlicht, ist eine sehr genaue und korrekte Einstellung dieser Grundstellung Pflicht.

Die Grundstellung, die dem Ziel dient, den bestmöglichen Kompromiss aus guter Fahrbahnausleuchtung und geringer Blendung zu erreichen, ist in der Richtlinie ECE-112 festgehalten. Der Lichtkegel des Scheinwerfers muss ein Gefälle von 1%

⁴¹ (La Marca 2013)

aufweisen. Üblicherweise wird diese Einstellung erreicht, indem man das Fahrzeug auf einer ebenen Fläche in 10 Metern Entfernung vor einer weißen Wand positioniert und die Lichtverteilung ausgewertet wird. Das bedeutet der H0V0-Punkt muss sich auf dem 10m entfernten Schirm um 0.1m gegenüber der x-y-Ebene, vom Scheinwerfer betrachtet, abgesenkt haben. In der x-z-Ebene soll der H0V0-Punkt am besten keine Abweichung aufweisen⁴². Das Nachstellen, falls die Vorgaben nicht erfüllt sind, erfolgt gewöhnlich über Stellschrauben am Scheinwerfer.

Neben der bereits genannten Einstellmöglichkeit können die Scheinwerfer auch mit einem Scheinwerfereinstellgerät bereits aus 50 Zentimetern Entfernung überprüft und eingestellt werden⁴³.

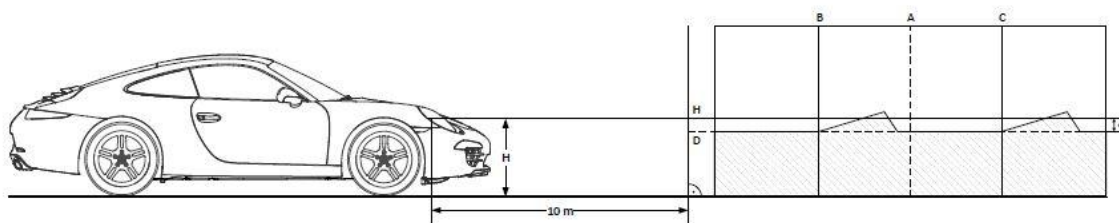


Abbildung 12: Scheinwerfereinstellung mit 10m entfernter Wand⁴⁴

Wie in Abbildung 12 zu erkennen ist, werden verschiedene Markierungen zur Orientierung auf der Wand eingezeichnet. Die Fahrzeuggängsachse wird als senkrechte Linie A gekennzeichnet, die Linien B und C werden entsprechend des Scheinwerfer-Abstands (Mitte zu Mitte) symmetrisch parallel dazu eingezeichnet. Anschließend wird die Linie H an der Wand markiert. Sie befindet sich parallel zur Standfläche in der Höhe der Scheinwerfermitte. Als letztes wird Linie e unterhalb der Linie H hinzugefügt. Diese Linie liegt auf einem Drittel der Höhe von Linie H.

Um die Scheinwerfer nun zu korrigieren, müssen sie nacheinander abgedeckt werden. Zunächst wird der rechte Scheinwerfer abgedunkelt, damit der linke Scheinwerfer mittels der Stellschrauben eingestellt werden kann. Vertikal ist er so zu verstellen, dass die HDG mit Linie D übereinstimmt. Horizontal erfolgt die Verstellung

⁴² Regelung Nr. 112 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UNECE) - Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und / oder Fernlicht, die mit Glühlampen und / oder LED-Modulen ausgerüstet sind

⁴³ (Hella KGAA Hueck & Co o. J.)

⁴⁴ (Schlangen 2015)

so, dass der H0V0-Punkt auf Linie B liegt. Für die Einstellung des rechten Scheinwerfers wird analog verfahren, wobei der H0V0-Punkt diesmal mit der Linie C einen Schnittpunkt haben muss⁴⁵.

Aufgrund von Platzmangel und Zeitgründen erweist sich dieses System allerdings nicht als rentabel. Daher wird meist die zweite Methode, welche logistisch viel einfacher umzusetzen ist, verwendet. Sie nutzt für das Einstellen der Scheinwerfer ein spezielles Hilfsgerät, welches in Abbildung 13 gezeigt wird. Dieses Scheinwerfereinstellgerät nutzt eine Optik, die es ermöglicht den Abstand der Scheinwerfer zum Schirm von 10m auf 50cm zu reduzieren. Allerdings birgt das auch Risiken, da bei diesem Verfahren sehr viel Wert auf einen ebenen Boden gelegt werden muss, da durch die Verkürzung der Strecke ein möglicher Fehler sehr viel größer ausfällt.



Abbildung 13: Scheinwerfereinstellgerät der Firma Hella⁴⁶

⁴⁵ (Hella KGAA Hueck & Co o. J.)

⁴⁶ (Strebel 2016)

Das Scheinwerfereinstellgerät wird in einem Abstand zwischen 30cm und 70cm und einer Höhe von 3cm vom Scheinwerfer entfernt aufgestellt. Es wird so ausgerichtet, dass die Längsachsen von Testgerät und Fahrzeug übereinstimmen. Die Einstellung erfolgt auf dem Schirm des Geräts anschließend analog zum Verfahren mit der 10m entfernten Wand⁴⁷.

Das zweite Verfahren bietet zwar logistische Vorteile kann allerdings sehr ungenau sein. Zum einen durch einen unebenen Untergrund und zum anderen durch menschliche Fehler. Daher wird zurzeit an einem System zur automatischen Onlinekalibrierung der Scheinwerfer mittels Fahrerassistenzkamera geforscht. Der Vorteil dieses Systems liegt in der Genauigkeit und vor allem auch in der Aktualität. So würden die Scheinwerfer nicht mehr nur bei jeder Hauptuntersuchung überprüft werden, sondern befänden sich in einem dauerhaften Überprüfungs- und Korrekturzustand.

2.5 V-Modell

Bei der Softwareentwicklung der Porsche Softwaremodule kommt die sogenannte modellbasierte Softwareentwicklung zum Einsatz. Die Software wird anhand eines Modellierungstools in „Matlab Simulink“ erstellt. Die Vorgehensweise orientiert sich hierbei am V-Modell, welches nachfolgend in den einzelnen Schritten erläutert wird.

Am Anfang eines Entwicklungsprozesses wird ein Modell erstellt, indem wichtige Zusammenhänge dargestellt werden. Heutzutage werden oft Simulationen dafür verwendet, welche ersten Tests unterzogen werden. Gibt es allerdings nicht die Möglichkeit Simulationsmodelle zu verwenden, können theoretische Modelle erstellt und getestet werden. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Versuche erfolgt eine Übertragung auf leistungsfähige Simulationshardware. Das bedeutet, dass das reale System mit dem theoretischen Simulationsalgorithmus betrieben werden kann.

⁴⁷ (Hella KGAA Hueck & Co o. J.)

Dieses Schema nennt sich auch Software in the Loop und wird bei verschiedenen Vorgehensmodellen in der Softwareentwicklung angewandt⁴⁸.

Ein häufig verwendetes Vorgehensmodell ist das V-Modell, welches als Erweiterung für das Wasserfallmodell zu sehen ist. Es bietet viel Flexibilität und kann bei Softwareprojekten jeder Größe angewendet werden. Den Namen hat das Modell von seinem V-förmigen Aufbau der Prozessschritte. Dieser ist in Abbildung 14 zu sehen.

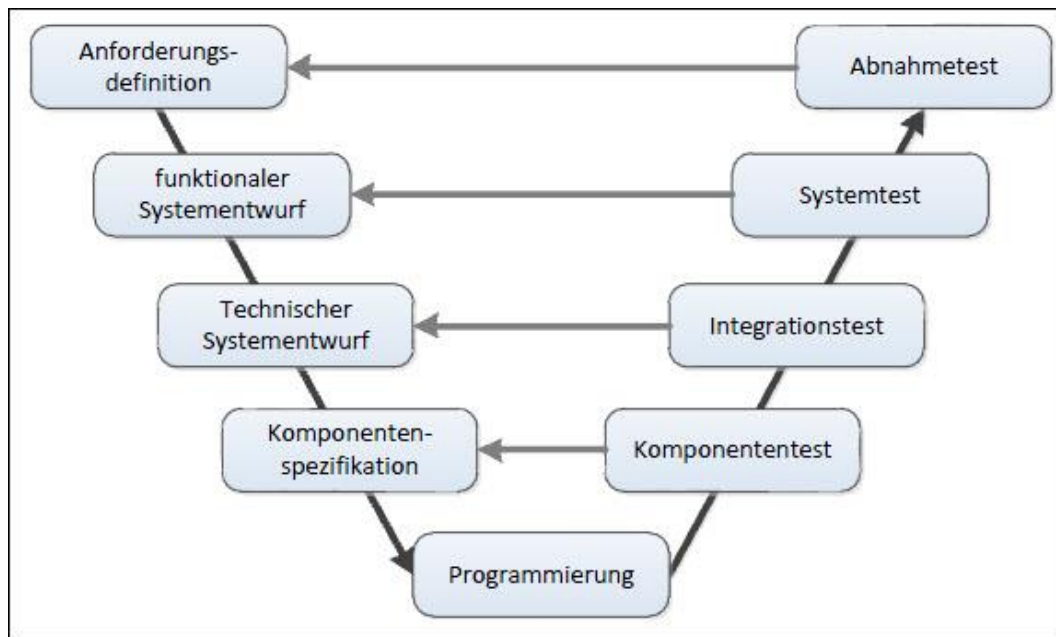


Abbildung 14: Schematische Darstellung des V-Modells⁴⁹

Grundprinzip des V-Modells ist die Beziehung zwischen den Anforderungen und dem Testen⁵⁰. Die Basis des Modells bilden die Anforderungen und deren Umsetzung, welche sich in der Akzeptanz der Nutzer widerspiegelt. Es untergliedert sich in einzelne Stationen, wodurch der Fokus des Entwicklungsprozesses auf spezielle Teile der einzelnen Stufen gelegt werden kann. Falls Anforderungslücken oder Fehler auftreten, bietet dieses Modell die Möglichkeit schnell den geeigneten Ansatzpunkt für Änderungen zu finden⁵¹.

⁴⁸ (RWTH Aachen o. J.)

⁴⁹ (EVAS Softwarelösungen o. J.)

⁵⁰ (Hull, Jackson und Dick 2005)

⁵¹ (Hull, Jackson und Dick 2005)

Zu Beginn eines Projekts müssen die Anforderungen definiert werden, um eine Basis für die Bedürfnisse der Anwender zu schaffen. Durchgeführt wird dies vom Bauteilverantwortlichen, dem Funktionsverantwortlichen und dem Applikationsingenieur.

An nächster Stelle folgt der funktionale Systementwurf. Er legt fest, welche Funktionen die Software beinhalten und wie sie sich in der Interaktion mit dem Nutzer verhalten soll. Beim technischen Systementwurf findet eine Bewertung statt, welche sich in eine Kosten-Nutzen-Analyse sowie der Priorisierung der Funktionen untergliedert. Anschließend werden die einzelnen Komponenten spezifiziert. Ab hier zeigt sich der Vorteil des V-Modells, da einige Komponententests bereits parallel zur Komponentenspezifikation bzw. -implementierung erfolgen können⁵². Die unterste Stufe bildet die Programmierung und Modulimplementation. Dazugehörig sind die Modultests, welche die kleinsten Einheiten der Software, sogenannte Programmmodule, überprüft. Diese werden zu Komponenten zusammengefasst und wiederum auf Fehlerfreiheit getestet. Anschließend integriert man die einzelnen Komponenten und verknüpft sie miteinander, um im Integrationstest das Zusammenspiel zu überprüfen⁵³. Der nächste Schritt ist der Systemtest, welcher die Software auf Funktionalität und logische Abfolge überprüft. Das bedeutet, dass die Software nicht nur funktioniert, also frei von Syntaxfehlern o.ä. ist, sondern auch frei von Logikfehlern ist. Zum Schluss werden die fachlichen Anforderungen mit den Ergebnissen aus den Abnahmetests verglichen, um weitere Anforderungen aufzustellen, bestehende abzuändern oder die Software freizugeben⁵⁴.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das V-Modell viel Wert auf das Testen der Software legt. Die Stärke dieses Modells liegt zudem in der portionsweisen Entwicklung der Software. So können einzelne Komponenten schon frühzeitig getestet und korrigiert werden oder ganze Funktionen aufgeschoben werden und bei Bedarf nach Ende der erfolgreichen Abschlusstests mit einem erneuten Durchlaufen des Modells hinzugefügt werden.

⁵² (Brandt-Pook und Kollmeier 2008)

⁵³ (Brandt-Pook und Kollmeier 2008)

⁵⁴ (Brandt-Pook und Kollmeier 2008)

2.6 Simulink Test

Auf Basis des im vorherigen Kapitel vorgestellten Modells werden Testfälle für Software erstellt. Um diese Prozesse zu vereinfachen, haben sich einige Firmen ebenfalls diesem Thema angenommen und spezielle Testtools entwickelt. Im Folgenden soll das Erweiterungstool „Simulink-Test“ zur Evaluierung von Testfällen für Matlab/Simulink-Modelle vorgestellt werden. Zu Beginn ein kleiner funktioneller Überblick.

2.6.1 Überblick

Die Erweiterung bietet Werkzeuge zur Erstellung, Verwaltung und Durchführung von systematischen, simulativen Tests. Dieses Tool beinhaltet einen Test-Manager, der sich vor allem die Vereinfachung der Verwaltung und Ausführung der Testfälle als Ziel gesetzt hat. Zudem stellt Simulink-Test Optionen für funktionelles, auf eine Ausgangsbasis bezogenes (Baseline), auf Gleichwertigkeit überprüfendes (Equivalence) oder für Back-To-Back Testen, zur Nutzung bereit. Weiter kann man Kriterien zum erfolgreichen Bestehen der Tests anlegen, was zum Beispiel das Angeben absoluter oder relativer Toleranzen oder das Festlegen von zeitlichen Bedingungen umfasst. Eine weitere Funktion ist das Ausführen von m-Skripten vor und/oder nach einzelnen Testfällen oder einer ganzen Testsektion⁵⁵.

Über den Testmanager erhält man die Möglichkeit Testfälle und deren Ergebnisse zu speichern oder einen Bericht daraus zu erstellen. Fehlgeschlagene Tests können einfach wiederholt und das getestete System oder die Komponente können jederzeit gedebuggt werden⁵⁶. Darüber hinaus wurden ältere Mathworks-Tools, wie „Validation and Verification“ integriert, sodass auch hier die Möglichkeit eingeräumt wurde die Systemabdeckung zu überprüfen, um beispielsweise ASIL-Standards⁵⁷ einzuhalten.

⁵⁵ (Mathworks o. J. a)

⁵⁶ (Mathworks o. J. a)

⁵⁷ (Hillenbrand 2012)

2.6.2 Erstellen von Testumgebungen

Im Falle des Softwaremoduls AHS wurden die Testumgebungen auf dem Prinzip des Blackbox Testens erstellt. Dabei gibt es ein Modell, den Prüfling, welches nicht verändert wird. In einer Ebene darüber wird eine Testumgebung erstellt, die diesen Prüfling enthält. An dieser können Veränderungen durchgeführt werden, um den Prüfling, der innerlich unbekannt wie eine Blackbox behandelt wird, in verschiedenen Situationen auf Fehlerfreiheit zu prüfen. Dieses Prinzip ist in Abbildung 15 schemenhaft dargestellt.

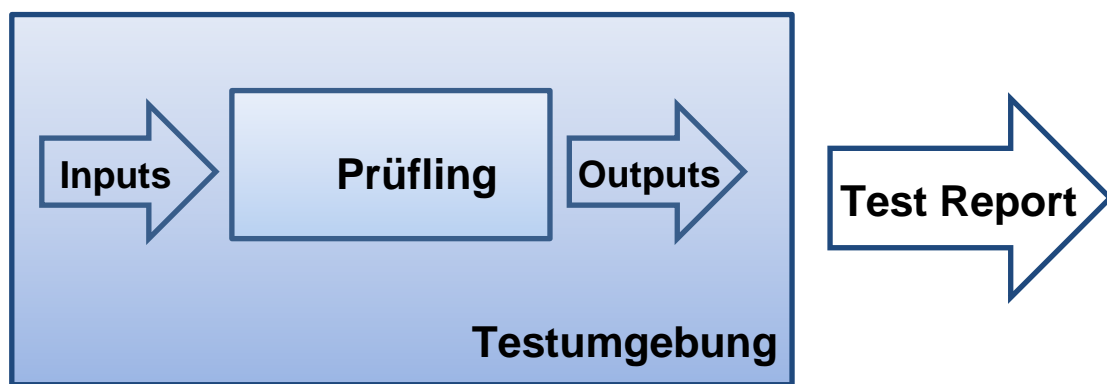


Abbildung 15: Schema Blackbox-Testing

Simulink-Test beinhaltet eine integrierte Simulationstestumgebung mit der Modelle und Komponenten unter der Verwendung von Testfällen geprüft und bewertet werden können. Um eine Testumgebung zu erstellen, wird einfach die zu testende Komponente oder das zu testende Modell ausgewählt und der Kabelbaum erzeugt. Hierbei bietet Mathworks verschiedene Möglichkeiten an. Zum einen können alle bekannten Simulink Bibliotheksblöcke eingefügt werden⁵⁸. Weiter wurde eine neue Variante ergänzt, der Testsequenz-Block. Dieser stellt die Verarbeitung von zustandsbasierender Logik als Eingang zur Verfügung. Alle Möglichkeiten für anschließbare Komponenten aus der Erstellung eines Testframes sind ebenfalls umsetzbar. Subsysteme können in der Testumgebung eigenständig entwickelt, angepasst, simuliert und gedebuggt werden. In Abbildung 16 ist beispielhaft ein Modell mit zugehöriger Testumgebung dargestellt.

⁵⁸ (Mathworks o. J. b)

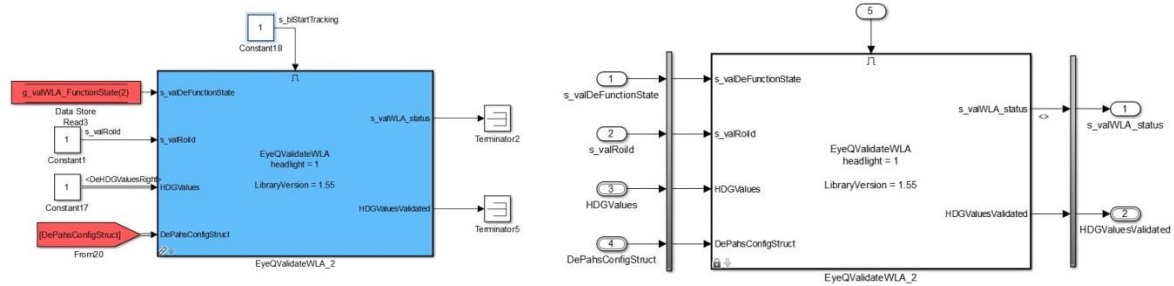


Abbildung 16: Beispielkomponente (links) und zugehörige Testumgebung (rechts)

Für jede Komponente und jedes System können mehrere Testumgebungen erstellt werden und somit verschiedene Tests durchgeführt werden. Jede Umgebung wird mit dem eigentlichen Modell gespeichert und synchronisiert. Das heißt, dass Änderungen am Testmodell im eigentlichen Modell mitgeändert werden und umgekehrt. Die Konfigurationseinstellungen können allerdings unabhängig vom richtigen System parametrisiert werden. Dabei stehen alle Auswahlmöglichkeiten der normalen Modelle zur Verfügung⁵⁹.

2.6.3 Erstellen und Ausführen von Testfolgen

Mehrere Testumgebungen können im Test-Manager verwaltet und zu Testfolgen zusammengefügt werden. Zunächst muss ein Testprojekt angelegt und gespeichert werden. Anschließend können im Testprojekt die Testfolgen als Unterverzeichnisse angelegt werden. In diesem können wiederum mehrere Testfälle gespeichert werden. Bei der Wahl der Testfälle werden drei Variationen angeboten. Diese sind in Abbildung 17 dargestellt.

⁵⁹ (Mathworks o. J. b)

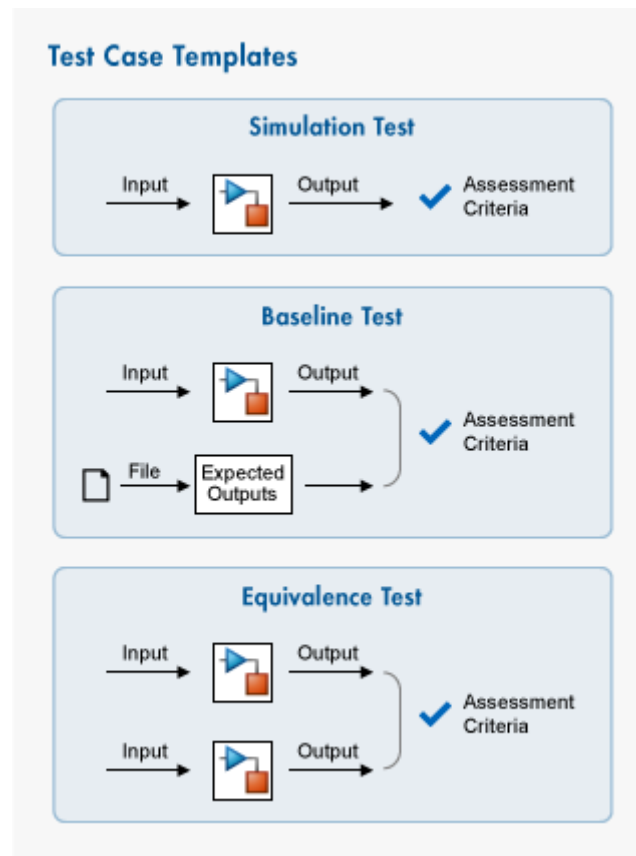


Abbildung 17: Varianten der Testfälle⁶⁰

Bei der ersten Variante, dem Simulationstest, werden Eingangswerte am Modell oder der Komponente angelegt und die Ausgangswerte betrachtet. Anhand dieser kann ermittelt werden, wo Fehler aufgetreten sind. Hat man bereits konkrete Vorstellungen, welche Ausgangswerte bei der Simulation ausgegeben werden sollen, kann man eine Datei mit den gewünschten Ausgangswerten anlegen und die Simulation dagegen laufen lassen. Dieser Test nennt sich Baseline-Test. Dabei wird anhand der Toleranzen ersichtlich, ob der Test bestanden wurde. Hierbei ist es beispielsweise möglich, eine vorhandene Simulation, beispielsweise von einem früheren Softwarestand, zu speichern und die Simulationsergebnisse der neuen Software damit zu vergleichen. Beim letzten Test, dem Equivalence-Test, überprüft man die Gleichheit zweier verschiedener Modelle. Daneben sind die Kriterien wieder erfüllt, wenn sich die beobachteten Ausgangswerte innerhalb der Toleranz im Vergleich zum anderen Modell befinden. Welche Ausgangswerte angezeigt und

⁶⁰ (Mathworks o. J. b)

überprüft werden, kann der Anwender selbst bestimmen. Wie in Abbildung 18 unter Callbacks zu sehen, kann man vor Durchführen einer Testfolge oder eines Testfalls m-Skripte ausführen, um zum Beispiel Variablen für den gewissen Testfall anzupassen.

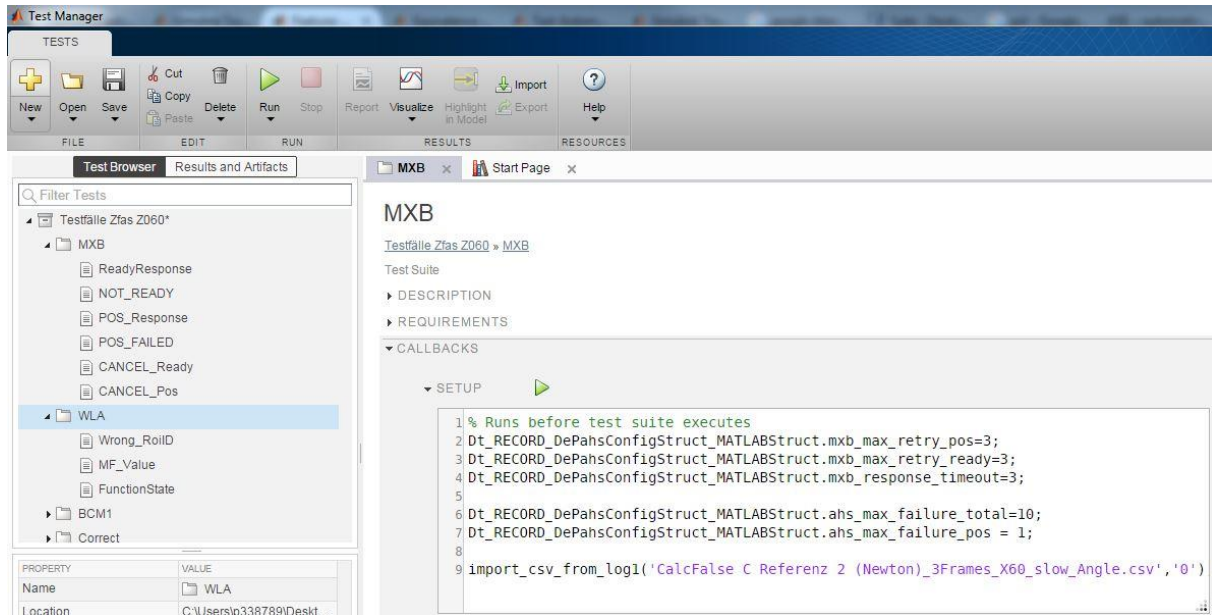


Abbildung 18: Verzeichnisstruktur Test-Manager

Außerdem ist auf der linken Seite eine Darstellung der Verzeichnisstruktur des Test-Managers zu sehen. Der Gedanke hinter der Struktur ist das benutzerfreundliche Angebot selbst entscheiden zu können, welche Tests oder Testfolgen ausgeführt werden sollen.

Nach Ausführen eines Tests oder einer Testfolge wechselt das Fenster zur Ergebnisdarstellung. Dabei bieten sich wieder verschiedene Anzeigedarstellungen an. In Abbildung 19 ist die Darstellung für einen Baseline-Test hervorgehoben.

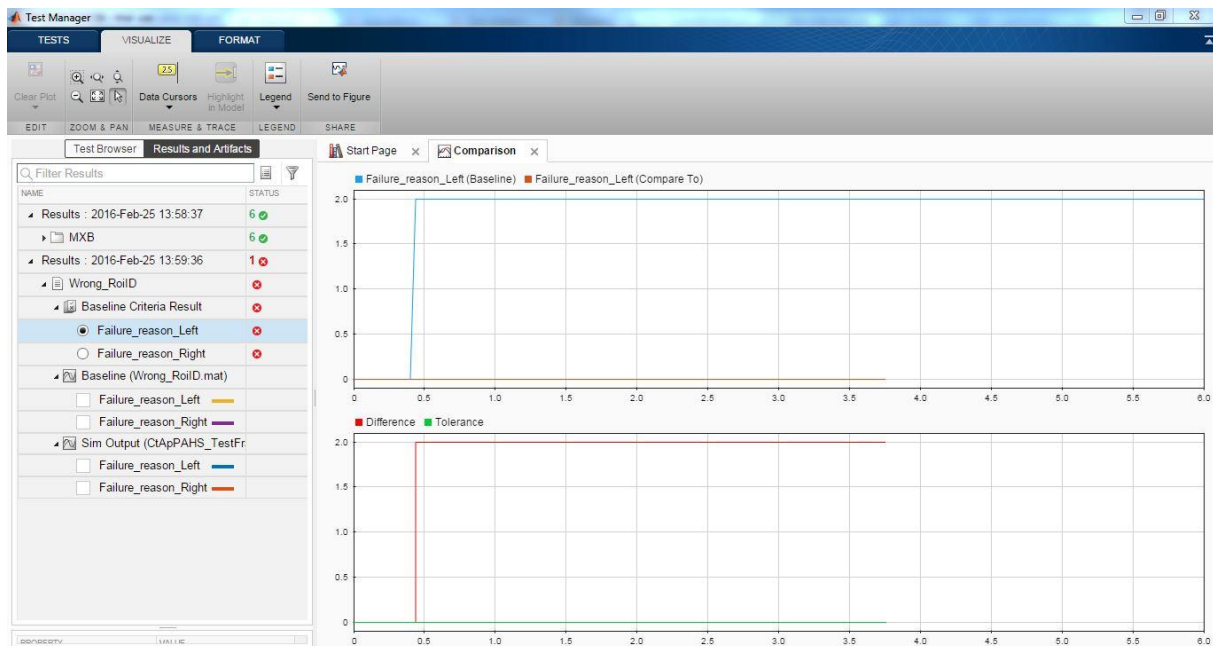


Abbildung 19: Ergebnisdarstellung Test-Manager

Es wurde eine Testfolge erfolgreich durchlaufen, was an der grünen Sechs mit dem Haken daneben, zu erkennen ist. Das bedeutet, dass sich Simulationsausgabe und die aus einer Datei vorgegebenen Werte innerhalb der Toleranzen befinden.

Als Nächstes wurde ein einzelner Testfall durchlaufen, der nicht bestanden wurde. Zu erkennen an der roten Eins mit dem Kreuz daneben. Deshalb werden die Ausgangswerte hier noch einmal genauer betrachtet. Dafür gibt es multiple Möglichkeiten. Unter dem Reiter „Baseline Criteria Result“ kann ein Vergleichsfenster angezeigt werden. Wie im Bild zu sehen, werden einmal der erwartete Signalverlauf und der simulierte Signalverlauf gegenüber gestellt. Im unteren Fenster werden zudem die Differenz der beiden Verläufe, sowie die vorgegebene Toleranz, in diesem Fall Null, dargestellt. Unter den beiden weiteren Reitern lassen sich die Signalverläufe der Baseline oder der Simulation alleine anzeigen.

Abschließend können die dargestellten Ergebnisse in einem Bericht gespeichert werden, um diese im Team zu besprechen, um Fehler wie in Abbildung 19 zu

vermeiden. Der Bericht enthält zu jedem Test eine Zusammenfassung, aber auch Details, wie die Signalverläufe und Toleranzen des Tests⁶¹.

⁶¹ (Mathworks o. J. b)

3 Analyse zur Anwendung von Simulink-Test

Nach der Beschreibung des Tools soll nun erörtert werden, ob die gewünschten Anforderungen durch das Tool erfüllt werden können und zufriedenstellend umgesetzt wurden. Es werden Aspekte zu den Kosten, der Benutzerfreundlichkeit, den Einstellmöglichkeiten und der Visualisierung betrachtet. Anhand dieser soll im nachfolgenden Kapitel bewertet werden, ob die Simulink-Erweiterung in weiteren Projekten Anwendung finden kann und ob sich demnach die Anschaffung des Tools lohnt.

3.1 Kostenaspekt

Zunächst müssen die zusätzlichen Kosten betrachtet werden, die durch Nutzung eines weiteren Tools entstehen. Der Kostenaspekt zur Anschaffung einer Lizenz beträgt ca. 3000€ pro Einzelplatzlizenz. Jedoch ergibt sich die Möglichkeit die Anzahl der Einzelplatzlizenzen für TPT, das bisher für Testanwendungen eingesetzte Tool, durch einen Umstieg zu reduzieren. Die Kosten einer TPT-Einzelplatzlizenz liegen bei ca. 6000€. Dadurch würde sich eine jährliche Einsparung von bis zu 3000€ pro Nutzer ergeben. Rechnet man dies auf ein Team von 5 – 6 Personen hoch, bieten sich Einsparmöglichkeiten von bis zu 18000€, was die Kosten um bis zu 50% senken kann. Allerdings werden in dieser Hochrechnung der Zeitaufwand und die Kosten für den Umstieg auf Simulink-Test nicht eingerechnet, wobei der spätere Verwaltungsaufwand beim neuen Tool verringert werden kann.

3.2 Benutzerfreundlichkeit und Einstellmöglichkeiten

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Softwareentwicklung ist die Benutzerfreundlichkeit. Sie sagt aus, wie leicht es ist ein neues Tool zu nutzen und gibt dadurch auch indirekt Aussage über die Qualität der Software, die produziert wird. Denn nur wenn man mit einem Tool gut umgehen kann, kann man auch gute Software entwickeln. Dies zeigt sich vor allem beim Erstellen und Einstellen der Testmodelle.

Bei diesem Aspekt muss vor allem ein Kompromiss zwischen Bedienbarkeit und Anforderungen gefunden werden. So eignet sich ein Tool mit wenigen Einstellmöglichkeiten, aber einfacher Anwendung, viel besser für ein Kleinprojekt. Für größere Projekte wäre ein solches Tool hingegen eher die schlechtere Wahl.

Meiner Meinung nach fällt Simulink-Test ein bisschen in eine Zwischenkategorie. Es bietet nicht unendlich viele Einstellmöglichkeiten, aber auch nicht gerade wenig. Mit der Menge an Funktionen und Einstellungen eignet es sich ideal für Kleinprojekte, da es sehr übersichtlich gestaltet ist und sich leicht bedienen lässt. Wenn man sich länger damit beschäftigt, bietet es allerdings auch einige komplexere Einstellmöglichkeiten, sodass das Tool auch durchaus in Großprojekten zum Einsatz kommen kann. Vor allem das Erstellen der Testumgebungen für Modelle (siehe Kapitel 2.6.2) ist mit diesem Tool sehr einfach gestaltet. So kann selbst ein Laie mit Grundkenntnissen in Matlab/Simulink in kürzester Zeit das Erweiterungstool soweit bedienen, dass er einzelne Testumgebungen erstellen und ausführen kann. Ein weiterer Vorteil in der Bedienfreundlichkeit bietet die übersichtliche Darstellung der Testfälle im Testmanager. So lassen sich diverse Testumgebungen erstellen und verwalten ohne den Überblick zu verlieren. Der Pluspunkt liegt hierbei vor allem darin, dass alle Testumgebungen mit dem eigentlichen Modell synchronisiert sind, sodass Änderungen am Modell nicht bei jedem Test einzeln geändert werden müssen. Zudem werden die Testumgebungen mit dem Hauptmodell abgespeichert, wodurch keine unnötig vielen Dateien entstehen, was den Verwaltungsaufwand gering hält.

3.3 Darstellung der Testdaten

Ein weiterer nicht zu vergessender Punkt ist die Darstellung der Testdaten. Mathworks setzt in ihrem Tool Simulink-Test dabei auf verschiedene Darstellungsmethoden (siehe Kapitel 2.6.3). Durch das Anzeigen der Werteverläufe über die Zeit lässt sich gezielt herausfinden, ab wann die Werte der Simulation von den vorgegebenen Zielwerten abweichen. An dieser Stelle kommt ein großer Vorteil von Simulink-Test gegenüber anderer Tools zum Vorschein. Da es ein integriertes Mathworks-Tool ist, gibt es die Möglichkeit per Single Step zu debuggen. Andere Programme haben damit oft Probleme. Durch den Single Step kann selbst bei großen Projekten die Fehlerquelle gezielt und schnell ausfindig gemacht und behoben bzw. modifiziert werden. Einen weiteren Nachteil von Simulink-Test gegenüber anderen Werkzeugen, abgesehen von der Anzahl an Einstellmöglichkeiten, ist das Fehlen einer zeitabhängigen Toleranz. Es können zwar relative und absolute Toleranzen für die Ausgangswerte angegeben werden, wenn diese sich allerdings zeitlich nach hinten verschieben, beispielsweise durch das Hinzufügen weiterer Funktionen, werden die Tests meist als fehlerhaft markiert, da die Werte außerhalb der Toleranzen liegen.

Für das Arbeiten im Team hat Mathworks allerdings noch eine zusätzliche hilfreiche Funktion bereitgestellt. Es ist möglich, sich mit wenigen Klicks, direkt aus den Testergebnissen Berichte in diversen Dateiformaten erstellen zu lassen. Diese beinhalten auch die Signalverläufe und können genutzt werden, um Messdaten zu teilen, zu präsentieren und ins kleinste Detail zu diskutieren.

3.4 Auswertung

Simulink-Test bietet einige tolle Funktionen und Möglichkeiten, um das Testen während des Entwicklungsprozesses zu erleichtern. Allerdings muss bei jedem Projekt mit einer Kosten-Nutzen-Analyse eingeschätzt werden, ob eine Lizenz erworben werden soll. Hierbei sieht man vor allem aufgrund der einfachen

Bedienung im Bereich kleinerer Projekte Anwendungsmöglichkeiten, um den Verwaltungsaufwand und die Übersichtlichkeit zu verbessern. Allgemein ist es jedoch schwer eine klare Aussage zur Anwendung in kommenden Projekten zu treffen, da je nach Anforderungen das passende Tool ausgewählt werden muss. In den nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse noch einmal übersichtlich in den Kategorien Wirtschaftlichkeit, Benutzerfreundlichkeit und Technik als Entscheidungshilfe dargestellt.

Anforderung	Bewertung	Kommentar
Kosten < 10.000€	+ +	3000€ pro Lizenz
geringer Umstiegsaufwand	-	Prozessumstellung + Migrierung der User-Libraries

Tabelle 1:Wirtschaftliche Auswertung der Untersuchungen

Anforderung	Bewertung	Kommentar
kurze Einarbeitungszeit	+	je nach Komplexität
viele Einstellmöglichkeiten	0	ausreichend
Übersichtliche Gestaltung	+ +	Test-Manager
leicht verständlich	+	Grundkenntnisse in Matlab/Simulink zur Erstnutzung ausreichend
gute Wartbarkeit	+	Testumgebungen mit im Modell abgespeichert
geringer Verwaltungsaufwand	+	wenig große Dateien anstatt vieler kleiner
gute Ergebnisdarstellung	0	Werteverlauf über die Zeit

Tabelle 2: Auswertung der Ergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit

Anforderung	Bewertung	Kommentar
Debugging	+ +	Single Step möglich
Time Tolerance	- -	nicht vorhanden (zeitliche Verschiebung des Signalverlaufs)
Test Sequence Block	-	in vollem Umfang erst ab Matlab 2016a (Testablaufbeschreibung)
Unterstützung von Function Calls	- -	erst ab Matlab 2016a
Unterstützung der Model Coverage	-	erst ab Matlab 2016a
einfache Verteilung der Ergebnisse	+	Berichterstellung mit allen wichtigen Angaben auf Knopfdruck

Tabelle 3: Technische Auswertung der Untersuchungen

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Recherchen haben ergeben, dass Matlab 2015b mit der Erweiterung Simulink-Test soweit entwickelt wurde, dass es in der Serienentwicklung eingesetzt werden kann. Es bietet eine Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten, überfordert den Nutzer damit allerdings auch nicht, sodass selbst mit geringer Einarbeitungszeit gute Ergebnisse in der Softwaretestung erzielt werden können.

Aufgrund der Tatsache, dass Simulink-Test im Vergleich zu anderen Tools, wie etwa TPT, ähnliche Anwendungsmöglichkeiten bietet, muss für jedes Projekt ein Kompromiss zwischen Einstellbarkeit und Bedienbarkeit gefunden werden. Auf Basis dieses Kompromisses kann anschließend das passende Tool ausgewählt werden. Hierbei ist es vom Nutzer abhängig, ob mehr Einstellungen gewünscht sind oder weniger Kenntnisse vorhanden sind und eine leichtere, schnellere Bedienung erreicht werden soll.

Sollte Mathworks in zukünftigen Matlab-Versionen weitere Funktionen, wie beispielweise eine zeitabhängige Toleranzeinstellung, in Simulink-Test einführen, wäre auch ein kompletter Umstieg denkbar, da es viele Verwaltungs- und Anwendungsvorteile bietet. Ein Problem liegt allerdings darin, dass zunächst Schulungen notwendig sind, um das Wissen über das Tool zu erweitern und zu verbreiten, damit im Team gut damit gearbeitet werden kann. Des Weiteren müssen alle Prozesse umgestellt und alle vorhandenen User-Libraries migriert werden.

Sinnvoll erscheint mir die Entwicklung dieses Tools weiter zu beobachten und zu untersuchen, um sich die Möglichkeit für einen Umstieg offen zu halten und das Wissen in der Softwareentwicklung zu steigern.

5 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium der Justiz. *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung. §29 Untersuchung der Kraftfahrzeuge und Anhänger: StVZO*. 2012.
- ADAC. *Lichttest 2012: Jedes zweite Auto hat Mängel an der Beleuchtung*. 2012.
https://www.adac.de/infotestrat/ratgeber-verkehr/sicher- unterwegs/lichttest_2012/default.aspx?ComponentId=104451&SourcePageld=49490 (Zugriff am 14. 01 2016).
- Braess, Hans-Hermann, und Ulrich Seiffert. *Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik*. Vieweg + Teubner, 2011.
- Brandt-Pook, Hans, und Rainer Kollmeier. *Softwareentwicklung kompakt und verständlich*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2008.
- Elektronik Kompendium. *LED - Leuchtdioden*. o. J. <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0201111.htm> (Zugriff am 24. 02 2016).
- EVAS Softwarelösungen. *v-modell*. o. J. <https://www.evas.de/leistung/von-der-idee-zur-software/v-modell/> (Zugriff am 26. 02 2016).
- Fleury, Benoist, Laurent Evrard, Jean-Paul Ravier, und Benoît Reiss. „Erweiterte Funktionalität Blendfreier LED-Fernlichtsysteme.“ *Automobiltechnische Zeitschrift*, 2012: 510 - 517.
- Gscheidle, Rolf. *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. Bd. 28. Europa Lehrmittel, 2004.
- . *Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik*. Bd. 28. Europa Lehrmittel, 2004.
- Hansen, Dirk. „Messung und Simulation polychromatischer Strahlendaten.“ *Automobiltechnische Zeitschrift*, 2012: 868 - 873.
- Hella KGaA Hueck & Co. „Design + Development Review 2000.“ 2000.
- Hella KGAA Hueck & Co. *Scheinwerfersysteme - Richtig Einstellen leicht gemacht*. o. J. <http://www.iam-net.eu/cms/images/IAM->

NET_Download/Hella/broschre_scheinwerfereinstellung.pdf (Zugriff am 24. 02 2016).

Hillenbrand, Martin. *Funktionale Sicherheit nach ISO 26262 in der Konzeptphase der Entwicklung von Elektrik/Elektronik Architekturen von Fahrzeugen*. Bd. 4. Karlsruher Institut für Technologie Scientific Publishing, 2012.

Hull, Elizabeth, Ken Jackson, und Jeremy Dick. *Requirements Engineering*. London: Springer Verlag, 2005.

Jähne, Bernd. *Digitale Bildverarbeitung und Bildgewinnung*. Bd. 7. Springer Vieweg, 2012.

La Marca, Antonio. „Entwicklung eines adaptiven Bildverarbeitungsalgorithmus zur Verbesserung intelligenter Lichtsysteme.“ Herausgeber: Hochschule der Medien Stuttgart. Masterarbeit, Oktober 2013.

Lachenmayr, Bernhard, Annemarie Buser, und Othmar Keller. *Mensch und Sicherheit*. Bd. M65: Sehstörungen als Unfallursache: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, 1996.

Lerner, Markus, Martina Albrecht, und Claudia Evers. *Mensch und Sicherheit*. Bd. M 172: Das Unfallgeschehen bei Nacht: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Bergisch-Gladbach: Wirtschaftsverlag NW, 2005.

Mathworks. *Simulink Test - Develop, manage, and execute simulation-based tests*. o. J. a. http://de.mathworks.com/products/simulink-test/index.html?s_tid=gn_loc_drop (Zugriff am 25. 02 2016).

—. *Simulink Test*. o. J. b. <http://de.mathworks.com/products/simulink-test/features.html#key-features> (Zugriff am 25. 02 2016).

Mikrocontroller.net. *LED-Fading*. o. J. <http://www.mikrocontroller.net/articles/LED-Fading> (Zugriff am 24. 02 2016).

—. *Pulsweitenmodulation*. o. J. <http://www.mikrocontroller.net/articles/Pulsweitenmodulation> (Zugriff am 24. 02 2016).

- Pollack, Wolfgang. „Lage und Qualität der Hell-Dunkel-Grenze in der Lichtverteilung von Kraftfahrzeugscheinwerfern.“ *Automobiltechnische Zeitschrift*, Januar 1998: 58 ff.
- Reif, Konrad. *Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2011.
- Reif, Konrad, und Karl-Heinz Dietsche. *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. Bd. 27. Vieweg + Teubner, 2011.
- . *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. 25. Vieweg+Teubner. 2003.
- RWTH Aachen. *Rapid Control Prototyping*. o. J. <http://www.irt.rwth-aachen.de/29/methoden/simulation-dynamischer-systeme-rapid-control-prototyping/rapid-control-prototyping> (Zugriff am 23. 02 2016).
- Saralajew, Sascha. „Berechnung der Fehlstellungen eines Scheinwerfersystems.“ Herausgeber: Hochschule Mittweida - University of Applied Sciences. Masterarbeit, Dezember 2014.
- Schlangen, Patrick. „Integration einer prototypischen Funktion in eine Serenumgebung.“ Herausgeber: Karlsruher Institut für Technologie. Masterarbeit, April 2015.
- Schweiz TCS. „Ledico.ch.“ 2008. http://docs.ledico.ch/20130107_TCS-Schweyz_Scheinwerfersysteme%20im%20Test.pdf (Zugriff am 22. 02 2016).
- Strebel, Steffen. „Untersuchung und Klassifizierung von Hell-Dunkel-Grenzen in Scheinwerferlichtverteilungen.“ Herausgeber: Universität Stuttgart. Masterarbeit, Januar 2016.
- United Nations Economic Commission for Europe. *Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht*. Herausgeber: United Nations Economic Commission for Europe. 2010.
- . *EUREKA-Projekt 1403: Adaptive Frontlighting System*. Herausgeber: United Nations Economic Commission for Europe. 2002.