Diplomarbeit

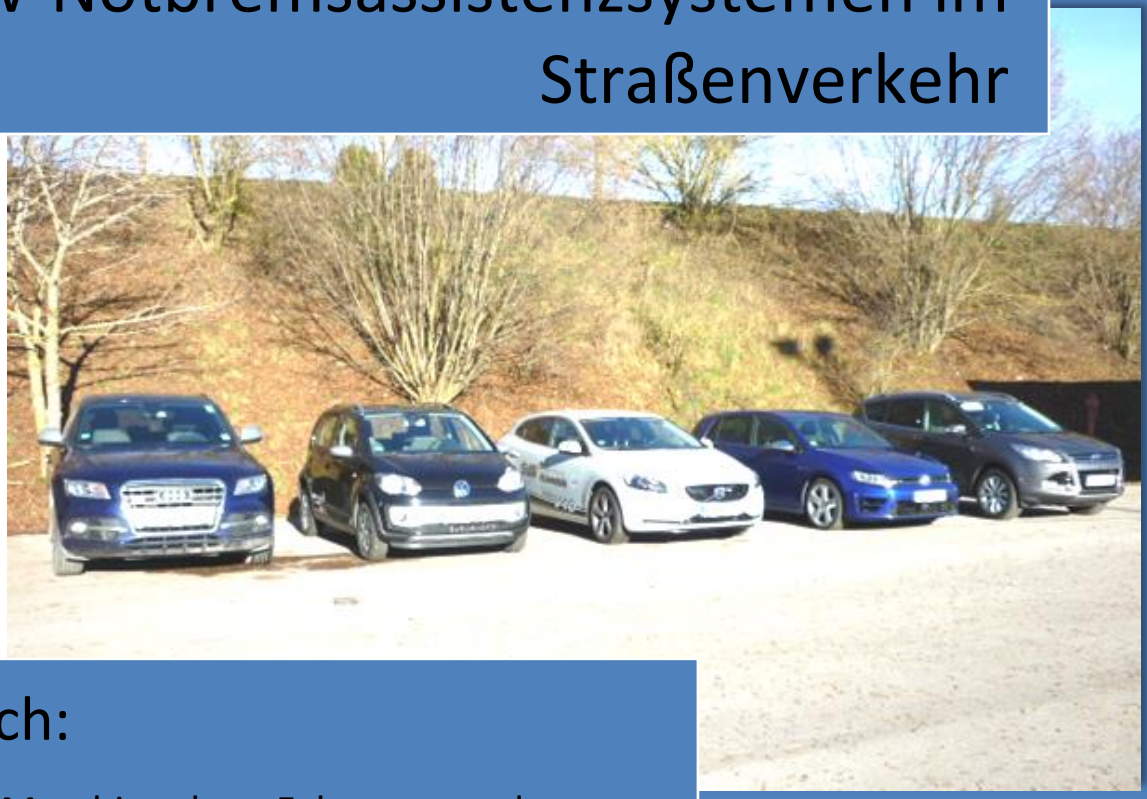
von

Martin Zwick

HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
MÜNCHEN

2015

Fahrtechnischer Vergleich von modernen Pkw-Notbremsassistenzsystemen im Straßenverkehr



Fachbereich:

Fakultät 03 für Maschinenbau, Fahrzeug- und Flugzeugtechnik

Studiengang: Fahrzeugtechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Hans Bäumler

Schwabbruck, den

28.05.2015

Fahrtechnischer Vergleich von modernen Pkw Notbremsassistenzsystemen im Straßenverkehr

Theoretische Analyse

Praxisgerechte Gegenüberstellung durch Versuche

mit:
- Active City Stop in Ford Kuga
- Audi pre sense front in Audi SQ5
- Umfeldbeobachtungssystem “Front Assist“ mit City-Notbremsfunktion in VW Golf VII R
- City-Notbremsfunktion in VW Up
- Aktives Geschwindigkeits-/ Abstandsregelsystem „ACC“ und City-Safety-Technologie in Volvo V40

Auswertung der Versuchsergebnisse

Driving technical comparison of modern car emergency brake assist systems in road traffic

Theoretical Analysis

Practical Confrontation by tests

with:
- Active City Stop in Ford Kuga
- Audi pre sense front in Audi SQ5
- Environment observation system “Front Assist” with City-Emergency Braking in VW Golf VII R
- City-Emergency Braking in VW Up
- Active Speed- and Adaptive Cruise Control “ACC” and City-Safety-Technology in Volvo V40

Evaluation of test results

Eidesstattliche Erklärung

Bestätigung gemäß § 31 Abs. 7 RaPO

Ich bestätige, dass ich die Diplomarbeit selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Schwabbruck, den 28. Mai 2015

Martin Zwick

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit dem fahrtechnischen Vergleich von modernen Pkw-Notbremsassistenzsystemen im Straßenverkehr. Ausgehend von der theoretischen Analyse, der zur Zeit angebotenen Notbremsassistenzsysteme, wurden die Systeme Active City Stop, Audi pre sense front, das Umfeldbeobachtungssystem „Front Assist“ mit City-Notbremsfunktion, die City-Notbremsfunktion und das aktive Geschwindigkeits-/ Abstandsregelsystem „ACC“ mit der City-Safety-Technologie in einer praxisgerechten Gegenüberstellung durch Fahrversuche mit Fahrzeugen von Ford, Audi, VW und Volvo getestet und analysiert, ob die angegebenen Leistungsmerkmale der Fahrzeughersteller bezüglich ihrer Systeme eingehalten werden. Im Zuge der Diplomarbeit wurden in 86986 Schwabbruck (Deutschland) die Fahrversuche auf ein simuliertes stehendes Fahrzeug durchgeführt und messtechnisch erfasst. Die erfassten Messgrößen werden im Rahmen der Diplomarbeit ausgewertet, analysiert und so dargestellt, dass speziell für die Unfallrekonstruktion unter anderem Werte von Bremsbeginn, maximale Verzögerung, Stillstand vor dem Hindernis und Bremsweg für die Rekonstruktion ähnlicher Unfälle verglichen und eingesehen werden können. Im Anhang der Diplomarbeit befinden sich Messdatenblätter und Videomaterial der Versuchsdurchführung.

Abstract

This thesis deals with the technical difficulty of comparing modern car emergency braking assistant systems in traffic. Based on the theoretical analysis, experiments were made to find out if the vehicle manufacturers are able to meet their requirements. System Active City Stop, Audi pre sense front, Environment observation system “Front Assist” with City Emergency Braking Function, Active Speed- and Adaptive Cruise Control “ACC” and City-Safety-Technology were compared. In each case a car from Ford, Audi, VW and Volvo was available. All experiments took place in 86986 Schwabbruck (Germany). Driving tests were made on a simulated stationary car and all results got measured. As part of the thesis all results are evaluated, analysed and represented. Especially for accident reconstruction the results can be used in similar situations. All the data sheets and videos are in the appendix.

Vorwort

Herrn Professor Dr. Hans Bäumler von der Hochschule München möchte ich für die Überlassung des interessanten und herausfordernden Themas sehr herzlich danken. Auch für die Unterstützung in wissenschaftlichen und technischen Fragen sowie für den Einsatz zur Beschaffung der Messgeräte bin ich zu Dank verpflichtet.

Mein besonderer Dank gilt der Gutax Unfallanalyse GbR München. Sie haben mir bei meiner Diplomarbeit jederzeit zur Seite gestanden und mich bei finanziellen und materiellen Fragen unterstützt und dadurch erst diese Arbeit möglich gemacht.

Gleichzeitig danke ich Herrn Dipl.-Ing. (FH) Peter Stolle von der Gutax Unfallanalyse GbR in München für die vielseitige und unverzichtbare Mithilfe bei der Vorbereitung und Realisierung der Versuchsreihen.

Mein besonderer Dank gilt selbstverständlich auch dem Autohaus Heuberger in Bernbeuren, dem Autohaus Köhler in Schwabbruck, dem Autohaus S&W in Weilheim und Herrn Haberstock, die ihre Autos für die Fahrversuche zur Verfügung gestellt haben.

Besonders bedanke ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Volker Negendank von der Peiseler GmbH (München), für seine hervorragende technische Unterstützung und der kostenlosen Verfügungstellung des Peiseler-Rades mit kompletter Messtechnik.

Ein besonderer Dank gilt dem 1. Vorstand des TSV 67 Schwabbruck, Herrn Martin Leier, für die Zusage zur Nutzung des Sportplatzgeländes, auf dem die Fahrversuche durchgeführt wurden.

Bedanken möchte ich mich für die außergewöhnliche Unterstützung bei Herrn Wolfgang Sebralla, der viele Stunden vor Ort mit dem Filmen der Versuche und mit dem Zusammenschneiden des Videomaterials für die Diplomarbeit beschäftigt war und jederzeit für Ratschlag und Hilfestellung zur Verfügung stand.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Herrn Ulrich Zwick und Herrn Josef Köhler, die mich tatkräftig beim Versuchsaufbau und der Durchführung der Fahrversuche unterstützten.

Die aus den Fahrversuchen resultierenden Werte und Erkenntnisse sollen vor allem technischen Sachverständigen im Bereich der Unfallrekonstruktion, bei der Bearbeitung von Auffahrunfällen oder ähnlichen Fragestellungen als Informationsmittel dienen. Der erste Teil der Diplomarbeit befasst sich mit der Erklärung der Notbremsassistenzsystemen sowie der Beschreibung des verwendeten Messsystems und dem Versuchsaufbau. Im zweiten Teil werden die zahlreichen Fahrversuche ausgewertet und analysiert, zudem befinden sich u.a. im Anhang alle Messdatenblätter und eine Video-DVD.

Der Nachdruck bzw. die Vervielfältigung ist auch auszugsweise nicht gestattet.

Schwabbruck, Mai 2015

Martin Zwick

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung 3

Kurzfassung 4

Abstract 4

Vorwort 5

Inhaltsverzeichnis 7

Abbildungsverzeichnis 10

Diagrammverzeichnis 13

Tabellenverzeichnis 16

Schlüsselwörter und Begriffserklärungen 19

1. Einleitung 20

2. Allgemeine Übersicht über moderne Fahrerassistenzsysteme 21

3. Theoretische Analyse der verwendeten Notbremsassistenzsysteme 29

3.1. Weiterentwicklung vom Bremsassistenz- zum Notbremsassistenzsystem 29

3.2. Kurzübersicht über die Notbremsassistenzsysteme 30
3.2.1. ACC 31
3.2.2. City Brake / City Safety 34
3.2.3. City Brake / City Safety mit Fußgängererkennung 37

3.3. Philosophie und Versprechen der Hersteller 39
3.3.1. Ford 39
3.3.2. Audi 40
3.3.3. VW 40
3.3.4. Volvo 41

4. Verwendete Messtechnik 42

4.1. Erfassung der Bremsverzögerung 42
4.1.1. Peiseler-Rad 43
4.1.2. Fehlerquellen und Messgenauigkeit 48

4.2. Erfassung des Bremsweges 49

4.3. Erfassung der Umweltbedingungen 49

5. Versuchsaufbau, Versuchsbeschreibung und Dokumentation 50

5.1. Örtlichkeit 50

5.2. Position der Messsysteme am Fahrzeug 52

5.3. Fahrzeuge 53
5.3.1. Auswahlkriterien 53
5.3.2. Verwendete Fahrzeuge 54

5.4. Simuliertes Stauende 60

5.5. Praxisgerechter Versuchsaufbau für die Fahrversuche 60

5.6. Fahrtechnische Durchführung mit den Fahrzeugen 61

5.7. Dokumentation der Fahrversuche und Testergebnisse 62
5.7.1. Bewertungsliste 62
5.7.2. Videokamera 64

6. Versuchsdurchführung 65

6.1. Fahrversuche zum Testen des ACC-Systems 65
6.1.1. Fahrversuch Volvo V40 65
6.1.2. Fahrversuch Audi SQ5 und VW Golf VII R 66

6.2. Fahrversuche zum Testen des City Brake / City Safety 67
6.2.1. Fahrversuch Ford Kuga 67
6.2.2. Fahrversuch Audi SQ5 68
6.2.3. Fahrversuch VW Golf VII R 68
6.2.4. Fahrversuch VW Up 69
6.2.5. Fahrversuch Volvo V40 69

7. Analyse der Fahrversuche 70

7.1. Aufbereitung der Messwerte 70

7.2. Erklärung der drei Zeit-Diagramme 72

7.3. Auswertung ACC-System / Volvo V40 73

7.4. Auswertung des City Brake / City Safety mit zusammenfassender Analyse 76
7.4.1. Ford Kuga 76
7.4.2. Audi SQ5 89
7.4.3. VW Up 104
7.4.4. VW Golf VII R 117
7.4.5. Volvo V40 124

8. Gegenüberstellung: Bremsvorgänge der verschiedenen Fahrzeuge 137

8.1. 10 km/h 138

8.2. 20 km/h 140

8.3. 25 km/h 142

8.4. 30 km/h 144

9. Zusammenfassung 146

Literaturverzeichnis 148

Anhangverzeichnis 150

Bei wort- und sinngemäßen Zitaten aus dieser Diplomarbeit einschließlich Anhang die beispielhafte Quellenangabe verwenden.

[#] **Zwick, Martin:** „Fahrtechnischer Vergleich von modernen Pkw Notbremsassistenzsystemen im Straßenverkehr“, Schwabbruck, Hochschule München, Fakultät 03 für Fahrzeug- und Flugzugtechnik, Diplomarbeit, 2015

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 3:

Abbildung 1: „Freie Fahrt“: Fahrt mit Wunschgeschwindigkeit, entnommen aus [5]. 31

Abbildung 2: Vorausfahrendes Fahrzeug mit geringerer Geschwindigkeit als Wunschgeschwindigkeit, entnommen aus [5]. 31

Abbildung 3: Der Abstand in den vier Phasen zum vorrausfahrenden Fahrzeug, entnommen aus [5]. 32

Abbildung 4: Sensoreinheit mit Sende- und Empfangseinheit, entnommen aus [6]. 34

Abbildung 5: Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug, entnommen aus [6]. 35

Abbildung 6: Bremsverlauf bei Nichteingriff des Fahrers, entnommen aus [6]. 36

Abbildung 7: Fußgängererkennung von der im Innenspiegel angeordneten Kamera, entnommen aus [8]. 37

Abbildung 8: Erkennung einer Person auf der Fahrbahn durch das Radarsystem, entnommen aus [9]. 38

Kapitel 4:

Abbildung 9: Peiseler-Schlepprad 43

Abbildung 10: Befestigung 44

Abbildung 11: Impulsgeber MT100/e SR 44

Abbildung 12: VTS-Wolfsburg 45

Abbildung 13: Frontansicht des VTS-Wolfsburg 45

Abbildung 14: Anschlussmöglichkeiten am VTS-Wolfsburg 46

Abbildung 15: Zusätzliche Anzeigeeinheit für den Fahrer 47

Abbildung 16: VTS-Wolfsburg mit zusätzlicher Anzeigeeinheit 47

Abbildung 17: Nick- und Schiebbewegung des Fahrzeugs 48

Abbildung 18: Simuliertes Stauende mit Maßband am Boden 49

Abbildung 19: Sportplatzgelände, bezogen aus [22]. 50

Abbildung 20: Detailansicht der Teststrecke, bezogen aus [22]. 51

Kapitel 5:

Abbildung 21: Befestigung des Rades am Fahrzeug 52

Abbildung 22: Abstand Peiseler-Rad zur Front des Fahrzeugs 52

Abbildung 23: Für die Fahrversuche verwendeten Fahrzeuge. Von links, Audi SQ5, VW Up, Volvo V40, Golf VII R, Ford Kuga. 54

Abbildung 24: Zulassungsbescheinigung Teil I Ford Kuga 55

Abbildung 25: Ford Kuga 55

Abbildung 26: Zulassungsbescheinigung Teil I Audi SQ5 56

Abbildung 27: Audi SQ5 56

Abbildung 28: Zulassungsbescheinigung Teil I VW Up 57

Abbildung 29: VW Up 57

Abbildung 30: Zulassungsbescheinigung Teil I VW Golf VII R 58

Abbildung 31: VW Golf VII R 58

Abbildung 32: Zulassungsbescheinigung Teil I Volvo V40 59

Abbildung 33: Volvo V40 59

Abbildung 34: Simuliertes Stauende 60

Abbildung 35: Handgefertigte Skizze der Teststrecke mit dem Versuchsaufbau 61

Abbildung 36: Beispielhafte Bewertungsliste für City Brake / City Safety 63

Abbildung 37: Position der Kamera auf der Ladefläche 64

Abbildung 38: iTracker® mini0801 GPS Autokamera Full HD Dashcam 64

Kapitel 6:

Abbildung 39: Volvo V40 65

Abbildung 40: Audi SQ5 66

Abbildung 41: VW Golf VII R 66

Abbildung 42: Ford Kuga 67

Abbildung 43: Audi SQ5 68

Abbildung 44: VW Golf VII R 68

Abbildung 45: VW Up 69

Abbildung 46: Volvo V40 69

Diagrammverzeichnis

Kapitel 7:

Diagramm 1: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 30 km/h, ACC-System 74

Diagramm 2: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Ford Kuga mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 77

Diagramm 3: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Ford Kuga mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 79

Diagramm 4: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Ford Kuga mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 81

Diagramm 5: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System 83

Diagramm 6: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System 85

Diagramm 7: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Ford Kuga 87

Diagramm 8: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 90

Diagramm 9: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 92

Diagramm 10: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 94

Diagramm 11: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 96

Diagramm 12: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 98

Diagramm 13: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 100

Diagramm 14: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Audi SQ5 102

Diagramm 15: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 105

Diagramm 16: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 107

Diagramm 17: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 109

Diagramm 18: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 111

Diagramm 19: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System 113

Diagramm 20: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des VW Up 115

Diagramm 21: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Golf VII R mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 118

Diagramm 22: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Golf VII R mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 120

Diagramm 23: Zusammenfassung beider Geschwindigkeiten des VW Golf VII R 122

Diagramm 24: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System 125

Diagramm 25: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System 127

Diagramm 26: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 129

Diagramm 27: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 131

Diagramm 28: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System 133

Diagramm 29: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Volvo V40 135

Kapitel 8:

Diagramm 30: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 10 km/h getestet wurden. 138

Diagramm 31: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 20 km/h getestet wurden. 140

Diagramm 32: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 25 km/h getestet wurden. 142

Diagramm 33: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 30 km/h getestet wurden. 144

Tabellenverzeichnis

Kapitel 3:

Tabelle 1:	Überblick über die auf dem Markt angebotenen Fahrerassistenzsysteme (Stand 2013), entnommen und überarbeitet aus [3].	28

Kapitel 7:

Tabelle 2:	Beispieltabelle mit dem Fahrversuch 10 km/h	70
Tabelle 3:	Bewertungsliste Volvo V40, ACC-System	73
Tabelle 4:	Auswertungstabelle Volvo V40 mit 30 km/h, ACC-System	75
Tabelle 5:	Bewertungsliste Ford Kuga, City-Brake / City-Safety-System	76
Tabelle 6:	Auswertungstabelle Ford Kuga mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	78
Tabelle 7:	Auswertungstabelle Ford Kuga mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	80
Tabelle 8:	Auswertungstabelle Ford Kuga mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System	82
Tabelle 9:	Auswertungstabelle Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System	84
Tabelle 10:	Auswertungstabelle Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System	86
Tabelle 11:	Bewertungsliste Audi SQ5, City-Brake / City-Safety-System	89
Tabelle 12:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	91
Tabelle 13:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	93
Tabelle 14:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	95

Tabelle 15:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	97
Tabelle 16:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System	99
Tabelle 17:	Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System	101
Tabelle 18:	Bewertungsliste VW Up, City-Brake / City-Safety-System	104
Tabelle 19:	Auswertungstabelle VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	106
Tabelle 20:	Auswertungstabelle VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	108
Tabelle 21:	Auswertungstabelle VW Up mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	110
Tabelle 22:	Auswertungstabelle VW Up mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System	112
Tabelle 23:	Auswertungstabelle VW Up mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System	114
Tabelle 24:	Bewertungsliste VW Golf VII R, City-Brake / City-Safety-System	117
Tabelle 25:	Auswertungstabelle VW Golf VII R mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	119
Tabelle 26:	Auswertungstabelle VW Golf VII R mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	121
Tabelle 27:	Bewertungsliste Volvo V40, City-Brake / City-Safety-System	124
Tabelle 28:	Auswertungstabelle Volvo V40 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System	126
Tabelle 29:	Auswertungstabelle Volvo V40 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System	128
Tabelle 30:	Auswertungstabelle Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System	130

Tabelle 31: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System 132

Tabelle 32: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System 134

Schlüsselwörter und Begriffserklärungen

Schlüsselwörter:

ACC, Active City Stop, Aktives-/ Abstandregelsystem, Audi pre sense front, City-Notbremsfunktion, City-Safety-Technologie, Diplomarbeit, Fahr-technischer Vergleich, Fahrversuche, Front Assist, Notbremsassistenz-system, Peiseler-Rad, Realversuche, Sachverständigenwesen, simuliertes Stauende, stehendes Hindernis, Umfeldbeobachtungssystem, Unfallrekonstruktion

Keywords:

ACC, accident reconstruction, Active City Stop, Active Speed- and Adaptive Cruise Control, Audi pre sense front, City Emergency Braking, City-Safety Technology, diploma thesis, driving technical comparison, driving tests, emergency brake assist system, environment observation system, Front Assist, Peiseler-wheel, real experiments, simulated traffic jam, stationary obstacle,

Begriffserklärungen:

ABA	Active Brake Assist / Aktiver Bremsassistent
ABS	Antiblockiersystem
ACC	Adaptive Cruise Control / Adaptive Geschwindigkeits-regelanlage
ASR	Antriebsschlupfregelung
BAS	Bremsassistent
BAS Plus	Bremsassistent Plus
ESP	Elektronisches Stabilitäts Programm
LDW	Lane Departure Warning / Spurverlassungswarnung
LIDAR-Sensor	Licht und Abstandsensor
Radar	Radio detecting and ranging

Attrappe = Simuliertes Stauende = Stauende = stehendes Hindernis = vorausliegendes Fahrzeug

1. Einleitung

In den letzten zehn Jahren konnte die Anzahl der getöteten und schwerverletzten Personen im Straßenverkehr um mehr als die Hälfte reduziert werden. Im Jahr 2013 lag nach Angaben des Bundesamtes für Statistik die Anzahl der getöteten Personen in Deutschland erstmals unter 3500. [1] Im Verbraucherschutz konnten Deutsche Automobilclubs, z.B. der ADAC, große Erfolge erzielen, indem sie die Fahrzeuge Crash-optimierten und deutlich verbesserte Sicherheitstechniken, wie Gurtstrammer, Airbags, besseren Fußgängerschutz und eine Vielzahl von anderen Entwicklungen einbauten.

Da die meisten Fahrzeuge standardmäßig mit einem guten Insassenschutz ausgerüstet sind, rücken derzeit Fahrerassistenzsysteme stärker in den Vordergrund.

Obwohl sie für die Mobilität nicht unbedingt erforderlich sind, sind Fahrerassistenzsysteme schon immer ein Steckenpferd der Automobilingenieure gewesen. Beispiele hierfür finden sich an verschiedensten Stellen:

- Die Servolenkung reduziert den Kraftaufwand beim Einparken.
- Die Einparkhilfe ermöglicht ein „umsichtiges“ Einparken.
- Der Bremsassistent vermeidet, dass bei Panikbremsungen Bremsweg verschenkt wird.
- Das System ACC „Adaptive Cruise Control“ beschleunigt und bremst im dichten, aber fließenden Verkehr.

Besonders wertvoll sind die Notbremsassistenzsysteme, die von einigen Automobilherstellern seit einigen Jahren angeboten werden, da sie bei Unachtsamkeit oder Unkonzentriertheit des Fahrers im Straßenverkehr mögliche entstehende Gefahrensituationen erkennen und versuchen, Unfälle zu vermeiden oder die Unfallfolgen zu mindern. [2]

Aus diesem Grund werden in dieser Diplomarbeit moderne Notbremsassistenzsysteme theoretisch analysiert und durch Fahrversuche die Funktion und Wirkung dieser Systeme überprüft. Der komplette Bremsverlauf wird dabei mit einem Verzögerungsmessgerät aufgezeichnet, damit unter anderem ausgewertet werden können:

- Bremsbeginn
- Bremsweg
- maximale Verzögerung
- Stillstand vor dem Hindernis

.

2. Allgemeine Übersicht über moderne Fahrerassistenzsysteme

Durch Fahrerassistenzsysteme können entweder Unfälle verhindert oder zumindest die Unfallfolgen gemindert werden.

Konkret:

Ein Fahrer, der z.B. durch das Anzünden seiner Zigarette, durch ein Telefonat oder auch durch Mitfahrer abgelenkt wird oder übermüdet ist, kann von den Assistenzsystemen, welche in seinem Fahrzeug verbaut sind profitieren. Er bekommt rechtzeitig ein Warnsignal, ein Bremsrucken oder ein vibrierendes Lenkrad und kommt somit nicht unbemerkt von der Fahrbahn ab oder fährt auf das Stauende auf. Er wird bei einer Notbremssituation akustisch und haptisch unterstützt und gerät nicht ins Schleudern. Durch verschiedene Assistenzsysteme wird die Sicht bei Nacht durch Kurvenlicht oder automatischen Auf- und Abblenden des Fernlichtes verbessert und der „Tote Winkel“ beim Spurwechsel auf Autobahnen oder Überholvorgängen überwacht. Jeder Hersteller bietet eine Vielzahl von Assistenzsystemen an, einige davon sind serienmäßig vorhanden, andere müssen gegen Aufpreis dazu bestellt werden.

Um einen groben Überblick über die Vielzahl an Fahrerassistenzsystemen zu bekommen, sind auf den folgenden Seiten alle auf dem Markt angebotenen Assistenzsysteme mit kurzer Erklärung der Funktion und deren Marktdaten in der folgenden Tabelle 1 aufgelistet.

Aktuelle Fahrerassistenzsysteme Stand 2013

Assistenzsysteme	Funktion	Marktdaten
ESP = Fahrdynamikregelung mit verschiedenen Unterfunktionen	Automatische Stabilisierung des Fahrzeuges in kritischen Fahrsituationen durch gezielte Brems- und Motormanagement-Eingriffe; beinhaltet ABS und ASR. Neuere Systeme (ESP+) steuern auch einen leichten Lenkimpuls ein, um eine schnellere Stabilisierung zu erreichen. Diese Systeme dienen auch zur Gespannstabilisierung und zum regelmäßigen „Trocken-Bremsen“ der Bremsscheiben bei Regen.	1995 erstmals in Mercedes S-Klasse. Stand 2010: Über 80% der Neuwagen in Deutschland besitzen serienmäßig ESP, in Europa sind es nur 60%.

BAS = Bremsassistent	Erkennt an schneller Bremspedalbetätigung Notbremssituation und steuert max. Bremskraft über Servounterstützung ein. Heute ist der BAS Bestandteil des ESP	Seit 1996 in Mercedes-S-Klasse. Aktuell bereits bis zur Kleinwagenklasse Serie.
ACC (Adaptive Cruise Control) = Distronic+ / BAS Bremsassistent+	Tempomat mit automatischer Abstandsregelung und Stop and Go-Funktion. Das Fahrzeug bleibt bis zum Stillstand im Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Der kombinierte Bremsasssistent warnt akustisch bei kritischer Annäherung und es wird der Bremsdruck erhöht.	Seit 2005 in Mercedes S und CL-Klasse. Aktuell bei vielen Fahrzeugen ab der oberen Mittelklasse gegen Aufpreis erhältlich. Teilweise wird es auch schon in der Mittelklasse angeboten.
ACC mit Kollisionswarnung für die Mittelklasse Automatisiertes Notbremssystem von Volvo „City Safety“	Die automatischen Abstandsregelungen für die Mittelklasse schalten häufig unter 30 km/h ab. Sie besitzen aber alle schon eine Kollisionswarnung, die akustisch, optisch oder auch durch leichten Bremsruck warnt. Immer mehr Hersteller bieten aber auch ein autonomes Notbremssystem bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 30 km/h (City Brake / City Safety) an. Seit 2010 wurde das serienmäßige „City Safety“ von Volvo auch mit einer Fußgängererkennnung optimiert. Ab 2013 bis 50 km/h	Für Mittelklassefahrzeuge werden Abstandsregelsysteme seit 2007 angeboten. Audi A4, Ford Mondeo, Honda Accord, Lexus IS, Volvo XC60 und VW Passat sind seit 2012 gegen Aufpreis mit diesem System ausgestattet.

Pre-Safe Bremse (Plus)	Aufbau eines Bremsvordrucks bei kritischer Auffahrsituation. Bei verzögerter Reaktion des Fahrers erfolgt Bremsruck und autonome Teilbremsung bis 4 m/s^2. Zusätzlich werden die Gurte vorne gestrammt und die Sitze aufrecht gestellt. Ebenfalls werden die Seitenscheiben und das Schiebedach geschlossen. Bei neueren Systemen (z.B. Audi A8 ab 2010) erfolgt auch eine Vollbremsung kurz vor Kollision. Die Mercedes S-Klasse ab 2013 (Pre-Safe Plus) beinhaltet auch Kreuzungsassistent und Fußgängererkennung bis 50 km/h. Bei Heckkollisions-Erkennung (stehendes Fahrzeug) werden Gurte gestrammt und das Fahrzeug „festgebremst“.	Seit 2006 in Mercedes S- und CL-Klasse Serie, jetzt auch in der E-Klasse. Aktuell werden entsprechende Techniken von verschiedenen Herstellern in der Oberklasse eingesetzt. (z.B. Audi, Honda, Lexus).
Notbremsassistent	Mit Hilfe von Radar- oder Lasersensoren (LiDAR) in Kombination mit einer Kamera wird bei einer kritischen Auffahrsituation der Fahrer akustisch, optisch und durch Bremsruck gewarnt. Danach erfolgt eine automatische Notbremsung. Die Systeme sind immer in Funktion.	Seit 2010 auch in Mittelklassewagen, meist in Verbindung mit ACC gegen Aufpreis erhältlich. Notbremse bis ca. 40 km/h von Volvo (City Safety) ist Serie. Seit 2011 wird Mercedes B-Klasse serienmäßig mit Notbremswarner ausgerüstet.

Notbremsassistent mit Fußgängererkennung	Mit Hilfe von Radar- oder Lasersensoren (LIDAR) in Kombination mit einer Kamera wird bei einer kritischen Auffahrsituation der Fahrer akustisch, optisch und durch Bremsruck gewarnt. Danach erfolgt eine automatische Notbremsung. Die Systeme sind immer in Funktion. Neuere Systeme erkennen neben Fahrzeugen jetzt auch Fußfänger und leiten, wenn nötig, eine Notbremsung ein.	Seit 2013 werden Notbremssysteme mit Fußgänger-erkennung von verschiedenen Herstellern eingesetzt Volvo startete bereits 2010.
Multikollisionsbremse	Mit Hilfe des ESP-Systems wird nach einer Unfall-erkennung (z.B. Airbag-auslösung) die Bremse angesteuert. Dadurch kann ein Folge-Crash und somit auch die Unfallschwere reduziert werden.	VW bietet seit Herbst 2012 diese Technik serienmäßig im Golf VII an. Ebenfalls wird diese Technik im 3er BMW seit 2012 verbaut.
Nachtsichtsystem	Mit Hilfe einer Wärmebild-kamera (z.B. BMW) oder einer Infrarotkamera (z.B. Mercedes) wird das Vorfeld eines Fahrzeuges in der Nacht besser sichtbar gemacht. Mit Wärmebildkamera (BMW) sind Umgebung und Objekte im Display bis 300 m Entfernung erkennbar. Mit Infrarotkamera bis 150 m Entfernung. Neuere Systeme weisen auch eine spezielle Personenerkennung und Warnung auf.	Seit 2006: BMW 760i und Mercedes S-Klasse gegen Aufpreis. Head up Display auch gegen Aufpreis.

Einpark-Assistenten	Mit Hilfe von Ultraschall- und Radarsensoren bzw. auch mit einer Rückfahrkamera wird ein Parkraum vermessen und dem Fahrer beim Einparken assistiert. Häufig wird nur eine Heckansicht mit Lenkempfehlungen gezeigt. VW bietet aber ein automatisches System mit dem eingeparkt werden kann.	Seit ca. 2007: Bei VW, Mercedes BMW und Citroën gegen Aufpreis. Bei Lexus teilweise serienmäßig sowie bei Mazda und Toyota.
Reifendruck-Kontrolle	Durch direkte (per Funk) oder indirekte Messung (Abweichung der ABS-Raddrehzahl) wird ein Minderdruck des Reifens im Fahrzeug angezeigt. Dies kann einen erhöhten Kraftstoffverbrauch (ca. 2%) aufzeigen und Unfälle durch Reifenschäden verhindern.	Seit einigen Jahren meist gegen Aufpreis oder als Nachrüstung erhältlich. Bei Runflat-Bereifung serienmäßig.
LDW = (Lane Departure Warning) Spurverlassungs-warnung	Durch ein Videosystem (z.B. BMW) oder durch eine Infrarotsensorik (z.B. Citroën) wird ein unbeabsichtigtes Überfahren von Fahrbahnrandmarkierungen erkannt und der Fahrer gewarnt. Die Warnung erfolgt entweder durch Vibration im Lenkrad (BMW) oder in der Sitzfläche (Citroën). Teilweise werden bei anderen Systemen auch nur akustische oder optische Signale gesetzt. Bei neueren Systemen erfolgt teilweise auch eine automatische, leichte	Seit 2006: BMW 5-/7er, Lexus Seit 2005: Citroën C4 Aktuell gibt es Spurassistenten gegen Aufpreis ab der unteren Mittelklasse (z.B. Ford Focus, BMW 1er).

	Lenkkorrektur (z.B. Audi, Lexus, VW, Honda): Seit Mitte 2011 bietet BMW für seinen Spurverlassungs-warner auch eine Auffahrwarnung an. Mercedes S-Klasse ab 2013 zusätzlich mit automa-tischem Stau-Folgefahren.	
Spurhalteassistent (mit Lenkmomenteingriff)	Neuere Spurassistenten setzen beim Überfahren von Fahrbahnrandmarkierungen nicht nur ein Warnsignal sondern leiten auch automatisch ein leichtes Gegenlenkmoment ein, das aber vom Fahrer übersteuert werden kann.	Seit 2008: VW Passat CC Honda Accord
ACC mit Notbremsassistent, Spurhalteassistent und Stabilitätskontrolle für Lkw/ Bus	Im Lkw-Bereich arbeiten Abstandsregelsysteme und Spurhalteassistenten ähnlich wie im Pkw. Beim Lkw ist aber wegen der deutlich höheren Kollisionsenergie zusätzlich eine Notbremse-Funktion gefordert, die eine Vollbremsung einleitet, wenn der Fahrer trotz optischer und akustischer Warnung sowie Teilbremsung nicht reagiert. Das erste System wurde von Mercedes vorgestellt, das seit Ende 2010 (Active Brake Assist 2) sogar stehende Hindernisse erkennt.	Seit 2006 werden von MAN und Mercedes gegen Aufpreis radargestützte Abstandsregel-systeme und Spurhalte-assistenten für Nutzfahrzeuge angeboten. Seit 2007 bietet Mercedes diese Systeme auch mit einem Notbremssystem an. Inzwischen bieten fast alle Lkw-Hersteller entsprechende Systeme an.

Abbiegeassistent für Lkw/Bus	Die Bereiche vor und rechts neben dem Fahrzeug werden mit Ultraschallsensoren überwacht. Der Fahrer bekommt eine Warnung, wenn sich in diesen Bereichen Fußgänger oder Radfahrer befinden.	Entwickelt wurde das System von MAN. Bis Ende 2011 nicht am Markt angeboten.
Spurwechsel-Assistent (Totwinkel-Assistent)	Radarsensorik oder Videotechnik (Volvo) im Fahrzeugheck erkennt eine kritische Annäherung eines nachfolgenden Fahrzeugs auf versetzter Spur („Toter Winkel“) und warnt vor beabsichtigtem Spurwechsel durch Warnlicht im Außenspiegel und teilweise durch Warnton bei gesetztem Blinker. Erfassung erfolgt beidseitig, aber bei unterschiedlichen Entfernungen und Geschwindigkeiten.	Seit 2006: Audi Q7, A8 Aktuell gibt es Spurwechsel-assistenten bei verschiedenen Herstellern gegen Aufpreis ab der Mittelklasse.
Müdigkeitserkennung	Kamerasensorik auf Lenksäule (Lexus) wertet Abweichung der Drehrichtung des Fahrerkopfes zur Fahrzeuglängsrichtung aus und warnt optisch und akustisch. Mercedes überwacht die Lenkrad- und Fahrbewegungen. Volvo erfasst die Lenkradbewegung und mit Videotechnik die Fahrweise zur Straßenmarkierung.	Seit 2007: Lexus LS600h Seit 2008: Mercedes E-KL. Serie Bei Volvo gegen Aufpreis

Fernlicht- Assistent Gleitende Leuchtweite	Automatische Aktivierung des Fernlichts sobald es die Verkehrs- und Umgebungsbedingungen zulassen. Kamerasystem erkennt entgegenkommende oder vorausfahrende Fahrzeuge sowie Beleuchtungen in Ortschaften oder starken Nebel und blendet automatisch ab.	Seit 2008 wird der Fernlichtassistent in Mittelklasse und Oberklasse gegen Aufpreis (meist mit Xenonlicht) angeboten. Eine gleitende Leuchtweiten-egelung bieten z.B. Mercedes, Opel, Audi und VW an. Häufig werden diese Systeme mit einem Abbiege- und Kurvenlicht kombiniert.
Geschwindigkeitslimit-Assistent (Speed limiter)	Eine bestimmte Fahrgeschwindigkeit (z.B. Geschwindigkeits-begrenzung) kann vom Fahrer schnell gesetzt werden. Dadurch kann nicht unbemerkt diese Geschwindigkeit überschritten werden. Erst bei Vollgas wird die gesetzte Geschwindigkeit überschritten.	Seit 2009 wird beim EuroNCAP-Crashtestverfahren für einen Geschwindigkeits-limiter max. 1 Zusatzpunkt bei der aktiven Sicherheit vergeben.
Verkehrszeichen-erkennung	Kamerasystem mit Weitwinkel-Objektiv und Prozessor erkennen Verkehrszeichen, insbesondere Geschwindig-keitsbegrenzungen und Überholverbote. Diese blenden Symbole im Display oder besser noch im Head up Display (z.B. BMW) ein.	Seit 2009 wird dieses Informationssystem vorwiegend in Mittel- und Oberklasse-fahrzeugen angeboten.

Tabelle 1: Überblick über die auf dem Markt angebotenen Fahrerassistenzsysteme (Stand 2013), entnommen und überarbeitet aus [3].

3. Theoretische Analyse der verwendeten Notbremsassistenzsysteme

Im Folgenden wird auf die Weiterentwicklung des Bremsassistenz- zum Notbremsassistenzsystem sowie auf dessen Wirkungsweise und Funktion eingegangen. Anschließend wird anhand von Prospekten und Verkaufslisten der verwendeten Fahrzeughersteller, die jeweilige korrekte Bezeichnung und Beschreibung der Notbremsassistenzsysteme dargestellt.

3.1. Weiterentwicklung vom Bremsassistenz- zum Notbremsassistenzsystem

Ein **Bremsassistent (BAS)** ist ein Bremskraftverstärker, der im Fahrzeug dafür sorgt, dass der notwendige Pedaldruck für eine Gefahrenbremsung bei einem offensichtlichen Notbremsmanöver bis auf den maximal möglichen Bremsdruck erhöht wird. Ausschlaggebend für die Änderung der Bremsverstärkungskennlinie sind unter anderem die Zeit zwischen dem letzten Gasimpuls und der Betätigung des Bremspedals sowie die Geschwindigkeit, mit der das Gaspedal losgelassen und das Bremspedal betätigt wurde. Der BAS, welcher vom Fahrzeugführer aktiviert wird, unterscheidet sich vom Notbremsassistenten, der vom Bordcomputer des Fahrzeugs initiierte Bremsungen durchführt.

Der BAS, dessen Entwicklung mit dem **Antiblockiersystem (ABS)** ihren Anfang nahm und daraufhin zunächst im Jahr 1985 die **Antriebsschlupfregelung (ASR)** folgte, ist ein wichtiges Glied in einer Kette von Assistenzsystemen. Der BAS baut direkt auf dem Funktionsumfang des **Elektronischen Stabilitäts-Programm (ESP)**, das im Jahr 1995 auf den Markt kam auf. Daraus wurde schließlich der **Bremsassistent PLUS (BAS PLUS)**, der den Autofahrer optisch und akustisch vor einem drohenden Auffahrunfall warnt und den notwendigen Bremsdruck automatisch berechnet, um den Crash zu verhindern. Der BAS stellt lediglich einen Bremskraftverstärker im Verantwortungsbereich des Fahrzeugführers dar, der erst bei Betätigung des Bremspedals funktioniert. Anders dagegen ist die Funktionsweise bei den Notbremsassistenzsystemen.

Dies ist ein intelligentes vorausschauendes Sicherheitssystem für Kraftfahrzeuge, das bei Gefahr vorbeugend eine automatische Notbremsung bewirkt, indem es bereits beim Erkennen einer kritischen Situation per Bordcomputer Sicherheitsmaßnahmen ergreift. Durch verschiedene Sensorik erkennt das Fahrzeug die Entfernung von Hindernissen und leitet zunächst eine deutliche Teilbremsung ein. Wenn der errechnete Abstand zu gering wird, wird eine Vollbremsung ausgelöst, um die Wucht des Aufpralls bei der Kollision mit dem Hindernis zu vermindern oder im Idealfall komplett zu vermeiden. [4]

3.2. Kurzübersicht über die Notbremsassistenzsysteme

Wenn der Fahrer den Überblick über das Verkehrsgeschehen für kurze Zeit verliert, weil ihm schreiende Kinder im Fahrzeug, ein etwas längerer Blick auf die schöne Landschaft oder ein kurzer Griff zur Sonnenbrille abgelenkt haben, und es außerdem noch zu einer kritischen Situation kommt, da der Vordermann plötzlich abbremst, dann entscheiden oft nur Bruchteile einer Sekunde über einen möglichen Auffahrunfall.

In solchen Situationen kann ein Fahrzeug mit Notbremsassistent die drohende Kollision erkennen und damit den Fahrer beim Bremsvorgang unterstützen oder sogar selbsttätig eine Notbremsung einleiten.

In Bezug auf diese Diplomarbeit wird das **Adaptive Cruise Control „Aktives Geschwindigkeits-/ Abstandsregelsystem“ (ACC)** den Notbrems-assistenzsystemen zugeordnet, da aus den Recherchen keine völlig eindeutige Zuordnung zwischen Bremsassistenz- und Notbremsassistenzsystem möglich war. Grundlage der Zuordnung ist, wie im Punkt 3.1. beschrieben, das automatische Einleiten des Bremsvorganges und nicht nur eine Unterstützung durch Druckaufbau in den Bremsleitungen.

Notbremsassistenzsysteme zählt man auch zur aktiven Sicherheit. Die aktive Sicherheit trägt dazu bei, dass ein Unfall verhindert werden soll. Dazu gehören ebenfalls Bremsanlage, Fahrwerk und Reifen genauso wie Scheinwerfersystem, optimale Sitzposition und gut erreichbare Bedienungselemente sowie eine Vielzahl in der Tabelle 1 aufgeführte Fahrerassistenzsysteme. Ziel ist es, einen Unfall zu vermeiden.

Im Gegensatz dazu haben passive Sicherheitssysteme wie das Airbagsystem, Gurtstraffer, Sicherheitslenksäulen, Kindersitze, Sicherheitsfahrgastzellen oder Überrollbügel die Aufgabe, Unfallfolgen zu verringern und zu mildern.

Es gibt derzeit drei verschiedene Arten von Notbremsassistenzsystemen, die einen Auffahrunfall verhindern oder die Folgen reduzieren sollen.

In den folgenden Unterpunkten werden die drei Systeme näher erklärt:

- ACC, erste Serienverwendung 2002
- City Brake / City Safety, erste Serienverwendung 2007
- City Brake / City Safety mit Fußgängererkennung, erste Serienverwendung 2013

3.2.1. ACC

Die bekannteste automatische Notbremsung ist der **Active Brake Assist (ABA)**, der als eine Erweiterung des ACC, dem sogenannten Abstandsregeltempomat zur Verhinderung von Auffahrunfällen dient. Dieses System ABA wird zur Zeit nur im Omnibus bzw. Lkw-Bereich angeboten. Im April 2014 stattete Mercedes-Benz den neuen Omnibus Travego, als wohl sichersten Omnibus der Welt, mit dem ABA 3 aus.

In dieser Diplomarbeit werden Notbremsassistenzsysteme im Bereich Pkw behandelt und darum nicht auf das ABA, welches auch zur Familie der Notbremsassistenzsysteme gehört, eingegangen.

Das ACC ist ein Fahrerassistenzsystem:

- das vorausfahrende Fahrzeuge erkennt
- deren Geschwindigkeiten ermittelt
- durch Brems- und Motoreingriffe einen gewünschten Abstand einhält

Der Fahrer kann so besonders bei längeren Fahrten und nachlassender Konzentration entlastet werden. Inzwischen gibt es viele weitere Hersteller und Fahrzeuge bis in die Kompaktklasse, in der ACC verbaut wird.

Das Fahrerassistenzsystem „ACC“ unterstützt den Fahrer sowohl beim Konstanthalten der Geschwindigkeit als auch beim Einhalten des Abstandes. Das ACC hält auf freier Strecke das Wunschtempo konstant (Abbildung 1). Darüber hinaus kann der Fahrer innerhalb der gesetzlichen Grenzen den Wunschabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug vorgeben.

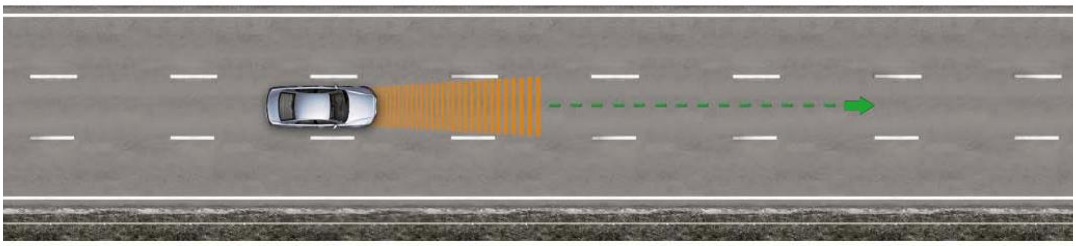


Abbildung 1: „Freie Fahrt“: Fahrt mit Wunschgeschwindigkeit, entnommen aus [5].

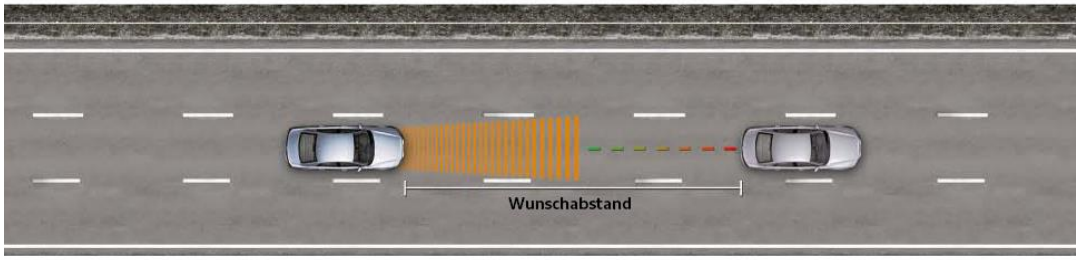


Abbildung 2: Vorausfahrendes Fahrzeug mit geringerer Geschwindigkeit als Wunschgeschwindigkeit, entnommen aus [5].

Nähert sich sein Fahrzeug einem langsameren Auto (Abbildung 2) auf der eigenen Fahrspur, erkennt das ACC den sich verringernden Abstand und reduziert die Fahrgeschwindigkeit durch Eingriffe ins Motormanagement und durch Bremsen mit maximal 0,2 g bis 0,3 g bis der vorgewählte Abstand erreicht wird. Ist die Fahrspur wieder frei, beschleunigt das ACC wieder auf das vorher gewählte Wunschtempo. Reicht die vom ACC geleistete Verzögerung nicht aus, weil z.B. ein Auto plötzlich einschert, fordert das ACC den Fahrer durch akustische Signale auf, selbst zusätzlich zu bremsen. Sinkt die Geschwindigkeit verkehrsbedingt unter 30 km/h, schaltet sich das ACC ab und signalisiert dies ebenfalls akustisch. Dabei wird der Fahrer in keiner Weise bevormundet. Er kann das System jederzeit durch Gasgeben überstimmen oder durch Tastendruck oder bremsen abschalten.

Zusätzlich zu der im Vordergrund stehenden Nutzung als Komfort-System leistet das ACC einen nicht zu vernachlässigenden Beitrag zur Verkehrssicherheit. Dieser Beitrag liegt im Einhalten eines konstanten und in der Regel größeren Abstandes zum vorausfahrenden Fahrzeug und in einer erwiesenen mentalen Entlastung, bedingt durch die Unterstützung bei der Fahraufgabe „Abstand halten“. Außerdem ermöglicht es eine schnellere Reaktion des Fahrers bei abrupten Geschwindigkeitsänderungen des vorausfahrenden Fahrzeugs durch kinestatische Informationen (Warnung durch ruckartige Änderungen der eigenen Geschwindigkeit).

Stehende Fahrzeuge wie auch Stauenden, können mit den ACC nicht erkannt werden, darum wurde es von den einzelnen Fahrzeugherstellern weiterentwickelt und mit Zusatzfunktionen angeboten.

Eine solche Zusatzfunktion ist z. B. das in fast allen Modellen von Audi angebotene **Audi braking guard II** mit dem nicht nur die Folgen eines schweren Unfalls reduziert werden, wie es bei dem ACC-System der Fall ist, sondern es kann selbständig Unfälle im Rahmen der physikalischen Möglichkeiten verhindern. Dabei führt das Fahrzeug bei Erkennung einer Gefahrensituation selbst eine automatische Notbremsung ein. Das geschieht z.B. bei Audi mit dem Audi braking guard II in vier Phasen (Abbildung 3):

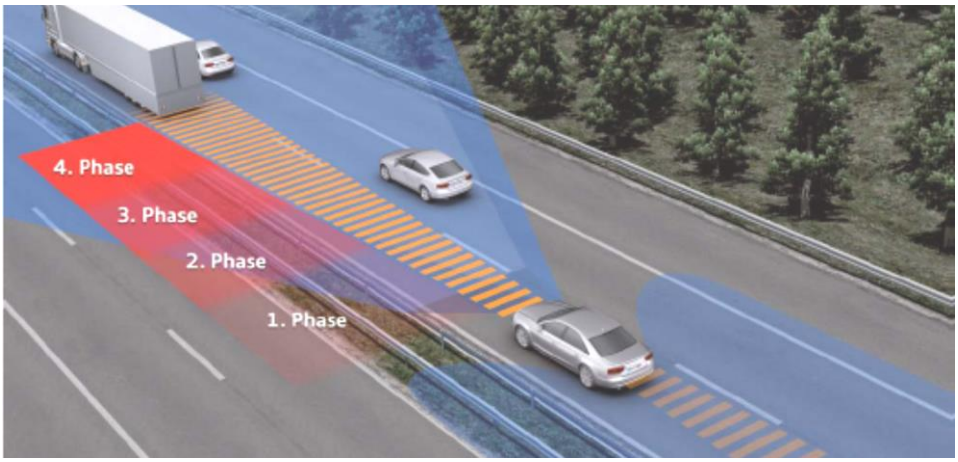


Abbildung 3: Der Abstand in den vier Phasen zum vorrausfahrenden Fahrzeug, entnommen aus [5].

Phase 1:

Bei Erkennen eines erhöhten Kollisionsrisikos durch die Radarsensoren wird eine optische und akustische Warnung an den Fahrer gegeben. Diese Warnung wird dann ausgelöst, wenn kein komfortables Bremsen oder Ausweichen zur Kollisionsvermeidung mehr möglich ist. Die Bremsbeläge werden dabei an die Bremsscheiben angelegt wobei gleichzeitig die Bremsscheiben gereinigt bzw. getrocknet werden. Die Auslösung zur Vollbremsung erfolgt jetzt aufgrund des hohen Gefahrenpotenzials schon bei geringeren Betätigungsgeschwindigkeiten des Bremspedals durch den Fahrer.

Phase 2:

Reagiert der Fahrer nicht auf die Vorwarnung, leitet das Steuergerät für Abstandswarnung vor der letzten Bremsmöglichkeit zur Vermeidung der Kollision einen plötzlichen Bremsdruckaufbau ein, den der Fahrer als deutlichen Bremsruck wahrnimmt. Dieser Bremsruck dient ausschließlich der nochmaligen eindringlichen Warnung des Fahrers, dass eine sofortige Reaktion von ihm erforderlich ist. Erfolgt vom Fahrer eine Reaktion durch Betätigung des Bremspedals, dann werden durch den Bremsdruckaufbau die maximalen Verzögerungswerte realisiert, die bei der jeweiligen Fahrbahnbeschaffenheit physikalisch möglich sind und eine Kollision mit dem Vorausfahrzeug verhindert, so dass es ihm wieder gefahrlos folgen kann. Dabei wird zu Beginn der automatischen Abbremsung die Gurtlose reduziert, um den Fahrer effektiv zurückzuhalten. Reagiert der Fahrer jedoch nicht, folgt →

Phase 3:

Durch das ESC-Steuergerät wird der Bremsdruck um etwa 50 % der maximalen Verzögerung erhöht. Durch Notfallblinken wird der nachfolgende Verkehr auf die Gefahrensituation hingewiesen. Da nun die Wahrscheinlichkeit einer Kollision hoch ist, werden zusätzlich geöffnete Seitenscheiben / Schiebedach soweit wie möglich geschlossen. Ziel ist es, die Stabilität der Fahrgastzelle zu erhöhen und die Insassen vor eindringenden Gegenständen zu schützen.

Phase 4:

Reagiert der Fahrer nun immer noch nicht und ist eine Kollision mit höherer Restgeschwindigkeit nicht mehr vermeidbar, erfolgt kurz vor dem errechneten Aufprallzeitpunkt eine nochmalige Erhöhung des Bremsdrucks auf den Wert der maximal möglichen Fahrzeugverzögerung. Die Kollision kann jetzt durch den Fahrer nicht mehr verhindert aber die Aufprall-geschwindigkeit wesentlich gemindert werden. [5]

Wie schon beschrieben, ist das „Audi braking guard II“ eine Erweiterung des ACC und soll zur Verhinderung von Auffahrunfällen und Minderung der Aufprallgeschwindigkeit, vor allem bei Stauenden auf der Autobahn mit hohen Geschwindigkeiten dienen. Auch andere Fahrzeughersteller bieten identische Systeme an. Eine solche Zusatzfunktion ist in den meisten Fällen durch einen Aufpreis beim Fahrzeugneukauf erhältlich.

3.2.2. City Brake / City Safety

Das City Brake / City Safety wird von verschiedenen Fahrzeuganbietern auch als City-Notbremsassistent, Active City Stop oder Audi pre sense front beschrieben und ist ein autonomes Notbremssystem, das Auffahrunfälle mit niedriger Geschwindigkeit verhindern oder zumindest mildern soll.

Diese Fahrassistenzfunktion war ursprünglich speziell für das Segment der Kleinwagen vorgesehen. Heute wird es nicht nur bei Kleinfahrzeugen sondern auch in der Mittelklasse und in nahezu allen Fahrzeugklassen angeboten.

Droht eine Kollision mit dem in Fahrtrichtung fahrenden Fahrzeug oder stehenden Objekt, ohne dass eine Reaktion des Fahrers eintritt, reagiert die Notbremsfunktion zwischen 5 km/h bis 50 km/h und leitet im Bedarfsfall automatisch ein Bremsmanöver ein.

Es verwendet einen LIDAR-Sensor (Licht- und Abstandssensor) der stehende wie vorrausfahrende Fahrzeuge erkennt. Der Sensor ist unabhängig von Nacht oder Tag aktiv. Allerdings wird die Funktion des Sensors durch anhaftenden Schmutz, Schnee usw. an der Windschutzscheibe sowie Wettereinflüsse wie dichter Nebel oder Starkregen beeinträchtigt.

Die Sensoreinheit ist im Spiegelfuß integriert und besteht aus einer Sende- und einer Empfangseinheit. Die Sendelinse ist dreistrahlig und die Empfangseinheit besteht aus zwei Linsen wie es in Abbildung 4 zu sehen ist.

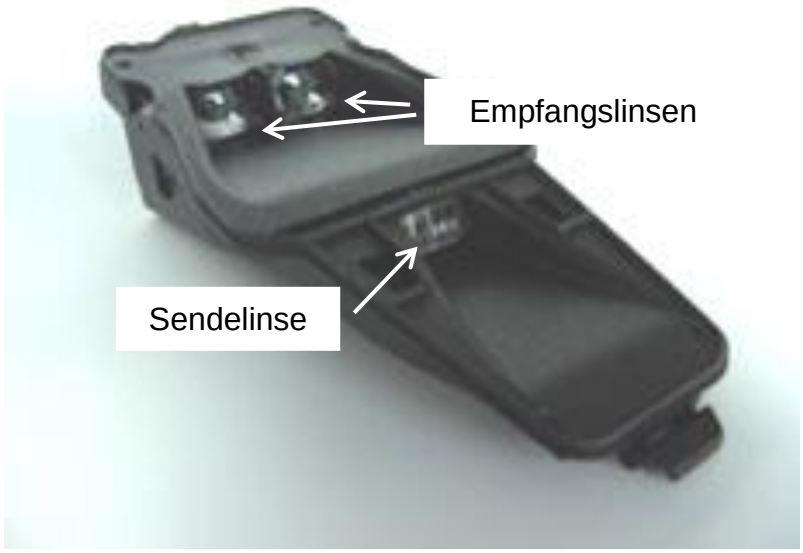


Abbildung 4: Sensoreinheit mit Sende- und Empfangseinheit, entnommen aus [6].

Die Sende- und Empfangseinheit verfügt über folgende Merkmale: [6]

- Sie sendet über Infrarot mit einer Wellenlänge von 905 Nanometer (nicht für das menschliche Auge erkennbar).
- Sie hat einen Öffnungswinkel von 27° horizontal und von 12° vertikal.
- Der Messbereich liegt zwischen 0,5 und 10 Metern.
- Sie arbeitet in einem Temperaturbereich zwischen -40°C und +95°C.
- Die Versorgungsspannung des Sensors liegt zwischen 7,5 – 16 V und die Leistungsaufnahme <1,8 W.
- Die Abmessungen des Sensors sind 150 x 73 x 36 mm und sein Gewicht liegt bei < 100 g.
- Der Laser-Sensor ist in die Laserklasse 1M eingeteilt.

Funktion:

Die Sensoreinheit für Notbremsfunktion ermittelt Distanz, Geschwindigkeit und Richtung eines sich nähernden Objekts in Fahrtrichtung. Treffen die gesendeten Lasersignale auf ein Objekt, so werden sie reflektiert. Ein Decoder in der Sensoreinheit errechnet die Distanz aus der Zeit zwischen aus- und eingehendem Lasersignal.

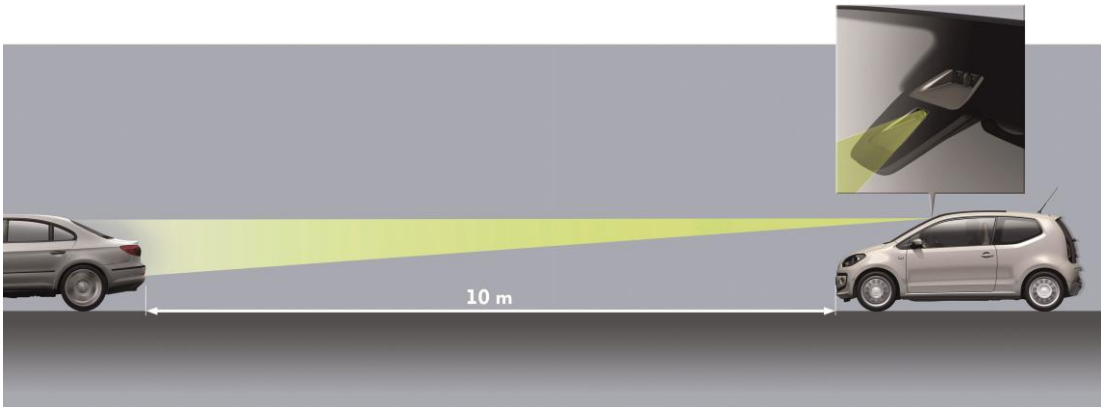


Abbildung 5: Abstand zum vorrausfahrenden Fahrzeug, entnommen aus [6].

Die Sensoreinheit überwacht den Raum vor dem Fahrzeug bis zu etwa zehn Meter Entfernung, wie es in Abbildung 5 dargestellt ist. Verkürzt sich der Abstand zu einem Hindernis so schnell, dass ein Kollisionsrisiko oder ein Auffahrunfall droht und der Fahrer nicht reagiert, beaufschlagt der City-Notbremsassistent das Bremssystem mit Vordruck, um bei Bedarf eine schnellere Ansprechbereitschaft und höhere Bremswirkungen zu ermöglichen. Das bedeutet, dass die Bremsen nun sofort ansprechen, wenn der Fahrer das Bremspedal betätigt.

Erhöht sich das Kollisionsrisiko dadurch, dass der Fahrer nicht oder zu wenig bremst, versetzt das System die hydraulische Bremshilfe in erhöhte Ansprechbereitschaft und sorgt für erhöhten Bremsdruck, sodass eine Verzögerung von bis zu 10 m/s² eingeleitet werden kann um den Bremsweg

zu verkürzen. Falls der Fahrer weiterhin keine Maßnahmen einleitet, betätigt der City-Notbremsassistent die Bremsen autonom und informiert den Fahrer über einen Warnsummer und visuelle Signale am Armaturenbrett, dass das System zur Unfallvermeidung eingreifen musste.

Sollte der Fahrer kurz vor einem Aufprall doch noch bremsen, optimiert der City-Notbremsassistent die Bremswirkung, um den Aufprall nach Möglichkeit zu verhindern.

Die folgende Abbildung 6 zeigt die Abfolge bei erkannter Kollisionsgefahr, wenn der Fahrer nicht oder zu wenig bremst.

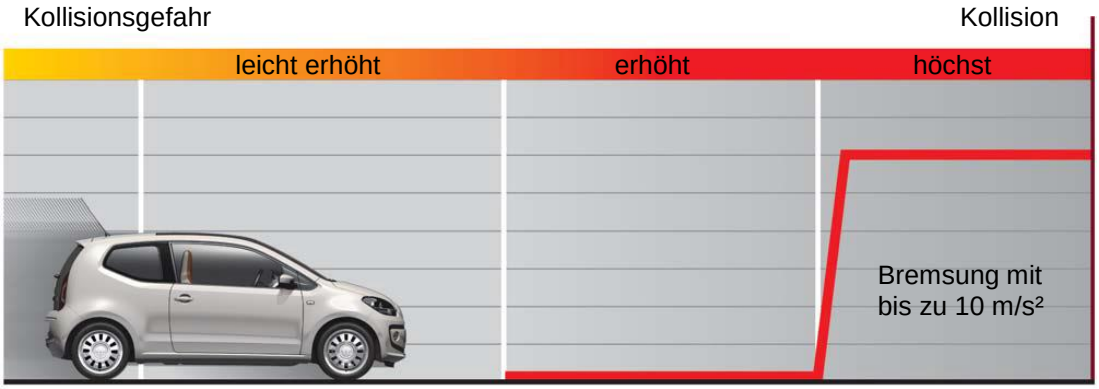


Abbildung 6: Bremsverlauf bei Nichteingriff des Fahrers, entnommen aus [6].

Einsatzbedingungen:

- Die Notbremsfunktion reagiert im Geschwindigkeitsbereich unterhalb von 30 km/h. (In Fahrzeugen ab 2013 bis 50 km/h)
- Sie überwacht den vorausfahrenden Verkehr und Hindernisse im Abstand von bis zu 10 Meter.
- Die Notbremsfunktion reagiert auf in gleicher Richtung fahrende, anhaltende oder stehende Fahrzeuge.

Systemgrenzen:

- Bei der Notbremsfunktion erfolgt keine Fahrerwarnung.
- Die Notbremsfunktion reagiert nicht auf querende oder entgegenkommende Fahrzeuge sowie schwach reflektierende Verkehrsteilnehmer wie z.B. Fußgänger.

Der City-Notbremsassistent ist darauf ausgelegt, Auffahren bei niedrigen Geschwindigkeiten auf stehende oder sich in gleicher Fahrtrichtung bewegende Fahrzeuge zu vermeiden bzw. zu mildern. In erster Linie ist das System auf Auffahrkollisionen im Stadtverkehr ausgerichtet wie es sich auch im Namenbestandteil „City“ widerspiegelt. Es greift daher bei Autobahngeschwindigkeiten nicht ein.

3.2.3. City Brake / City Safety mit Fußgängererkennung

Die Einführung von Fußgänger-Notbremsassistenten stellt einen weiteren großen Schritt in der Fahrzeugsicherheit dar und hat das Potenzial, viele Menschenleben zu retten oder die Unfallschwere zu reduzieren. Fußgänger-Notbremsassistenten werden im Euro NCAP-Verbraucherschutzprogramm erst ab 2016 bewertet. [7]

Bei Volvo ist der Notbremsassistent „City Safety mit Fußgängererkennung“ (Abbildung 7) meist serienmäßig verbaut. Das System funktioniert bis 35 km/h, bei Tageslicht und Personen über 80 cm Körpergröße. Volvo gebührt die Anerkennung, sich als Erster 2010 mit diesem System in Serie gewagt und damit die Vorreiterrolle eingenommen zu haben.

Bei dieser Weltneuheit, die erst von wenigen Fahrzeugherstellern angeboten wird, handelt es sich um ein hochentwickeltes System, das aus einem in dem Fahrzeuggrill integrierten Dual-Modul-Radargerät und einer hinter dem Innenspiegel angeordneten Kamera besteht.

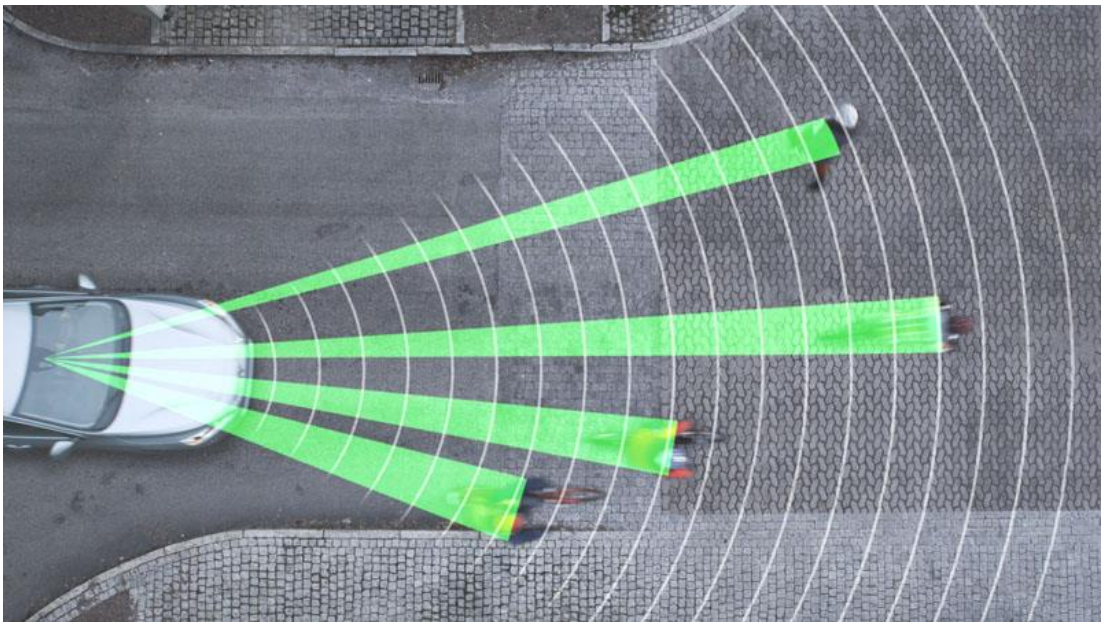


Abbildung 7: Fußgängererkennung von der im Innenspiegel angeordneten Kamera, entnommen aus [8].

Der Fahrer wird zuerst durch ein akustisches und optisches Signal im Frontsichtdisplay der Windschutzscheibe (je nach Fahrzeughersteller unterschiedlich und abweichend) alarmiert. Um eine Reaktion des Fahrers hervorzurufen, wird eine visuelle Warnung, die wie ein Bremslicht aussieht, in die Windschutzscheibe projiziert. Wenn der Fahrer nicht auf diese Warnung

reagiert und eine Kollision unabwendbar ist, werden die Bremsen mit 100% Bremskraft aktiviert.

Das Fahrzeug bremst nur, wenn ein Ausweichen nicht mehr möglich ist. Dabei werden die Bremsen in weniger als einer Sekunde vor der berechneten Kollision aktiviert. Das System erkennt bis zu einer Geschwindigkeit von 35 km/h Fußgänger und verhindert, wenn der Fahrer nicht rechtzeitig bremst durch eine automatische Bremsung die Kollision. Bei höherem Tempo wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs vor dem Aufprall so weit wie möglich reduziert und so das Risiko schwerer Verletzungen der Fußgänger deutlich minimiert.

Im Tageslicht erkennt das Radar Objekte jeglicher Form und misst den Abstand zu ihnen. Durch die Kamera kann bestimmt werden, um welchen Typ von Objekt es sich handelt. Um ein Objekt als Fußgänger zu erkennen, muss die Kamera die gesamte menschliche Kontur erfassen, wie in Abbildung 8 zu sehen ist. Die meisten Systeme erkennen Personen mit einer Körpergröße über 80 cm.

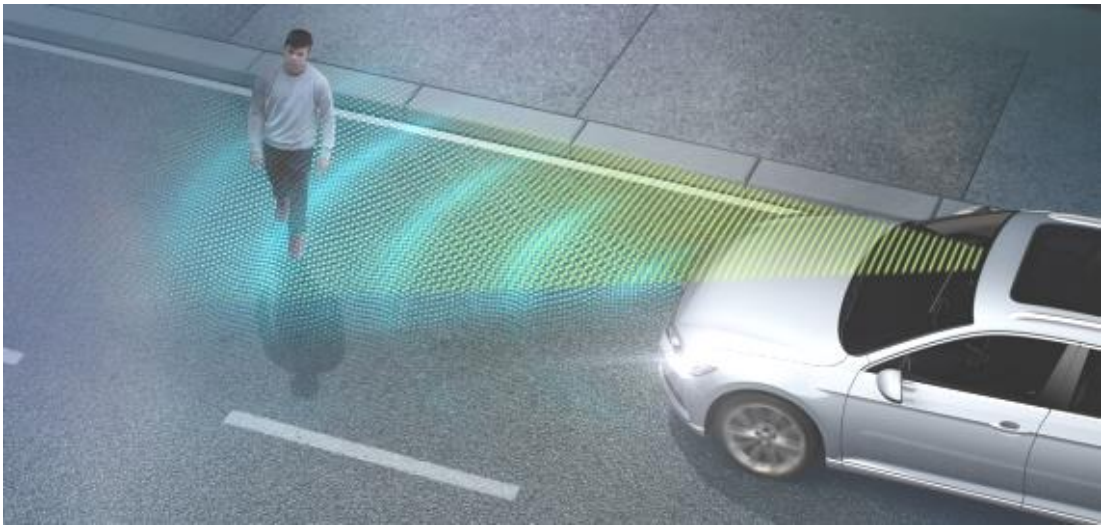


Abbildung 8: Erkennung einer Person auf der Fahrbahn durch das Radarsystem, entnommen aus [9].

Die Kamera funktioniert wie das menschliche Auge und kann nur sehen, was der Fahrer sehen kann. Sowohl Radar als auch Kamera haben begrenzte Sichtfelder und können z.B. durch Regen, Schnee, Spritzwasser oder tiefstehende Sonne in ihrer Funktion beeinträchtigt werden. Unter solchen Bedingungen oder wenn der Anfangsabstand zu einem Objekt zu gering ist, erfolgt eine Warnung, dass das System nicht ordnungsgemäß arbeiten kann.

3.3. Philosophie und Versprechen der Hersteller

Um einen Überblick zu erhalten, wie die Notbremsassistenzsysteme von den einzelnen Fahrzeugherstellern genannt und beschrieben werden, wird aus den Prospekten und Preislisten der fünf Fahrzeuge, die im Anschluss bei den Fahrversuchen verwendet wurden, die korrekte Bezeichnung und dazugehörige Beschreibung der Notbremsassistenzsysteme aufgezeigt.

3.3.1. Ford

Ford bietet an:

- ACC — Mondeo (Baujahr 2011)
- Active City Stop — Focus, B-MAX, C-MAX, Fiesta, Grand-C-MAX, Kuga (ab Baujahr 2012)

Die **Adaptive Geschwindigkeitsregelanlage „ACC“** im Mondeo mit Auffahrwarnsystem wird bei Ford folgendermaßen beschrieben:

„Sie ermöglicht ein entspannteres Fahren mit einer vorgewählten Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der vorherrschenden Verkehrssituation. Dringt ein anderes Fahrzeug in den voreingestellten Sollabstand ein, reguliert ACC den Abstand durch Bremseingriff und beschleunigt selbsttätig auf die vorgewählte Geschwindigkeit, sobald die Strecke wieder frei ist.“ [10]

Das **Active City Stop** im Focus, B-MAX, C-MAX, Fiesta, Grand-C-MAX sowie im Kuga wird bei Ford folgendermaßen beschrieben:

„Um Auffahrunfälle bei weniger als 30 km/h Geschwindigkeit zu reduzieren, überwacht ein Laser-Sensor kontinuierlich den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Wenn das Fahrzeug vor Ihnen langsamer wird oder abrupt bremst, erhöht das System frühzeitig den Bremsdruck und leitet sogar selbsttätig den Bremsvorgang ein.“ [11]

3.3.2. Audi

Audi bietet an:

- ACC — gesamte Fahrzeugpalette
- Audi pre sense front — gesamte Fahrzeugpalette

Das **Adaptive Cruise Control „ACC“** wird von Audi folgendermaßen beschrieben:

„Mit Hilfe eines Radarsensors werden vorausfahrende Fahrzeuge erkannt. Durch Bremsen und Beschleunigen wird der Abstand im Regelbereich ab etwa 30 bis 200 km/h weitestgehend konstant gehalten. Vier Abstandstufen und verschiedene Fahrmodi sind einstellbar.“ [12]

Audi pre sense front ist eine Zusatzfunktion zum ACC und wird von Audi bei den meisten Modellen inklusive angeboten. Es entspricht dem City-Brake / City-Safety System und wird von Audi wie folgt beschrieben:

„Es ist ein erweiterter Bremsassistent, der im Falle einer erkannten drohenden Kollision mit einem vorausfahrenden Fahrzeug warnt. Kann bei Bedarf eine Teilbremsung einleiten oder die Bremsung des Fahrers verstärken. Zudem wird unterhalb von 30 km/h eine Vollverzögerung eingeleitet, wenn Kollisionsgefahr mit einem stehenden oder fahrenden Fahrzeug besteht, um die Kollisionsgeschwindigkeit zu reduzieren bzw. die Kollision unter Umständen zu vermeiden.“ [13]

3.3.3. VW

VW bietet an:

- ACC — sämtliche Modelle außer Up
- Umfeldbeobachtungssystem “Front Assist“ mit City-Notbremsfunktion — sämtliche Modelle außer Up
- City-Notbremsfunktion — VW Up

Unter der **Automatischen Distanzregelung „ACC“** verspricht VW:

„Im Rahmen der Grenzen des Systems auf Autobahnen, in der Stadt oder bei stockendem Verkehr wird die Geschwindigkeit bis zu 160 km/h an vorausfahrende Fahrzeuge angepasst. Es hält den vorgeschriebenen Abstand und warnt vor zu schneller Annäherung auf andere Fahrzeuge.“ [14]

Bei dem **Umfeldbeobachtungssystem „Front Assist“ mit City-Notbremsfunktion** wird beschrieben:

„Es wird eine kritische Abstandssituation erkannt und hilft somit den Anhalteweg zu verkürzen. Es warnt den Fahrer in Gefahrensituationen

optisch und akustisch sowie mit einem präventiven Bremsruck. Es leitet einen Bremseingriff ein und kann die Schwere einer Kollision mindern bzw. eine Kollision gänzlich verhindern.“ [15]

Beschreibung der **City-Notbremsfunktion** im Up:

„Die City-Notbremsfunktion verspricht einen wertvollen Beitrag zur Fahrsicherheit. Durch einen Lasersensor im oberen Bereich der Frontscheibe überwacht das System den vorausfahrenden Verkehr sowie Hindernisse im Abstand von bis zu 10 Meter. Die City-Notbremsfunktion reagiert im Geschwindigkeitsbereich bis 30 km/h und erzeugt im Rahmen der Grenzen des Systems im Notfall so viel Bremsdruck, dass die Schwere einer Kollision in vielen Situationen verringert oder im Idealfall eine Kollision sogar vermieden werden kann.“ [16]

3.3.4. Volvo

Volvo bietet an:

- ACC
- Notbremsassistent mit Fußgänger- und Fahrradfahrererkennung
- City-Safety Technologie (serienmäßig)

Unter dem **Aktiven Geschwindigkeits-/ Abstandsregelsystem „ACC“** verspricht Volvo:

„Der adaptive Tempomat hilft dem Fahrer, einen sicheren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einzuhalten. Ist der Weg wieder frei, nimmt das Fahrzeug erneut die gewählte Geschwindigkeit auf.“ [17]

Das **Notbremsassistent mit Fußgänger- und Fahrradfahrererkennung** wird folgendermaßen beschrieben:

„Ihre Sicherheit liegt uns am Herzen, genauso wie die aller anderen Verkehrsteilnehmer auch. Daher scannt die Fußgängererkennung die Umgebung auf unerwartet die Straße kreuzende Passanten oder Radfahrer und bremst notfalls für Sie, wenn Sie nicht mehr rechtzeitig reagieren können.“ [18]

Die **City-Safety Technologie**, wird bei den meisten Volvo-Modellen serienmäßig angeboten und folgendermaßen beschrieben:

„City Safety wurde entwickelt, um im Stadtverkehr zu verhindern, dass Sie auf ein plötzlich vor Ihnen bremsendes Fahrzeug auffahren. Dieses hoch entwickelte IntelliSafe-System arbeitet bei Geschwindigkeiten bis 50 km/h, erkennt mögliche Kollisionen und greift wenn nötig mit einer Bremsung ein.“ [18]

4. Verwendete Messtechnik

Nach der theoretischen Analyse der verwendeten Notbremsassistenz-systeme, die im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit im fahrtechnischen Vergleich durch Fahrversuche getestet und analysiert werden (ACC und City Brake / City Safety), wird im Folgenden die dazu verwendete Messtechnik aufgeführt. Dabei wird das Peiseler-Rad mit Fehlerquellen und Messgenauigkeit beschrieben, ebenso wird auf die Erfassung des Bremsweges und der Umweltbedingungen eingegangen.

4.1. Erfassung der Bremsverzögerung

Unter Bremsverzögerung versteht man eine Beschleunigung mit negativem Vorzeichen. Eine Beschleunigung mit positivem Vorzeichen sorgt dafür, dass ein Objekt oder eine Person schneller wird. Eine Beschleunigung mit negativem Vorzeichen sorgt hingegen dafür, dass das Objekt oder die Person langsamer wird. Die Verzögerung des Fahrzeugs ist von vielen verschiedenen Faktoren abhängig.

- Fahrzeug:
  - Auslegung der Bremsanlage
  - Temperatur der Bremsanlage
  - Bereifung des Fahrzeugs
  - Gewicht des Fahrzeugs
- Fahrbahn:
  - Art der Asphaltierung
  - Temperatur des Asphalts
  - Zustand des Asphalts (nass, trocken)
  - Steigung oder Gefälle der Fahrbahn

Es gibt viele Messgeräte mit denen die Bremsverzögerungen beim Fahrzeug gemessen werden können. Die Messgeräte arbeiten meist mit:

- GPS
- Laser
- Drehzahl
- Gierrate

Es wurde nach einem geeigneten Messsystem gesucht, mit dem unter anderem Bremsbeginn, Bremsweg, Verzögerung und Stillstand gemessen und aufgezeichnet werden können. Das Peiseler-Rad, ein hochauflösendes Verzögerungsmessgerät, das für die an fünf Fahrzeugen notwendigen Versuchsreihen leicht zu montieren und zu wechseln ist, erschien dafür geeignet. Dieses wurde von der Firma Peiseler GmbH in München für die Fahrversuche zur Verfügung gestellt.

4.1.1. Peiseler-Rad

Aufbau und Funktion des Peiseler-Schlepprades

Um schlupffreie Ergebnisse für alle Messungen, obgleich bei extremen Temperaturen, Schneefall, Regen, Nässe, Pfützenbildung auf der Messstrecke oder unabhängig von der Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche zu erhalten, ist das von der Fachwelt „Peiseler-Rad“ genannte „fünfte Rad“ am zuverlässigsten. Das Messsystem ist aus mehreren Baugruppen aufgebaut, die anschließend kurz aufgezählt und erklärt werden.

Das Rad besteht aus zwei Hauptgruppen:

1. Das Rad:

Es besteht aus einem 28-Zoll-Fahrradreifen, auf dessen Nabe ein Zahnradkranz befestigt ist (Abbildung 9). Ein Kegelrad, das in den Kranz greift, überträgt die Drehung des Rades auf die Geberwelle. Diese Drehung wird mit Hilfe eines elektronischen Impulsgebers verzögerungsfrei in Rechtecksignale umgewandelt. Der Zusammenhang zwischen Impulszahl pro Radumdrehung und die damit zurückgelegte Wegstrecke mit der Übersetzung

Abbildung 9: Peiseler-Schlepprad

$$\frac{\omega_{Rad}}{\omega_{Geberwelle}} = \frac{1}{2,16}$$

ergibt eine Geberwellenumdrehung und entspricht einem Meter zurückgelegte Wegstrecke. Zwei Federn sorgen mit der nötigen Anpresskraft dafür, dass das Rad bei Unebenheiten nicht von der Straßenoberfläche abhebt.

Wichtige Daten des Peiseler-Rades: [19]

Reifengröße:	28 Zoll
Radumfang:	2,16 Meter
Luftdruck:	5 bar
Geberanschluss:	Gewinde DIN-KR mit Abtrieb 1 Umdrehung/m
Gewicht:	ca. 9 kg
Übersetzung:	1:2,16

2. Das Befestigungselement:

Das Befestigungselement besteht aus einer Saugeranlenkung mit drei Saugnäpfen und einem Sicherungsband (Abbildung 10). Die schwenkbare Saugeranlenkung wird schnell und sicher seitlich an der Karosserie montiert. Dabei ist zu beachten, dass die Fläche, an die die unteren beiden Saugnäpfe montiert werden, schmutzfrei ist und eine plane Fläche aufweist. Der dritte Saugnapf wird so angebracht, dass er senkrecht nach oben an die Seitenscheibe gesaugt wird. Mit verschiedenen Gelenken am Befestigungselement kann es perfekt an Seitenwand oder Tür angepasst werden und so Unebenheiten leicht ausgleichen. Mit dem roten Sicherungsband wird das ganze Rad mit seinem Befestigungselement gegen Abfallen gesichert. Bei Rückwärtsfahrt kann das Rad mit dem gelben Einspannblock nach oben arretiert werden.

Abbildung 10: Befestigung

Impulsgeber MT100/e SR:

Die Impulsgeber (Abbildung 11) der Firma Peiseler GmbH arbeiten nach dem Prinzip der photoelektrischen Abtastung eines Rastermaßstabes. Das Prinzip beruht auf dem Effekt, dass optische Bilder über kurze Entfernung sehr scharf mit definierten Hell/Dunkel-Übergängen projiziert werden können. Er zeichnet sich durch hohe Präzision, robustes Gehäuse und sehr gute Beständigkeit gegen Witterungseinflüsse aus. Der Impulsgeber wird auf das am Schlepprad vorhandene Gewinde aufgeschraubt. Durch die Drehbewegung des Schlepprades wird je nach Geber n* Impulse pro Meter Fahrstrecke gemessen.

Abbildung 11: Impulsgeber MT100/e SR

Wichtige Daten des Impulsgebers MT100/e SR: [20]

Gehäuse:	Aluminium eloxiert mit Doppelkugellager
max. km/h:	Mit Schlepprad „HR“ 300 km/h
Lebensdauer:	>100.000km
Impulszahl:	100 – 4.000 Imp/U
Temperatur:	-25 °C bis +65 °C
Impulsausgang:	2 Kanäle mit n Imp/U, um 90° phasenverschoben
Tastverhältnis:	50% ± 5%

Messgerät VTS-Wolfsburg:

Abbildung 12: VTS-Wolfsburg

Hauptbestandteil des Systems ist das VTS-Wolfsburg. Das Gerät verarbeitet die Impulse der Sensoren und wandelt diese in Weg bzw. Geschwindigkeit um, sodass Beschleunigungs-, Verbrauchs- und Bremsmessungen durchgeführt werden können. Alle für die Messung relevanten Einstellungen werden dort eingestellt. Die gemessenen Daten werden in Echtzeit beim laufenden Versuch auf einer Dokumentationsrolle, die in Abbildung 12 zu sehen ist, ausgedruckt. Die Stromversorgung wird über den Zigarettenanzünder im Fahrzeug hergestellt.

Auf Abbildung 13 ist die Vorderansicht und auf Abbildung 14 die Rückseite des VTS-Wolfsburg zu sehen.

Bedienung des Gerätes:

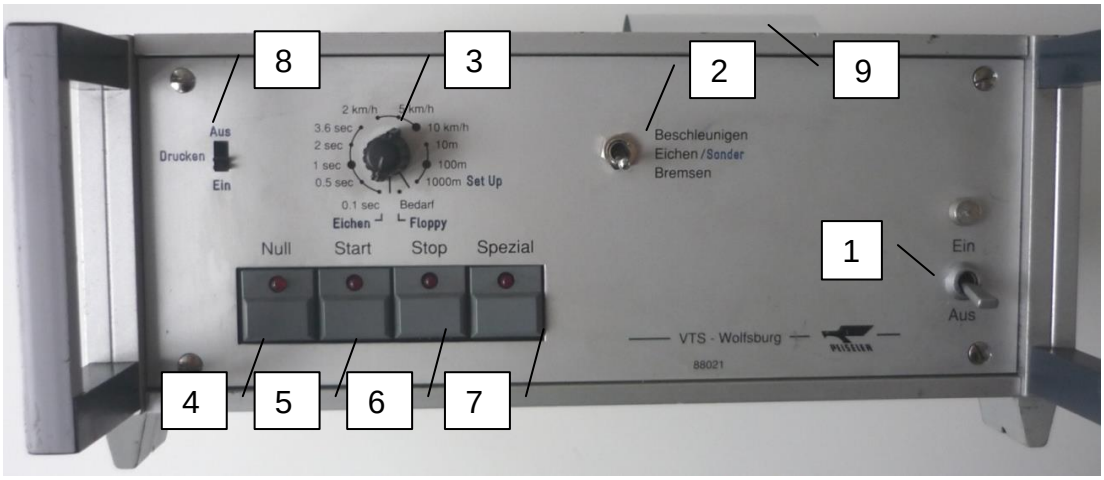


Abbildung 13: Frontansicht des VTS-Wolfsburg

1 Ein-/ Aus Schalter

2 Schalter zum Wählen der Messmodi „Beschleunigungen“ oder „Bremsen“. Auf „Eichen/Sonder“ können Einstellungen sowie die Kalibrierung des Peiseler-Rades durchgeführt werden.

3 Mit dem Drehschalter kann eingestellt werden, in welchen Sequenzen gemessen werden soll. „Set Up“, „Eichen“ und „Floppy“ können nur gewählt werden, wenn der Kipphebel auf „Eichen/Sonder“ gestellt wurde.

4 Die Taste „Null“ schließt die Messung ab und löscht alle gemessenen Ergebnisse.

5 Die Taste „Start“ leitet eine neue Messung ein. Bei erneutem Drücken der Taste beginnt die Messung und die Ergebnisse werden gleichzeitig am Drucker ausgegeben.
6 Mit der Taste „Stop“ wird die Messung beendet.
7 Mit der Taste „Spezial“ können weitere Einstellungen geändert werden.
8 Bei Ein-Stellung dieses Schalters können Ausdrucke gemacht werden.
9 Ausdruck der gemessenen Ergebnisse.

Anschlüsse auf der Rückseite:

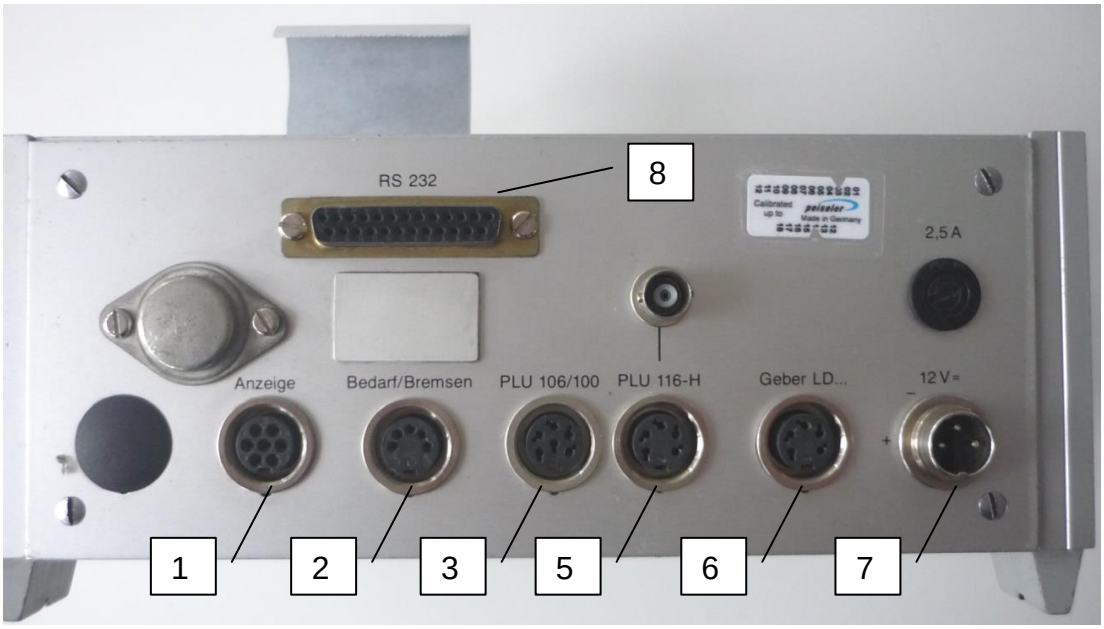


Abbildung 14: Anschlussmöglichkeiten am VTS-Wolfsburg

1 Eingang zum Anschließen der Fahreranzeige
2 Eingang für Geräte, die die Messung extern starten bzw. stoppen. (z.B. Stopplicht und Fußschalter auf Fußbremse)
3 Eingang zum Aufzeichnen der Drehzahl
4 Analogeingang zum Anschließen analoger Sensoren.
5 Am PLU 116H-Eingang kann ein Verbrauchsmesser angeschlossen werden.
6 Eingang zum Anschluss eines Peiseler-Rades oder eines anderen Wegsensors.
7 Anschluss an eine 12V Spannungsversorgung
8 RS 232 Schnittstelle zum Anschließen an einen Drucker

Fahreranzeige:

Abbildung 15: Zusätzliche Anzeigeeinheit für den Fahrer

Die Anzeige wird am VTS-Wolfsburg angeschlossen und dient dem Fahrer als Informationsquelle (Abbildung 15). Die vier Tasten auf der Oberseite, die auf Bild 16 zu sehen sind, haben die gleiche Funktion wie die Tasten 4, 5, 6 und 7 auf Abbildung 13 des VTS-Wolfsburg. Angezeigt werden Geschwindigkeit, Weg und je nach Messmodus oder Schalterstellung wahlweise Verbrauch oder Zeit.

Auf Abbildung 16 ist das VTS-Wolfsburg mit der Anzeigeeinheit nochmals dargestellt. Die Abbildung zeigt genau die Einstellung, die bei den Fahrversuchen verwendet wurde.

Abbildung 16: VTS-Wolfsburg mit zusätzlicher Anzeigeeinheit

4.1.2. Fehlerquellen und Messgenauigkeit

Die Messergebnisse können durch Fehlerquellen und unzureichender Messgenauigkeit verfälscht werden. Darum wird auf die Messgenauigkeit des Peiseler-Rades und auf mögliche Fehlerquellen durch das Testfahrzeug eingegangen.

Genauigkeit der Peiseler-Systeme für Kfz-Tests

Um die Messgenauigkeit des Peiseler-Schlepprades mit dem Messgerät VTS-Wolfsburg festzustellen, wurde das Peiseler-Rad vom TÜV Bayern geprüft. Aus dem Prüfbericht geht hervor, dass das Peiseler-Schlepprad 28 Zoll mit Sauger und Messgerät VTS-Wolfsburg eine genau auf 100 Meter ausgemessene Strecke achtmal durchfahren hat. Dabei hat sich eine mittlere Abweichung von 0,02% ergeben.

Die Genauigkeit der Zeit hängt von einem schwingenden Quarz-Kristall ab. Bei der Prüfung wurde eine Genauigkeit von ±50 / 1 Millionen festgestellt. Bei der Wegmessung, die vom Schlepprad abhängt, d.h. vom Umfang des Laufrades, des Luftdrucks, der Anpressung des Schlepprades an die Fahrbahn und der Ausdehnung des Reifens in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, hat sich eine Messgenauigkeit von ±0,2% ergeben. [21]

Mögliche Fehlerquellen durch das Testfahrzeug

Ebenso muss berücksichtigt werden, dass das Fahrzeug beim Erreichen des Stillstandes auf Grund der Fliehkraft über die Längsachse nach vorne schiebt und wieder zurück sowie eine Nickbewegung über die Querachse entsteht (Abbildung 17). Diese Bewegungen werden vom Peiseler-Rad mitgefahren und somit vom Messsystem aufgezeichnet.

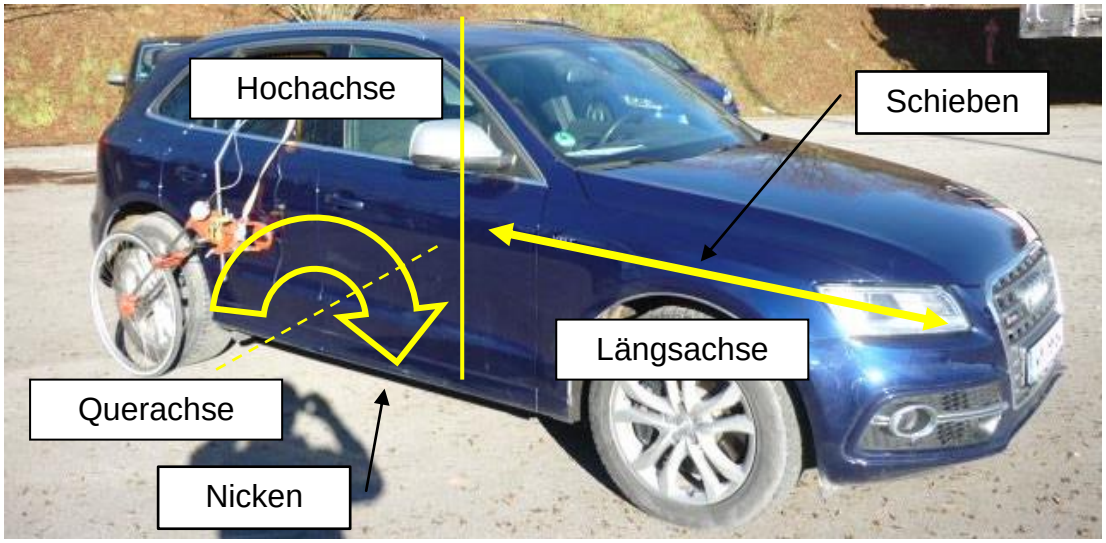


Abbildung 17: Nick- und Schiebbewegung des Fahrzeugs

Dadurch können bei der Analyse und Auswertung der drei Zeit-Diagramme Ungenauigkeiten und Ablesefehler entstehen.

4.2. Erfassung des Bremsweges

Um feststellen zu können, wie weit das Fahrzeug vor oder nach dem simulierten Stauende zum Stehen kommt, wurde ein Maßband vor und nach dem Hindernis auf die Fahrbahn geklebt, wie in Abbildung 18 zu sehen ist. Zudem ist der Abstand des Stillstandes vor oder nach dem Hindernis ausschlaggebend für die Berechnung des Bremsweges. So kann mit den ausgedruckten Daten des VTS-Wolfsburg der Beginn der Bremsung vor dem simulierten Hindernis berechnet werden.

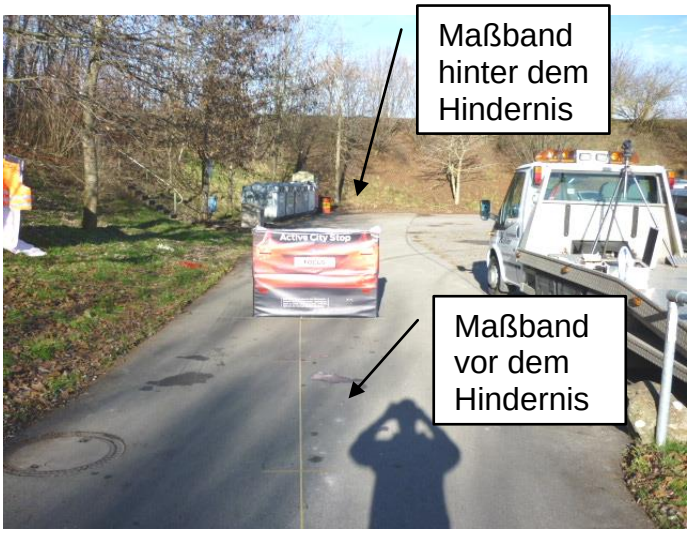


Abbildung 18: Simuliertes Stauende mit Maßband am Boden

Um den Abstand vor oder hinter dem Hindernis mit dem stehenden Fahrzeug zu messen wurden zwei Maßbänder benutzt. Jeweils mit Null beginnend wurden die Maßbänder von der vorderen Kante des Hindernisses in beide Richtungen auf die Fahrbahn geklebt, damit der Abstand vor oder auch bei Überfahren des Hindernisses dahinter abgelesen werden kann. Durch das Aufkleben des Maßbandes wurde sichergestellt, dass alle Messungen gleich und nicht durch den Fahrtwind des Fahrzeugs oder Verschieben des Hindernisses verfälscht werden.

Der Abstand des Fahrzeugs vom Hindernis wurde immer senkrecht von der Stoßstange des Fahrzeugs zur Fahrbahn abgelesen, damit keine parallaxen Ablesefehler entstehen. Auf dem Auswertungsblatt des jeweiligen Fahrzeugs wurde der Abstand mit plus (= vor dem Hindernis) oder minus (= hinter dem Hindernis) notiert, um später die Ergebnisse richtig auswerten zu können

4.3. Erfassung der Umweltbedingungen

Vor Ort wurde die Außenlufttemperatur mit Hilfe eines Thermometers und mit der Temperaturanzeige im Inneren des Fahrzeugs gemessen, verglichen und dokumentiert. Die Teststrecke wurde vor Versuchsbeginn gründlich gereinigt, sodass die Messungen durch Kies oder Blätter nicht verfälscht werden konnten.

5. Versuchsaufbau, Versuchsbeschreibung und Dokumentation

In den nachfolgenden Punkten wird der Versuchsaufbau beschrieben, ebenso wird erläutert, wie die Versuche ablaufen werden.

5.1. Örtlichkeit

An die Teststrecke gestellte Anforderungen:

- Relativ gerade und ebene Strecke oder Fläche
- Asphaltierung soll der einer Landstraße oder Autobahn entsprechen
- Strecke oder Fläche muss komplett absperrbar sein
- Keine öffentliche Verkehrsfläche
- Jederzeit zur Verfügung stehend
- Fahrbahnlänge muss zum Beschleunigen bis 40 km/h, Abbremsen auf Hindernis sowie Sicherheitsabstand für evtl. nötige Notsituationen ausreichend sein

Um noch Testversuche durchführen zu können, bevor zwei bis drei Tage später der richtige Versuch startet, wurde nach einem Gebiet gesucht, das in der Nähe des Wohnortes des Diplomanten liegt. Um Ärger mit den örtlichen Behörden zu vermeiden wurde eine Teststrecke außerhalb der öffentlichen Verkehrswege gewählt.

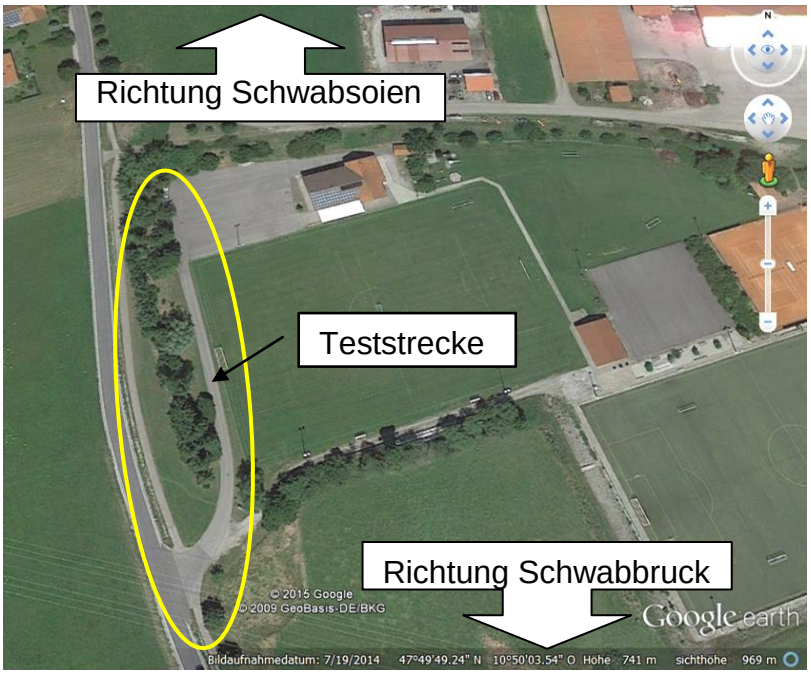


Abbildung 19: Sportplatzgelände, bezogen aus [22].

Beschreibung der Teststrecke:

Nach längerer Suche wurde die Einfahrtstraße zum Sportplatz in 86986 Schwabbruck ausgewählt (Abbildung 19). Zwischen der nördlichen Ortsausfahrt von Schwabbruck befindet sich die Einfahrt zum Sportplatzgelände. Von der Einfahrt auf das Sportplatzgelänge über den Parkplatz hin zum Graswall kommt man auf eine Länge von 130 Metern. Die Straßenbreite beträgt zwei Meter. Auf Abbildung 20 ist das Gelände genauer dargestellt.

Das Gelände kann komplett abgesperrt werden, sodass keine Gefährdung Dritter entsteht. Auf Nachfrage genehmigte die Vorstandschaft des TSV 67 Schwab-bruck die Nutzung des Sportplatz-geländes für die Fahrversuche. Die Teststrecke liegt genau zwischen zwei Dörfern, die weit genug entfernt sind, sodass keine Lärmbelästigung ent-stehen kann. Außerdem ist die Teststrecke durch Bäume auf die Verbindungsstraße der beiden Dörfer abgeschottet, sodass keine Schaulustigen angelockt werden können. Die Teststrecke kann jederzeit gesperrt und Testversuche im Voraus durchgeführt werden. Ebenso dürfen Markierungen auf die Straße angebracht und die nötigen Utensilien (Vorhang, Pylone, Kegel) für einen praxisgerechten Versuchsaufbau aufgestellt werden.

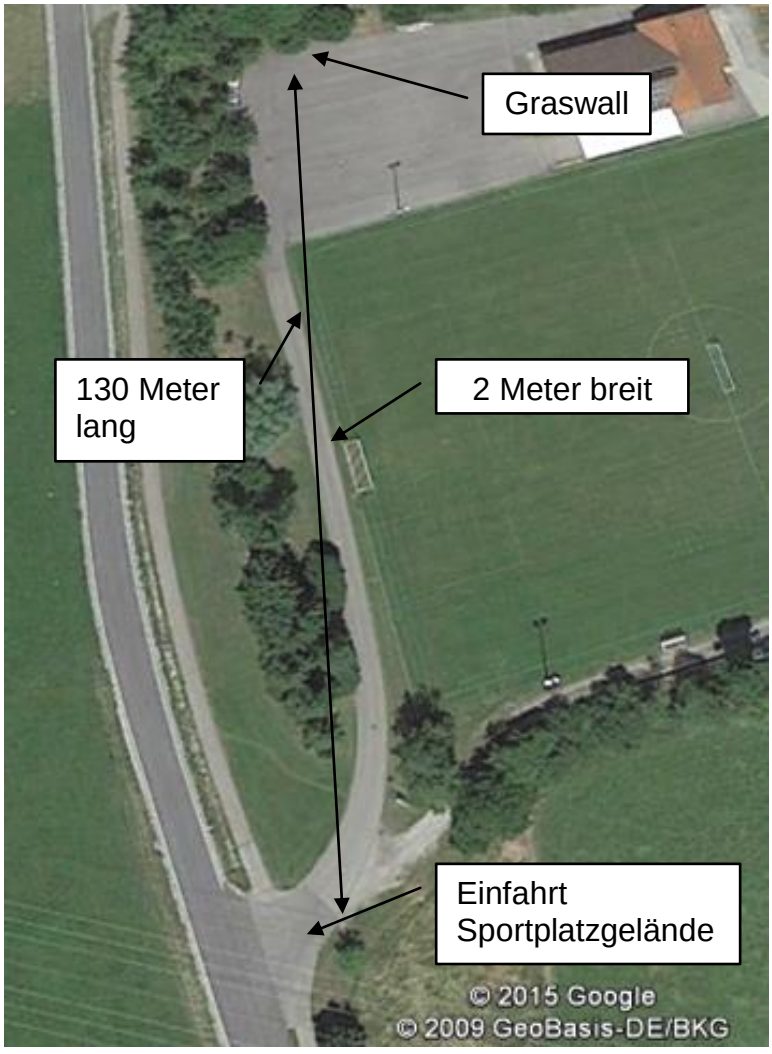


Abbildung 20: Detailansicht der Teststrecke, bezogen aus [22].

5.2. Position der Messsysteme am Fahrzeug

Die Befestigung des Peiseler-Rades am Fahrzeug erfolgt mit einer Saugeranlenkung mit drei Saugnäpfen und einem Sicherungsband, wie schon in Punkt 4.1.1. „Peiseler-Rad“ beschrieben. Das Rad wurde bei jedem Fahrzeug an die rechte hintere Fahrzeugseite montiert, sodass das Rad parallel mit dem des Fahrzeugs mitläuft (Abbildung 21). Das VTS-Wolfsburg mit seiner Anzeigeeinheit wurde vom Beifahrer gehalten und bedient.

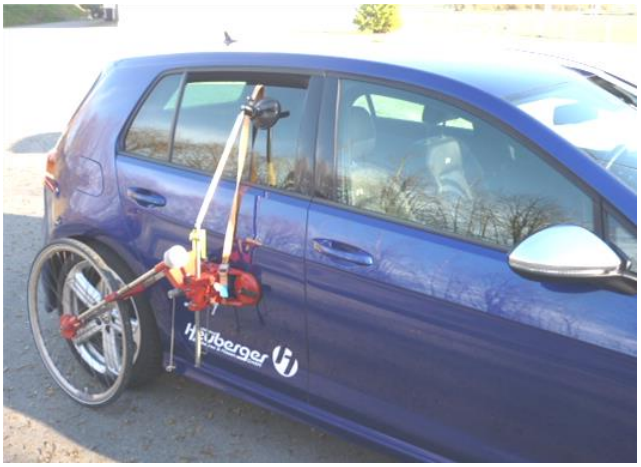


Abbildung 21: Befestigung des Rades am Fahrzeug

Abbildung 22: Abstand Peiseler-Rad zur Front des Fahrzeugs

Damit der Bremsbeginn berechnet werden kann, muss der Abstand von der Radnabe des Peiseler-Rades zur Front des Fahrzeugs bekannt sein (Abbildung 22). Aus den vorliegenden Unterlagen der verwendeten Fahrzeuge wurde anhand der Bemaßungsdaten, Länge des Radstandes und Fahrzeuggesamtlänge, der Abstand vom montierten Peiseler-Rad zur Fahrzeugfront notiert und später berechnet.

5.3. Fahrzeuge

Für eine praxisgerechte Durchführung der Fahrversuche sind natürlich Fahrzeuge erforderlich. Um für die Unfallrekonstruktion repräsentative Ergebnisse liefern zu können, ist es sinnvoll mit mehreren Fahrzeugen diese Fahrversuche durchzuführen. Im Folgenden wird erläutert, nach welchen Auswahlkriterien die Fahrzeuge ausgesucht und schlussendlich dann auch verwendet wurden.

5.3.1. Auswahlkriterien

Die Fahrzeuge, mit denen die Versuche gefahren werden sollen, müssen die zu testeten Systeme besitzen. Hier die Auswahlkriterien, die an die Fahrzeuge gestellt wurden:

- Notbremsassistenzsystem City Brake / City Safety
- Notbremsassistenzsystem ACC (Adaptive Cruise Control) mit der Kombination des City Brake / City Safety

Da es sich bei den Systemen um neuartige Technologien handelt und diese nicht standardmäßig in den Fahrzeugen vorhanden sind, musste bei unterschiedlichen Autohäusern nach einer Überlassung von Fahrzeugen für die Fahrversuche nachgefragt werden. Die konkrete Fragestellung war:

- Werden die benötigten Systeme angeboten?
- Hat das Autohaus ein derartiges Fahrzeug zur Verfügung?
- Sind die benötigten Fahrzeuge als Vorführwagen angemeldet?
- Liegt das Autohaus in einer angemessenen Entfernung?
- Besteht die Möglichkeit, dass die Fahrzeuge kostengünstig für die Fahrversuche der Diplomarbeit zur Verfügung gestellt werden?

Nach intensiver Recherche konnten einige Autohäuser mit der benötigten Technologie gefunden werden:

- Ford
- Audi
- VW
- Volvo

Das Autohaus Heuberger in Bernbeuren sicherte zwei Fahrzeuge zu. Ebenso wurde jeweils ein Fahrzeug vom Autohaus Köhler in Schwabbruck und vom Autohaus S&W in Weilheim zur Verfügung gestellt. Herr Haberstock bot sein Fahrzeug als Privatmann an.

5.3.2. Verwendete Fahrzeuge

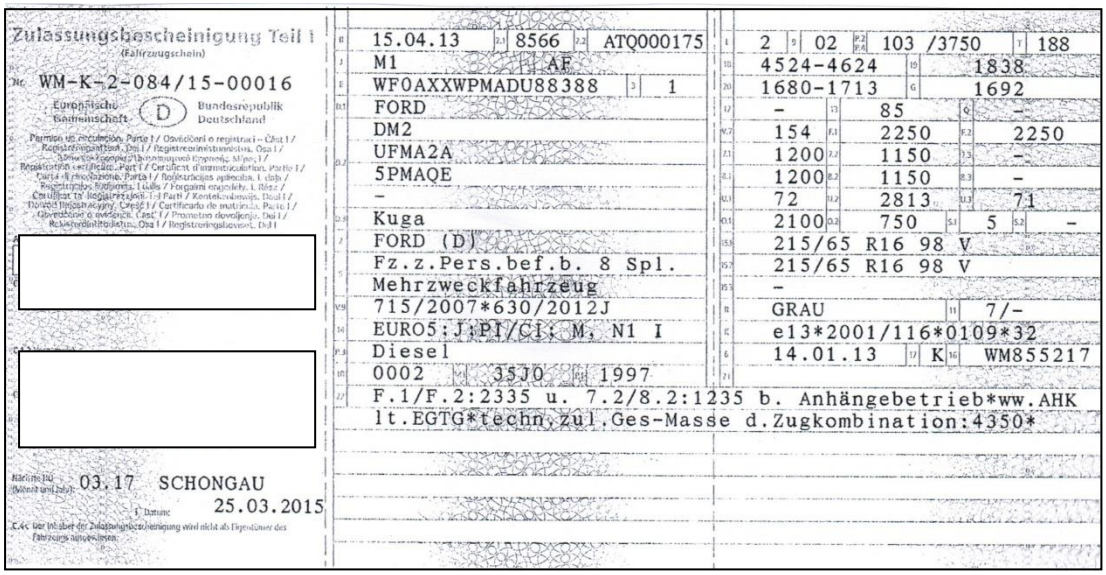
1. Ford Kuga (Autohaus Köhler, Schwabbruck)
2. Audi SQ5 (Herr Haberstock)
3. VW Up (Autohaus Heuberger, Bernbeuren)
4. VW Golf VII R (Autohaus Heuberger, Bernbeuren)
5. Volvo V40 (Autohaus S&W, Weilheim)

In den nächsten Unterpunkten werden die fünf Fahrzeuge vorgestellt. Die aufgeführte Ausstattungsvariante bezieht sich immer auf das Ausstattungspaket, in dem die Technologie „Notbremsassistenzsystem“ vorhanden ist.

Abbildung 23: Für die Fahrversuche verwendeten Fahrzeuge. Von links, Audi SQ5, VW Up, Volvo V40, Golf VII R, Ford Kuga.

1. Ford Kuga

Wie aus der Zulassungsbescheinigung Teil I zu entnehmen ist, handelt es sich um einen 2,0 Ltr. TDCi / 103 KW / 140 PS-Motor. Mit der Ausstattungsvariante: „Titanium 5-türig Allrad“



Zulassungsbescheinigung Teil I
(Fahrzeugschein)

Nr. WM-K-2-084/15-00016

Europäische Gemeinschaft D Bundesrepublik Deutschland

15.04.13	8566	ATQ000175	2 / 02 / 103 /3750 / 188
M1	AE		4524-4624 / 1838
WF0AXXWPMADU88388	1		1680-1713 / 1692
FORD			– / 85 / –
DM2			154 / 2250 / 2250
UFMA2A			1200 / 1150 / –
5PMAQE			1200 / 1150 / –
–			72 / 2813 / 71
Kuga			2100 / 750 / 5 / –
FORD (D)			215/65 R16 98 V
Fz.z.Pers.bef.b. 8 Spl.			215/65 R16 98 V
Mehrzweckfahrzeug			–
715/2007*630/2012J			GRAU / 7/-
EURO5:J:PI/CI; M, N1 I			e13*2001/116*0109*32
Diesel			14.01.13 / K / WM855217
0002	35J0	1997	

F.1/F.2:2335 u. 7.2/8.2:1235 b. Anhängebetrieb*ww.AHK
lt.EGTG*techn.zul.Ges-Masse d.Zugkombination:4350*

03.17 SCHONGAU
25.03.2015

Abbildung 24: Zulassungsbescheinigung Teil I Ford Kuga

Außerdem verfügt der Ford Kuga neben diversen Sonderausstattungen noch über das unten aufgeführte Technologie Paket mit:

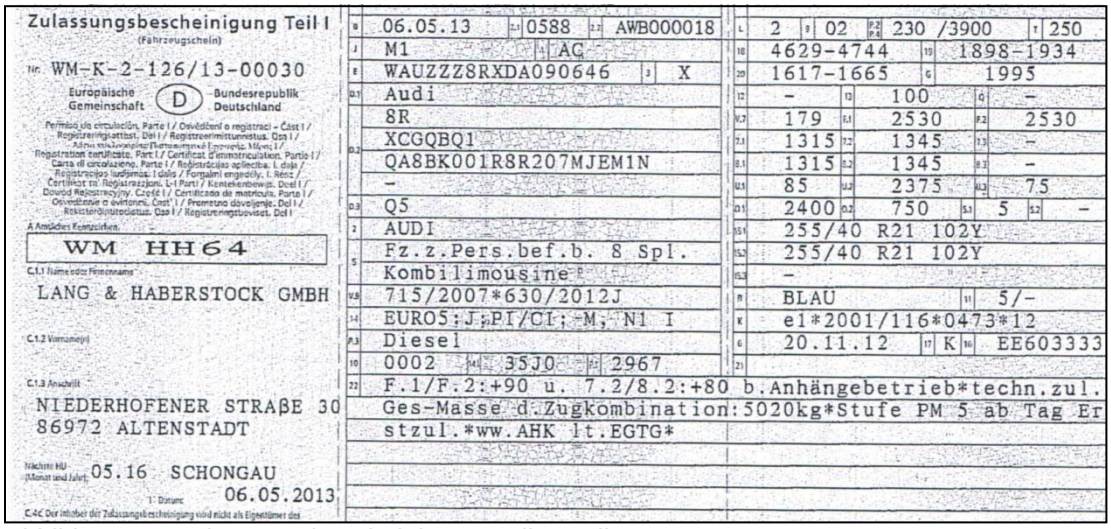
- Active City Stop
- Außenspiegel mit Toter-Winkel-Assistent (Blind Spot Information System)
- Außenspiegel zusätzlich elektrisch anklappbar und mit Umfeldbeleuchtung
- Fahrspur-Assistent inkl. Müdigkeitswarner und Fernlicht-Assistent
- Frontscheibe und Scheibenwaschdüsen, beheizbar
- Verkehrsschild-Erkennungssystem

Das Paket mit diesen Technologien ist zusätzlich für einen Aufpreis von 1.050 € zu erhalten.

Abbildung 25: Ford Kuga

2. Audi SQ5

Wie aus der Zulassungsbescheinigung Teil I zu entnehmen ist, handelt es sich um einen 3,0 Ltr. TDI / 230 kW / 313 PS-Motor. Mit der Ausstattungsvariante: „S line Sportpaket 5-türig“



Zulassungsbescheinigung Teil I
(Fahrzeugschein)
Nr. WM-K-2-126/13-00030
Europäische Gemeinschaft (D) Bundesrepublik Deutschland
Permiso de circulación, Parte I / Osvědčení o registraci - Část I / Registreringsattest, Del I / Registreerimistunnistus, Osa I / Adres rekonstrukcijos Pamatinstrukcija Egyszerűsz. Mapa I / Registration certificate, Part I / Certificat d'immatriculation, Partie I / Carta di circolazione, Parte I / Registrácijas apliecība, I. daļa / Registrácijos liudijimas, I dalis / Forgalmi engedély, I. Rész / Certificat ta' Registrazzjoni, L-I Parti / Kentekenbewijs, Deel I / Dowód Rejestracyjny, Część I / Certificado de matrícula, Parte I / Osvedčenie o evidenci, Časť I / Prometno dovoljenje, Del I / Rekisterointitodistus, Osa I / Registreringsbevis, Del I
A Amtliches Kennzeichen
WM HH64
C.1.1 Name oder Firmenname
LANG & HABERSTOCK GMBH
C.1.2 Vorname(n)
C.1.3 Anschrift
NIEDERHOFENER STRAßE 30
86972 ALTENSTADT
Nächste HU (Monat und Jahr) 05.16 SCHONGAU
1. Datum 06.05.2013
C.4c Der Inhaber der Zulassungsbescheinigung wird nicht als Eigentümer des

B	06.05.13	0588	AWB000018	L	2 / 02 / 230 /3900 / 250
J	M1	AC		18	4629-4744 / 1898-1934
E	WAUZZZ8RXDA090646	X		20	1617-1665 / 1995
D.1	Audi			12	- / 100 / -
	8R			V.7	179 / 2530 / 2530
D.2	XCGQBQ1			7.1	1315 / 1345 / -
	QA8BK001R8R207MJEM1N			8.1	1315 / 1345 / -
	-			U.1	85 / 2375 / 75
D.3	Q5			D.1	2400 / 750 / 5 / -
2	AUDI			15.1	255/40 R21 102Y
5	Fz.z.Pers.bef.b. 8 Spl.			15.2	255/40 R21 102Y
	Kombilimousine			15.3	-
V.9	715/2007*630/2012J			R	BLAU / 5/-
14	EURO5;J;PI/CI;-M; N1 I			K	e1*2001/116*0473*12
P.3	Diesel			6	20.11.12 / K / EE603333
10	0002	35J0	2967	21	
22	F.1/F.2:+90 u. 7.2/8.2:+80 b.Anhängebetrieb*techn.zul.				
	Ges-Masse d.Zugkombination:5020kg*Stufe PM 5 ab Tag Er				
	stzul.*ww.AHK lt.EGTG*				

Abbildung 26: Zulassungsbescheinigung Teil I Audi SQ5

Ebenfalls verfügt der Audi SQ5 neben dieversen Sonderausstattungen noch über das unten aufgeführte Assistenzpaket mit:

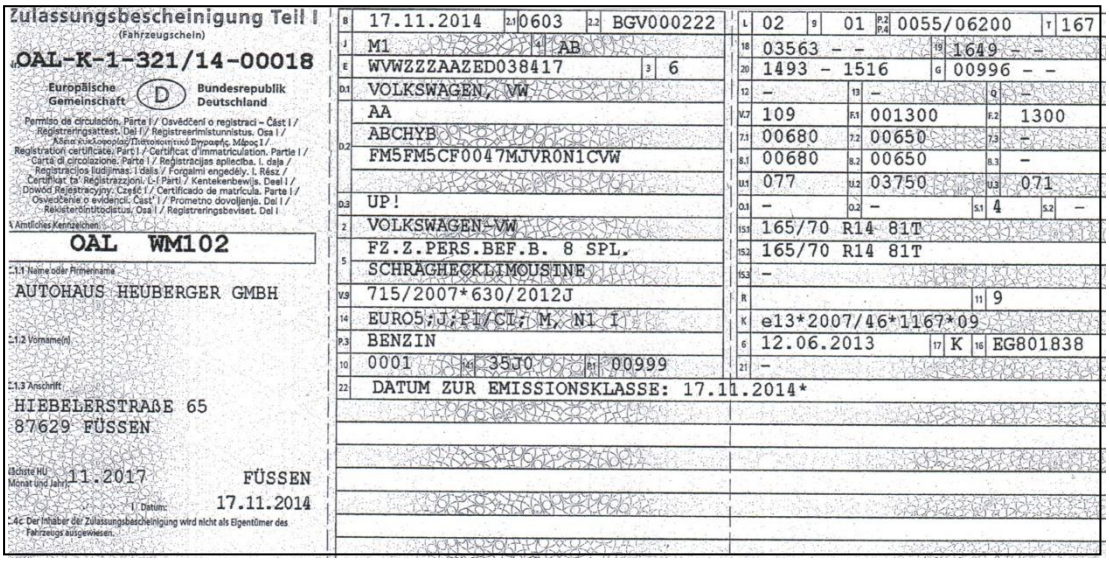
- Einparkhilfe plus
- Audi active lane assist
- Adaptive cruise control “ACC”, inkl. Notbremssystem
- Audi pre sense front

Das Paket mit diesen Technologien ist zusätzlich für einen Aufpreis von 1.500 € erhältlich.

Abbildung 27: Audi SQ5

3. VW Up

Wie aus der Zulassungsbescheinigung Teil I zu entnehmen ist, handelt es sich um einen 1,0 Ltr. Benzin / 55 kW / 75 PS-Motor. Mit der Ausstattungsvariante: „cross Up 4-türig“



Zulassungsbescheinigung Teil I
(Fahrzeugschein)
OAL-K-1-321/14-00018
Europäische Gemeinschaft (D) Bundesrepublik Deutschland
Permiso de circulación. Parte I / Osvědčení o registraci – Část I / Registreringsattest. Del I / Registreerimistunnistus. Osa I / Αδεια κυκλοφορίας/Πιστοποιητικό Εγγραφής. Μέρος I / Registration certificate. Part I / Certificat d'immatriculation. Partie I / Carta di circolazione. Parte I / Registracijas apliecība. I. daļa / Registracijos liudijimas. I dalis / Forgalmi engedély. I. Rész / Certifikat ta' Registrazzjoni. L-I Parti / Kentekenbewijs. Deel I / Dowód Rejestracyjny. Część I / Certificado de matrícula. Parte I / Osvedčenie o evidencii. Časť I / Prometno dovoljenje. Del I / Rekisteröintitodistus. Osa I / Registreringsbeviset. Del I
A Amtliches Kennzeichen
OAL WM102
C.1.1 Name oder Firmenname
AUTOHAUS HEUBERGER GMBH
C.1.2 Vorname(n)
C.1.3 Anschrift
HIEBELERSTRAßE 65
87629 FÜSSEN
(nächste HU Monat und Jahr) 11.2017 FÜSSEN
I Datum: 17.11.2014
C.4c Der Inhaber der Zulassungsbescheinigung wird nicht als Eigentümer des Fahrzeugs ausgewiesen.

B	17.11.2014	2.1 0603	2.2 BGV000222	L	02	9 01	P.2 P.4 0055/06200 T 167
J	M1	4 AB		18	03563 - -	19 1649 - -	
E	WVWZZZAAZED038417	3 6		20	1493 - 1516	G 00996 - -	
D.1	VOLKSWAGEN, VW			12	-	13 -	Q -
	AA			V.7	109	F.1 001300	F.2 1300
D.2	ABCHYB			7.1	00680	7.2 00650	7.3 -
	FM5FM5CF0047MJVR0N1CVW			8.1	00680	8.2 00650	8.3 -
				U.1	077	U.2 03750	U.3 071
D.3	UP!			O.1	-	O.2 -	S.1 4 S.2 -
2	VOLKSWAGEN-VW			15.1	165/70 R14 81T		
5	FZ.Z.PERS.BEF.B. 8 SPL.			15.2	165/70 R14 81T		
	SCHRAGHECKLIMOUSINE			15.3	-		
V.9	715/2007*630/2012J			R		11 9	
14	EURO5;J;PI/CI; M, N1 I			K	e13*2007/46*1167*09		
P.3	BENZIN			6	12.06.2013	17 K	16 EG801838
10	0001	14.1 35J0	8.1 00999	21	-		
22	DATUM ZUR EMISSIONSKLASSE: 17.11.2014*						

Abbildung 28: Zulassungsbescheinigung Teil I VW Up

Der VW Up verfügt neben der Serienausstattung noch über das unten aufgeführte Fahrerassistenzsystem drive pack „plus“ mit:

- City-Notbremsfunktion
- Geschwindigkeitsregelanlage
- Multifunktionsanzeige
- Park Pilot
- Akustische Warnsignale bei Hindernissen im Heckbereich

Das Paket mit diesen Technologien ist zusätzlich für einen Aufpreis von 445 € erhältlich.

Abbildung 29: VW Up

4. VW Golf VII R

Wie aus der Zulassungsbescheinigung Teil I zu entnehmen ist, handelt es sich um einen 2,0 Ltr. TSI DSG / 221 KW / 300 PS-Motor. Mit der Ausstattungsvariante: „R 4-türig“

Zulassungsbescheinigung Teil I
(Fahrzeugschein)
OAL-K-1-002/14-00013
Europäische Gemeinschaft D Bundesrepublik Deutschland
Amtliches Kennzeichen: OAL RG900
1.1 Name oder Firmenname: AUTOHAUS HEUBERGER GMBH
1.2 Vorname(n):
1.3 Anschrift: HIEBELERSTRAßE 65 87629 FÜSSEN
Nächste HU Monat und Jahr: 01.2017
FÜSSEN 02.01.2014
4c Der Inhaber der Zulassungsbescheinigung wird nicht als Eigentümer des Fahrzeugs ausgewiesen.

B	02.01.2014	2.1 0603	2.2 BLZ000059		
J	M1	4 AC			
E	WVWZZZAUZEW188166	3 0			
D.1	VOLKSWAGEN, VW				
	AU				
D.2	AC4CJXCX1				
	AD6AD6D9006R7MMMMLVR2				
D.3	GOLF				
2	VOLKSWAGEN-VW				
5	FZ.Z.PERS.BEF.B. 8 SPL.				
	KOMBILIMOUSINE				
V.9	715/2007*195/2013W				
14	EURO6;W;PI/CI; M, N1 I				
P.3	BENZIN				
10	0001	14.1 36W0	P.1 01984		
22	DATUM ZUR EMISSIONSKLASSE: 02.01.2014*				

L	02	9 02	P.2 P.4 0221/05500	T 250	
18	04276 - -	19 1790 - 1799			
20	1436 - 1470	G 01505 - -			
12	-	13 -	Q -		
V.7	159	F.1 002010	F.2 2010		
7.1	01080	7.2 00980	7.3 -		
8.1	01080	8.2 00980	8.3 -		
U.1	088	U.2 03750	U.3 072		
O.1	-	O.2 -	S.1 5	S.2 -	
15.1	205/50 R17 93W				
15.2	205/50 R17 93W				
15.3	-				
R		11 5			
K	e1*2007/46*0623*09				
6	07.10.2013	17 K	16 EF953168		
21	-				

Abbildung 30: Zulassungsbescheinigung Teil I VW Golf VII R

Ebenso verfügt der VW Golf VII R neben diversen Sonderausstattungen noch über das unten aufgeführte Fahrerassistenzpaket mit:

- Automatische Distanzregelung „ACC“, inkl. Notbremssystem
- Xenonscheinwerfer und Abbiegelicht
- Müdigkeitserkennung
- Umfeldbeobachtungssystem „Front Assist“ mit City-Notbremsfunktion

Das Paket mit diesen Technologien ist zusätzlich für einen Aufpreis erhältlich.

Abbildung 31: VW Golf VII R

5. Volvo V40

Wie aus der Zulassungsbescheinigung Teil I zu entnehmen ist, handelt es sich um einen 2,0 Ltr. D3 Diesel / 110 KW / 150 PS-Motor. Mit der Ausstattungsvariante: „MOMENTUM 5-türig“

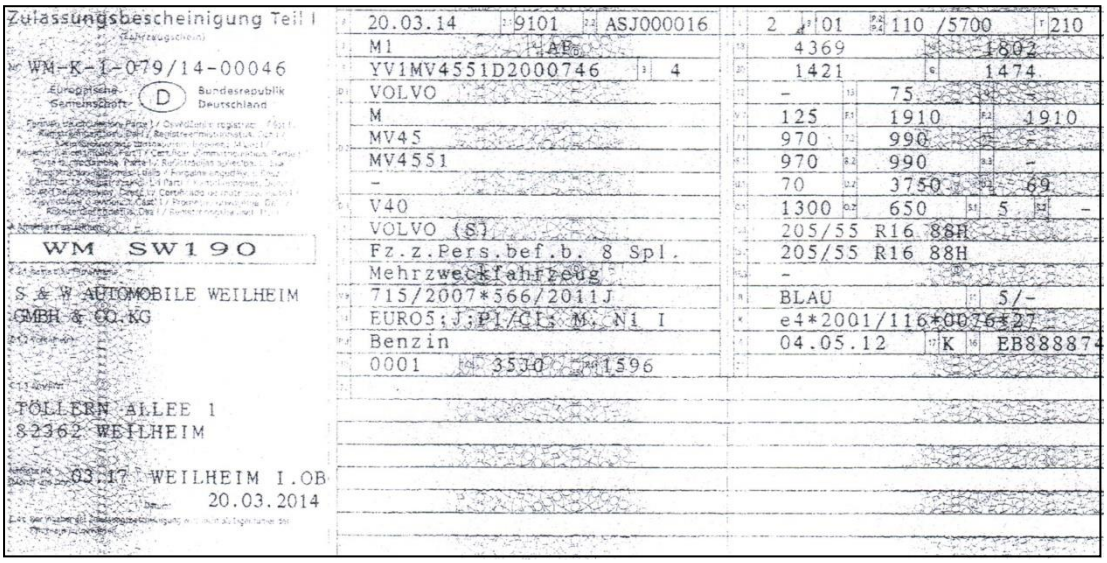


Abbildung 32: Zulassungsbescheinigung Teil I Volvo V40

Auch der Volvo V40 verfügt neben diversen Sonderausstattungen noch über das unten aufgeführte Fahrerassistenz-Paket Pro mit:

- Aktives Geschwindigkeits-/ Abstandsregelsystem „ACC“, inkl. Notbremssystem
- Notbremsassistent mit Fußgänger- und Fahrradfahrererkennung
- Blindspot Information System (BLIS)
- Driver Alert

Das Paket mit diesen Technologien ist zusätzlich für einen Aufpreis von 1.980 € erhältlich.

Abbildung 33: Volvo V40

5.4. Simuliertes Stauende

Die getesteten Systeme sollten beim Auffahren auf das vorausfahrende Fahrzeug selbstständig abbremsen. Da bei den ausgeliehenen und zur Verfügung gestellten Fahrzeugen kein Schaden entstehen darf, ist es zu riskant auf andere Fahrzeuge aufzufahren, um diese Systeme zu testen. Es ist nicht immer davon auszugehen, dass das zu testende Fahrzeug vor dem Vorausfahrenden bremst. Deshalb muss das vorausfahrende Fahrzeug durch ein simuliertes Fahrzeug ersetzt werden. Das Autohaus Köhler stellte eine für Vorführzwecke extra von Ford entwickelte Attrappe, die ein Fahrzeugheck simulieren soll, zur Verfügung.

Abbildung 34 zeigt das dargestellte Hindernis, das ein Fahrzeugheck eines Ford Focus in Originalgröße darstellt. Um von den zu testenden Systemen erkannt zu werden, sind vier Reflektoren, die auf der Abbildung 34 grün eingekreist sind, angebracht. Das Hindernis hat die Maße:

- Länge: 160 cm
- Breite: 110 cm
- Tiefe: 60 cm

Abbildung 34: Simuliertes Stauende

Die Attrappe ist im Inneren mit leeren Kartonagen gefüllt, um im Falle eines Aufpralles keinen Schaden am hineinfahrenden Fahrzeug zu verursachen.

5.5. Praxisgerechter Versuchsaufbau für die Fahrversuche

Damit die Fahrversuche erfolgreich und praxisgerecht durchgeführt werden können, wurden sie wie folgt aufgebaut:

Die Einfahrtstraße muss gesperrt werden, damit die Versuchsreihen ungestört gefahren werden können. Das Hindernis soll einen Abstand zum Graswall von etwa 20 Meter haben, damit bei Versagen der zu testenden Systeme eine Notbremsung vom Fahrer ohne Kollision mit dem Graswall möglich ist. Wie schon in Punkt 4.2. „Erfassung des Bremsweges“ beschrieben, müssen jeweils vor und nach dem Hindernis die Maßbänder auf die Fahrbahn geklebt werden. Damit Fahrer und Beifahrer Anhaltspunkte für die Fahrversuche haben, werden Pylone zur Markierung der Beschleunigungsphase und des Messstarts aufgestellt.

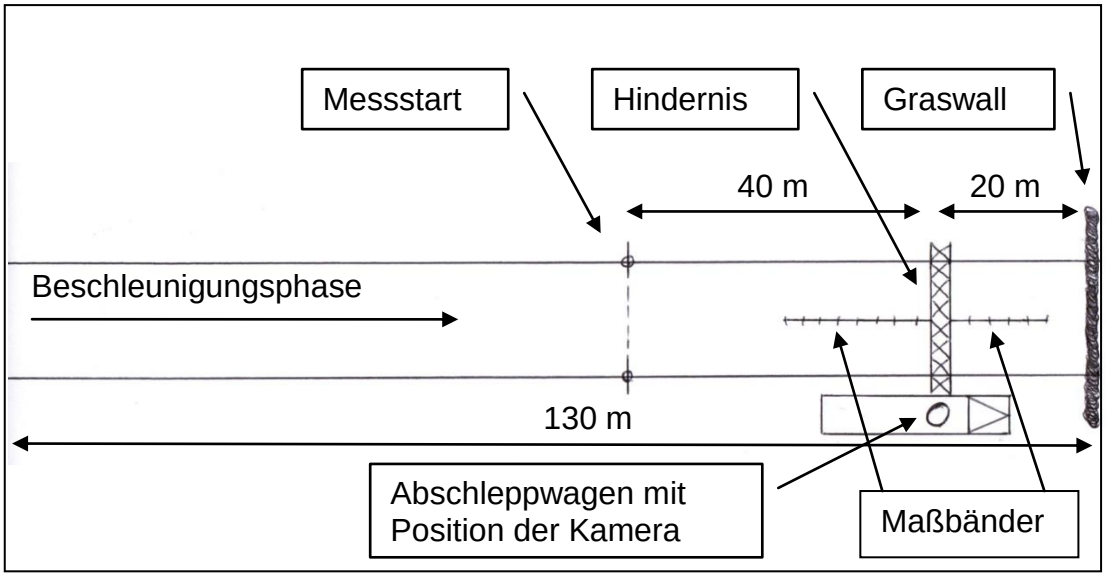


Abbildung 35: Handgefertigte Skizze der Teststrecke mit dem Versuchsaufbau

Auf Höhe des Hindernisses steht der Abschleppwagen, damit von dort aus der komplette Fahrversuch gefilmt werden kann. Für den praxisgerechten Versuchsaufbau wurde eine handgefertigte Skizze, auf der der komplette Versuchsaufbau dargestellt ist, erstellt (Abbildung 35). Die Dashcam wird vom Fahrer gehalten, damit auch sein Sichtfeld gefilmt werden kann. Ein Beifahrer wird benötigt, der das VTS-Wolfsburg bedient und zum vereinbarten Zeitpunkt die Messung startet.

5.6. Fahrtechnische Durchführung mit den Fahrzeugen

Um repräsentative Ergebnisse veröffentlichen zu können, müssen die Fahrzeuge mit dem gleichen System jeweils auch mit der gleichen Geschwindigkeit auf das simulierte Hindernis auffahren.

Bei dem Notbremsassistenzsystem „ ACC“ wird der Volvo V40 mit jeweils Geschwindigkeiten von

- 30 km/h
- 35 km/h
- 40 km/h
- 50 km/h

getestet. Diese Versuche können im Tempomat gefahren werden, da der erste Versuch schon mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h beginnt.

Mit dem Notbremsassistenzsystemen „City Brake / City Safety“ werden der Ford Kuga, Audi SQ5, VW Up, VW Golf VII R und der Volvo V40 mit jeweils Geschwindigkeiten von

- 10 km/h
- 20 km/h
- 25 km/h
- 30 km/h
- 45 km/h

getestet. Die Geschwindigkeiten werden vom Fahrer selbst gehalten, da nicht alle Fahrversuche mit Tempomat gefahren werden können.

Bei allen Versuchen wird die Bremsverzögerung mit dem Peiseler-Messsystem aufgezeichnet.

5.7. Dokumentation der Fahrversuche und Testergebnisse

Um im Nachhinein die Fahrversuche nachvollziehen zu können wurden die Testergebnisse in eine Bewertungsliste eingetragen. Herr Wolfgang Sebralla filmte die Fahrversuche von außen. Zusätzlich wurden diese über eine Innenkamera, die der Fahrzeugführer hielt, aufgezeichnet.

5.7.1. Bewertungsliste

Für eine professionelle Abwicklung der Fahrversuche werden zwei verschiedene Bewertungslisten angefertigt. Diese dienen dazu, dass jeder Fahrversuch nachvollzogen werden kann. Außerdem werden darauf wichtige Daten vom getesteten Fahrzeug aufgenommen, die später zur Berechnung relevant sind. Dabei gibt es eine Bewertungsliste für die Fahrversuche mit ACC und eine für die Fahrversuche mit City Brake / City Safety. Zu jedem einzelnen Fahrversuch wird der jeweilige Stillstand vor oder nach dem Hindernis notiert, sowie Auffälligkeiten im Bereich der Armaturen und laute Warnsignale. Im unteren Teil bei „Anmerkungen und Infos“ werden zu jedem Versuch weitere Auffälligkeiten notiert. Die Ausdrucke der Messergebnisse der einzelnen Fahrversuche werden an die Bewertungslisten geheftet, um später die Versuche auswerten zu können.

Abbildung 36 zeigt eine Bewertungsliste für City Brake / City Safety Fahrversuche. In Kapitel 7. „Analyse der Versuche“ wird für jedes Fahrzeug die Bewertungsliste mit den aus den Fahrversuchen resultierenden Ergebnissen präsentiert.

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug: _____ Reifen: _____
Daten: _____ Profiltiefe: _____

Datum: _____ Uhrzeit: _____
Wetter: _____ Fahrbahnbelag: _____

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: _____

Versuch	km/h	Stillstand	Amaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h		
Versuch 2	10 km/h		
Versuch 3	20 km/h		
Versuch 4	25 km/h		
Versuch 5	30 km/h		
Versuch 6	35 km/h		

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1	
Versuch 2	
Versuch 3	
Versuch 4	
Versuch 5	
Versuch 6	

Abbildung 36: Beispielhafte Bewertungsliste für City Brake / City Safety

5.7.2. Videokamera

Aufnahme von Außen

Abbildung 37: Position der Kamera auf der Ladefläche

Herr Wolfgang Sebralla stand mit seiner Kamera auf der Ladefläche des Abschleppwagens, damit er das heranfahrende Fahrzeug bis hin zum Stillstand optimal filmen konnte. In Abbildung 37 ist die Kamera auf der Ladefläche dargestellt (gelb eingekreist). Die Kamera stand genau in einer Linie zum Hindernis, um die optimale Position für die Aufnahmen zu haben, damit der Abstand des Fahrzeugs im Stillstand vor oder nach dem Hindernis perfekt eingesehen werden konnte. Im Anhang befindet sich die DVD mit den gefilmten Fahrversuchen.

Aufnahme von Innen

Mit einer iTracker® mini0801 GPS Autokamera Full HD Dashcam (Abbildung 38) wurde das Geschehen im Fahrzeug gefilmt. Somit kann dokumentiert werden, ob und ab wann das Fahrzeug ein Warnsignal oder Warnsymbole für den Fahrer ausgibt. Da keine Halterung der Kamera im Inneren des Fahrzeugs möglich war, wurde diese vom Fahrzeugführer gehalten, um in etwa das Sichtfeld des Fahrers aufzunehmen. Im Anhang befindet sich die DVD mit den gefilmten Fahrversuchen.

Abbildung 38: iTracker® mini0801 GPS Autokamera Full HD Dashcam

6. Versuchsdurchführung

Auf Grund der Wettervorhersage wurde die Versuchsreihe für Freitag, 12. Dezember 2014 angesetzt. Die Versuchsstrecke wurde noch einmal gründlich gereinigt und wie in Punkt 5.5. „Praxisgerechter Versuchsaufbau“ beschrieben, aufgebaut. Um 11 Uhr wurden die Fahrversuche gestartet. Damit Bremsen und Reifen auf Betriebstemperatur gebracht werden, wurde jedes Fahrzeug vor Beginn der Messungen über eine Stecke von 15 km eingefahren, um für alle Fahrzeuge die gleichen Bedingungen zu gewährleisten.

6.1. Fahrversuche zum Testen des ACC-Systems

Obwohl das ACC-System nicht auf stehende Fahrzeuge reagiert, wurden Fahrversuche mit dem Volvo V40, der ein inklusives Notbremssystem in Verbindung mit dem ACC-System besitzt, durchgeführt. Es wurde überprüft, wie sich das Notbremssystem bei einem Stauende verhält. Dabei wurde berücksichtigt, dass mit Tempomat gefahren werden muss, weil der Volvo V40 zusätzlich zum ACC-System auch das City Safety / City Brake besitzt. Durch Aktivieren des Geschwindigkeitstempomaten mit eingestelltem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug, wurde sichergestellt, dass das ACC-System reagiert.

Im Folgenden wird vorgestellt, mit welchen Geschwindigkeiten und Erfolgen die Versuche durchfahren wurden.

6.1.1. Fahrversuch Volvo V40

Der Volvo V40 wurde mit folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 1x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h
- 1x mit 40 km/h
- 1x mit 50 km/h

Abbildung 39: Volvo V40

Mit 30 km/h reagierte das System wie vom Hersteller beschrieben. Bei den Geschwindigkeiten 35 km/h, 40 km/h und 50 km/h erfolgte keine Bremsung. Das Fahrzeug fuhr ohne zu bremsen in das simulierte Stauende hinein. Es erfolgte eine deutliche Warnung, die aber erst kurz vor der Kollision mit dem Hindernis angezeigt wurde.

Aufgrund des erfolgreichen Fahrversuches mit 30 km/h wird dieser im Punkt 7.2. „Auswertung des ACC-Systems“ aufgeführt, ausgewertet und analysiert. Auf die Fahrversuche mit den Geschwindigkeiten ab 35 km/h wird nicht eingegangen, da keine Bremsung erfolgte und somit keine Darstellung des Bremsvorganges in den drei Zeit-Diagrammen nötig ist.

6.1.2. Fahrversuch Audi SQ5 und VW Golf VII R

Kurzfristig wurden die Fahrversuche noch um die Versuchsfahrzeuge Audi SQ5 und VW Golf VII R erweitert.

Die beiden Fahrzeuge wurden mit folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 1x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h
- 1x mit 40 km/h
- 1x mit 50 km/h

Abbildung 40: Audi SQ5

Keines der Fahrzeuge zeigte bei den gefahrenen Geschwindigkeiten eine Reaktion auf das stehende Hindernis.

Abbildung 41: VW Golf VII R

Es erfolgte weder eine Notbremsung noch eine Warnung für den Fahrer. In beiden Fällen wäre der Audi SQ5 und der VW Golf VII R ungebremst in das Stauende gefahren.

Warum die beiden Fahrzeuge keine automatische Bremsung eingeleitet haben, konnte nicht festgestellt werden. Es wäre möglich, dass der Fehler am Fahrer, am Fahrzeug oder am simulierten Stauende, das in diesem Fall vom System nicht erkannt wurde, liegt. Aus diesem Grund werden im kompletten Verlauf der Diplomarbeit die eben beschreibenen Fahrversuche der beiden Fahrzeuge nicht weiter aufgeführt.

6.2. Fahrversuche zum Testen des City Brake / City Safety

Die Fahrversuche wurden mit allen fünf Fahrzeugen durchfahren. Mit welchen Geschwindigkeiten die einzelnen Fahrzeuge bei der Versuchsdurchführung fuhren, wird in den anschließenden Punkten dargestellt. Die Ergebnisse dieser Versuche werden in Punkt 7.3. „Auswertung des City Brake / City Safety“ aufgeführt, ausgewertet und analysiert.

6.2.1. Fahrversuch Ford Kuga

Der Ford Kuga wurde mit folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 1x mit 10 km/h
- 1x mit 20 km/h
- 1x mit 25 km/h
- 2x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h

Abbildung 42: Ford Kuga

Die Fahrversuche wurden am 11. Dezember durchgeführt, da das Fahrzeug nur an diesem Tag für die Fahrversuche zur Verfügung stand. Die Umweltbedingungen und der Zustand der Testtrecke waren identisch mit den Versuchen der anderen Fahrzeuge. Somit sind diese Ergebnisse ebenso repräsentativ. Die Versuche konnten nicht gefilmt werden, da das Equipment nicht zur Verfügung stand.

Beim letzten Fahrversuch mit 35 km/h fuhr der Ford Kuga ohne eine Bremsung in das Hindernis. Ein Warnton für den Fahrer sowie die Meldung einer bevorstehenden Kollision ertönte bzw. erschien erst beim Zusammenstoß mit dem Hindernis. Aus diesem Grund wird dieser Fahrversuch anschließend nicht aufgeführt, ausgewertet und analysiert. Da keine Bremsung auf das stehende Hindernis erfolgte, ist keine Darstellung des Bremsvorganges in den drei Zeit-Diagrammen nötig.

6.2.2. Fahrversuch Audi SQ5

Der Audi SQ5 wurde mit folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 2x mit 10 km/h
- 2x mit 20 km/h
- 2x mit 25 km/h
- 1x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h

Abbildung 43: Audi SQ5

Der Audi SQ5 fuhr mit 30 km/h und 35 km/h ohne zu Bremsen in das Hindernis. Auch in diesem Fall ertönte bzw. erschien die Auffahrwarnung zu spät. Mit Beginn der Bremsung wurde der Fahrer darauf aufmerksam gemacht, dass eine baldige Kollision anstehe. Deshalb werden auch diese beiden Fahrversuche im Anschluss nicht aufgeführt, ausgewertet und analysiert. Da keine Bremsung auf das stehende Hindernis erfolgte, ist keine Darstellung des Bremsvorganges in den drei Zeit-Diagrammen nötig.

6.2.3. Fahrversuch VW Golf VII R

Der VW Golf VII R wurde mit folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 1x mit 10 km/h
- 1x mit 20 km/h

Abbildung 44: VW Golf VII R

Durch einen technischen Defekt am Fahrzeug konnten nur die Fahrversuche mit den Geschwindigkeiten von 10 km/h und 20 km/h durchfahren werden. Beim dritten Fahrversuch wurde eine Fehlermeldung vom Notbremsassistenzsystem im Display angezeigt und das Fahrzeug reagierte darauf nicht mehr auf das stehende Hindernis. Aus diesem Grund mussten die restlichen Fahrversuche abgebrochen und das Fahrzeug in die Werkstatt gebracht werden, um den Fehlerspeicher abzufragen und den Fehler zu beheben. Das Fahrzeug stand für die weiteren Fahrversuche nicht mehr zur Verfügung.

6.2.4. Fahrversuch VW Up

Der VW Up wurde mit den folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 2x mit 10 km/h
- 1x mit 20 km/h
- 1x mit 25 km/h
- 1x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h

Abbildung 45: VW Up

Mit der Geschwindigkeit von 35 km/h fuhr der VW Up ohne eine Bremsung auf das stehende Hindernis. Die Meldung einer bevorstehenden Kollision wurde erst bei Stillstand des Fahrzeugs aufgezeigt. Deshalb wird auch dieser Fahrversuch im Anschluss nicht aufgeführt, ausgewertet und analysiert. Da keine Bremsung auf das stehende Hindernis erfolgte, ist keine Darstellung des Bremsvorganges in den drei Zeit-Diagrammen nötig.

6.2.5. Fahrversuch Volvo V40

Der Volvo V40 wurde mit den folgenden Geschwindigkeiten auf das stehende Hindernis getestet:

- 1x mit 10 km/h
- 1x mit 20 km/h
- 2x mit 25 km/h
- 1x mit 30 km/h
- 1x mit 35 km/h

Abbildung 46: Volvo V40

Auch der Volvo fuhr mit der Geschwindigkeit von 35 km/h ohne zu bremsen auf das stehende Hindernis auf. Eine Reaktion des Fahrers wäre aufgrund der frühen Auffahrwarnung möglich gewesen. Dennoch wird auch dieser Fahrversuch im Anschluss nicht aufgeführt, ausgewertet und analysiert. Da keine Bremsung auf das stehende Hindernis erfolgte, ist keine Darstellung des Bremsvorganges in den drei Zeit-Diagrammen nötig.

7. Analyse der Fahrversuche

Um zu verstehen, wie sich die Werte für die drei Zeit-Diagramme berechnen und zusammensetzen, werden anschließend die dafür nötigen Zwischenschritte erklärt. Im Anschluss werden die drei Zeit-Diagramme erklärt und exemplarisch anhand der ersten Auswertung beschrieben. Darauf folgt die Auswertung der Fahrversuche.

7.1. Aufbereitung der Messwerte

Das VTS-Wolfsburg druckt die Messwerte auf einer Dokumentationsrolle, die in Abbildung 13 mit 9 markiert ist, aus. Darauf werden ab dem Zeitpunkt des Messbeginns, in jeder Zehntel-Sekunde diese Werte aufgezeichnet:

- Geschwindigkeit
- Zeit
- gefahrenen Meter
- Verzögerung

Diese Werte wurden anschließend in eine Exceltabelle per Hand eingetragen. Im Folgenden wird anhand eines Beispiels mit 10 km/h erklärt, wie die Messwerte aufbereitet wurden, um die Diagramme erzeugen zu können.

Beispiel am Fahrversuch mit 10 km/h

	Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]		Meter 1 [m]	Meter 2 [m]	Nulllinie [m]	Verzögerung [m/s²]
		1	2				
1	11	5,2	1,5	15,8	19,41	3,56	0
2	11	5,3	1,4	16,1	19,71	3,26	0
3	10,9	5,4	1,3	16,4	20,01	2,96	0
4	10,8	5,5	1,2	16,7	20,31	2,66	0
5	10,7	5,6	1,1	17	20,61	2,36	0
6	10,4	5,7	1	17,4	21,01	1,96	-0,83
7	10,1	5,8	0,9	17,7	21,31	1,66	-0,83
8	9	5,9	0,8	18	21,61	1,36	-3,13
9	7,7	6	0,7	18,2	21,81	1,16	-3,54
10	5,9	6,1	0,6	18,4	22,01	0,96	-5
11	3,7	6,2	0,5	18,6	22,21	0,76	-6,04
12	1,4	6,3	0,4	18,6	22,21	0,76	-6,46
13	0,8	6,4	0,3	18,6	22,21	0,76	-1,66
14	0,2	6,5	0,2	18,6	22,21	0,76	-1,66
15	0	6,6	0,1	18,6	22,21	0,76	-0,63
16	0	6,7	0	18,6	22,21	0,76	0

Tabelle 2: Beispieltabelle mit dem Fahrversuch 10 km/h

Alle in der Tabelle 2 grün gekennzeichneten Werte sind die originalen Werte des Ausdruckes. Die Werte der Geschwindigkeit [km/h] und der Verzögerung [m/s²] bleiben für die Erstellung der Diagramme unverändert.

Damit zurückverfolgt werden kann, wie viele Sekunden vor dem Stillstand die Bremsung begonnen hat, wurde die Spalte „Zeit 2“ in der Tabelle 2 folgendermaßen erstellt:

Ab dem Zeitpunkt, in dem die Verzögerung null ist, das entspricht Stillstand (in Tabelle 2 bei 16), wurde in der Spalte „Zeit 2“ von 16 bis 1 in 0,1 Sekundenintervallen hochgezählt.

Die Spalte Nulllinie [m] zeigt, in welcher Entfernung zum Hindernis das Fahrzeug zum Stehen kam und vor wie vielen Metern die Bremsung vor dem Hindernis begann. Um diese Werte zu erhalten sind zwei weitere Rechenschritte notwendig.

Von Meter 1 auf Meter 2:

Dafür ist der Abstand von Nabe des Peiseler-Rades zur Front des Fahrzeugs ausschlaggebend. Dieser Wert wurde bei der Versuchsdurchführung bei jedem Fahrzeug abgemessen und auf die jeweilige Bewertungsliste notiert.

- Abstand des Messgerätes von der Front des Fahrzeugs: 3,61 m

Dieser Wert wird mit den Angaben in Spalte Meter 1 von 1 bis 16 addiert und ergibt die Spalte Meter 2.

$$\text{"Meter 1"}\ [m] + 3{,}61\ [m]\ konst. = \text{"Meter 2"}\ [m]$$

Rechenbeispiel für Position 1:

$$15{,}8\ m\ +\ 3{,}61\ m\ konst.\ =\ 19{,}41\ m$$

Von Meter 2 auf Nulllinie:

Für diese Berechnung wird der Abstand vom Stillstand des Fahrzeugs vor oder hinter dem Hindernis benötigt. Dieser Wert wurde ebenfalls bei jedem Fahrversuch in die jeweilige Bewertungsliste notiert.

- bei 10 km/h → Stillstand des Fahrzeugs: + 0,76 m

Weiter wird berechnet, wie viel Meter Strecke vom Stillstand des Fahrzeugs in jeder Zehntel-Sekunde zurückgelegt wurde und mit dem Abstand des Fahrzeugs bei Stillstand zum Hindernis addiert.

$$\frac{\text{"Meter 2"}\ [m]\ konst.}{Position\ 16} - \frac{\text{"}Meter\ 2\text{"}\ [m]}{Position\ 1} + 0{,}76\ [m]\ konst. = Nulllinie\ [m]$$

Fortführendes Rechenbeispiel für Position 1:

$$22{,}21\ m\ konst. - 19{,}41\ m + \ 0{,}76\ m\ konst. = 3{,}56\ m$$

Anschließend wurden

- Weg-Zeit,
- Geschwindigkeit-Zeit und
- Beschleunigung-Zeit-Diagramme

mit den Werten aus den jeweiligen Tabellen in Excel erstellt. Die dafür verwendeten Spalten sind,

- in grün „Geschwindigkeit [km/h] und Verzögerung [m/s²]“ und
- in gelb „Zeit 2 [sek] und Nulllinie [m]“.

7.2. Erklärung der drei Zeit-Diagramme

Erklärung zum richtigen Ablesen der Diagramme:

Die drei Zeit-Diagramme zeigen nicht die komplette Messung. Die Darstellung beginnt ab dem Zeitpunkt, bei dem die Bremsung begonnen hat. Dadurch kann der Bremsverlauf genauer dargestellt werden. Die Diagramme wurden so aufgebaut, dass die Zeitachse immer von links nach rechts nach Null läuft (= Stillstand des Fahrzeugs). Somit kann zurückverfolgt werden, wie viel Zeit für die Bremsung benötigt wurde oder wann die Bremsung begonnen hat. Die Strecke, Geschwindigkeit und Beschleunigung laufen ebenfalls von Null weg.

Beim Weg-Zeit-Diagramm entspricht der Nullpunkt der y-Achse (Strecke [m]) gleich dem Hindernis. Dadurch kann abgelesen werden, mit wie viel Meter Abstand das Fahrzeug vor dem Hindernis zum Stehen kam oder hineinfuhr.

Das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm zeigt die Geschwindigkeit, mit der angefahren wurde und den Geschwindigkeitsverlust während des Bremsvorganges.

Die y-Achse beim Beschleunigung-Zeit-Diagramm verläuft in den Minusbereich, um die Verzögerung anzuzeigen. Der dargestellte Bereich in den drei Zeit-Diagrammen richtet sich nach Beginn bis Ende der Verzögerung.

Es ist dabei zu berücksichtigen, wie schon im Punkt 4.1.2. „Fehlerquellen und Messgenauigkeit“ beschrieben, dass aufgrund dieser Toleranzen und einfließenden Messfehler sich Ablesefehler ergeben und das Erreichen des Nullpunktes (= Stillstand), in allen drei Diagrammen zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt angezeigt werden kann.

7.3. Auswertung ACC-System / Volvo V40

Wie schon in Punkt 6.1. „Fahrversuche zum Testen des ACC-Systems“ beschrieben, wird im Anschluss nur der Versuch 1 mit 30 km/h des Volvo V40 ausgewertet. In Tabelle 3 ist die Bewertungsliste für das Fahrzeug dargestellt, um noch einmal einen Überblick vom Ergebnis zu bekommen. Darauffolgend zeigen die drei Zeit-Diagramme den Verlauf der Bremsung. Anschließend werden in der Auswertungstabelle die wichtigsten Erkenntnisse und Daten der drei Zeit-Diagramme wiedergegeben. Zuletzt wird in einer kurzen Analyse das Ergebnis dieses Fahrversuchs beschrieben.

Bewertungsliste für ACC

Fahrzeug:	Volvo V40	Reifen:	Sommer
Daten:	110 KW / 150 PS	Profiltiefe:	6,5 mm
Datum:	12.12.2014	Uhrzeit:	14:30 Uhr
Wetter:	sonnig 8°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,57 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Armaturen Warnsignal
Versuch 1	30 km/h	**+1 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatisches Bremsen durch City Safety
Versuch 2	35 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Auffahrwarnung
Versuch 3	40 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Auffahrwarnung
Versuch 4	50 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Auffahrwarnung

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1	Gefahren im Tempomat. Bei der zweiten Bremsung akustische und optische Warnung. Auch im Head up display kommt die Auffahrwarnung.
Versuch 2	Gefahren im Tempomat. Keine Reaktion auf das simulierte Auto. Zusammenstoß ohne Bremseneingriff. Kurz vor dem Zusammenstoß kommt die Auffahrwarnung im Display
Versuch 3	Gefahren im Tempomat. Keine Reaktion auf das simulierte Auto. Zusammenstoß ohne Bremseneingriff. Kurz vor dem Zusammenstoß kommt die Auffahrwarnung im Display
Versuch 4	Gefahren im Tempomat. Keine Reaktion auf das simulierte Auto. Zusammenstoß ohne Bremseneingriff. Kurz vor dem Zusammenstoß kommt die Auffahrwarnung im Display

Tabelle 3: Bewertungsliste Volvo V40, ACC-System

Versuch 1:

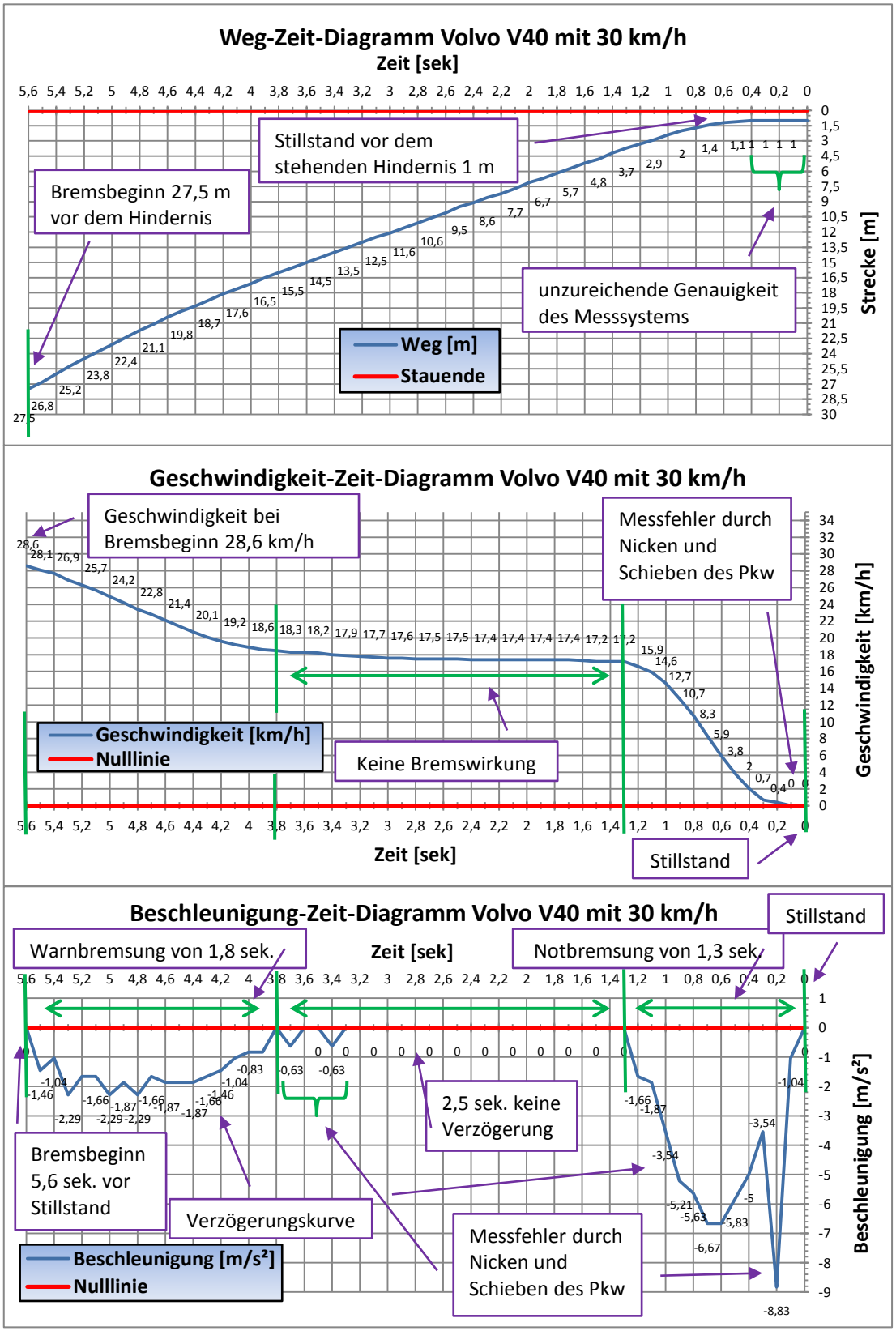


Diagramm 1: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 30 km/h, ACC-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 30 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	28,6 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	27,5 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	1,0 m
4	Bremszeit in [sek] = von Bremsbeginn bis Stillstand:	5,6 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,67 m/s²
6	Max. Verzögerung bei Bremsung I:	2,29 m/s²
7	Max. Verzögerung bei Bremsung II:	6,67 m/s²
8	Bremszeit I:	1,8 sek
9	Bremszeit II:	1,3 sek
10	Bremsweg I:	11,5 m
11	Bremsweg II:	3,7 m

Tabelle 4: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 30 km/h, ACC-System

Analyse:

Wie aus Tabelle 3 zu entnehmen ist, war dieser Fahrversuch der Einzige, bei dem das System funktionierte. Im Diagramm 1 wird dieser Fahrversuch ausführlich beschrieben und erklärt. Die im weiteren Verlauf der Diplomarbeit aufgeführten Diagramme, sind nach dem gleichen Schema zu verstehen. In Tabelle 4 sind alle wichtigen Werte aus Diagramm 1 aufgelistet.

Die max. Verzögerung von 8,83 m/s² ergibt sich durch die Schieb- und Wankbewegung des Fahrzeugs bei Erreichen des Stillstandes. Darum wird dieser Wert nicht als maximale Verzögerung angegeben.

Als Resümee der Diagramme geht hervor, dass das Fahrzeug von 28,6 km/h mit einer Warnbremsung auf 18,6 km/h abbremst, um den Fahrer vor einer möglichen kritischen Situation zu warnen. Nachdem der Fahrer innerhalb von 2,5 Sekunden keine Reaktion zeigt, leitet das Fahrzeug eine weitere Bremsung mit deutlich höherer Verzögerung ein, die bis zum Stillstand führt. Auf der im Anhang beiliegenden DVD ist der Fahrversuch „Volvo V40 mit 30 km/h + ACC“ zu sehen. Der Fahrer wurde nach der ersten Bremsung über das Head-up-Display gewarnt und mit einem lauten Warnton auf das bevorstehende Hindernis aufmerksam gemacht.

7.4. Auswertung des City Brake / City Safety mit zusammenfassender Analyse

Die nachfolgende Auswertung der einzelnen Fahrzeuge wird von der Bewertungsliste eingeleitet. Somit ist sofort ersichtlich, mit welchen Geschwindigkeiten und Erfolgen die Fahrversuche durchgeführt wurden. Im Anschluss zeigen die drei Zeit-Diagramme den Verlauf der Bremsung. Anschließend werden in der Auswertungstabelle die wichtigsten Erkenntnisse und Daten der drei Zeit-Diagramme wiedergegeben und in einer kurzen Analyse das Ergebnis des Fahrversuchs beschrieben.

7.4.1. Ford Kuga

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug:	Ford Kuga	Reifen:	Winter
Daten:	103 KW / 140 PS	Profiltiefe:	7,5 mm
Datum:	11.12.2014	Uhrzeit:	13:30 Uhr
Wetter:	sonnig 6°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,48 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Armaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h	**+0,5 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatische Bremsung
Versuch 2	20 km/h	**+0,5 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatische Bremsung
Versuch 3	25 km/h	**+0,10 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatische Bremsung
Versuch 4	30 km/h	**-2,30 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatische Bremsung
Versuch 5	30 km/h	**-3,48 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Automatische Bremsung
Versuch 6	35 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Auffahrwarnung

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1 - 3	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst bei Stillstand des Fahrzeugs wahrnehmbar.
Versuch 4 und 5	Fahrzeug bremste nicht bis Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst bei Kollision mit dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 6	Fahrzeug fährt ungebremst in das simulierte Hindernis. Die Auffahrwarnung ist erst bei der Kollision wahrnehmbar.

Tabelle 5: Bewertungsliste Ford Kuga, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

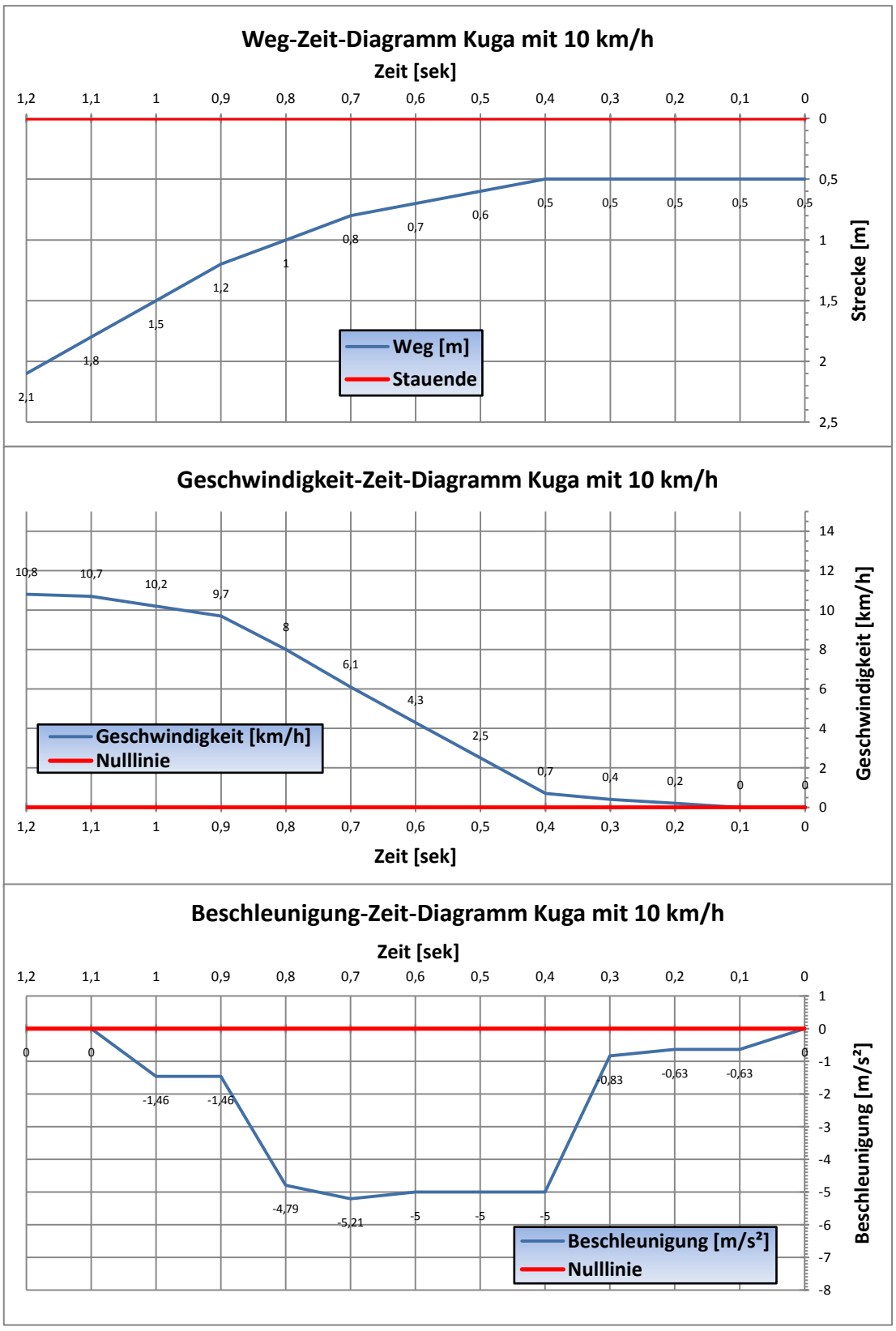


Diagramm 2: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Ford Kuga mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
Ford Kuga mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,7 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	1,8 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,5 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	5,21 m/s²

Tabelle 6: Auswertungstabelle Ford Kuga mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 1 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 6 zu entnehmen ist, bremst der Ford Kuga 1,8 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,5 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 5,21 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich innerhalb von 0,3 Sekunden auf, wie es in Diagramm 2 zu sehen ist. Die maximale Bremsverzögerung von 5±0,3 m/s² wird 0,4 Sekunden gehalten und baut sich anschließend in zwei Stufen wieder ab. Zuerst in 0,1 Sekunden auf eine Verzögerung von 0,83 und in weiteren 0,3 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand). Die Verzögerungskurve läuft auf einen maximalen Wert zu, der gehalten wird und nach einer bestimmten Zeit wieder abfällt. Das Fahrzeug bleibt mit einem sicheren Abstand von 0,5 m vor dem stehenden Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei Stillstand des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige im Display „Acitve City Stop“ auf, um dem Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Die Warnblinkanlage wurde automatisch aktiviert, um den nachfolgenden Verkehr zu warnen und der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Versuch 2:

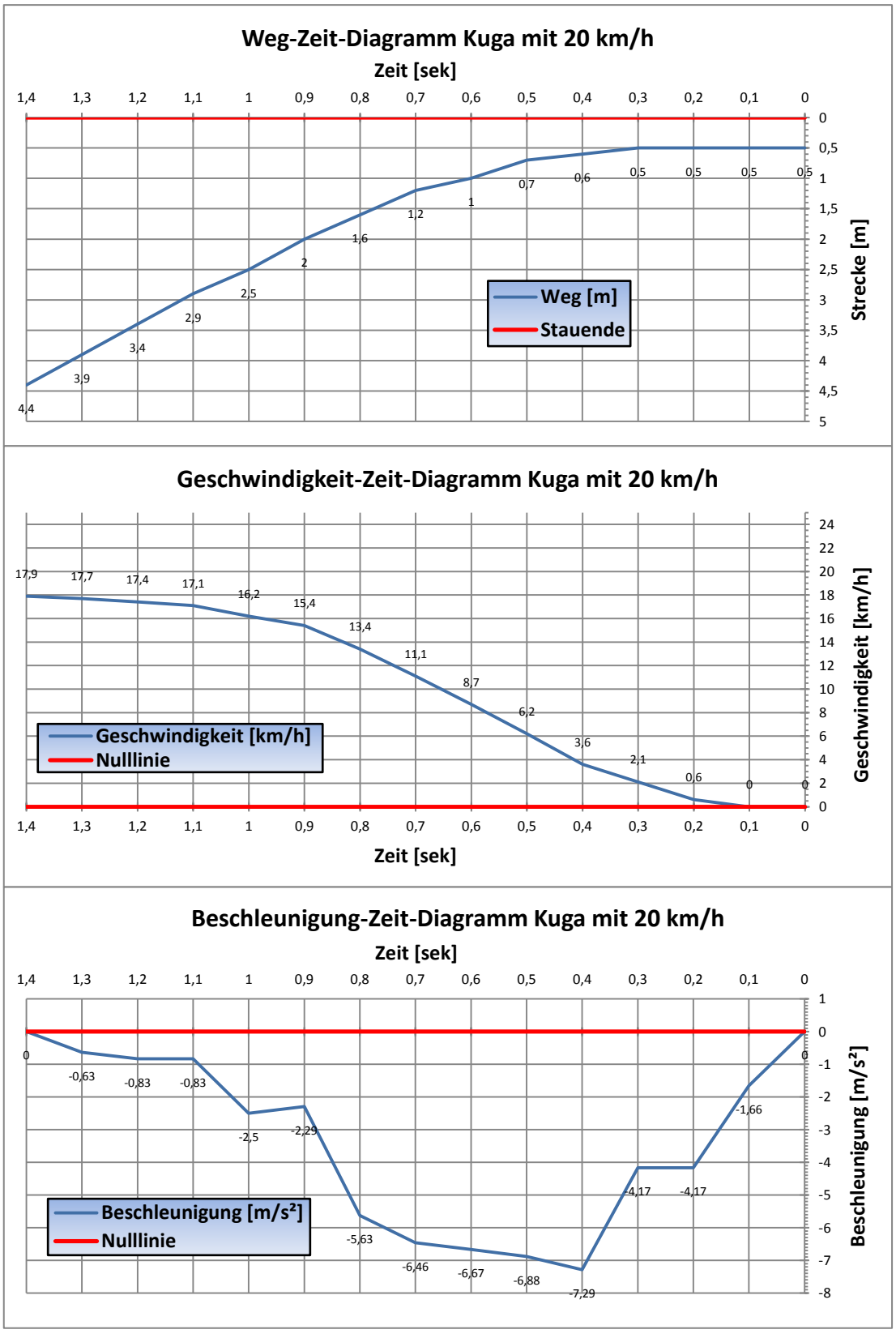


Diagramm 3: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Ford Kuga mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 2:

Auswertungstabelle:
Ford Kuga mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	17,9 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	4,4 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,5 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,4 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,29 m/s²

Tabelle 7: Auswertungstabelle Ford Kuga mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 2 mit 20 km/h

Wie aus Tabelle 7 zu entnehmen ist, bremst der Ford Kuga 4,4 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,5 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,4 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,29 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich, wie in Diagramm 3 zu sehen ist in 0,3 Sekunden auf eine Verzögerung von 0,83 m/s² auf und in weiteren 0,7 Sekunden zu einer maximalen Bremsverzögerung von 7,29 m/s² auf. Innerhalb von 0,4 Sekunden baut sich die Verzögerung auf 0 m/s² (= Stillstand) ab. In diesem Fall verläuft die Verzögerungskurve spitz zum Maximum und wird sofort wieder abgebaut. Das Fahrzeug bleibt mit einem sicheren Abstand von 0,5 m zum stehenden Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, wurde der Fahrer erneut nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Weder ein Warnton noch ein Warnsymbol machten den Fahrer auf das vorausliegende Fahrzeug aufmerksam. Erst bei Stillstand des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige im Display „Acitve City Stop“ um dem Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Die Warnblinkanlage wurde automatisch aktiviert, um den nachfolgenden Verkehr zu warnen und der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Versuch 3:

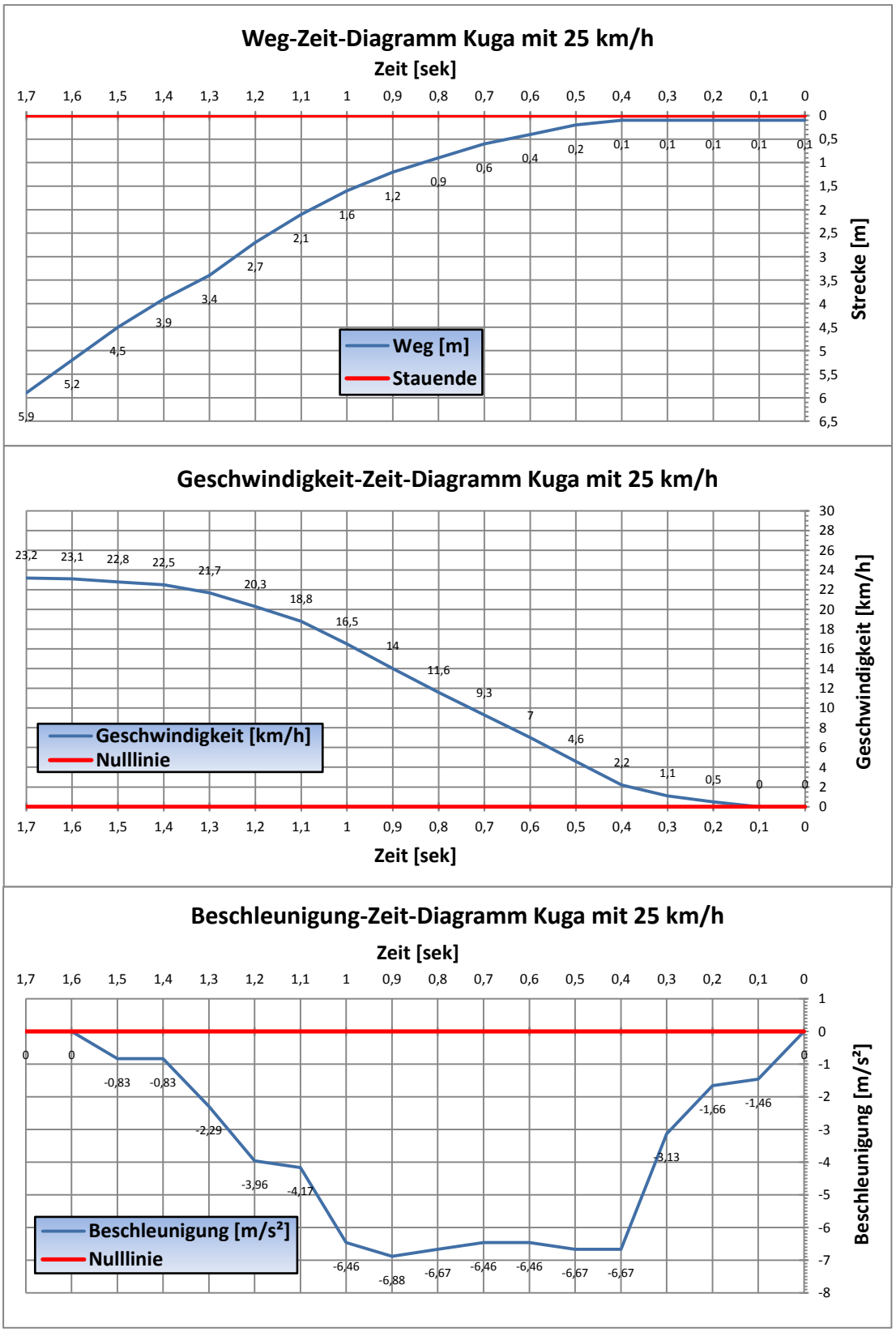


Diagramm 4: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Ford Kuga mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 3:

Auswertungstabelle:
Ford Kuga mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	23,1 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	5,2 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,1 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,6 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,88 m/s²

Tabelle 8: Auswertungstabelle Ford Kuga mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 3 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 8 zu entnehmen ist, bremst der Ford Kuga 5,2 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,1 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,6 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,88 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich, wie in Diagramm 4 zu sehen ist in 0,6 Sekunden zur maximalen Bremsverzögerung von 6,67±0,3 m/s² auf. Diese maximale Verzögerung wird rund 0,6 Sekunden gehalten und innerhalb von 0,4 Sekunden wieder abgebaut. Bei diesem Bremsvorgang baut sich die Verzögerung auf ein Maximum auf, das gehalten wird und anschließend wieder auf 0 m/s² (= Stillstand) abfällt. Das Fahrzeug bleibt mit einem sehr geringen Abstand von 0,1 m vor dem Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen ist, wurde der Fahrer auch bei diesem Fahrversuch nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte weder ein Warnton noch leuchtete ein Warnsymbol auf, das den Fahrer auf das vorausliegende Fahrzeug hinweist. Erst bei Stillstand des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige im Display „Acitve City Stop“ auf, um dem Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Die Warnblinkanlage wurde automatisch aktiviert, um den nachfolgenden Verkehr zu warnen und der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden. Die Warnreaktion des Fahrzeugs blieb bei beiden Fahrversuchen mit 30 km/h gleich.

Versuch 4:

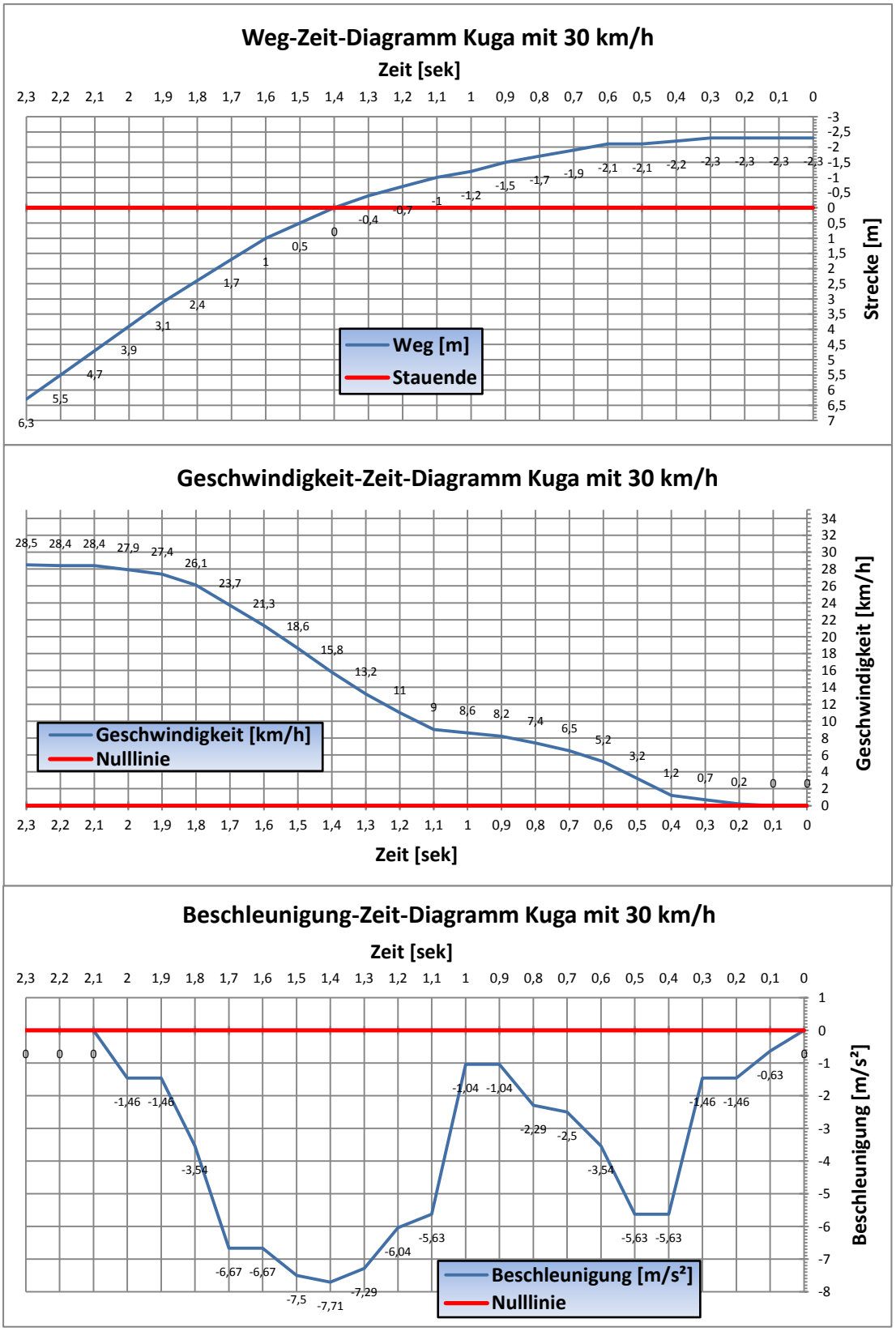


Diagramm 5: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 4:

Auswertungstabelle:
Ford Kuga mit 30 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	28,4 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	4,7 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-2,3 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	2,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,71 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	0,7 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	1,4 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	15,8 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	7,71 m/s²

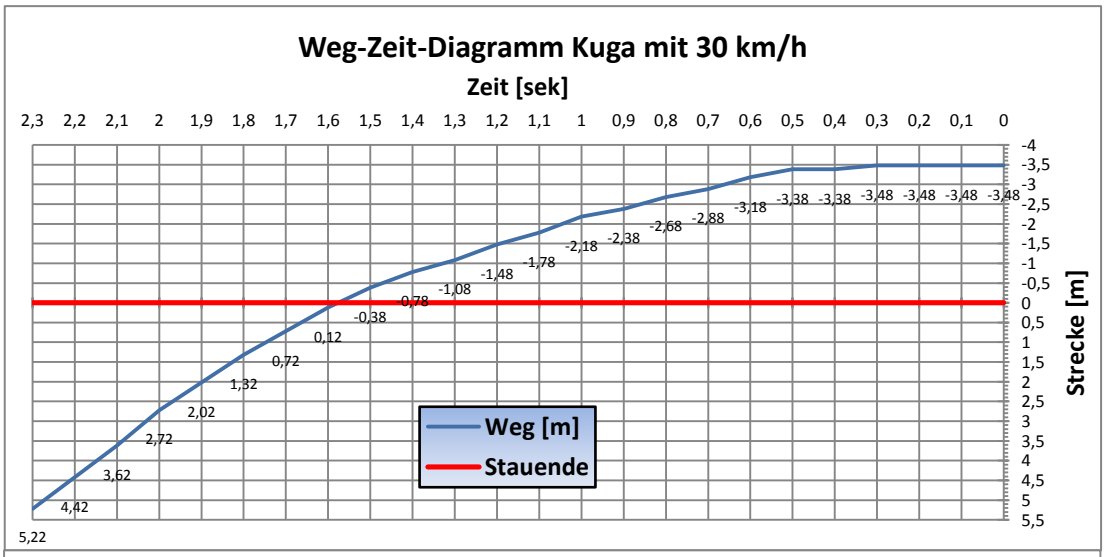
Tabelle 9: Auswertungstabelle Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

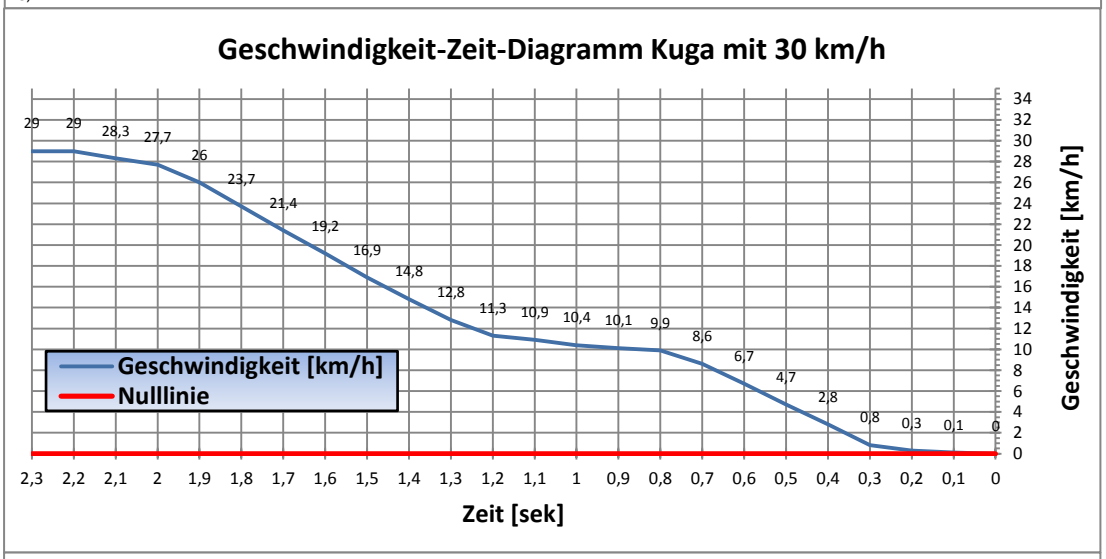
Analyse: Versuch 4 mit 30 km/h

Wie aus Tabelle 9 zu entnehmen ist, bremst der Ford Kuga 4,7 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 2,3 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 2,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,71 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um das Fahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen. Nach ca. 1,0 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 9,0 km/h löst das Fahrzeug selbstständig die Bremsen. Wenn der Fahrer daraufhin nicht das Bremspedal selbst betätigt, würde das Fahrzeug noch weiter in das Hindernis einfahren. Der zweite Anstieg der Verzögerung in Diagramm 5 zeigt den Bremseingriff des Fahrers, mit dem er das Fahrzeug zum Stillstand abbremst. Das Fahrzeug leitet selbst die Notbremsung ein, hält aber den Bremsdruck nicht bis zum kompletten Stillstand. Erst durch die Reaktion des Fahrers, wird der Stillstand durch Betätigen des Bremspedals erreicht.

Versuch 5:





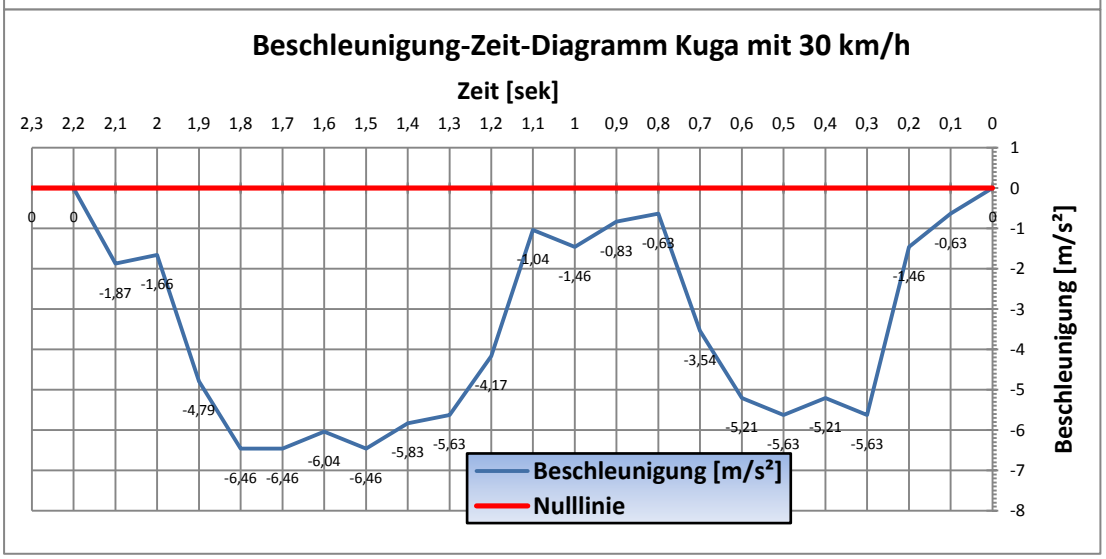


Diagramm 6: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 5:

Auswertungstabelle:
Ford Kuga mit 30 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	29 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	4,42 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-3,48 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	2,2 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,46 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 0,6 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 1,6 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 19,2 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 6,04 m/s²

Tabelle 10: Auswertungstabelle Ford Kuga mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 5 mit 30 km/h

Wie aus Tabelle 10 zu entnehmen ist, bremst der Ford Kuga 4,42 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 3,48 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 2,2 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,46 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht auch hier nicht aus, um das Fahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen. Nach ca. 1,0 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 10,9 km/h löst das Fahrzeug selbstständig die Bremsen. Wenn der Fahrer daraufhin nicht das Bremspedal selbst betätigt, würde das Fahrzeug noch weiter in das Hindernis einfahren. Der zweite Anstieg der Verzögerung in Diagramm 6 zeigt den Bremseingriff des Fahrers, mit dem er das Fahrzeug zum Stillstand abbremst. Das Fahrzeug leitet selbst die Notbremsung ein, hält aber den Bremsdruck nicht bis zum kompletten Stillstand. Erst durch die Reaktion des Fahrers, wird der Stillstand durch Betätigen des Bremspedals erreicht.

Zusammenfassung Versuch 1 - 5:

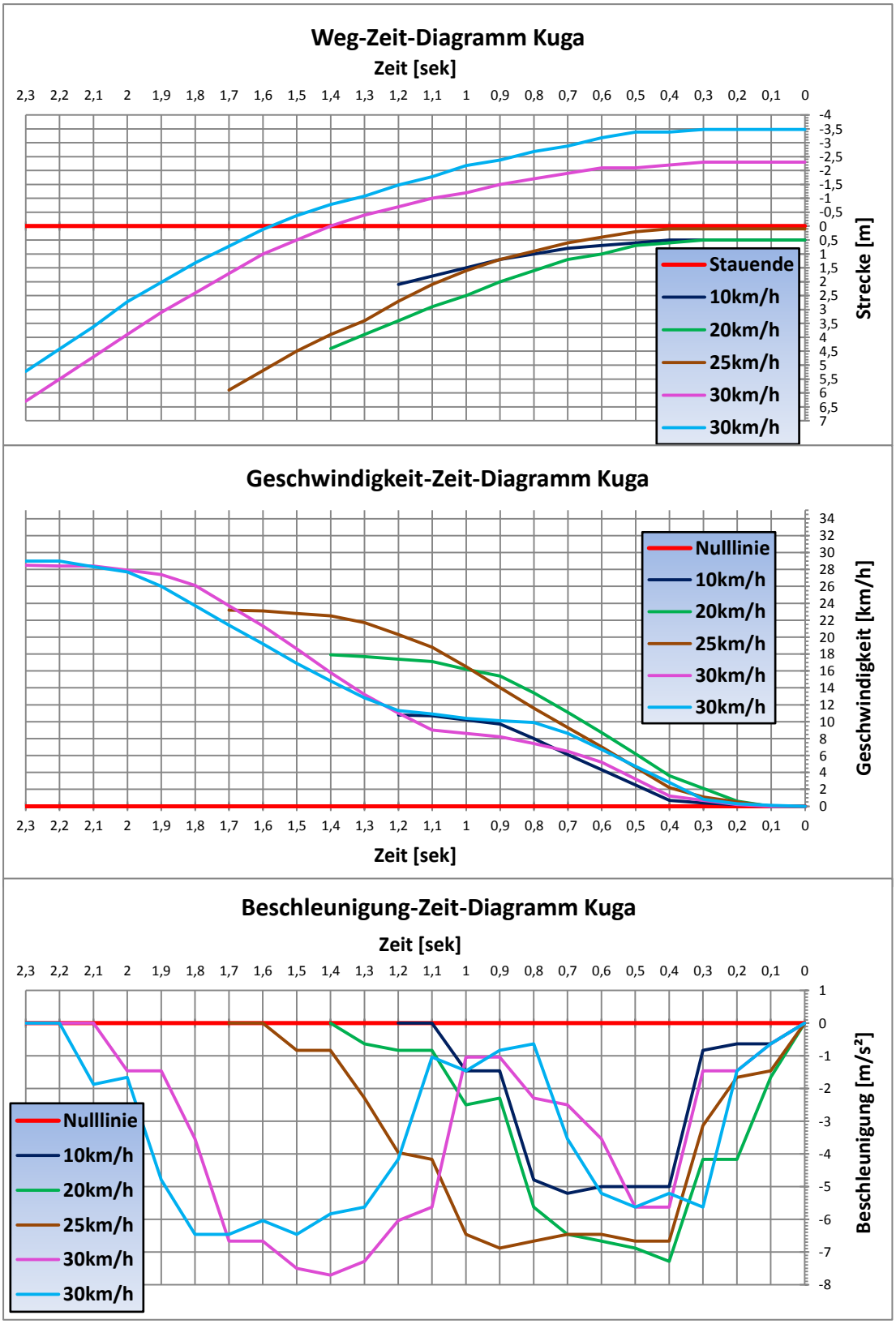


Diagramm 7: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Ford Kuga

Zusammenfassende Analyse des Ford Kuga:

In Diagramm 7 werden alle fünf Fahrversuche in den drei Zeit-Diagrammen dargestellt. Dadurch können die einzelnen Geschwindigkeiten leichter miteinander verglichen werden.

Von dieser Versuchsreihe befinden sich keine Aufnahmen auf der DVD im Anhang. Wie schon beschrieben, wurden die Fahrversuche mit dem Ford Kuga am 11. Dezember 2014 durchgeführt. An diesem Tag stand das Filmequipment noch nicht zur Verfügung.

Im Weg-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass bei beiden Fahrversuchen mit 30 km/h das Fahrzeug sehr deutlich in das stehende Hindernis fährt. Dagegen kommt er mit den Geschwindigkeiten von 10 km/h, 20 km/h und 25 km/h vor dem Hindernis zum Stehen. Ebenfalls ist zu erkennen, dass mit 25 km/h 5,2 m vor dem stehenden Hindernis mit der Bremsung begonnen wird, hingegen bei den beiden Fahrversuchen mit 30 km/h zwischen 4,4 bis 4,7 m vor dem stehenden Hindernis die Bremsung erfolgt.

Im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ist bei beiden Fahrversuchen mit 30 km/h im Bereich von 1,2 bis 0,8 Sekunden das automatische Lösen der Bremsung zu erkennen (in diesem Bereich kein großer Abfall der Geschwindigkeit).

Durch das Beschleunigung-Zeit-Diagramm lässt sich bei allen fünf Fahrversuchen ein ähnlicher Bremsverlauf erkennen. Mit steigender Geschwindigkeit wird auch das Fahrzeug mit einer höheren Verzögerung abgebremst. Das geschieht bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h. Bei 25 km/h wird keine höhere Verzögerung erreicht, sondern die maximal erreichte Verzögerung länger gehalten. Ebenso bei den beiden Fahrversuchen mit 30 km/h. Das System erkennt bei diesen beiden Geschwindigkeiten das stehende Hindernis zu spät. Somit wird die Bremsung zu spät eingeleitet und mit einer dennoch verzögerten Geschwindigkeit auf das stehende Hindernis aufgefahren.

Fazit:

Bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h wurde der Stillstand vor dem Hindernis erreicht. Mit 30 km/h wurde mit einer reduzierten Geschwindigkeit auf das Hindernis aufgefahren. Über 30 km/h reagierte das System nicht mehr. Das Fahrzeug fuhr ungebremst und ohne Reaktion auf das stehende Fahrzeug auf. Somit ist auch die Beschreibung von Ford richtig, dass das System bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h Auffahrunfälle verringern kann. (Punkt 3.3. „Philosophie und Versprechen der Hersteller“)

7.4.2. Audi SQ5

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug:	Audi SQ5	Reifen:	Winter
Daten:	60 PS	Profiltiefe:	7 mm
Datum:	12.12.2014	Uhrzeit:	11:00 Uhr
Wetter:	sonnig 8°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,61 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Amaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h	**+0,76 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 2	10 km/h	**+0,45 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 3	20 km/h	**+0,70 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 4	20 km/h	**+0,60 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 5	25 km/h	**-0,10 m** Simuliertes Auto wurde zusammengefahren	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 6	25 km/h	**-0,72 m** Simuliertes Auto wurde zusammengefahren	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 7	30 km/h	**Keine Reaktion**, keine automatische Bremsung	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff
Versuch 8	35 km/h	**Keine Reaktion**, keine automatische Bremsung	Blinkzeichen Braking guard: Eingriff

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 2	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 3	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 4	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 5	Fahrzeug hat nicht bis zum Stillstand abgebremst. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 6	Fahrzeug hat nicht bis zum Stillstand abgebremst. Warnsymbole und Warnton sind mit Beginn der Bremsung vor dem Hindernis wahrnehmbar.

Tabelle 11: Bewertungsliste Audi SQ5, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

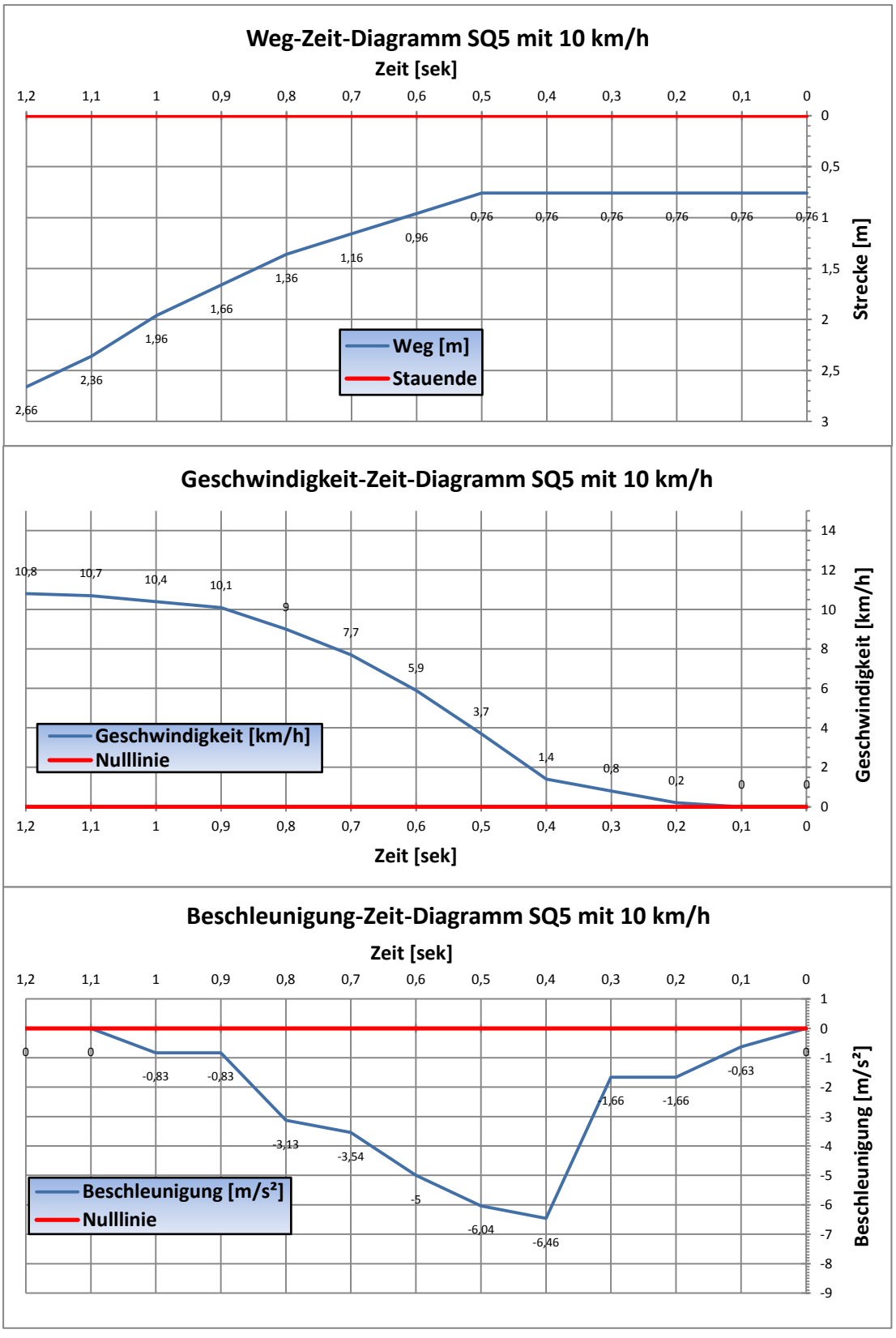


Diagramm 8: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,7 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	2,36 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,76 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,46 m/s²

Tabelle 12: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 1 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 12 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 2,36 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,76 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,46 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich, wie in Diagramm 8 zu sehen ist, in zwei Stufen auf, sowie in zwei Stufen wieder ab. In 0,7 Sekunden wird auf die maximale Verzögerung aufgebaut, davon in 0,2 Sekunden auf eine Verzögerung von 0,83 m/s² und in weitere 0,5 Sekunden auf 6, 46 m/s². Der Abbau erfolgt schlagartig in 0,1 Sekunden vom Maximum zu einer Verzögerung von 1,66 m/s² und anschließend in 0,3 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand). Die Verzögerung läuft auf einen maximalen Verzögerungswert zu und baut sich schnell wieder ab. Das Fahrzeug kommt mit einem sicheren Abstand von 0,76 m vor dem Hindernis zum Stehen.

Wie aus Tabelle 11 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst mit Bremsbeginn des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige „Braking guard“ im Display kurz auf um dem Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Der Motor wurde dabei nicht abgewürgt und die Warnblinkanlage blieb aus.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 1 des Audi SQ5 mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 2:

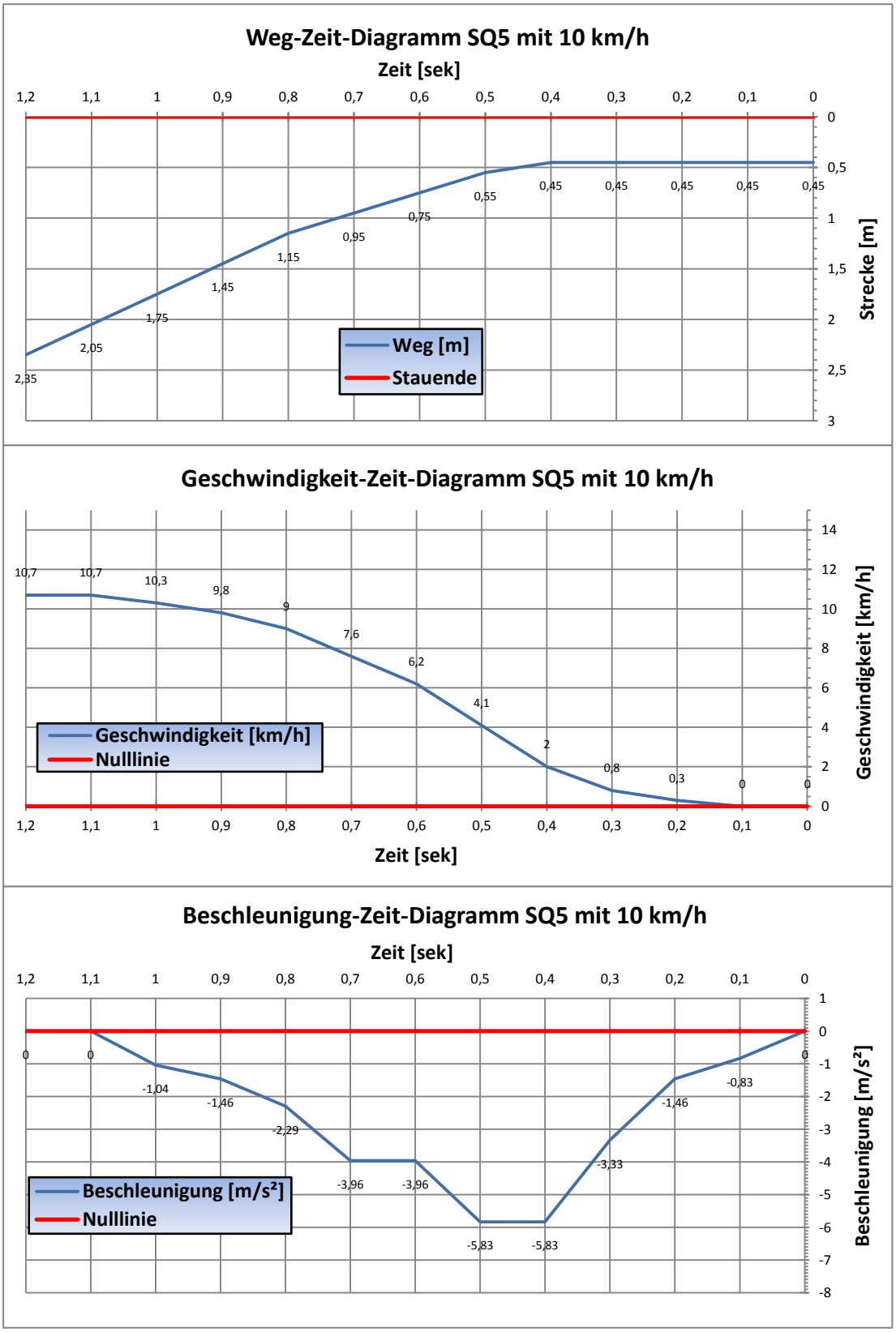


Diagramm 9: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 2:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,7 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	2,05 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,45 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	5,83 m/s²

Tabelle 13: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 2 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 13 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 2,05 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,45 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 5,83 m/s².

In Diagramm 9 baut sich die Bremsverzögerung in 0,6 Sekunden auf den maximalen Wert von 5,83 m/s² auf und hält diesen für 0,1 Sekunden. Anschließend baut sich in 0,4 Sekunden die Verzögerung wieder auf 0 m/s² (= Stillstand) ab. Die Verzögerungskurve läuft auf eine maximale Verzögerung zu, hält kurz an und baut diese schnell wieder ab. Das Fahrzeug kommt mit einem sicheren Abstand von 0,45 m vor dem Hindernis zum Stehen.

Wie aus Tabelle 11 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei Bremsbeginn des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige „Braking guard“ im Display kurz auf, um den Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Der Motor wurde dabei nicht abgewürgt und die Warnblinkanlage blieb aus.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 2 des Audi SQ5 mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 3:

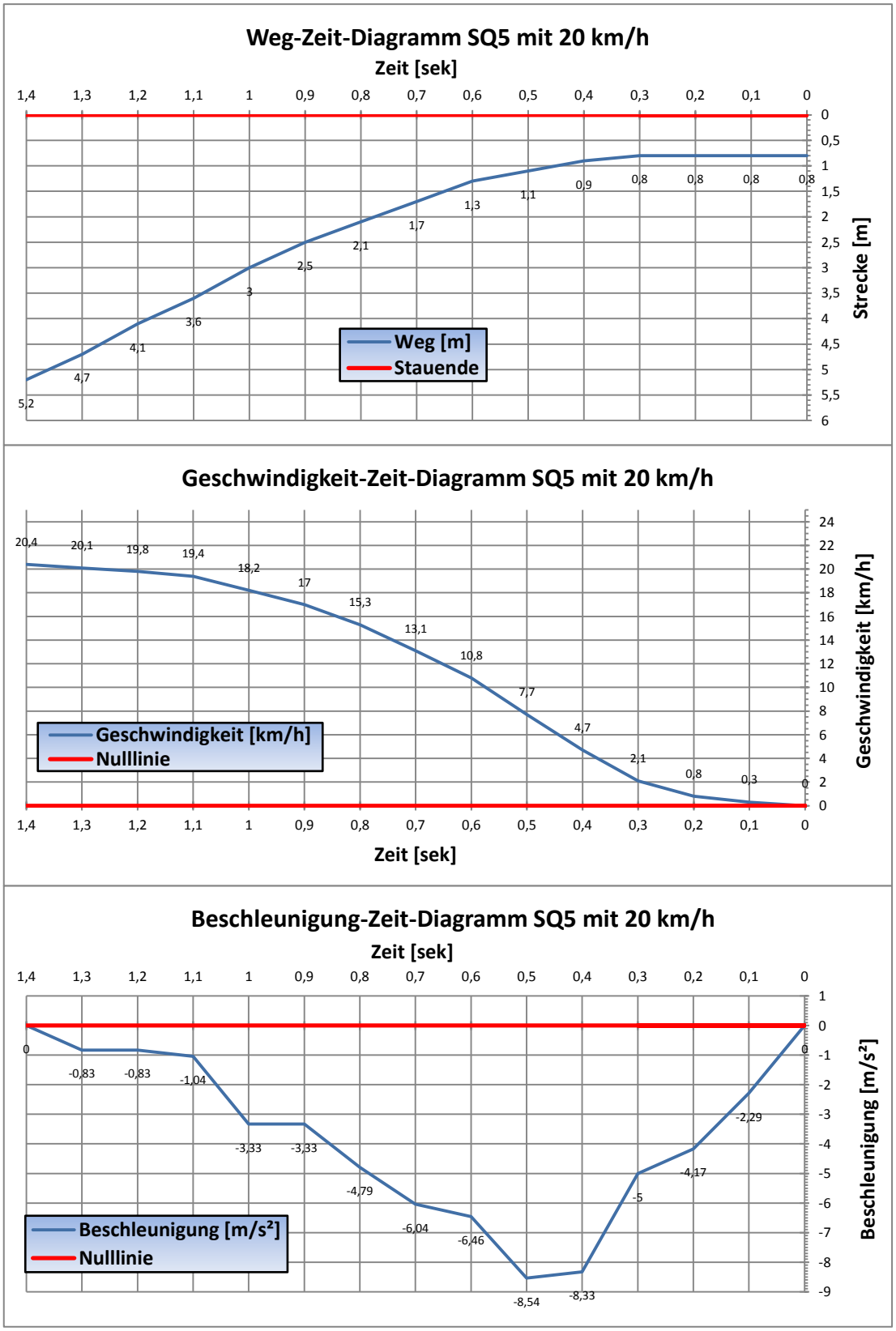


Diagramm 10: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 3:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	20,4 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	5,2 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,8 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,4 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	8,54 m/s²

Tabelle 14: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 3 mit 20 km/h

Wie aus Tabelle 14 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 5,2 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,8 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,4 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 8,54 m/s².

In Diagramm 10 ist zu erkennen, dass sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen zum Maximum aufbaut. In den ersten 0,3 Sekunden auf eine Verzögerung von 1,04 m/s² und in weiteren 0,6 Sekunden auf die maximale Verzögerung von 8,54 m/s², die 0,1 Sekunden gehalten wird. Der Abbau erfolgt in 0,4 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand). Bei diesem Fahrversuch baut sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen zum Maximum auf, hält kurz an und baut sich anschließend schnell wieder ab. Das Fahrzeug kommt auch bei diesem Fahrversuch mit einem sicheren Abstand von 0,8 m vor dem Hindernis zum Stillstand.

Wie aus Tabelle 11 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst wenn das Fahrzeug die Notbremsung eingeleitet hat, wurde im Display die Anzeige „Braking guard“ bis zum Stillstand des Fahrzeugs angezeigt. Der Motor wurde dabei nicht abgewürgt und die Warnblinkanlage blieb aus.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 3 des Audi SQ5 mit 20 km/h zu sehen.

Versuch 4:

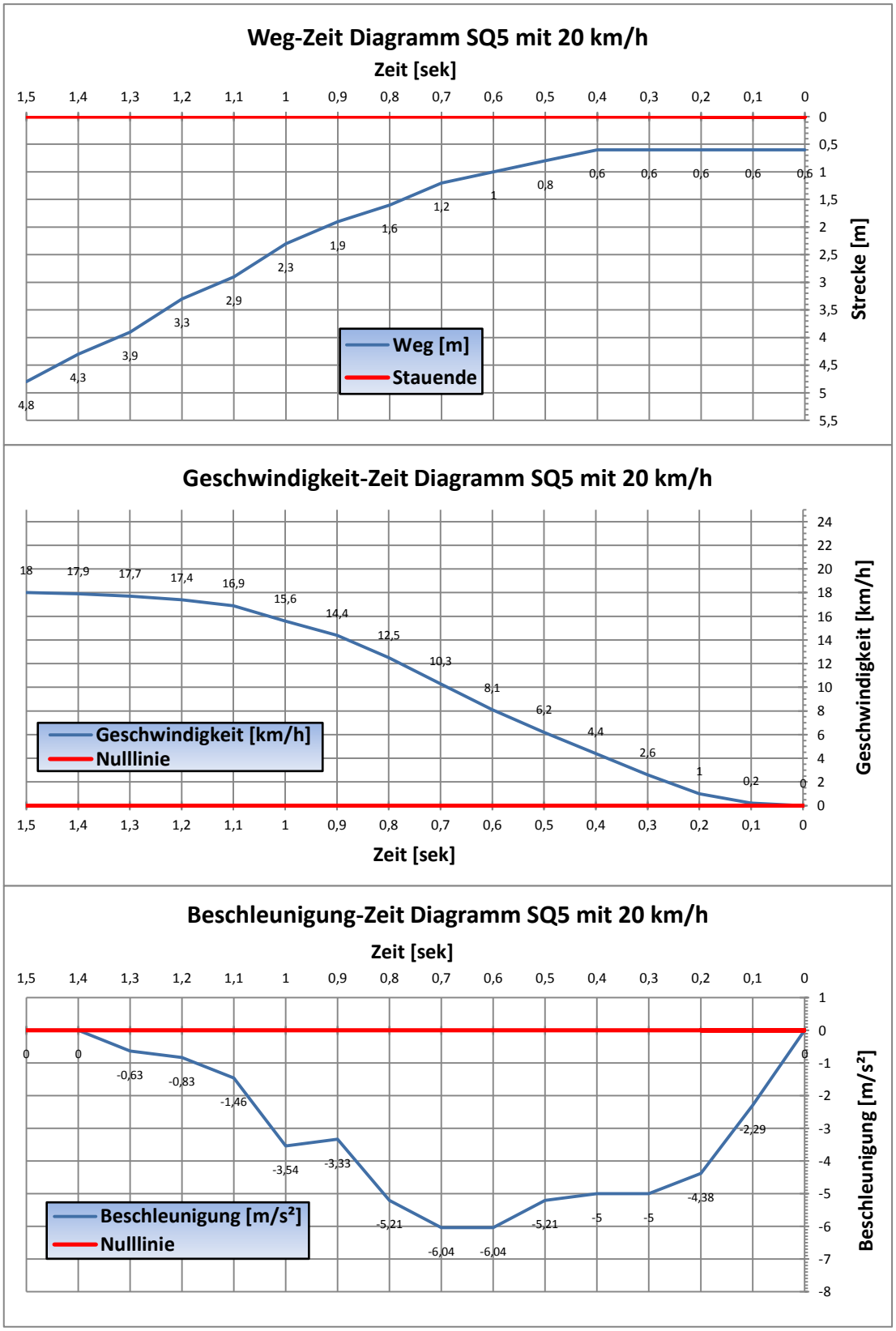


Diagramm 11: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm
Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 4:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	17,9 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	4,3 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,6 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,4 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,04 m/s²

Tabelle 15: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 4 mit 20 km/h

Wie aus Tabelle 15 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 4,3 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,6 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,4 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,04 m/s².

Im Diagramm 11 baut sich die Bremsverzögerung ebenfalls in zwei Stufen auf, wie auch in zwei Stufen wieder ab. Nach 0,7 Sekunden wird die maximale Verzögerung von 6,04 m/s² erreicht, dabei wird die Bremsung zuerst mit 0,3 Sekunden auf 0,83 m/s² eingeleitet. Die maximale Verzögerung wird für 0,1 Sekunden gehalten, bevor diese in 0,2 Sekunden auf 5,0 m/s² abfällt. Nach 0,1 Sekunden wird die Verzögerung auf 0 m/s² (= Stillstand) abgebaut. Die Bremsverzögerung baut sich in zwei Stufen zum Maximum auf, sowie in zwei Stufen zum Stillstand wieder ab. Das Fahrzeug bleibt mit 0,6 m vor dem Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 11 und den Aufnahmen der Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst wenn das Fahrzeug die Notbremsung eingeleitet hat, wurde im Display „Braking guard“ bis zum Stillstand des Fahrzeugs angezeigt. Der Motor wurde dabei nicht abgewürgt und die Warnblinkanlage blieb aus. Die Warnreaktion des Fahrzeugs blieb ebenfalls bei beiden Fahrversuchen mit 25 km/h gleich.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 4 des Audi SQ5 mit 20 km/h zu sehen.

Versuch 5:

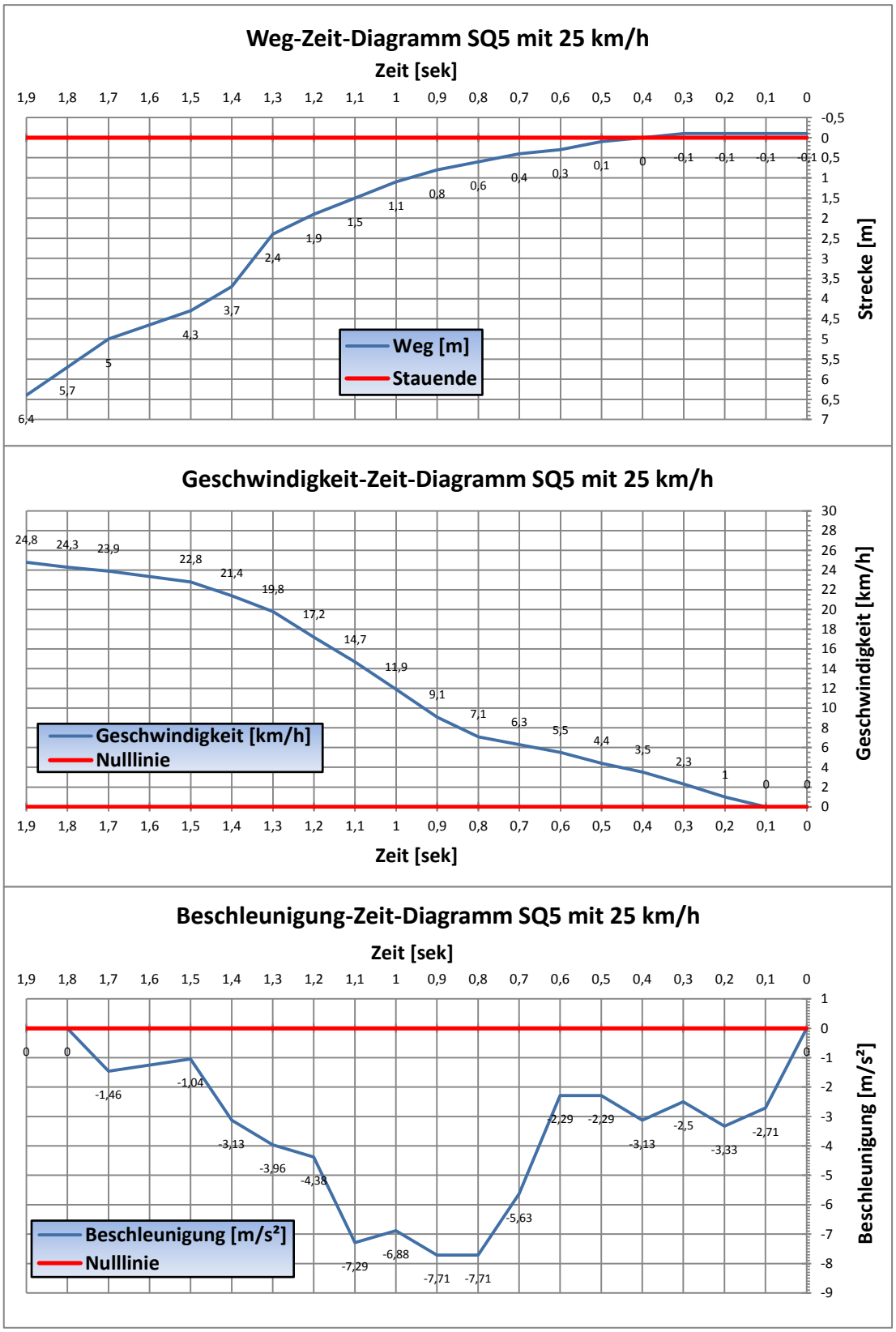


Diagramm 12: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm
Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 5:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	24,8 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	5,7 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,1 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,8 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,71 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	1,4 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	0,4 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	3,5 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	3,13 m/s²

Tabelle 16: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 5 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 16 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 5,7 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,1 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,8 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,71 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um das Fahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen. Nach ca. 1,1 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 6,3 km/h löst das Fahrzeug selbstständig die Bremsen. Wenn der Fahrer daraufhin nicht das Bremspedal selbst betätigt, würde das Fahrzeug noch weiter in das Hindernis einfahren. Die zweite anhaltende Verzögerung von 0,6 Sekunden bis 0 Sekunden zeigt in Diagramm 12 den Bremseingriff des Fahrers, mit dem er das Fahrzeug zum Stillstand abbremst. Das Fahrzeug leitet selbst die Notbremsung ein, hält aber den Bremsdruck nicht bis zum kompletten Stillstand. Erst durch die Reaktion des Fahrers wird der Stillstand erreicht.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 5 des Audi SQ5 mit 25 km/h zu sehen

Versuch 6:

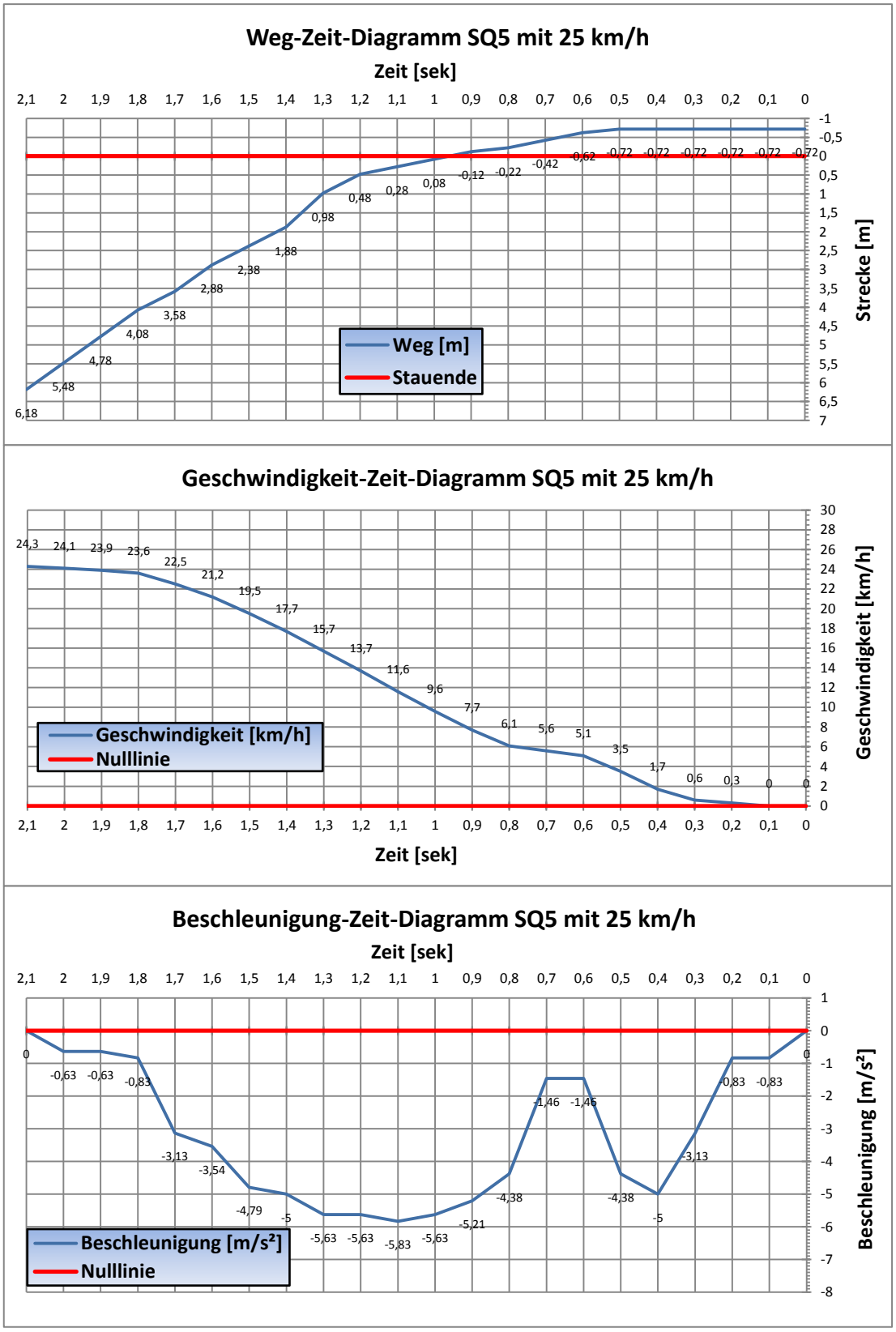


Diagramm 13: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm
Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 6:

Auswertungstabelle:
Audi SQ5 mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	24,3 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	6,18 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,72 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	2,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	5,83 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 1,1 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 1,0 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 9,6 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 5,63 m/s²

Tabelle 17: Auswertungstabelle Audi SQ5 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 6 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 17 zu entnehmen ist, bremst der Audi SQ5 6,18 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,72 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 2,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 5,83 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht auch hier nicht aus, um das Fahrzeug bis zum Stillstand abzubremsen. Nach ca. 1,3 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 6,1 km/h löst das Fahrzeug selbstständig die Bremsen. Wenn der Fahrer daraufhin nicht das Bremspedal selbst betätigt, würde das Fahrzeug noch weiter in das Hindernis einfahren. Der zweite Anstieg der Verzögerung in Diagramm 13 zeigt den Bremseingriff des Fahrers, mit dem er das Fahrzeug zum Stillstand abbremst. Das Fahrzeug leitet selbst die Notbremsung ein hält aber den Bremsdruck nicht bis zum kompletten Stillstand. Erst durch die Reaktion des Fahrers, durch Betätigen des Bremspedals, wird der Stillstand erreicht.

Zusammenfassung Versuch 1 – 6:

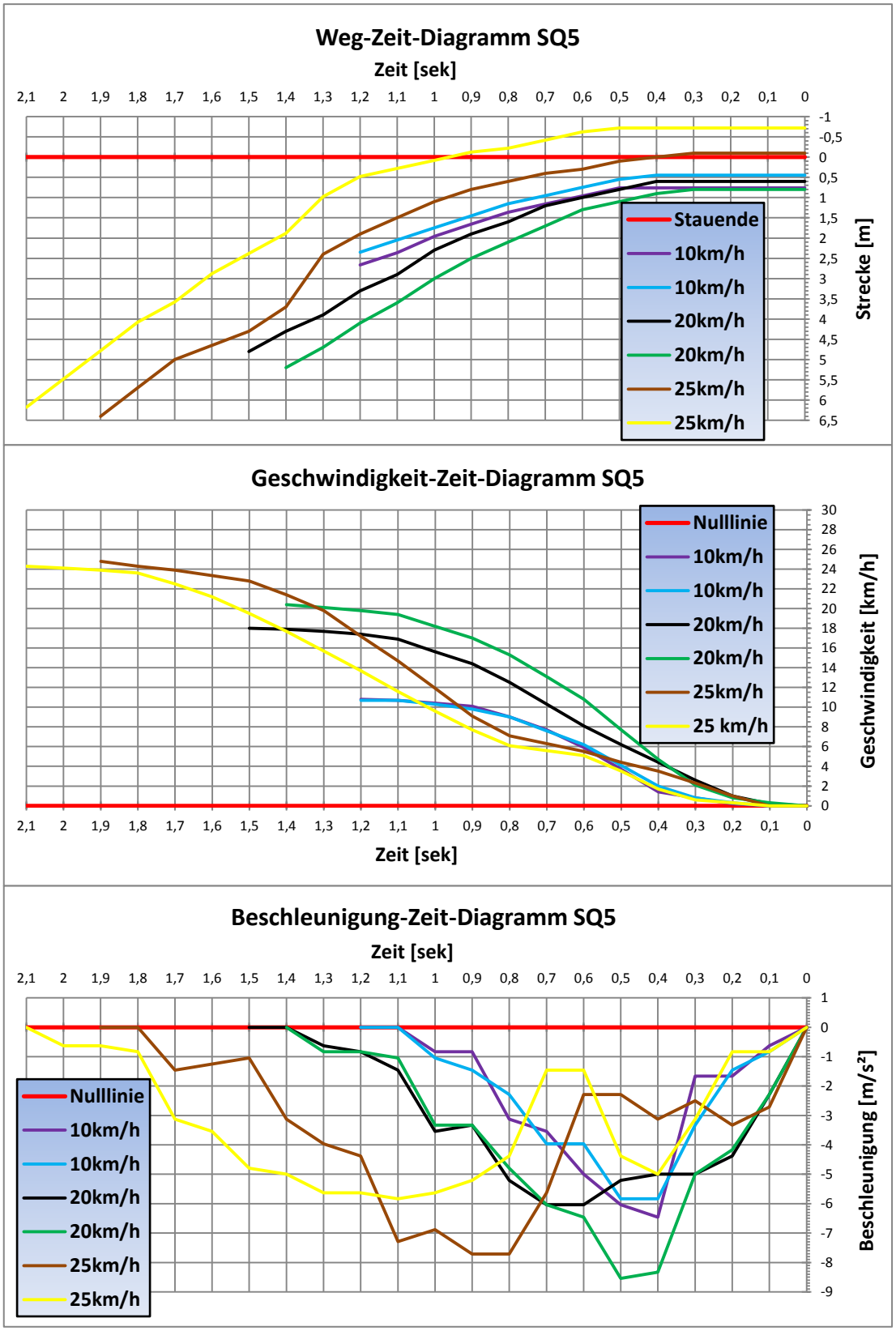


Diagramm 14:Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Audi SQ5

Zusammenfassende Analyse des Audi SQ5:

In Diagramm 14 werden alle sechs Fahrversuche in den drei Zeit-Diagrammen dargestellt. Dadurch können die einzelnen Geschwindigkeiten leichter miteinander verglichen werden.

Auf der DVD im Anhang ist der Fahrversuch 5 mit 25 km/h nicht zu sehen, dagegen der Fahrversuch 6 mit 30 km/h. Alle Fahrversuche, bei denen das System nicht reagierte, sind so abgelaufen, wie es auf der DVD mit der Aufnahme „Audi SQ5 mit 30 km/h“ zu sehen ist.

Im Weg-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass bei dem Fahrversuch 5 mit 25 km/h das Fahrzeug sehr deutlich in das stehende Hindernis fährt. Bei Fahrversuch 6 mit ebenfalls 25 km/h wird das stehende Hindernis jedoch nur leicht berührt. Dagegen kommt das Fahrzeug bei den Fahrversuchen mit Geschwindigkeiten von 10 km/h und 20 km/h vor dem Hindernis zum Stehen.

Im Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ist bei beiden Geschwindigkeiten von 25 km/h im Bereich von 0,8 Sekunden bis 0,6 Sekunden das automatische Lösen der Bremsung zu erkennen (in diesem Bereich kein großer Abfall der Geschwindigkeit).

Durch das Beschleunigung-Zeit-Diagramm lässt sich von allen sechs Fahrversuchen ein ähnlicher Bremsverlauf erkennen. Mit steigender Geschwindigkeit wird auch das Fahrzeug mit einer höheren Verzögerung abgebremst. Das geschieht bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 20 km/h. Bei 25 km/h wird keine höhere Verzögerung erreicht, sondern die maximal erreichte Verzögerung länger gehalten. Das System erkennt bei diesen beiden Geschwindigkeiten das stehende Hindernis zu spät. Somit wird die Bremsung zu spät eingeleitet und mit einer dennoch verzögerten Geschwindigkeit auf das stehende Hindernis aufgefahren.

Fazit:

Bis zu einer Geschwindigkeit von 20 km/h wurde der Stillstand vor dem Hindernis erreicht. Mit 25 km/h wurde auf das Hindernis aufgefahren aber mit einer reduzierten Geschwindigkeit. Mit 30 km/h reagierte das System nicht mehr und das Fahrzeug fuhr ungebremst und ohne Reaktion auf das stehende Fahrzeug auf. Somit stellt sich die Beschreibung von Audi auf diese Versuchsreihe als zutreffend, dass das System unterhalb von 30 km/h eine Vollverzögerung einleitet. (Punkt 3.3. „Philosophie und Versprechen der Hersteller“)

7.4.3. VW Up

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug:	VW Up	Reifen:	Winter
Daten:	55 kW / 75 PS	Profiltiefe:	8,5 mm
Datum:	12.12.2014	Uhrzeit:	13:00 Uhr
Wetter:	sonnig 8°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,06 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Armaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h	**-0,07 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Front Assist
Versuch 2	10 km/h	**-0,03 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Front Assist
Versuch 3	20 km/h	**+0,14 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Front Assist
Versuch 4	25 km/h	**-0,16 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Front Assist
Versuch 5	30 km/h	**-0,26 m** Stillstand hinter dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Front Assist
Versuch 6	35 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Front Assist

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1 und 2	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind erst bei Kollision mit dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 3	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind erst bei Kollision mit dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 4 und 5	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind erst bei der Kollision mit dem Hindernis wahrnehmbar.
Versuch 6	Fahrzeug fährt ohne Reaktion in das Hindernis. Keine Bremsung nur kurz vor der Kollision Warnsymbole und Warnton wahrnehmbar.

Tabelle 18: Bewertungsliste VW Up, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

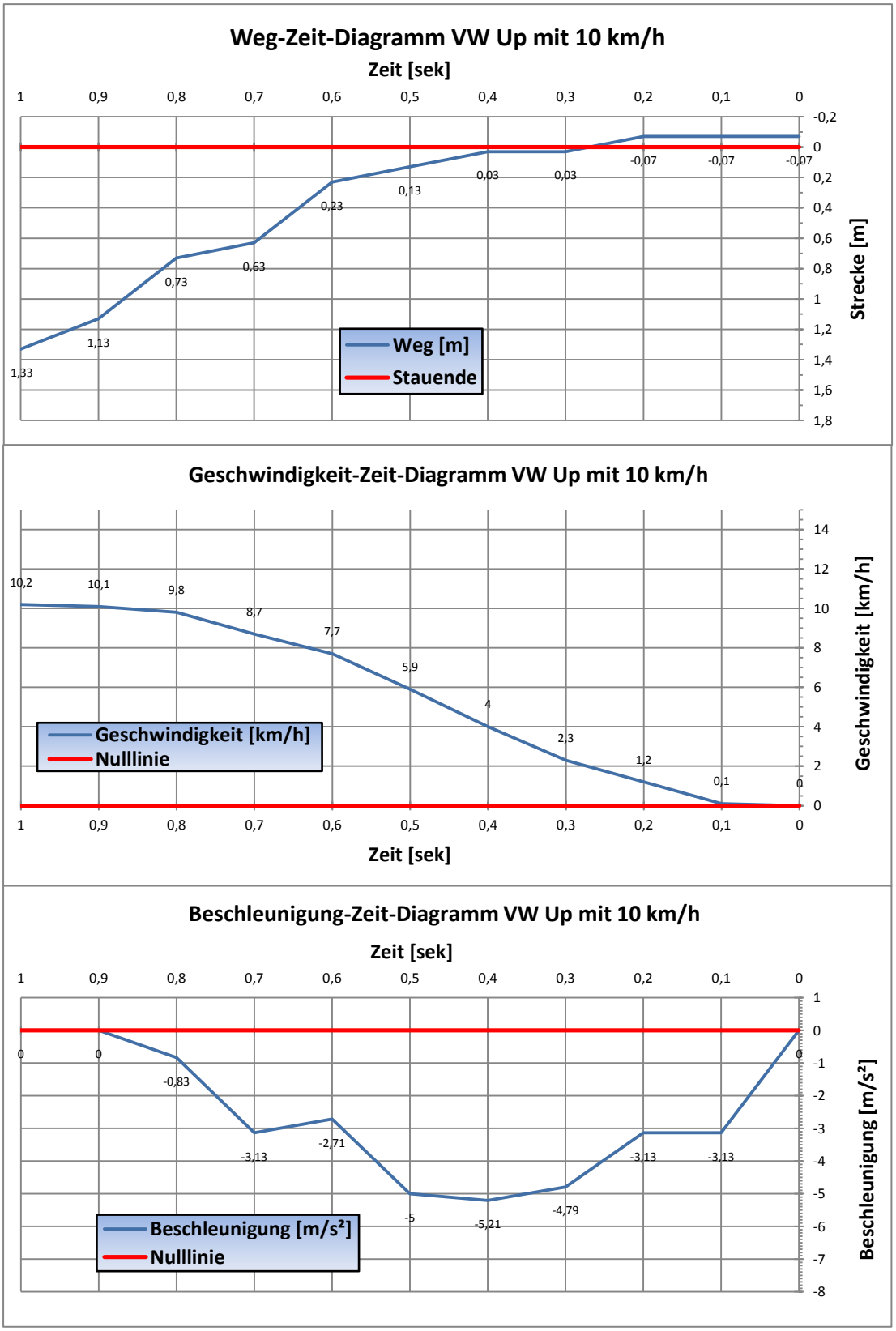


Diagramm 15: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit Diagramm VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
VW Up mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,1 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	1,13 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,07 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	0,9 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	5,21 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 0,6 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 0,3 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 2,0 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 4,0 m/s²

Tabelle 19: Auswertungstabelle VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 1 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 19 zu entnehmen ist, bremst der VW Up 1,13 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,07 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 0,9 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 5,21 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um vor dem Hindernis stehen zu bleiben, wie in Diagramm 15 zu sehen ist. Nach ca. 0,6 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 2,3 km/h trifft das Fahrzeug auf das stehende Hindernis. Durch die davor eingeleitete Bremsung wird die Aufprallgeschwindigkeit reduziert und das Fahrzeug berührt nur leicht das stehende Hindernis.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 1 des VW Up mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 2:

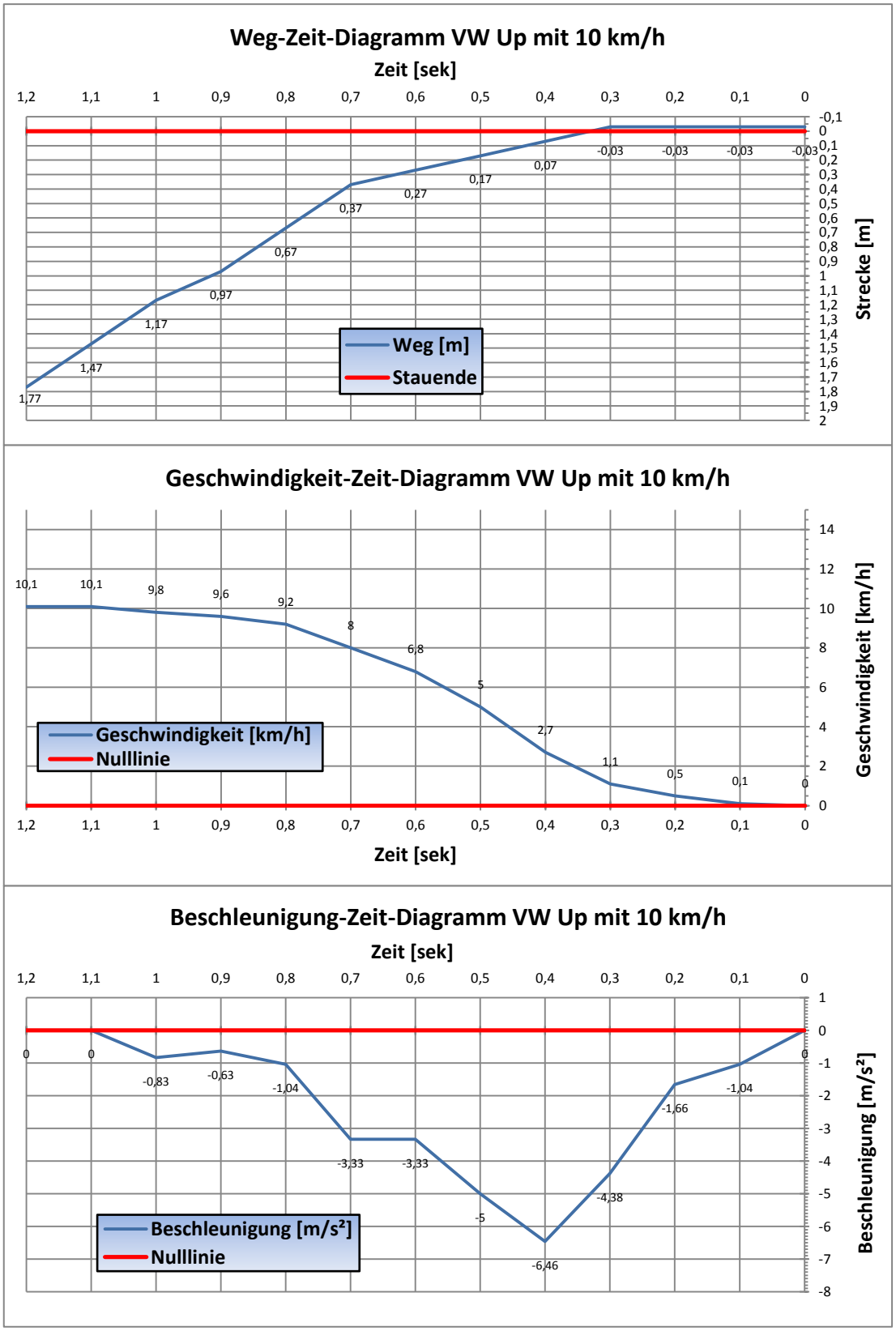


Diagramm 16: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 2:

Auswertungstabelle:
VW Up mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,1 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	1,47 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,03 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,46 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 0,8 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 0,3 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 1,5 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 5,5 m/s²

Tabelle 20: Auswertungstabelle VW Up mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 2 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 20 zu entnehmen ist, bremst der VW Up 1,47 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,03 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,46 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um vor dem Hindernis stehen zu bleiben, wie in Diagramm 16 zu sehen ist. Nach 0,8 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf 1,5 km/h trifft das Fahrzeug auf das stehende Hindernis. Durch die davor eingeleitete Bremsung wird die Aufprallgeschwindigkeit reduziert und das Fahrzeug berührt nur leicht das stehende Hindernis.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 2 des VW Up mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 3:

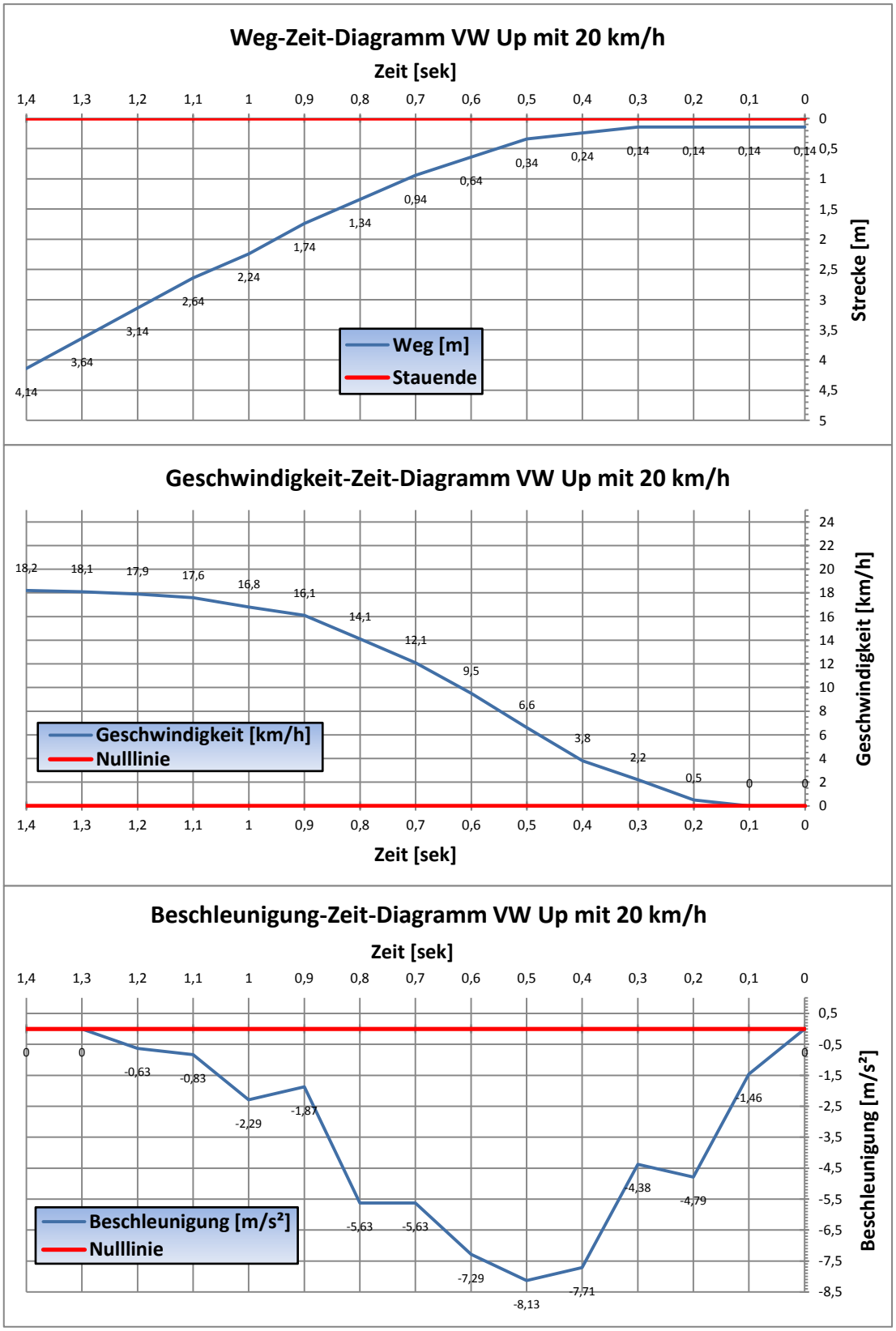


Diagramm 17: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 3:

Auswertungstabelle:
VW Up mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	18,1 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	3,64 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,14 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,3 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	8,13 m/s²

Tabelle 21: Auswertungstabelle VW Up mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 3 mit 20 km/h

Wie aus Tabelle 21 zu entnehmen ist, bremst der VW Up 3,64 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,14 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,3 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 8,13 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich in zwei Stufen auf und in zwei Stufen wieder ab, wie es in Diagramm 17 zu sehen ist. Bevor die maximale Verzögerung von 8,13 m/s² nach 0,8 Sekunden erreicht wird, wurde in 0,3 Sekunden eine Bremsverzögerung von 0,83 m/s² vorgesteuert. Nach Erreichen der maximalen Verzögerung baut sich diese innerhalb von 0,2 Sekunden auf 4,38 m/s² ab, wird dann 0,1 Sekunden gehalten und nach weiteren 0,2 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand) abgebaut. Die Verzögerung läuft auf einen maximalen Wert zu, der sofort wieder abfällt. Das Fahrzeug bleibt mit einem knappen Abstand von 0,14 m vor dem Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 18 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei Stillstand des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige im Display „Front Assist“ auf um den Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Der Motor wurde abgewürgt, um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden. Bei allen Fahrversuchen des VW Up erfolgte die gleiche Reaktion.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 3 des VW Up mit 20 km/h zu sehen.

Versuch 4:

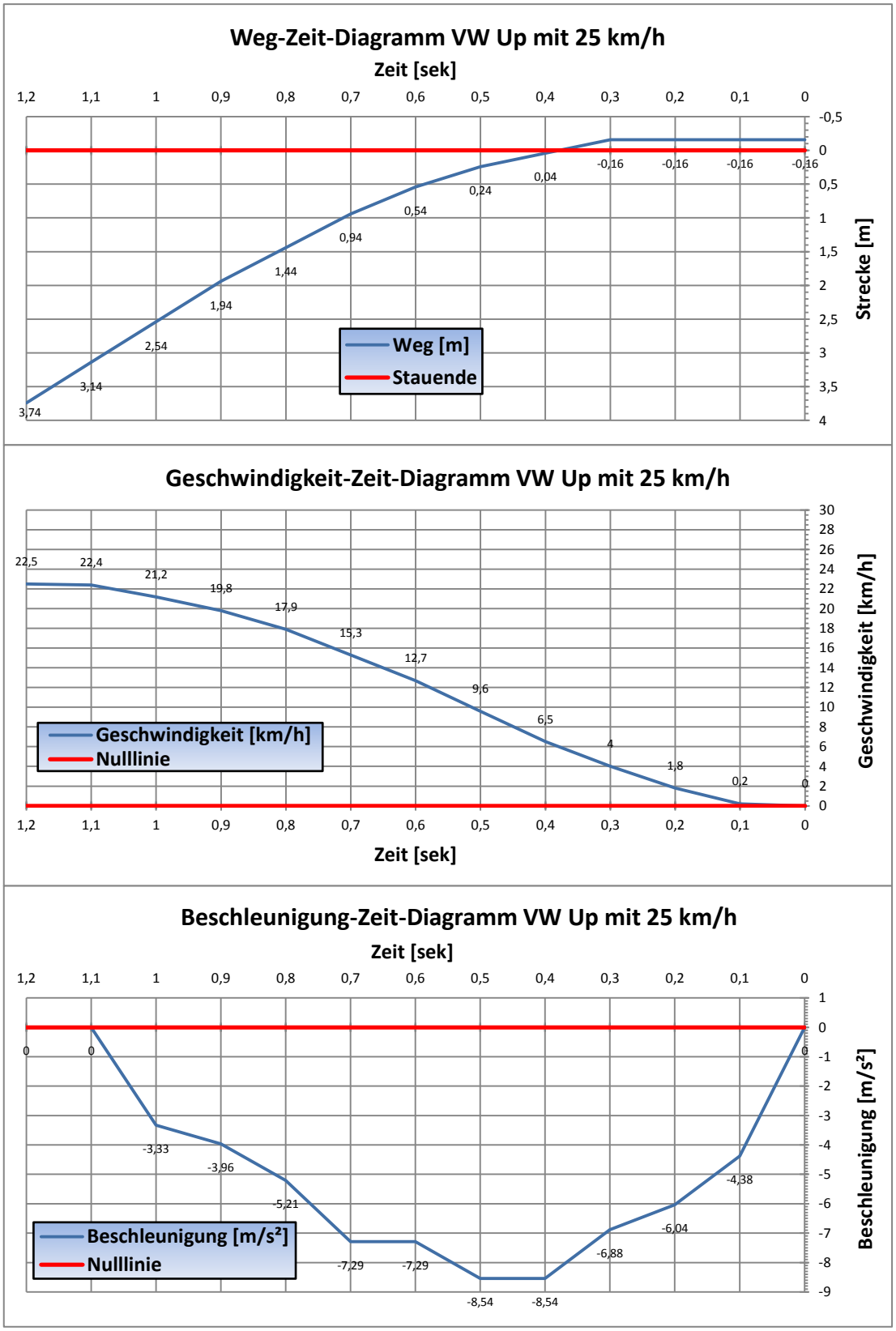


Diagramm 18: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 4:

Auswertungstabelle:
VW Up mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	22,4 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	3,14 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,16 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	8,54 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 0,7 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 0,4 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 6,5 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 8,54 m/s²

Tabelle 22: Auswertungstabelle VW Up mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 4 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 22 zu entnehmen ist, bremst der VW Up 3,14 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,16 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 8,54 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um vor dem Hindernis stehen zu bleiben, wie es in Diagramm 18 zu sehen ist. Nach 0,7 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf 6,5 km/h trifft das Fahrzeug auf das stehende Hindernis. Durch die davor eingeleitete Bremsung wird die Aufprallgeschwindigkeit reduziert und das Fahrzeug berührt nur leicht das stehende Hindernis.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 4 des VW Up mit 25 km/h zu sehen.

Versuch 5:

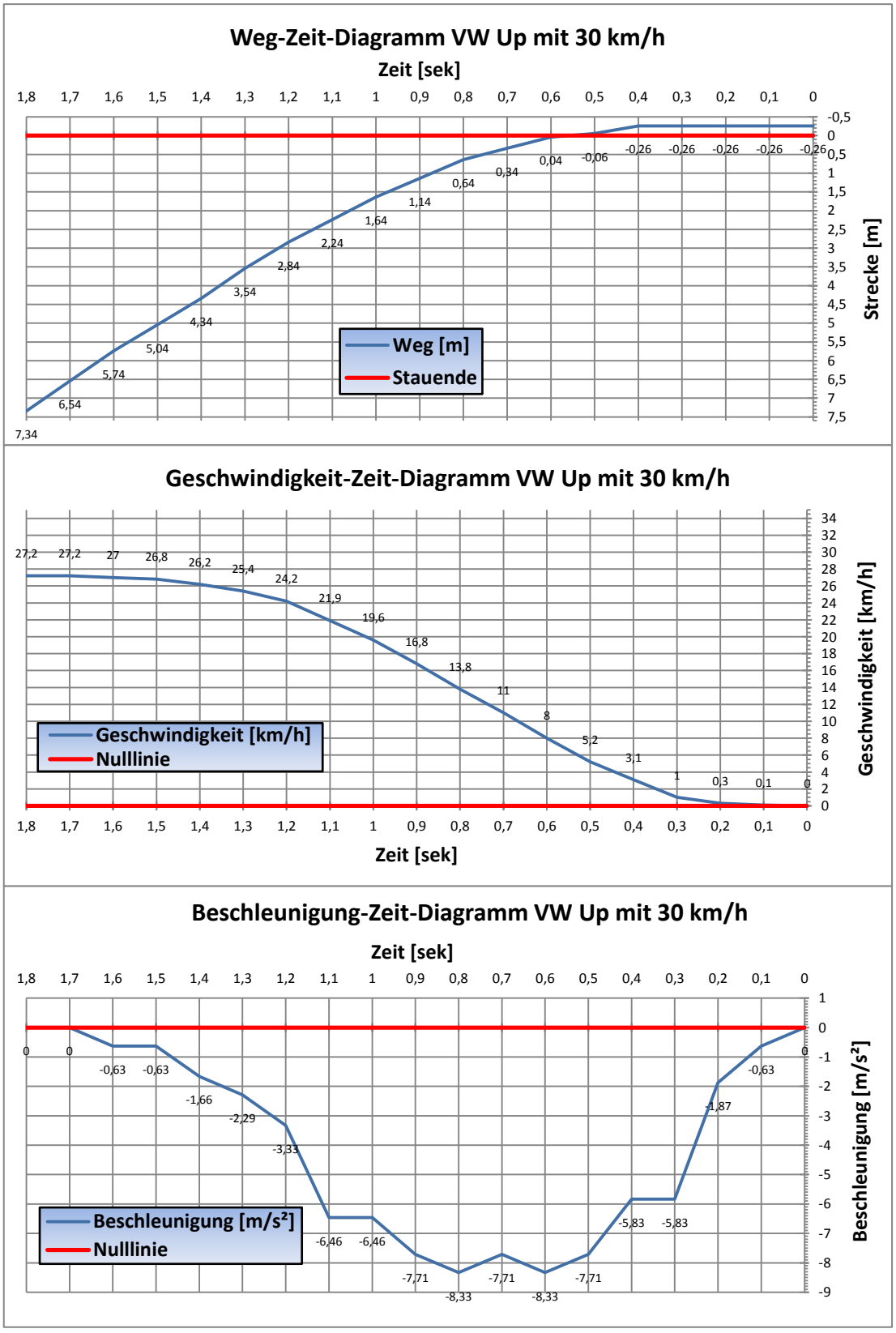


Diagramm 19: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Up mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 5:

Auswertungstabelle:
VW Up mit 30 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	27,2 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	6,54 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,26 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,7 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	8,33 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 1,1 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 0,6 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 8,0 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 8,33 m/s²

Tabelle 23: Auswertungstabelle VW Up mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 5 mit 30 km/h

Wie aus Tabelle 23 zu entnehmen ist, bremst der VW Up 6,54 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,26 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,7 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 8,33 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, um vor dem Hindernis stehen zu bleiben, wie es in Diagramm 19 zu sehen ist. Nach ca. 1,1 Sekunden Bremszeit und einer Abbremsung auf ca. 8,0 km/h trifft das Fahrzeug auf das stehende Hindernis. Durch die davor eingeleitete Bremsung wird die Aufprallgeschwindigkeit reduziert und das Fahrzeug fährt nur leicht in das stehende Hindernis.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 5 des VW Up mit 30 km/h zu sehen.

Zusammenfassung Versuch 1 - 5:

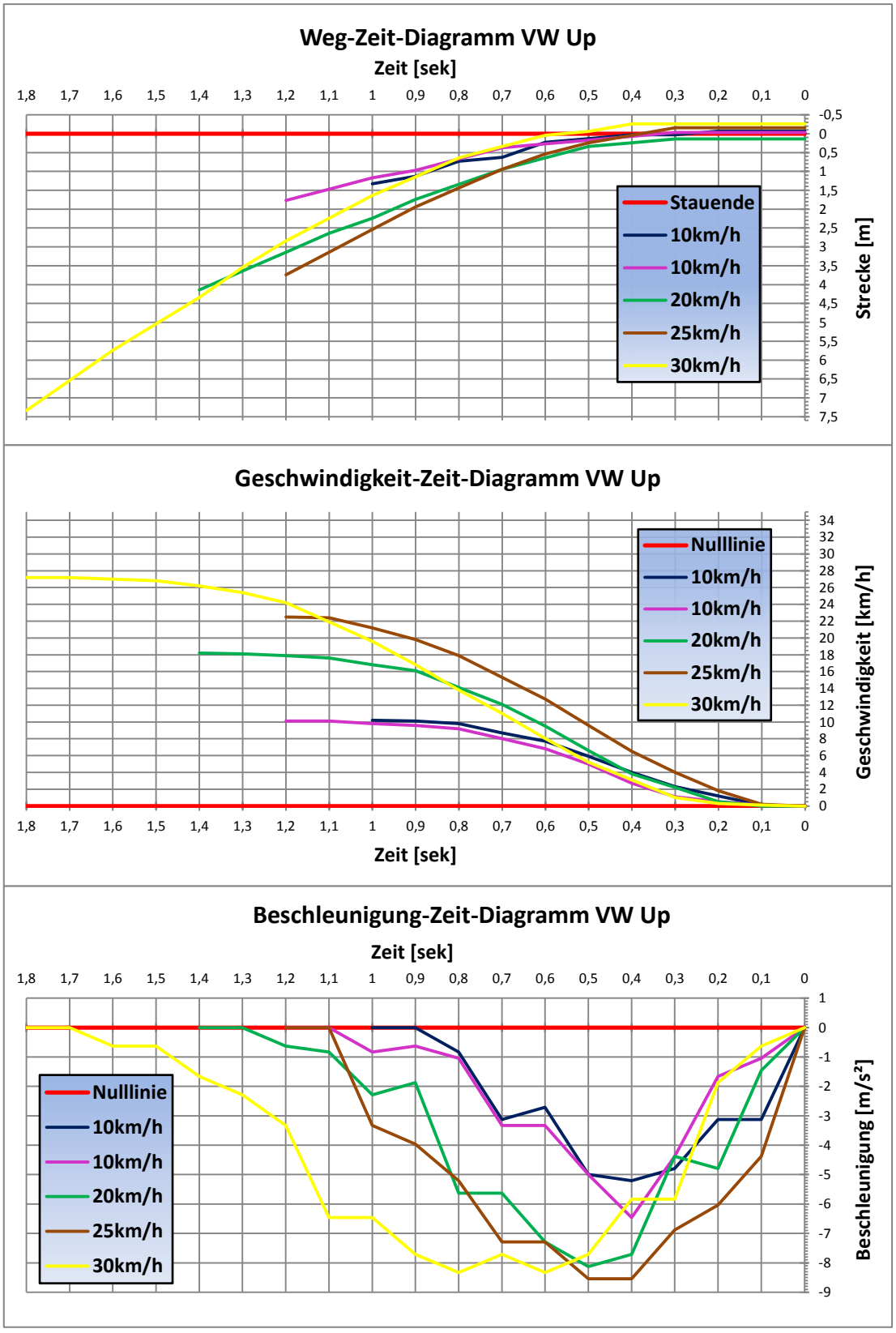


Diagramm 20: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des VW Up

Zusammenfassende Analyse des VW Up:

In Diagramm 20 werden alle fünf Fahrversuche in den drei Zeit-Diagrammen dargestellt. Dadurch können die einzelnen Geschwindigkeiten leichter miteinander verglichen werden.

Im Weg-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass bei dem Fahrversuch 3 mit 20 km/h das Fahrzeug vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand kommt, während bei allen anderen Fahrversuchen auf das stehende Hindernis aufgefahren wird.

Durch das Beschleunigung-Zeit-Diagramm lässt sich bei allen fünf Fahrversuchen ein ähnlicher Bremsverlauf erkennen. Mit steigender Geschwindigkeit wird auch das Fahrzeug mit einer höheren Verzögerung abgebremst. Das geschieht bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 25 km/h. Bei 30 km/h wird keine höhere Verzögerung erreicht, sondern die maximal erreichte Verzögerung länger gehalten. Das System erkennt bei dieser Geschwindigkeit das stehende Hindernis zu spät. Somit wird die Bremsung zu spät eingeleitet und mit einer dennoch verzögerten Geschwindigkeit auf das stehende Hindernis aufgefahren.

Fazit:

Bei den Fahrversuchen von 10 km/h, 25 km/h und 30 km/h wurde in das stehende Hindernis hineingefahren. Nur bei dem Fahrversuch mit 20 km/h konnte der VW Up rechtzeitig zum Stillstand kommen. Über 30 km/h reagierte das System nicht mehr und das Fahrzeug fuhr ungebremst und ohne Reaktion in das stehende Fahrzeug hinein. Somit ist auch die Beschreibung von VW nicht ganz zutreffend. In dieser beschreibt VW, dass das System bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h die Schwere der Kollision oder Auffahrunfälle sogar verhindern könne. (Punkt 3.3. „Philosophie und Versprechen der Hersteller“)

7.4.4. VW Golf VII R

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug:	VW Golf VII R	Reifen:	Winter
Daten:	221 kW / 300 PS	Profiltiefe:	7,5 mm
Datum:	12.12.2014	Uhrzeit:	12:00 Uhr
Wetter:	sonnig 9°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,46 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Armaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h	**+0,47 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Aufleuchten von Warnsymbolen
Versuch 2	20 km/h	**+0,57 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen Aufleuchten von Warnsymbolen
Versuch 3	25 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Fehler im System Funktionsausfall Front Assist
Versuch 4	30 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Fehler im System Funktionsausfall Front Assist
Versuch 5	35 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Fehler im System Funktionsausfall Front Assist
Versuch 6	40 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen Fehler im System Funktionsausfall Front Assist

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton sind kurz vor der autonomen Bremsung wahrnehmbar.
Versuch 2	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst kurz vor der autonomen Bremsung wahrnehmbar.
Versuch 3 - 6	Keine Bremsung. Systemfehler vom Fahrzeug. Werkstatt aufsuchen.

Tabelle 24: Bewertungsliste VW Golf VII R, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

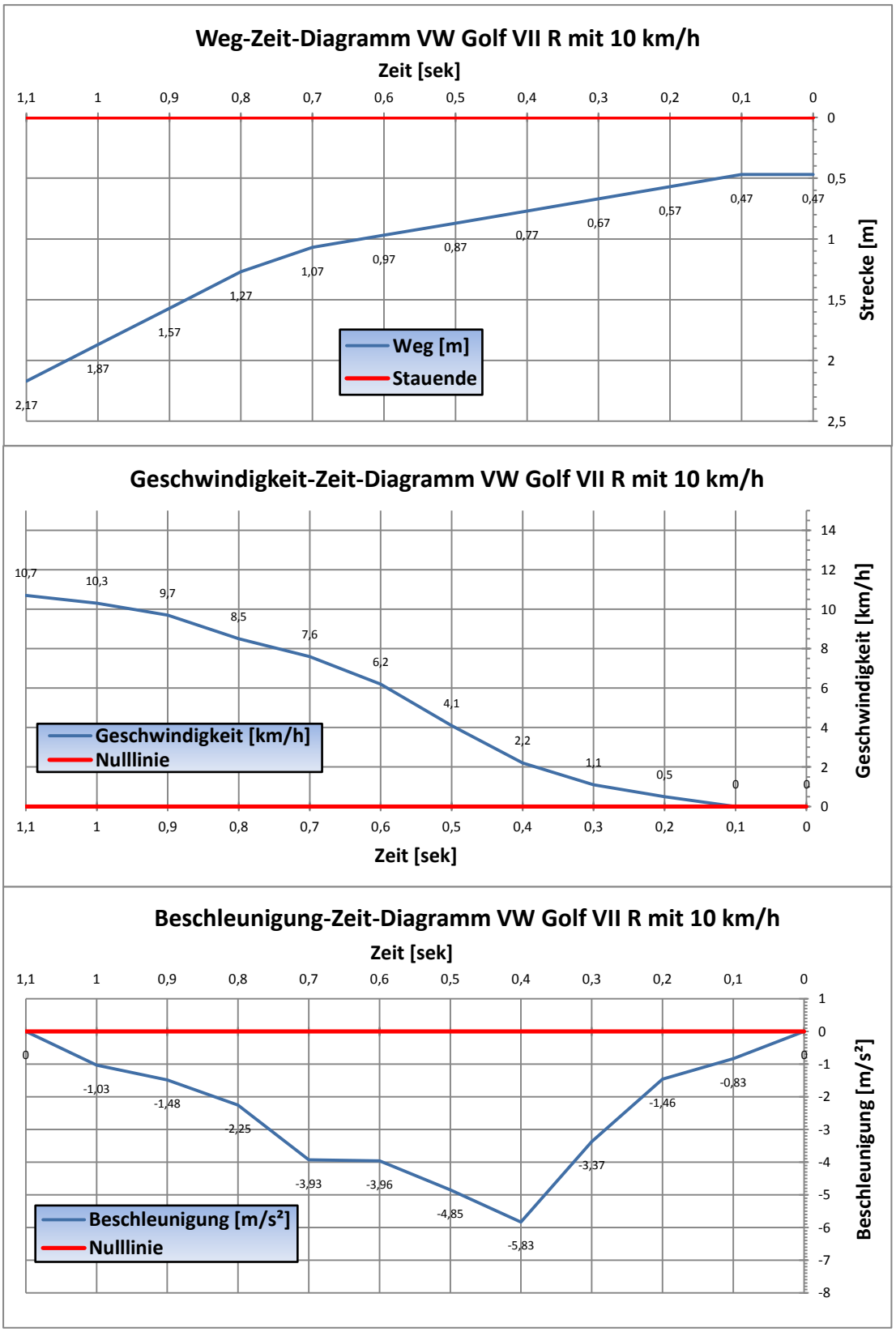


Diagramm 21: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Golf VII R mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
VW Golf VII R mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,7 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	2,17 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,47 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	5,83 m/s²

Tabelle 25: Auswertungstabelle VW Golf VII R mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 1 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 25 zu entnehmen ist, bremst der VW Golf VII R 2,17 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,47 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 5,83 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich in zwei Stufen auf und wieder ab. In den ersten 0,4 Sekunden steigt die Verzögerung auf 3,93 m/s² an, wird rund 0,1 Sekunden gehalten und steigt anschließend in 0,2 Sekunden zur maximalen Verzögerung von 5,83 m/s² an, wie es in Diagramm 21 zu sehen ist. Bei Erreichen des Maximum fällt in 0,2 Sekunden die Verzögerung auf 1,46 m/s² zurück und nach weiteren 0,2 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand). Bei diesem Fahrversuch baut sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen zum Maximum auf und anschließend in zwei Stufen wieder zum Stillstand ab. Das Fahrzeug kommt bei diesem Fahrversuch mit einem sicheren Abstand von 0,47 m vor dem Hindernis zum Stillstand.

Wie aus Tabelle 24 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei Stillstand des Fahrzeugs leuchtete die Anzeige „Front Assist“ im Display auf, um dem Fahrer zu signalisieren, dass das Fahrzeug autonom abgebremst wurde. Der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 1 des VW Golf VII R mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 2:

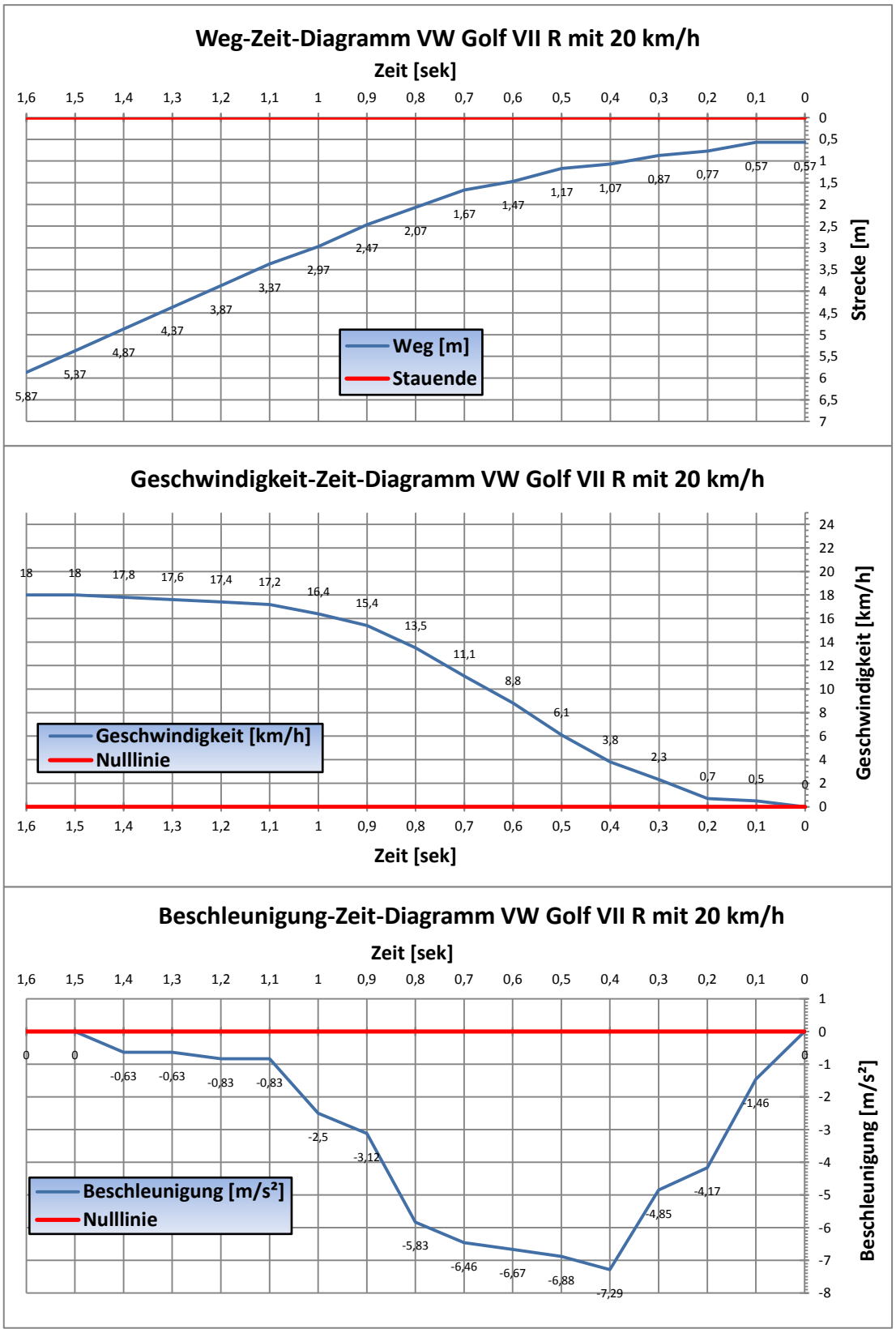


Diagramm 22: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm VW Golf VII R mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 2:

Auswertungstabelle:
VW Golf VII R mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	18 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	5,37 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,57 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,5 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,29 m/s²

Tabelle 26: Auswertungstabelle VW Golf VII R mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 2 mit 20 km/h

Wie aus Tabelle 26 zu entnehmen ist, bremst der VW Golf VII R 5,37 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,57 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von 1,5 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,29 m/s².

Die Bremsverzögerung baut sich auch hier in zwei Stufen auf. In den ersten 0,4 Sekunden steigt die Verzögerung auf 0,83 m/s² an, bevor sie anschließend in 0,7 Sekunden zur maximalen Verzögerung von 7,29 m/s² ansteigt, wie es im Diagramm 21 zu sehen ist. Innerhalb von 0,4 Sekunden baut sich die Verzögerung wieder auf 0 m/s² (= Stillstand) ab. Bei diesem Fahrversuch baut sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen zum Maximum auf und anschließend wieder direkt zum Stillstand ab. Das Fahrzeug kommt bei diesem Fahrversuch mit einem sicheren Abstand von 0,57 m vor dem Hindernis zum Stillstand.

Wie aus Tabelle 24 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst wenn das Fahrzeug die Notbremsung automatisch eingeleitet hat, leuchtete die Anzeige „Front Assist“ im Display auf, um dem Fahrer zu signalisieren, dass das System aktiv ist und dass er reagieren muss. Der Motor wurde dabei abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 2 des VW Golf VII R mit 20 km/h zu sehen.

Zusammenfassung Versuch 1 und 2:

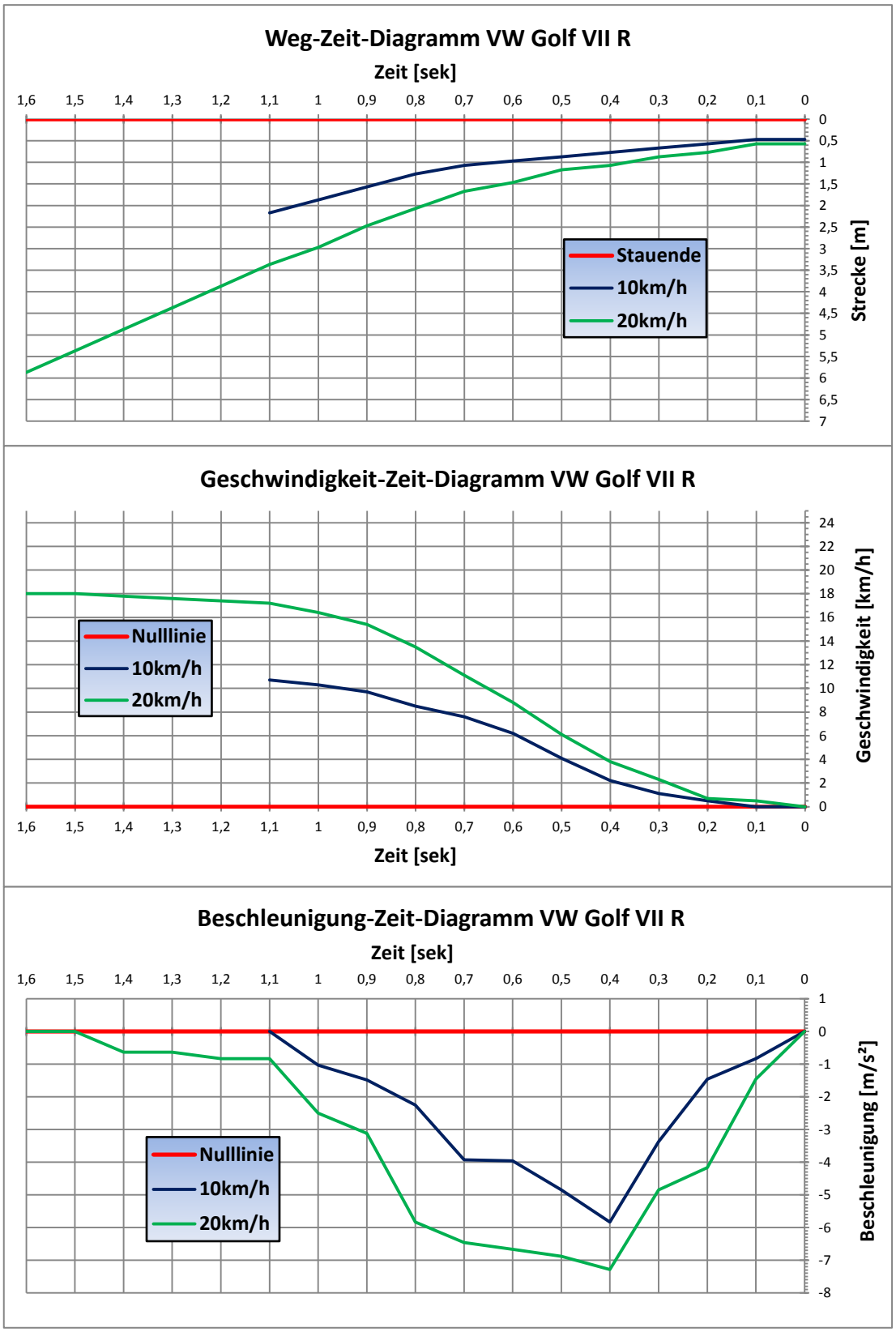


Diagramm 23: Zusammenfassung beider Geschwindigkeiten des VW Golf VII R

Zusammenfassende Analyse des Golf VII R:

In Diagramm 23 werden beide Fahrversuche in den drei Zeit-Diagrammen dargestellt. Dadurch können die einzelnen Geschwindigkeiten leichter miteinander verglichen werden.

Im Weg-Zeit-Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass bei den beiden Fahrversuchen die Stillstände vor dem stehenden Hindernis dicht zusammen liegen. Außerdem ist zu erkennen, dass mit 20 km/h ein wesentlich längerer Bremsweg zurückgelegt wird als mit 10 km/h.

Auch das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm zeigt auf, dass der Fahrversuch mit 20 km/h die ersten 0,4 Sekunden kaum an Geschwindigkeit verliert, bevor dann in den anschließenden 0,8 Sekunden die Geschwindigkeit drastisch verringert wird.

Die Auflösung ergibt sich im Beschleunigung-Zeit-Diagramm. Dort fällt sofort auf, dass bei 20 km/h eine Vorbremsung eingeleitet wird, um den Fahrer zu warnen und auf das stehende Fahrzeug aufmerksam zu machen, bevor eine Vollverzögerung eingeleitet wird. Diese Warnbremsung fällt bei 10 km/h weg. Auch bei diesen beiden Bremsvorgängen ist zu erkennen, dass mit zunehmender Geschwindigkeit die maximale Verzögerung steigt.

Fazit:

Bei den beiden Fahrversuchen mit 10 km/h und 20 km/h kam der VW Golf VII R sicher vor dem Hindernis zum Stehen. Das Fahrzeug warnte den Fahrer aber erst sehr spät. Somit ist auch die Beschreibung von VW zutreffend, in der beschrieben wird, dass das System kritische Abstandssituationen erkenne und somit helfe den Anhalteweg zu verkürzen. (Punkt 3.3. „Philosophie und Versprechen der Hersteller“)

7.4.5. Volvo V40

Bewertungsliste für City Brake / City Safety

Fahrzeug:	Volvo V40	Reifen:	Sommer
Daten:	110 kW / 150 PS	Profiltiefe:	6,5 mm
Datum:	12.12.2014	Uhrzeit:	13:40 Uhr
Wetter:	sonnig 9°C	Fahrbahnbelag:	trocken

Abstand Messgerät zur Front des Fahrzeugs: **3,57 m**

Versuch	km/h	Stillstand	Armaturen Warnsignal
Versuch 1	10 km/h	**+0,57 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen City-Safety
Versuch 2	20 km/h	**+0,62 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen City-Safety
Versuch 3	25 km/h	**+0,10 m** Stillstand vor dem simuliertem Auto	Blinkzeichen City-Safety
Versuch 4	25 km/h	**-0,20 m** Stillstand hinter dem simuliertem Fahrzeug	Blinkzeichen City-Safety
Versuch 5	30 km/h	**+1,00 m** Stillstand vor dem simuliertem Fahrzeug	Blinkzeichen City-Safety
Versuch 6	40 km/h	**Keine Reaktion**	Blinkzeichen City-Safety

Anmerkungen und Infos zu den einzelnen Versuchen

Versuch 1	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar.
Versuch 2	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar.
Versuch 3	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar
Versuch 4	Kompletter Stillstand. Warnsymbole und Warnton erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar
Versuch 5	Kompletter Stillstand. Ohne Tempomat. Warnsymbole und Warnton erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar
Versuch 6	Ohne zu bremsen in das simulierte Hindernis gefahren. Warnsymbole und Warnton sind erst mit der autonomen Bremsung wahrnehmbar

Tabelle 27: Bewertungsliste Volvo V40, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

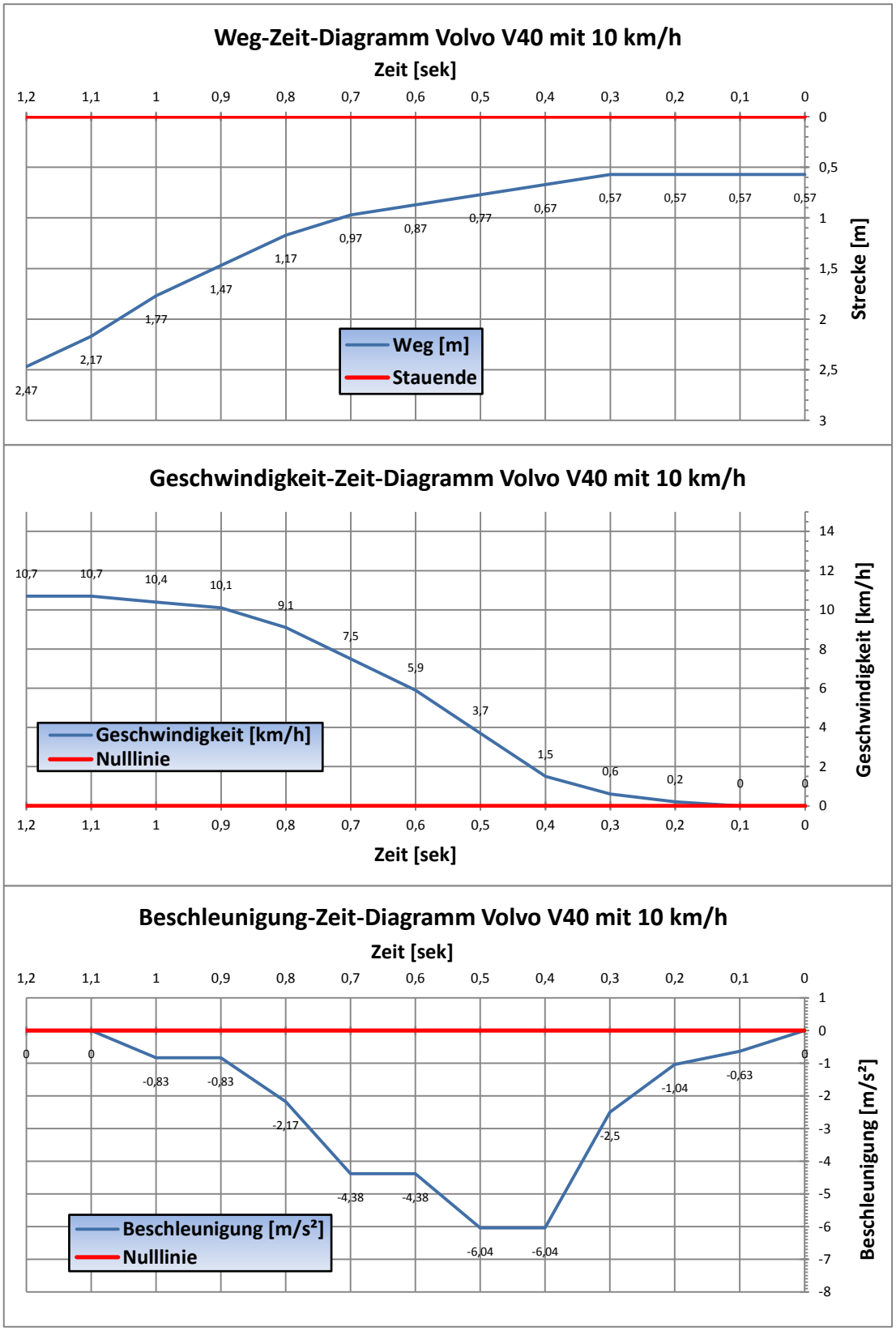


Diagramm 24: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 1:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 10 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	10,7 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	2,17 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,57 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,1 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,04 m/s²

Tabelle 28: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 10 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 1 mit 10 km/h

Wie aus Tabelle 28 zu entnehmen ist, bremst der Volvo V40 2,17 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,57 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,1 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,04 m/s².

In Diagramm 21 ist zu sehen, dass sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen auf und wieder abbaut. In den ersten 0,2 Sekunden steigt die Verzögerung auf 0,83 m/s² an und anschließend in 0,4 Sekunden zur maximalen Verzögerung auf 6,04 m/s², die 0,1 Sekunden gehalten wird, bevor es vom Maximum der Verzögerung wieder in 0,2 Sekunden auf 1,04 m/s² und in weiteren 0,2 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand) abgebaut wird. Der Bremsverlauf baut sich in zwei Stufen auf ein Maximum auf, das kurz gehalten wird und danach wieder in zwei Stufen zum Stillstand abnimmt. Das Fahrzeug bleibt mit einem sicheren Abstand von 0,57 m zum Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 27 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei der autonomen Notbremsung des Fahrzeugs wurde im Display eine Warnung angezeigt. Der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 1 des Volvo V40 mit 10 km/h zu sehen.

Versuch 2:

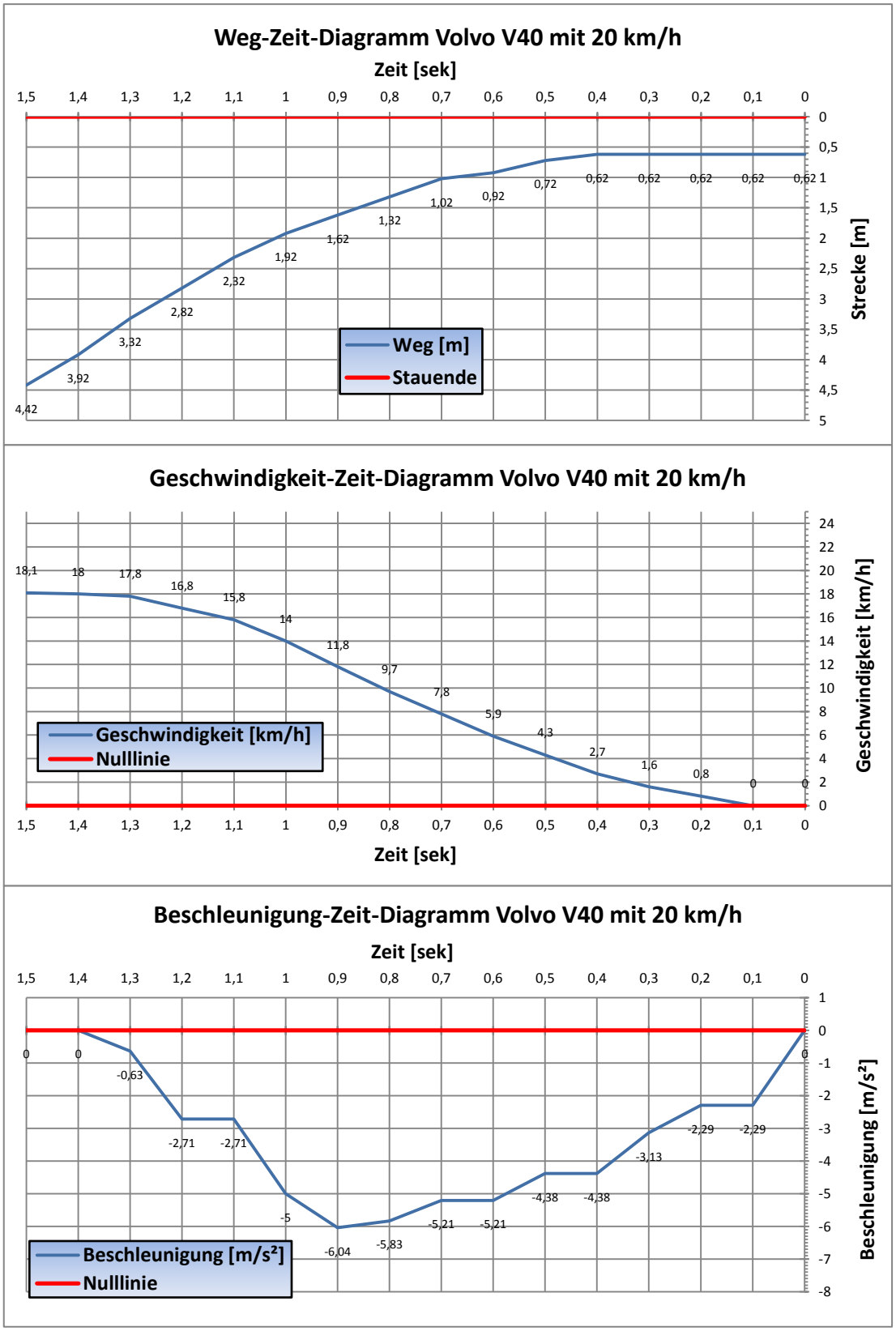


Diagramm 25: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 2:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 20 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	18 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	3,92 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,62 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,4 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	6,04 m/s²

Tabelle 29: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 20 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 2 mit 20 km/h

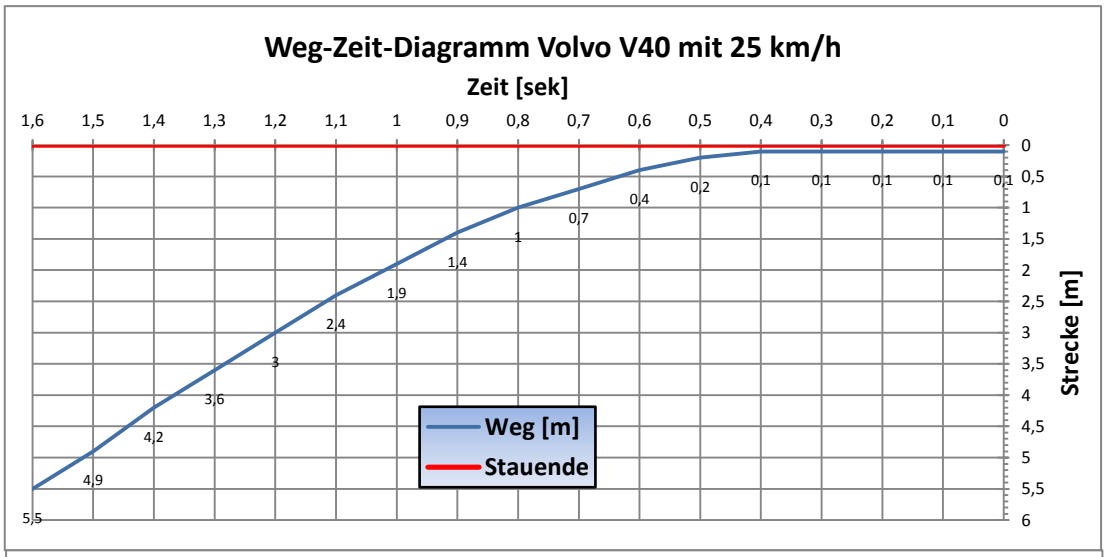
Wie aus Tabelle 29 zu entnehmen ist, bremst der Volvo V40 3,92 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,62 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,4 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 6,04 m/s².

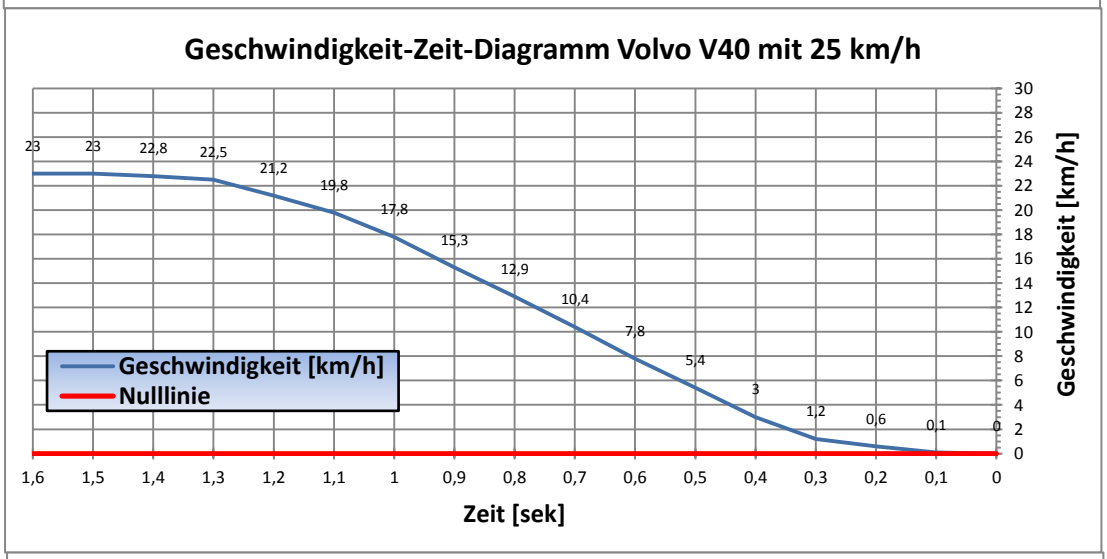
Im Diagramm 25 ist zu sehen, dass sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen aufbaut. In den ersten 0,2 Sekunden steigt die Verzögerung auf 2,71 m/s², hält den Wert für 0,1 Sekunden und steigt anschließend in weiteren 0,2 Sekunden zur maximalen Verzögerung von 6,04 m/s² an. Die Bremsverzögerung baut sich innerhalb von 0,5 Sekunden rasch auf, wobei sich der Abfall über 0,9 Sekunden verteilt. Bei diesem Bremsvorgang entsteht in zwei Stufen die maximale Verzögerung, die sich anschließend langsam wieder abbaut. Das Fahrzeug bleibt mit einem sicheren Abstand von 0,62 m vor dem Hindernis stehen.

Wie aus Tabelle 27 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei der autonomen Notbremsung des Fahrzeugs wurde im Display eine Warnung angezeigt. Der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 2 des Volvo V40 mit 20 km/h zu sehen.

Versuch 3:





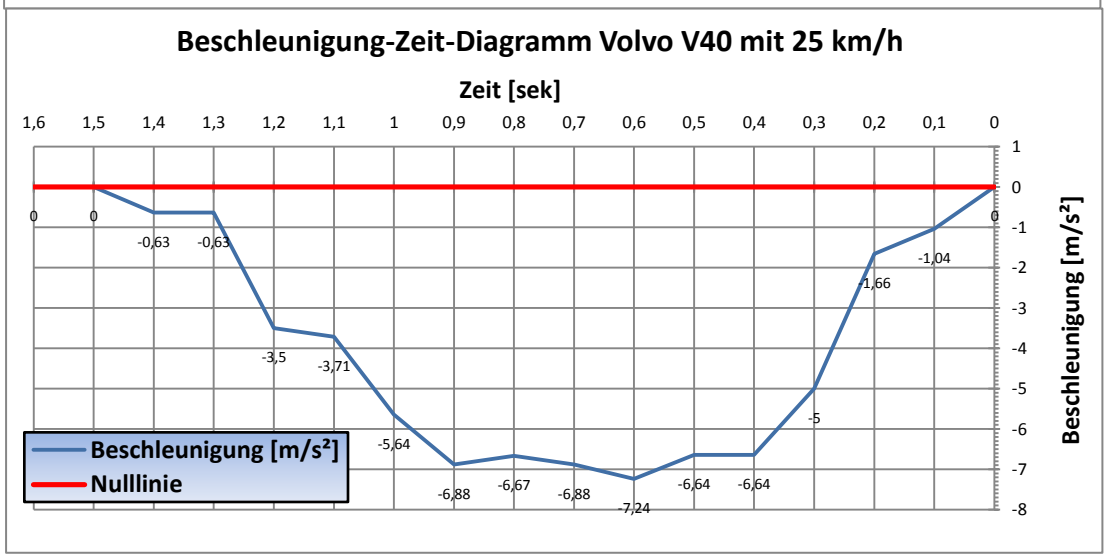


Diagramm 26: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 3:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	23 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	4,9 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	0,1 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,5 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,24 m/s²

Tabelle 30: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 3 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 30 zu entnehmen ist, bremst der Volvo V40 4,9 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,1 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,5 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,24 m/s².

Wie in Diagramm 26 zu sehen ist, baut sich die Bremsverzögerung in zwei Stufen auf und wieder ab. In der ersten wird die Bremsung eingeleitet. Dabei wird innerhalb von 0,1 Sekunden eine Verzögerung von 0,63 m/s² erreicht und für 0,1 Sekunden gehalten, bevor die Hauptverzögerung beginnt. Diese wird in weiteren 0,4 Sekunden auf eine Verzögerung von 6,88 m/s² eingeleitet und für rund 0,5 Sekunden gehalten. Anschließend baut sich die Verzögerung in 0,2 Sekunden auf 1,66 m/s² und in weiteren 0,2 Sekunden auf 0 m/s² (= Stillstand) ab. Der komplette Bremsverlauf baut sich in zwei Stufen auf und wieder ab. Dabei wird die Verzögerung beim Maximum für eine gewisse Zeit gehalten. Das Fahrzeug kommt kurz vor dem Hindernis mit 0,1 m zum Stehen.

Wie aus Tabelle 27 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei der autonomen Notbremsung des Fahrzeugs wurde im Display eine Warnung angezeigt. Der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 3 des Volvo V40 mit 25 km/h zu sehen.

Versuch 4:

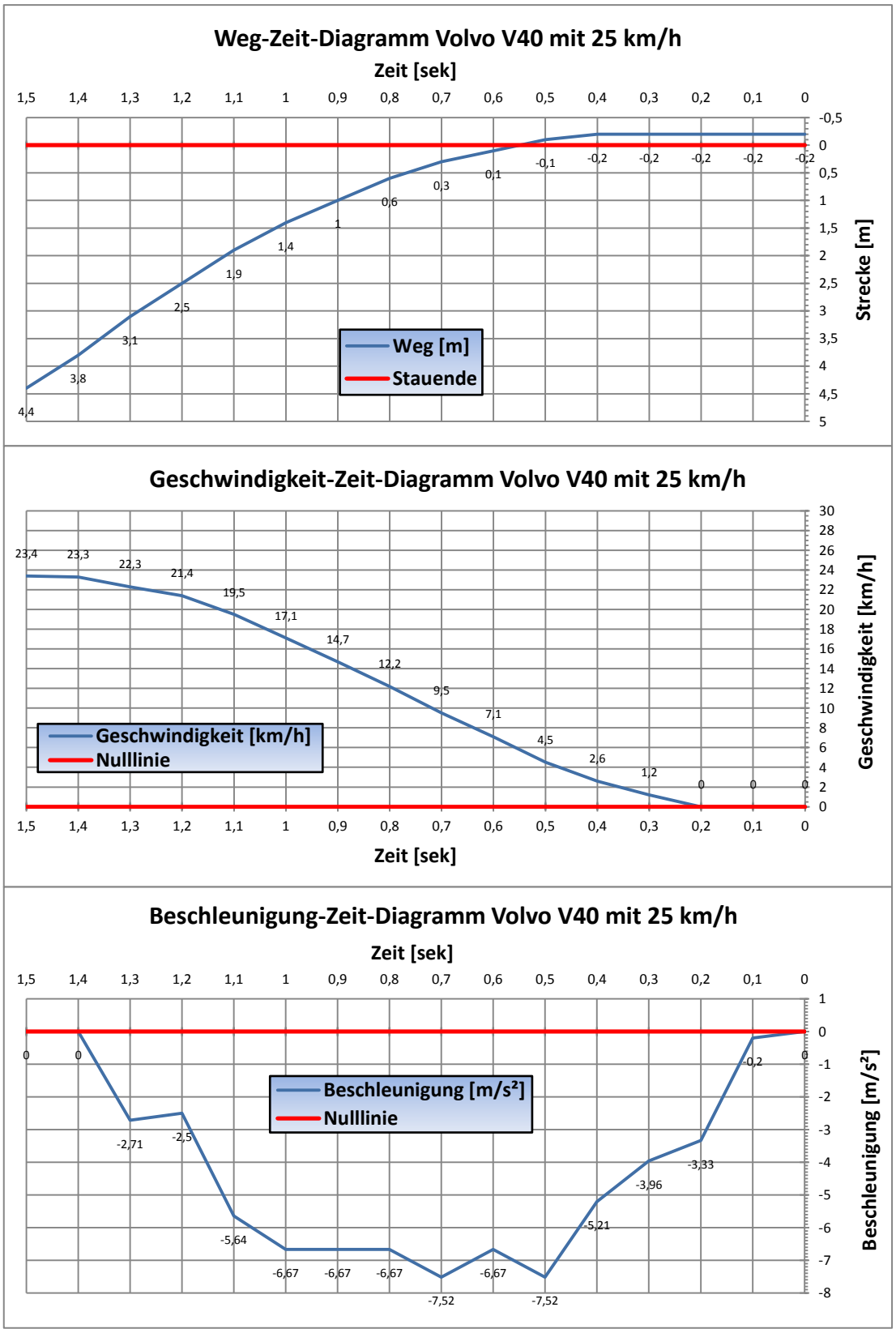


Diagramm 27: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 4:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 25 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	23,3 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	3,8 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	-0,2 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,4 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	7,52 m/s²
6	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis zum Hindernis:	ca. 0,8 sek
7	Bremszeit in [sek] = vom Hindernis bis zum Stillstand	ca. 0,6 sek
8	Geschwindigkeit in [km/h] mit der das Hindernis durchfahren wurde	ca. 6 km/h
9	Verzögerung in [m/s²] bei Erreichen des Hindernisses	ca. 7,0 m/s²

Tabelle 31: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 25 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 4 mit 25 km/h

Wie aus Tabelle 31 zu entnehmen ist, bremst der Volvo V40 3,8 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 0,2 m danach zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,5 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 7,0 m/s².

Die vom Fahrzeug eingeleitete Bremsverzögerung reicht nicht aus, das Fahrzeug vor dem stehenden Hindernis abzubremsen. Das Fahrzeug bremst bis zum Stillstand fährt aber 0,2 m auf das vorausliegende Fahrzeug auf. Im Diagramm 27 ist zu sehen, dass die maximale Verzögerung innerhalb von 0,4 Sekunden erreicht wird und 0,5 Sekunden andauert, bevor sich die Verzögerung in 0,5 Sekunden wieder abbaut.

Die Auswertung aus Tabelle 27 und der Dashcam ist genau gleich zu bewerten, wie bei den vorherigen Fahrversuchen 1 – 3.

Auf der DVD ist der Fahrversuch 4 des Volvo V40 mit 25 km/h zu sehen.

Versuch 5:

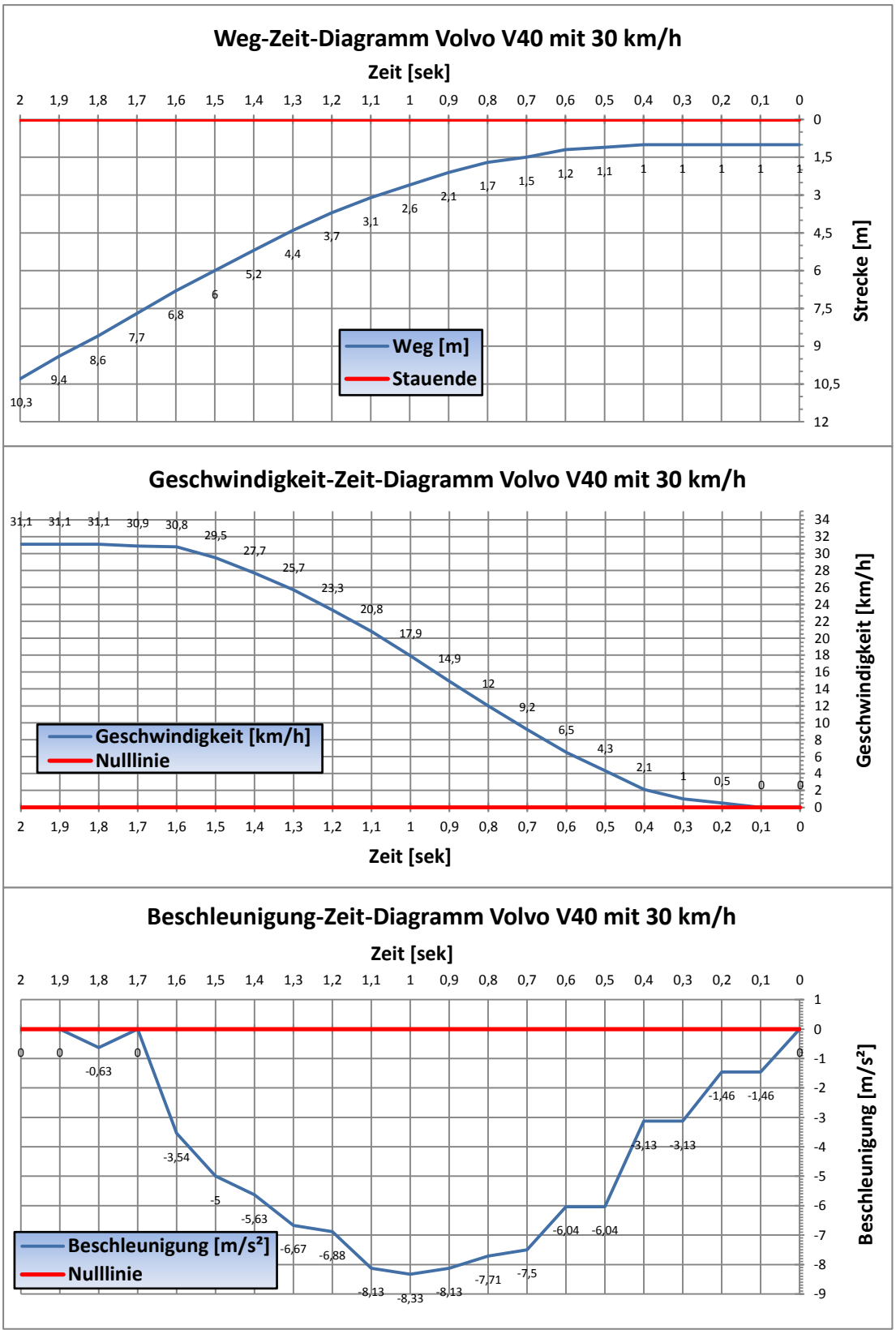


Diagramm 28: Weg,- Geschwindigkeit,- Beschleunigung-Zeit-Diagramm Volvo V40 mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Versuch 5:

Auswertungstabelle:
Volvo V40 mit 30 km/h

		Ergebnis:
1	Geschwindigkeit in [km/h] bei Beginn der Messung:	30,9 km/h
2	Entfernung in [m] vom Hindernis bei Bremsbeginn:	7,7 m
3	Entfernung in [m] des Fahrzeugs vom Hindernis bei Stillstand:	1 m
4	Bremszeit in [sek] = vom Bremsbeginn bis Stillstand:	1,7 sek
5	Max. Verzögerung in [m/s²] = höchste Verzögerung die bei der Bremsung erreicht wurde:	8,33 m/s²

Tabelle 32: Auswertungstabelle Volvo V40 mit 30 km/h, City-Brake / City-Safety-System

Analyse: Versuch 5 mit 30 km/h

Wie aus Tabelle 32 zu entnehmen ist, bremst der Volvo V40 7,7 m vor dem stehenden Hindernis und kommt 1 m davor zum Stehen, bei einer Bremszeit von ca. 1,7 Sekunden. Dabei entsteht eine maximale Verzögerung von 8,33 m/s².

Die in Diagramm 28 dargestellte Bremsverzögerung baut sich in 0,6 Sekunden auf die maximale Verzögerung von 8,33 m/s² auf, hält diese für ca. 0,2 Sekunden bevor ein langsamer Abbau der Verzögerung in 0,8 Sekunden bis 0 m/s² (= Stillstand) stattfindet. Der komplette Bremsverlauf baut sich rasch zum Maximum auf, hält kurz an und baut anschließend die Verzögerung langsam bis zum Stillstand wieder ab. Das Fahrzeug kommt mit einem sicheren Abstand von 1,0 m vor dem Hindernis zum Stehen.

Wie aus Tabelle 27 und der Aufnahme durch die Dashcam zu entnehmen ist, wurde der Fahrer nicht vor dem stehenden Hindernis gewarnt. Es ertönte kein Warnton und das Aufleuchten eines Warnsymbols fehlte ebenfalls. Erst bei der autonomen Notbremsung des Fahrzeugs wurde im Display eine Warnung angezeigt. Der Motor wurde abgewürgt. Um anschließend weiter fahren zu können, musste das Fahrzeug neu gestartet werden.

Auf der DVD im Anhang ist der Fahrversuch 5 des Volvo V40 mit 30 km/h nicht zu sehen.

Zusammenfassung Versuch 1 - 5:

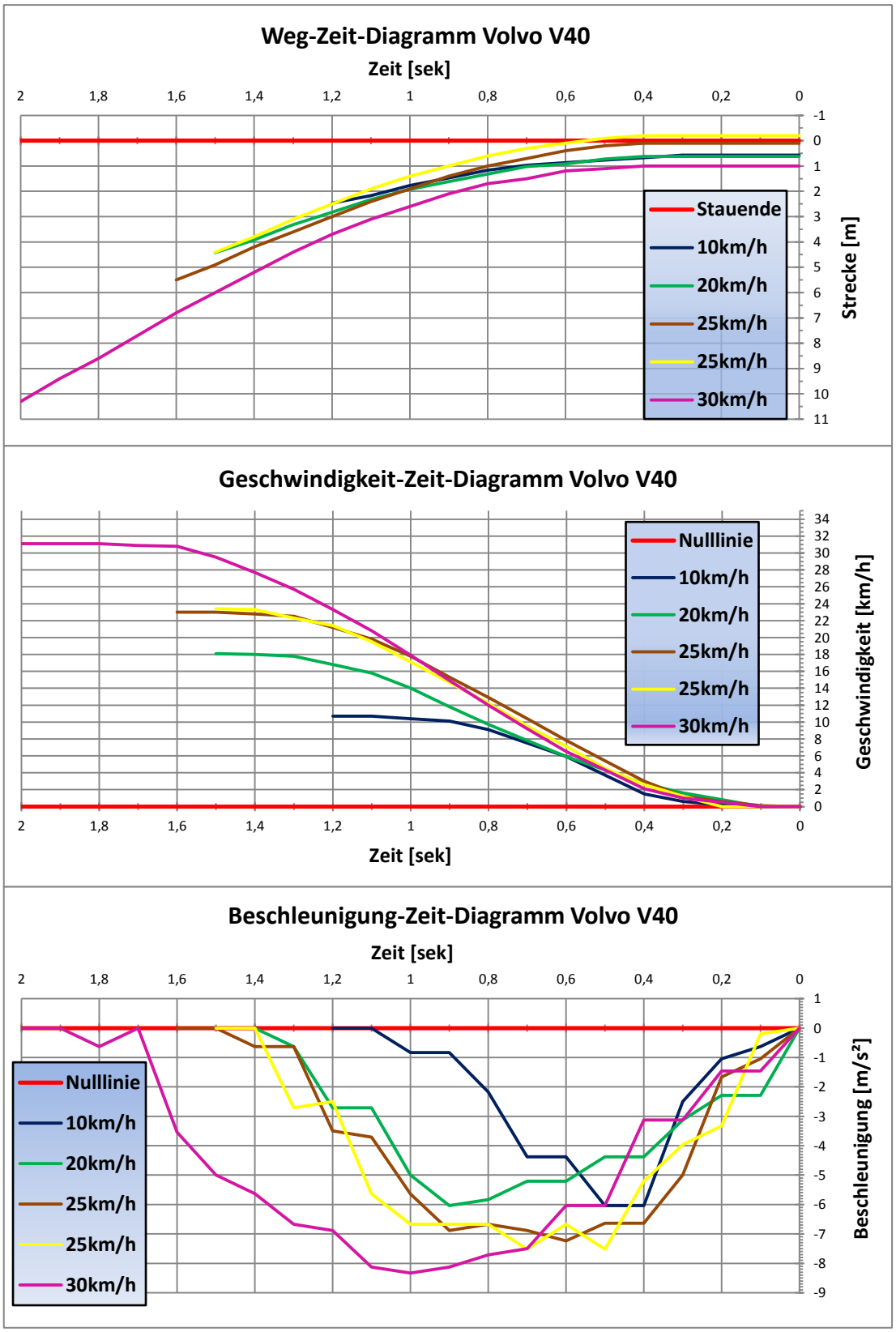


Diagramm 29: Zusammenfassung aller Geschwindigkeiten des Volvo V40

Zusammenfassende Analyse des Volvo V40:

Im Diagramm 29 werden alle fünf Fahrversuche in den drei Zeit-Diagrammen dargestellt. Dadurch können die einzelnen Geschwindigkeiten leichter miteinander verglichen werden.

Dem Weg-Zeit-Diagramm ist zu entnehmen, dass die Stillstände der fünf Fahrversuche nahe zusammen liegen. Bei vier Fahrversuchen wird der Stillstand vor dem stehenden Hindernis erreicht. Außerdem fällt auf, dass der Fahrversuch mit 30 km/h viel früher mit der Bremsung vor dem stehenden Hindernis beginnt.

Beim Beschleunigung-Zeit-Diagramm ist eindeutig erkennbar, dass die maximale Verzögerung bei den beiden Geschwindigkeiten von 10 km/h und 20 km/h gleich sind. Die beiden Verzögerungskurven unterscheiden sich beim Bremsbeginn und der anhaltenden maximalen Bremsverzögerung. Die beiden Bremsverzögerungskurven von 25 km/h erreichen nochmals eine größere Verzögerung und unterscheiden sich kaum voneinander. Deshalb sind auch ihre Stillstände vor dem Hindernis sehr eng. Mit 30 km/h wird die höchste und längste Verzögerung erreicht.

Fazit:

Mit Fahrversuchen von 10 km/h, 20 km/h, 25 km/h und 30 km/h wurde der Stillstand vor dem stehenden Hindernis erreicht. Nur beim zweiten Fahrversuch mit 25 km/h konnte der Volvo V40 nicht rechtzeitig zum Stillstand kommen. Über 40 km/h reagierte das System nicht mehr und das Fahrzeug fuhr ungebremst und ohne Reaktion auf das stehende Fahrzeug auf. Somit ist auch die Beschreibung von Volvo auf diese Versuchsreihen nicht ganz zutreffend. In dieser beschreibt Volvo, dass das System bis zu einer Geschwindigkeit von 50 km/h mögliche Kollisionen erkenne und wenn nötig zu einer Notbremsung greife. (Punkt 3.3. „Philosophie und Versprechen der Hersteller“)

8. Gegenüberstellung: Bremsvorgänge der verschiedenen Fahrzeuge

In den folgenden vier Unterpunkten werden die drei Zeit-Diagramme mit 10 km/h, 20 km/h, 25 km/h und 30 km/h dargestellt. Darin sind jeweils alle Fahrzeuge mit oben genannten Geschwindigkeiten gegenübergestellt.

Dadurch können alle Fahrzeuge mit den gleichen Geschwindigkeiten miteinander verglichen werden.

Nach Darstellung der drei Zeit-Diagramme, erläutert im Anschluss eine Zusammenfassung die wichtigsten Einzelheiten. Das Ergebnis wird in einem Fazit präsentiert.

8.1. 10 km/h

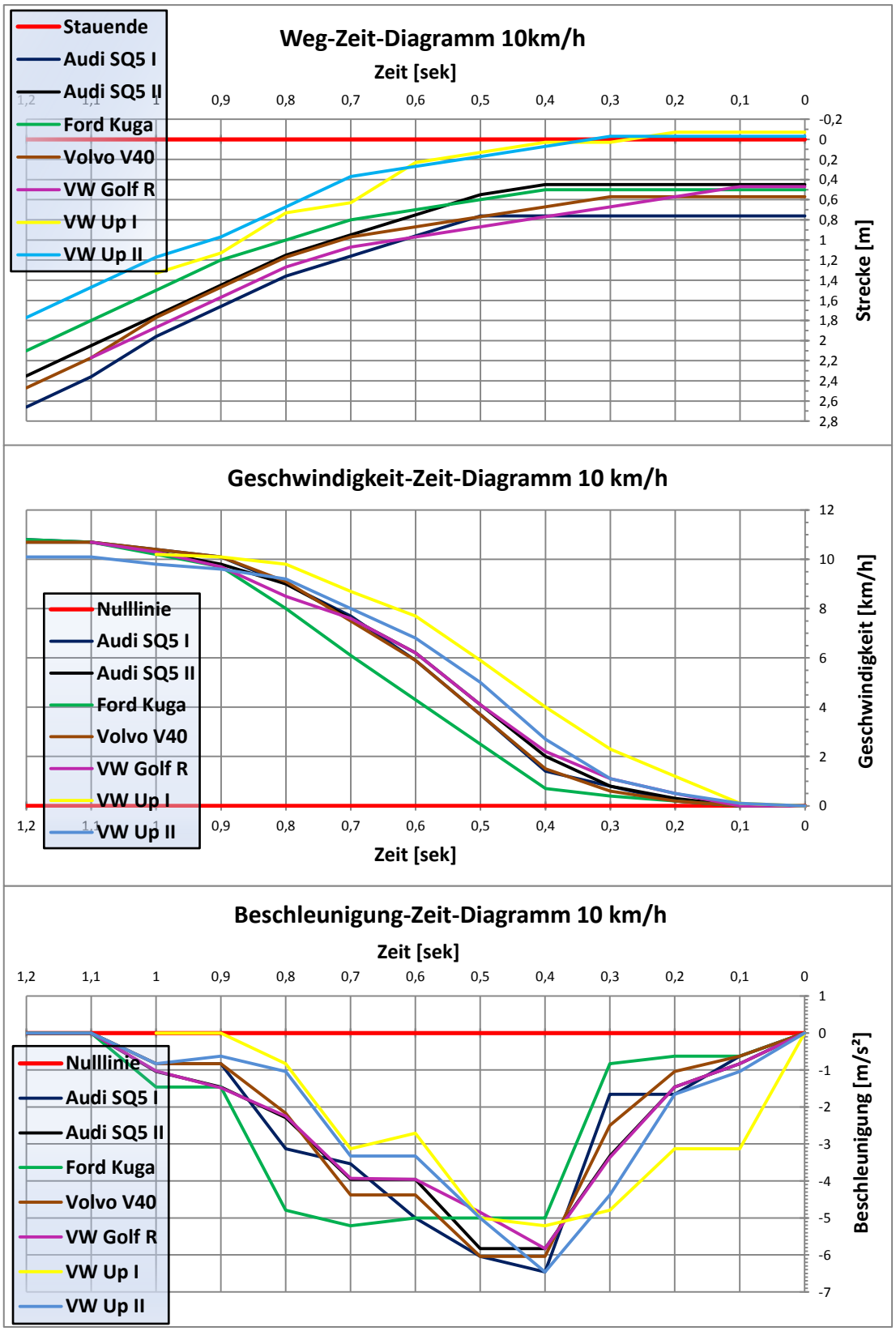


Diagramm 30: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 10 km/h getestet wurden.

Zusammenfassung 10 km/h:

Im Weg-Zeit-Diagramm ist sofort zu erkennen, dass bei beiden Fahrversuchen mit dem VW Up in das stehende Hindernis gefahren wird. Alle anderen Fahrzeuge kommen mit einem Mindestabstand von 0,45 m vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand. Somit ist ein sicherer Stillstand für alle anderen Fahrzeuge gewährleistet.

Das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm zeigt, dass der Ford Kuga am schnellsten von allen anderen Fahrzeugen abgebremst wird. Dagegen baut der VW Up in beiden Fahrversuchen gegenüber den anderen Fahrzeugen die Geschwindigkeit am langsamsten ab. Die Fahrzeuge Volvo V40, VW Golf VII R sowie Audi SQ5 mit seinen beiden Fahrversuchen, bauen die Geschwindigkeit relativ gleich zueinander ab.

Das Beschleunigung-Zeit-Diagramm liefert die interessantesten Fakten. Alle Fahrzeuge reagieren zum gleichen Zeitpunkt, 1,1 Sekunden, vor dem stehenden Hindernis durch einen Bremseingriff. Nur der erste Fahrversuch mit dem VW Up beginnt mit dem Bremseingriff 0,9 Sekunden vor dem stehenden Hindernis. Ebenfalls ist bei diesem Fahrversuch die maximale Verzögerung am geringsten. Durch die späte Reaktion auf das stehende Hindernis, kommt der VW Up im ersten Fahrversuch nicht rechtzeitig davor zum Stehen. Beim zweiten Fahrversuch beginnt die Bremsung zeitgleich mit den anderen Fahrzeugen und die im Vergleich höchste maximale Verzögerung wird erreicht, aber der Abbau vom Maximum auf 0 m/s² (= Stillstand) ist zu rasch. Somit kommt auch bei diesem Fahrversuch der VW Up nicht rechtzeitig vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand.

Der Bremsverzögerungskurve des Ford Kuga ist zu entnehmen, dass die maximale Verzögerung am längsten von allen andauert. Dabei wird im Vergleich zu allen anderen Fahrzeugen eine geringere maximale Verzögerung erreicht.

Fazit:

Alle Fahrzeuge außer dem VW Up sind vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand gekommen. Durch die automatische Notbremsung wurde zum vorausliegenden Fahrzeug ein sicherer Abstand eingehalten. Die beiden Fahrversuche des VW Up, mit denen das Fahrzeug unterschiedliche Bremsverzögerungen erreicht, zeigen, dass bei gleichen Geschwindigkeiten die Bremsverzögerungskurve variieren kann.

Das System wartet den letztmöglichen Zeitpunkt ab, um das Fahrzeug noch rechtzeitig vor dem stehenden Hindernis abbremsen zu können.

8.2. 20 km/h

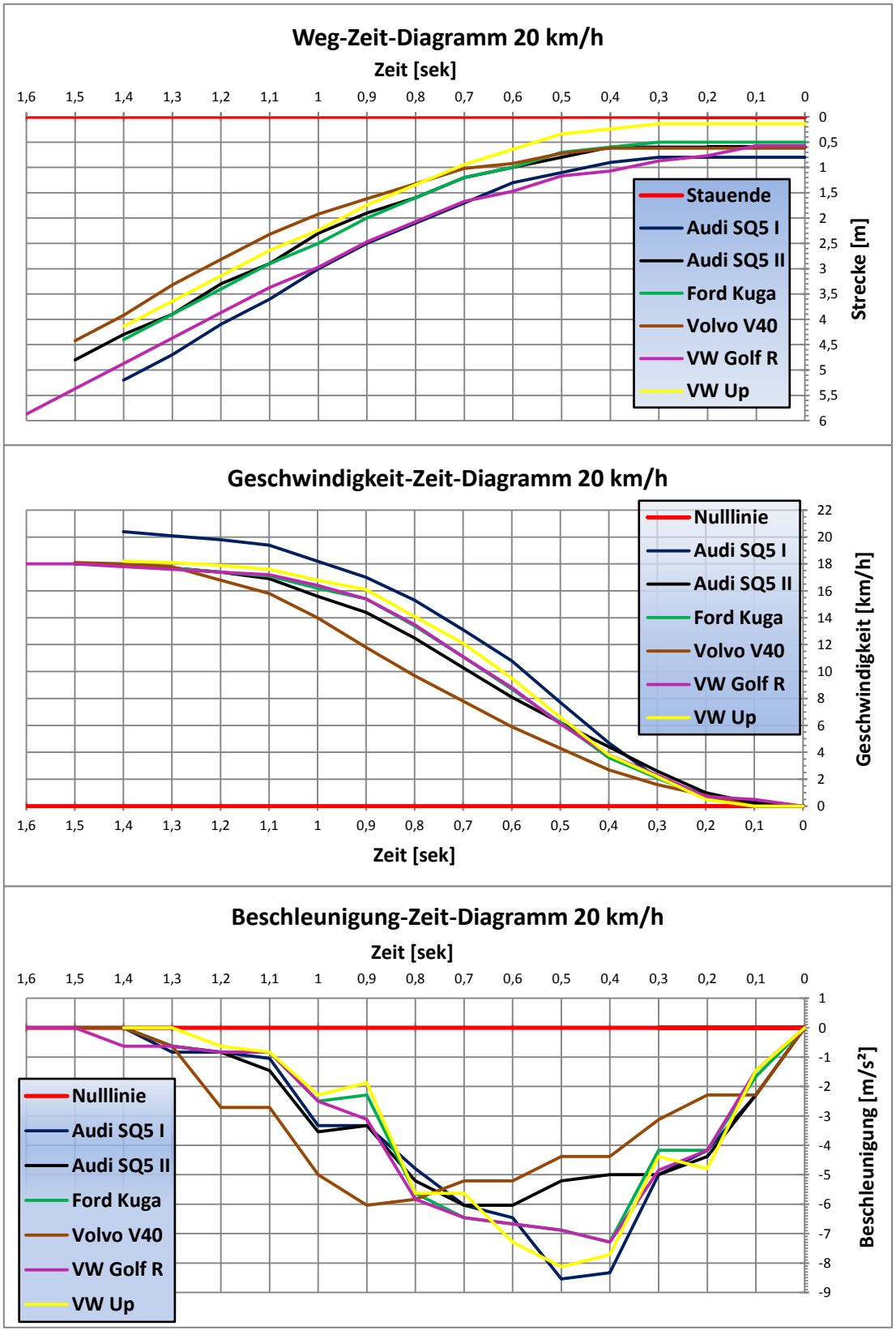


Diagramm 31: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 20 km/h getestet wurden.

Zusammenfassung 20 km/h:

Im Weg-Zeit-Diagramm ist sofort zu erkennen, dass alle Fahrzeuge vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand kommen. Der VW Up hat den geringsten Abstand zum Hindernis, alle anderen Fahrzeuge sind mit einem Mindestabstand von 0,5 m davor zum Stehen gekommen. Somit ist ein sicherer Stillstand für alle Fahrzeuge gewährleistet.

Durch das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm kann erkannt werden, dass der Volvo V40 am schnellsten von allen anderen Fahrzeugen abgebremst wird. Dagegen baut der Audi SQ5 in seinem ersten Fahrversuch gegenüber den anderen Fahrzeugen die Geschwindigkeit am langsamsten ab. Die Fahrzeuge Ford Kuga, VW Golf VII R, VW Up und der zweite Fahrversuch des Audi SQ5 bauen die Geschwindigkeit relativ gleich zueinander ab.

Das Beschleunigung-Zeit-Diagramm zeigt, dass der VW Golf VII R am schnellsten auf das stehende Hindernis reagiert und der VW Up als letztes Fahrzeug die Bremsung ansetzt. Der Volvo V40 hat im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen die geringste maximale Verzögerung. Bis zum Maximum baut sich die Verzögerung rasch auf und anschließend langsam ab, so dass der Volvo V40 noch sicher vor dem stehenden Hindernis zum Sillstand kommt.

Der Audi SQ5 erreicht beim ersten Fahrversuch die höchste maximale Verzögerung von allen Fahrzeugen, hingegen ist beim zweiten Fahrversuch seine maximale Verzögerung mit der des Volvo V40 am geringsten. Dennoch kommt der Audi SQ5 bei den Fahrversuchen mit einem sicheren Abstand zum vorausliegenden Fahrzeug zum stehen.

Fazit:

Alle Fahrzeuge sind vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand gekommen. Durch die automatische Notbremsung wurde zum vorausliegenden Fahrzeug ein sicherer Abstand eingehalten.

Durch die beiden Fahrversuche des Audi SQ5, bei denen das Fahrzeug mit unterschiedlichen Bremsverzögerungen abgebremst wurde, ist ebenfalls zu sehen, dass bei gleichen Geschwindigkeiten die Bremsverzögerungskurven stark variieren können.

Auch bei dieser Geschwindigkeit wartet das System den letztmöglichen Zeitpunkt ab, um das Fahrzeug rechtzeitig vor dem stehenden Hindernis abbremsen zu können.

8.3. 25 km/h

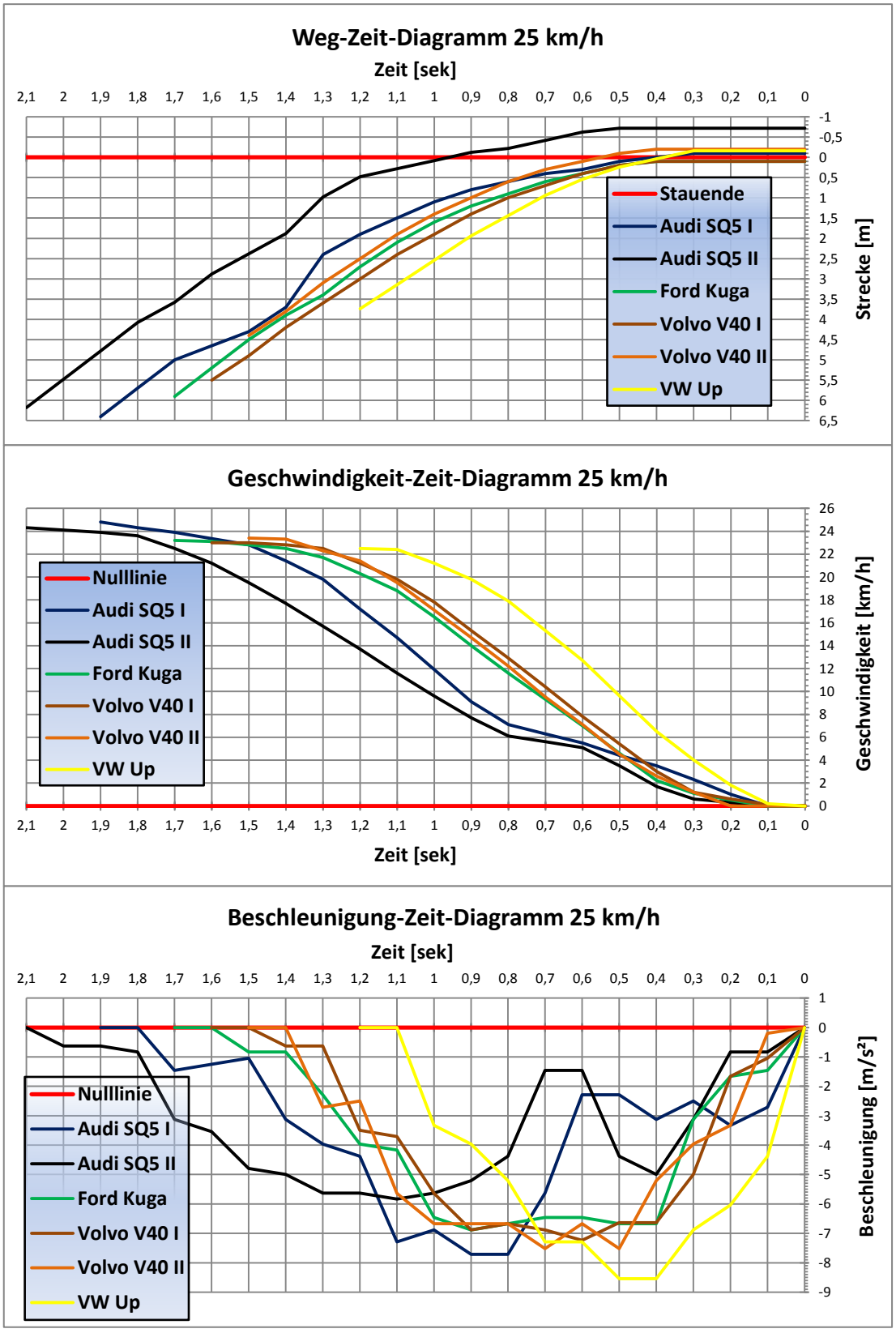


Diagramm 32: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 25 km/h getestet wurden.

Zusammenfassung 25 km/h:

Im Weg-Zeit-Diagramm ist sofort zu erkennen, dass die Fahrzeuge, Ford Kuga und Volvo V40 mit dem ersten Fahrversuch, vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand kommen. Alle anderen Fahrzeuge sind leicht in das stehende Hindernis eingefahren, außer der Audi SQ5 kommt in seinem zweiten Fahrversuch erst weit nach dem Hindernis zum Stillstand.

Das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm zeigt, dass der Audi SQ5 mit beiden Fahrversuchen am schnellsten von allen anderen Fahrzeugen abgebremst wird. Durch den Knick bei ca. 0,8 Sekunden beider Geschwindigkeitslinien ist zu erkennen, dass dort die Bremsen wieder gelöst werden (geringer Geschwindigkeitsverlust in diesem Bereich). Der VW Up baut gegenüber den anderen Fahrzeugen die Geschwindigkeit am langsamsten ab. Der Ford Kuga und Volvo V40 bauen in beiden Fahrversuchen die Geschwindigkeit relativ gleich zueinander ab.

Im Beschleunigung-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass der Audi SQ5 in seinem zweiten Fahrversuch am schnellsten auf das stehende Hindernis reagiert. Die maximale Verzögerung ist im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen dabei am geringsten. Der Bremsvorgang kann nicht bis zum Stillstand durchführt werden, sondern wird nach einer gewissen Zeit wieder gelöst. Nur durch den Bremseingriff des Fahrers kann der Stillstand erreicht werden. Dadurch ist der Audi auch am weitesten in das Hindernis eingefahren. Der Audi SQ5 reagiert im ersten Fahrversuch 0,3 Sekunden später auf das Hindernis, baut aber dafür eine höhere maximale Verzögerung auf. Dennoch bremst der Audi auch bei diesem Fahrversuch nicht selbstständig bis zum Stillstand.

Der VW Up reagiert als letzter der Fahrzeuge auf das Hindernis, baut dafür aber die höchste maximale Bremsverzögerung auf. Der Ford Kuga und beide Fahrversuche des Volvo V40 beginnen die Bremsung ungefähr zum selben Zeitpunkt und deren Bremsverlaufskurve verläuft fast identisch.

Fazit:

Mit 25 km/h konnten die Fahrzeuge mit keinem sicheren Abstand vor dem stehenden Hindernis zum Stillstand kommen. Auch bei dieser Geschwindigkeit wurden die beiden Fahrversuche des Audi SQ5 mit unterschiedlichen Bremsverzögerungen abgebremst. Es ist wieder zu sehen, dass bei gleichen Geschwindigkeiten die Bremsverzögerungskurven stark variieren können. Dagegen weist der Volvo V40 in beiden Fahrversuchen gleiche Bremsverlaufskurven auf.

Auch bei dieser Geschwindigkeit wartet das System den letztmöglichen Zeitpunkt ab, um das Fahrzeug vor dem stehenden Hindernis abbremsen zu können.

8.4. 30 km/h

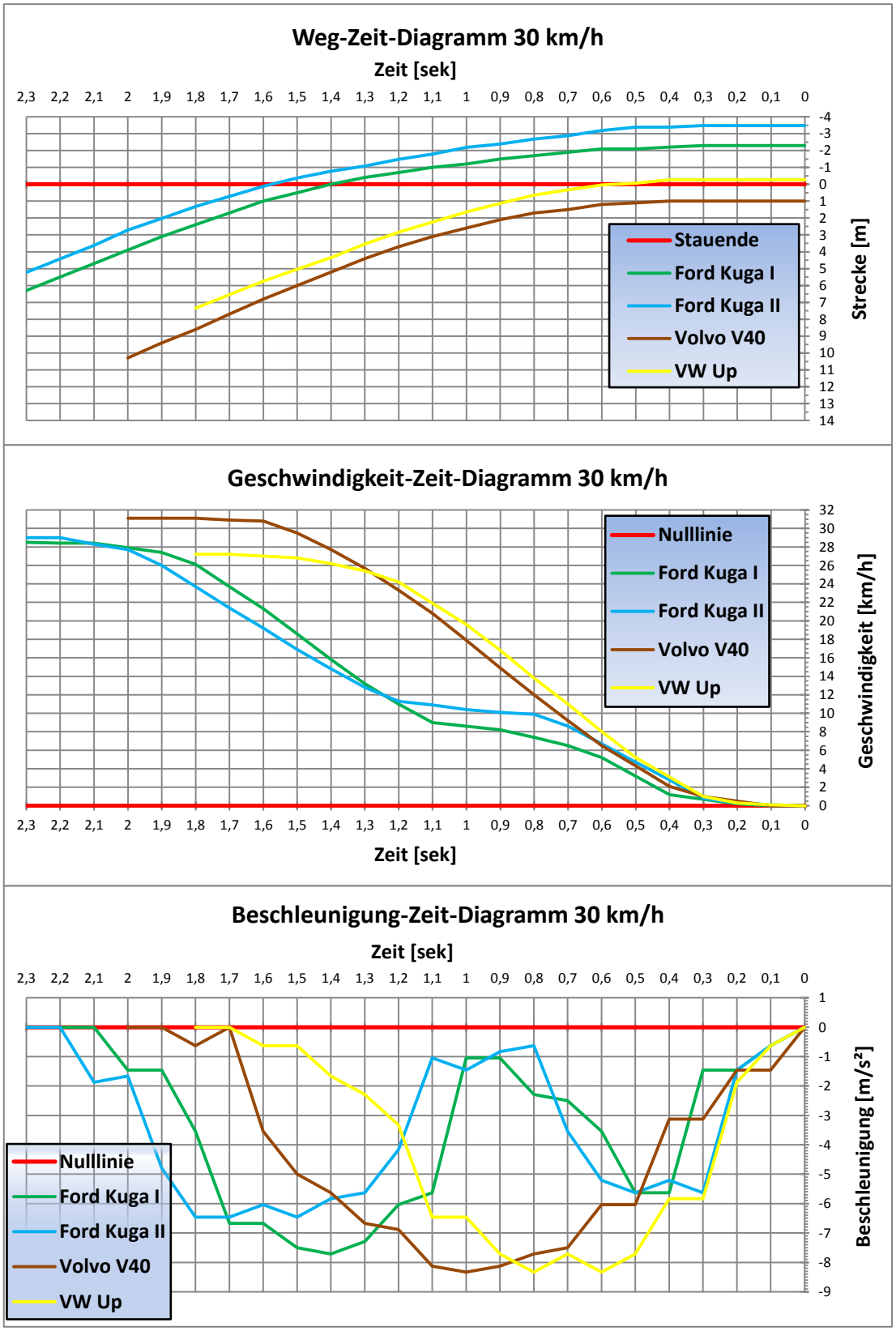


Diagramm 33: Darstellung aller Fahrzeuge die mit 30 km/h getestet wurden.

Zusammenfassung 30 km/h:

Der Audi SQ5 reagierte mit 30 km/h nicht mehr auf das stehende Hindernis und fuhr ohne zu bremsen hinein. Darum wurde der Audi SQ5 in den drei Zeit-Diagrammen nicht mehr dargestellt.

Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt, dass die Stillstände vor dem stehenden Hindernis bei allen Fahrzeugen sehr weit auseinander fallen. Der Volvo V40 kommt als einziges Fahrzeug vor dem Hindernis zum Stillstand. Der VW Up fährt leicht in das Hindernis hinein. Der Ford Kuga fährt in beiden Fahrversuchen weit in das Hindernis hinein, bevor er zum Stillstand kommt.

Durch das Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm ist ersichtlich, dass der Ford Kuga in beiden Fahrversuchen am schnellsten die Geschwindigkeit verringert. Im Bereich von 1,2 bis 0,8 Sekunden ist ein Knick in beiden Geschwindigkeitsverlustlinien zu erkennen (geringer Geschwindigkeitsabfall). In diesem Bereich löst der Ford Kuga wieder den Bremsvorgang. Der VW Up und Volvo V40 bauen ihre Geschwindigkeit gleich ab.

Im Beschleunigung-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass der Ford Kuga in seinem zweiten Fahrversuch am schnellsten auf das stehende Hindernis reagiert. Die maximale Verzögerung ist im Vergleich zu den anderen Fahrzeugen dabei am geringsten. Der Bremsvorgang kann nicht bis zum Stillstand durchführt werden, sondern wird nach einer gewissen Zeit wieder gelöst. Nur durch den Bremseingriff des Fahrers kann der Stillstand erreicht werden. Dadurch ist der Ford auch am weitesten in das Hindernis eingefahren. Der Ford Kuga in seinem ersten Fahrversuch reagiert 0,1 Sekunden später auf das Hindernis, baut dafür aber eine höhere maximale Verzögerung auf. Dennoch bremst der Ford auch bei diesem Fahrversuch nicht selbstständig bis zum Stillstand.

Der Volvo V40 und VW Up reagieren zum selben Zeitpunkt auf das stehende Hindernis. Dabei baut der Volvo V40 wesentlich schneller die Bremsverzögerung bis zum Maximum auf und kommt dadurch vor dem Hindernis zum Stillstand. Aufgrund des langsamen Verzögerungsaufbaus zum Maximum, fährt der VW Up leicht in das Hindernis hinein. Die maximal erreichte Verzögerung beider Fahrzeuge ist identisch.

Fazit:

Der Volvo V40 kam mit einem sicheren Abstand vor dem Hindernis zum Stillstand. Der Ford Kuga weist in beiden Fahrversuchen ähnliche Bremsverlaufskurven auf, aber mit einer unterschiedlichen maximalen Verzögerung. Dennoch bremste er nicht bis zum kompletten Stillstand ab.

Auch bei dieser Geschwindigkeit wartet das System den letztmöglichen Zeitpunkt ab, um das Fahrzeug vor dem stehenden Hindernis abbremsen zu können.

9. Zusammenfassung

Moderne Notbremsassistenzsysteme haben die Aufgabe, den Fahrer bei gefährlichen Auffahrsituationen im Straßenverkehr zu warnen und wenn nötig, selbst eine erforderliche Notbremsung einzuleiten.

Dadurch soll das Auffahren auf das vorausfahrende oder stehende Fahrzeug verhindert und/oder die Aufprallschwere reduziert werden.

Fünf Fahrzeuge wurden dabei in dieser Diplomarbeit beim Auffahren auf ein stehendes Hindernis getestet. Diese besitzen zwei unterschiedliche Systeme: das ACC-System mit Notbremsfunktion (Auffahrunfälle Autobahn, Geschwindigkeit >30 km/h) und das City-Brake / City-Safety-System (Auffahrunfälle Stadtverkehr, Geschwindigkeit <50 km/h).

Es war sehr interessant ein abgeschlossenes Versuchsprojekt von der theoretischen Analyse bis zur Gegenüberstellung der unterschiedlichen Bremsvorgänge zu untersuchen. Dies beinhaltet den gesamten Versuchsaufbau, die messtechnische Darstellung sowie die praktische Durchführung der Fahrversuche auf einem Testgelände und die anschließende Auswertung der Messergebnisse.

Bei den Fahrversuchen mit dem ACC-System und dessen Notbremsfunktion konnte nur ein Fahrversuch ausgewertet werden, da bei höheren Geschwindigkeiten die Fahrzeuge nicht auf das stehende Hindernis reagierten. Mit der gelungen Bremsung wurden alle vom Hersteller beschriebenen Minimalanforderungen erfüllt. Eine solche Bremsung könnte im Straßenverkehr viele Auffahrunfälle verhindern. Aufgrund der begrenzten Messtechnischen Erfassung konnte nicht die Ursache für die Inaktivität des Systems bei höheren Geschwindigkeiten ermittelt werden.

Bei den Fahrversuchen mit dem City-Brake / City-Safety-System ergaben sich interessante Ergebnisse. Ausgelegt ist dieses System für den Stadtverkehr mit langsamen Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h. Allerdings hat kein einziges Fahrzeug bis zu dieser Geschwindigkeit selbstständig abgebremst. Bis zur Geschwindigkeit von 20 km/h konnten gute Abbremsungen und Stillstände vor dem Hindernis erzielt werden. Mit 25 km/h konnte in vielen Fällen der Stillstand nicht mehr vor dem Hindernis erreicht werden. Alle getesteten Fahrzeuge haben das stehende Hindernis erkannt und eine selbstständige Bremsung eingeleitet, jedoch mit sehr unterschiedlichem Erfolg. Mit 30 km/h wurde das Hindernis nicht mehr von allen Fahrzeugen erkannt. Diese fuhren ohne eine Reaktion in das Hindernis hinein. Die anderen Fahrzeuge erkannten das Hindernis, aber die Bremsung darauf kam zu spät und ein Stillstand vor dem Hindernis war somit nicht mehr möglich. 30 km/h war die Höchstgrenze, denn keines der Fahrzeuge reagierte mit einer höheren Geschwindigkeit auf das stehende Hindernis. Alle Fahrzeuge würden deshalb ohne Bremsung und Reduzierung der Geschwindigkeit in das Stauende hineinfahren.

Bei vielen Fahrversuchen wurde festgestellt dass trotz identischer Versuchsvorgaben sich teilweise sehr unterschiedliche Testergebnisse ergaben.

In meinen Versuchen zeigte sich keine vollständige Sicherheit, da das System nicht bei allen Geschwindigkeiten zuverlässig reagierte und somit nicht vor dem Hindernis zum Stillstand kommen konnte.

Meiner Meinung nach ist das City-Brake / City-Safety-System sowie das ACC-System mit Notbremsfunktion eine wertvolle Unterstützung für den Fahrer, um Auffahrunfälle zu verhindern oder deren Schwere zu reduzieren. Diese Notbremsassistenzsysteme entbinden den Fahrer jedoch nicht von seiner Sorgfaltspflicht im Straßenverkehr. Da sich diese Systeme noch im Anfangsstadium befinden, sehe ich Optimierungspotenzial um noch mehr Sicherheit zu gewährleisten.

Literaturverzeichnis

[1] Statistisches Bundesamt Pressestelle: Pressemitteilung vom 2. Juli 2014 - 238/14. https://www.destatis.de/DE/PresseService/Presse/Pressemitteilungen/2014/07/PD14_238_46241.html (Abgerufen am 15. Mai 2015).

[2] Seelgrad G.: “Service Techniker, Technik von Profis für Profis“, (Auflage: 35/2012), 2012.

[3] Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.: „ADAC Fahrzeugtechnik Zeitschrift“ (Stand: 10/2013), München 2013.

[4] Gscheidle R.: „Fachkunde Kraftfahrzeugtechnik“, 28. Neubearbeitete Auflage, Verlag Europa-Lehrmitttel, Haan-Gruiten 2004.

[5] AUDI AG I/VK-35, „Selbststudienprogramm 620“, Ingolstadt 2013.

[6] Volkswagen AG, „Selbststudienprogramm 500“, Wolfsburg 2011.

[7] Rigling A., Sandner V., Kolke R.: „ADAC Fahrzeugtechnik Zeitschrift“, Daten-Ref.-Nr.: 28207, München 2014.

[8] Autohaus-am-goetheplatz: Stand: 2013, http://autohaus-am-goetheplatz.de/tl_files/ahg-2010/images/volvo/v70-web/2014/011-volvo-V70-2014-images_48179_1_5.jpg (Abgerufen am 3. Februar 2015).

[9] Volkswagen AG: „Fußgängererkennung“, Stand: 2015, http://partner.volkswagen.de/content/medialib/vwd4/global/mom/passat-variant-b8/content/pv3402_pedestrian-recognition/_jcr_content/renditions/item.570.270.file/pv3402_pedestrian-recognition.jpg (Abgerufen am 12. Februar 2015).

[10] Ford-Werke GmbH: „Prospekt Ford Mondeo“, Seite 15, Köln 2011.

[11] Ford-Werke GmbH: „Preisliste Ford Kuga“, Seite 20, Köln 2014.

[12] Audi AG: „Preisliste Audi Q5“, Seite 39, Ingolstadt 2014.

[13] Audi AG: „Prospekt Audi Q5“, Seite 91, Ingolstadt 2014.

[14] Volkswagen AG: „Preisliste VW Golf VII“ Seite 10, Wolfsburg 2014.

[15] Volkswagen AG: „Prospekt VW Golf VII“; Seite 32, Wolfsburg 2014.

[16] Volkswagen AG: „Prospekt VW Up“, Seite 29, Wolfsburg 2014.

[17] Volvo Car Germany GmbH: „Preisliste Volvo V40”, Seite 20, Köln 2014.

[18] Volvo Car Germany GmbH: „Prospekt Volvo V40”, Seite 15, Köln 2014.

[19] Peiseler GmbH: “Prospekt Peiseler Schlepprad“, Gröbenzell 2015.

[20] Peiseler GmbH: „Prospekt Impulsgeber“, Gröbenzell 2015.

[21] Technischer Überwachungs-Verein Bayern E.V.: „Prüfbericht, Prüfung der Meßgenauigkeit für Peiseler-Rad 28 Zoll“, München 1989.

[22] Google Earth: Sportplatz Schwabbruck (Abgerufen am 20 Januar 2015).

Sonstige Quellenangaben:

- Volkswagen AG, „Selbststudienprogramm 516“, Wolfsburg 2012.
- Peiseler GmbH: „Beschreibung und Bedienungsanleitung Peiseler-Rad“, München.
- Peiseler GmbH: „Beschreibung und Bedienungsanleitung VTS-Wolfsburg“, München.
- Service Techniker Zeitschrift, Technik von Profis für Profis, 35/2015.

Anhangverzeichnis

ACC-System:

Anhang A: Tabelle Messergebnisse Volvo V40 151

City-Brake / City-Safety-System:

Anhang B: Tabelle Messergebnisse Ford Kuga Versuch 1 – 5 153

Anhang C: Tabelle Messergebnisse Audi SQ5 Versuch 1 – 6 156

Anhang D: Tabelle Messergebnisse VW Up Versuch 1 – 5 159

Anhang E: Tabelle Messergebnisse VW Golf VII R Versuch 1 und 2 162

Anhang F: Tabelle Messergebnisse Volvo V40 Versuch 1 – 5 163

Gefilmte Aufnahmen mit der Videokamera von den Fahrversuchen:

Anhang G: Tabelle Inhalt der DVD 1 (Videokamera) 166

Gefilmte Aufnahmen mit der Dashcam von den Fahrversuchen:

Anhang H: Tabelle Inhalt der DVD 2 (Dashcam) 167

ACC-System:

Anhang A: Tabelle Messergebnisse Volvo V40

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
28,6	0	0	0
28,1	0,1	0,7	-1,46
27,7	0,2	1,5	-1,04
26,9	0,3	2,3	-2,29
26,3	0,4	3	-1,66
25,7	0,5	3,7	-1,66
24,9	0,6	4,4	-2,29
24,2	0,7	5,1	-1,87
23,4	0,8	5,8	-2,29
22,8	0,9	6,4	-1,66
22,1	1	7,1	-1,87
21,4	1,1	7,7	-1,87
20,7	1,2	8,2	-1,87
20,1	1,3	8,8	-1,66
19,6	1,4	9,4	-1,46
19,2	1,5	9,9	-1,04
18,9	1,6	10,4	-0,83
18,6	1,7	11	-0,83
18,5	1,8	11,5	0
18,3	1,9	12	-0,63
18,3	2	12,5	0
18,2	2,1	13	0
18	2,2	13,5	-0,63
17,9	2,3	14	0
17,8	2,4	14,5	0
17,7	2,5	15	0
17,6	2,6	15,4	0
17,6	2,7	15,9	0
17,5	2,8	16,4	0
17,5	2,9	16,9	0
17,5	3	17,4	0
17,5	3,1	18	0
17,4	3,2	18,4	0
17,4	3,3	18,9	0
17,4	3,4	19,3	0
17,4	3,5	19,8	0
17,4	3,6	20,4	0
17,4	3,7	20,8	0

17,4	3,8	21,3	0
17,4	3,9	21,8	0
17,3	4	22,3	0
17,2	4,1	22,7	0
17,2	4,2	23,3	0
17,2	4,3	23,8	0
16,6	4,4	24,2	-1,66
15,9	4,5	24,6	-1,87
14,6	4,6	25,1	-3,54
12,7	4,7	25,5	-5,21
10,7	4,8	25,8	-5,63
8,3	4,9	26,1	-6,67
5,9	5	26,3	-6,67
3,8	5,1	26,4	-5,83
2	5,2	26,5	-5
0,7	5,3	26,5	-3,54
0,4	5,4	26,5	-8,83
0	5,5	26,5	-1,04
0	5,6	26,5	0

City-Brake / City-Safety-System:

Anhang B: Tabelle Messergebnisse Ford Kuga Versuch 1 – 5

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
11	3,7	11,2	0
10,9	3,8	11,5	0
10,9	3,9	11,8	0
10,8	4	12,1	0
10,7	4,1	12,4	0
10,2	4,2	12,7	-1,46
9,7	4,3	13	-1,46
8	4,4	13,2	-4,79
6,1	4,5	13,4	-5,21
4,3	4,6	13,5	-5
2,5	4,7	13,6	-5
0,7	4,8	13,7	-5
0,4	4,9	13,7	-0,83
0,2	5	13,7	-0,63
0	5,1	13,7	-0,63
0	5,2	13,7	0

Versuch 2 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
18	1,7	9	0
17,9	1,8	9,5	0
17,7	1,9	10	-0,63
17,4	2	10,5	-0,83
17,1	2,1	11	-0,83
16,2	2,2	11,4	-2,5
15,4	2,3	11,9	-2,29
13,4	2,4	12,3	-5,63
11,1	2,5	12,7	-6,46
8,7	2,6	12,9	-6,67
6,2	2,7	13,2	-6,88
3,6	2,8	13,3	-7,29
2,1	2,9	13,4	-4,17
0,6	3	13,4	-4,17
0	3,1	13,4	-1,66
0	3,2	13,4	0

Versuch 3 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
23,2	1,8	11,7	0
23,1	1,9	12,4	0
22,8	2	13,1	-0,83
22,5	2,1	13,7	-0,83
21,7	2,2	14,2	-2,29
20,3	2,3	14,9	-3,96
18,8	2,4	15,5	-4,17
16,5	2,5	16	-6,46
14	2,6	16,4	-6,88
11,6	2,7	16,7	-6,67
9,3	2,8	17	-6,46
7	2,9	17,2	-6,46
4,6	3	17,4	-6,67
2,2	3,1	17,5	-6,67
1,1	3,2	17,5	-3,13
0,5	3,3	17,5	-1,66
0	3,4	17,5	-1,46
0	3,5	17,5	0

Versuch 4 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
28,5	0,71	5,6	0
28,4	0,81	6,4	0
28,4	0,91	7,2	0
27,9	1,01	8	-1,46
27,4	1,11	8,8	-1,46
26,1	1,21	9,5	-3,54
23,7	1,31	10,2	-6,67
21,3	1,41	10,9	-6,67
18,6	1,51	11,4	-7,5
15,8	1,61	11,9	-7,71
13,2	1,71	12,3	-7,29
11	1,81	12,6	-6,04
9	1,91	12,9	-5,63
8,6	2,01	13,1	-1,04
8,2	2,11	13,4	-1,04
7,4	2,21	13,6	-2,29
6,5	2,31	13,8	-2,5
5,2	2,41	14	-3,54
3,2	2,51	14	-5,63

1,2	2,61	14,1	-5,63
0,7	2,71	14,2	-1,46
0,2	2,81	14,2	-1,46
0	2,91	14,2	-0,63
0	3,01	14,2	0

Versuch 5 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
29	1,3	10,4	0
29	1,4	11,2	0
28,3	1,5	12	-1,87
27,7	1,6	12,9	-1,66
26	1,7	13,6	-4,79
23,7	1,8	14,3	-6,46
21,4	1,9	14,9	-6,46
19,2	2	15,5	-6,04
16,9	2,1	16	-6,46
14,8	2,2	16,4	-5,83
12,8	2,3	16,7	-5,63
11,3	2,4	17,1	-4,17
10,9	2,5	17,4	-1,04
10,4	2,6	17,8	-1,46
10,1	2,7	18	-0,83
9,9	2,8	18,3	-0,63
8,6	2,9	18,5	-3,54
6,7	3	18,8	-5,21
4,7	3,1	19	-5,63
2,8	3,2	19	-5,21
0,8	3,3	19,1	-5,63
0,3	3,4	19,1	-1,46
0,1	3,5	19,1	-0,63
0	3,6	19,1	0

Anhang C: Tabelle Messergebnisse Audi SQ5 Versuch 1 – 6

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,8	5,5	16,7	0
10,7	5,6	17	0
10,4	5,7	17,4	-0,83
10,1	5,8	17,7	-0,83
9	5,9	18	-3,13
7,7	6	18,2	-3,54
5,9	6,1	18,4	-5
3,7	6,2	18,6	-6,04
1,4	6,3	18,6	-6,46
0,8	6,4	18,6	-1,66
0,2	6,5	18,6	-1,66
0	6,6	18,6	-0,63
0	6,7	18,6	0

Versuch 2 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,7	3,4	10,8	0
10,7	3,5	11,1	0
10,3	3,6	11,4	-1,04
9,8	3,7	11,7	-1,46
9	3,8	12	-2,29
7,6	3,9	12,2	-3,96
6,2	4	12,4	-3,96
4,1	4,1	12,6	-5,83
2	4,2	12,7	-5,83
0,8	4,3	12,7	-3,33
0,3	4,4	12,7	-1,46
0	4,5	12,7	-0,83
0	4,6	12,7	0

Versuch 3 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
20,5	4,6	26,1	0
20,4	4,7	26,7	0
20,4	4,8	27,3	0
20,1	4,9	27,8	-0,83
19,8	5	28,4	-0,83
19,4	5,1	28,9	-1,04
18,2	5,2	29,5	-3,33
17	5,3	30	-3,33
15,3	5,4	30,4	-4,79
13,1	5,5	30,8	-6,04
10,8	5,6	31,2	-6,46
7,7	5,7	31,4	-8,54
4,7	5,8	31,6	-8,33
2,1	5,9	31,7	-5
0,8	6	31,7	-4,17
0,3	6,1	31,7	-2,29
0	6,2	31,7	0

Versuch 4 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
18,2	2,1	11,4	0
18,1	2,2	11,9	0
18	2,3	12,4	0
17,9	2,4	12,9	0
17,7	2,5	13,3	-0,63
17,4	2,6	13,9	-0,83
16,9	2,7	14,3	-1,46
15,6	2,8	14,9	-3,54
14,4	2,9	15,3	-3,33
12,5	3	15,6	-5,21
10,3	3,1	16	-6,04
8,1	3,2	16,2	-6,04
6,2	3,3	16,4	-5,21
4,4	3,4	16,6	-5
2,6	3,5	16,6	-5
1	3,6	16,6	-4,38
0,2	3,7	16,6	-2,29
0	3,8	16,6	0

Versuch 5 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
25	3,7	25,4	0
25	3,8	26,1	0
24,9	3,9	26,8	0
24,9	4	27,5	0
24,8	4,1	28,2	0
24,3	4,2	28,9	0
23,9	4,3	29,6	-1,46
22,8	4,5	30,3	-1,04
21,4	4,6	30,9	-3,13
19,8	4,7	32,2	-3,96
17,2	4,8	32,7	-4,38
14,7	4,9	33,1	-7,29
11,9	5	33,5	-6,88
9,1	5,1	33,8	-7,71
7,1	5,2	34	-7,71
6,3	5,3	34,2	-5,63
5,5	5,4	34,3	-2,29
4,4	5,5	34,5	-2,29
3,5	5,6	34,6	-3,13
2,3	5,7	34,7	-2,5
1	5,8	34,7	-3,33
0	5,9	34,7	-2,71
0	6	34,7	0

Versuch 6 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
24,3	2	13,5	0
24,3	2,1	14,2	0
24,3	2,2	14,8	0
24,1	2,3	15,5	-0,63
23,9	2,4	16,2	-0,63
23,6	2,5	16,9	-0,83
22,5	2,6	17,4	-3,13
21,2	2,7	18,1	-3,54
19,5	2,8	18,6	-4,79
17,7	2,9	19,1	-5
15,7	3	20	-5,63
13,7	3,1	20,5	-5,63
11,6	3,2	20,7	-5,83
9,6	3,3	20,9	-5,63

7,7	3,4	21,1	-5,21
6,1	3,5	21,2	-4,38
5,6	3,6	21,4	-1,46
5,1	3,7	21,6	-1,46
3,5	3,8	21,7	-4,38
1,7	3,9	21,7	-5
0,6	4	21,7	-3,13
0,3	4,1	21,7	-0,83
0	4,2	21,7	-0,83
0	4,3	21,7	0

Anhang D: Tabelle Messergebnisse VW Up Versuch 1 – 5

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,5	5,3	15,3	0
10,4	5,4	15,7	0
10,4	5,5	16	0
10,2	5,6	16,3	0
10,1	5,7	16,5	0
9,8	5,8	16,9	-0,83
8,7	5,9	17	-3,13
7,7	6	17,4	-2,71
5,9	6,1	17,5	-5
4	6,2	17,6	-5,21
2,3	6,3	17,6	-4,79
1,2	6,4	17,7	-3,13
0,1	6,5	17,7	-3,13
0	6,6	17,7	0

Versuch 2 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,3	4,3	12,3	0
10,3	4,4	12,6	0
10,1	4,5	12,9	0
10,1	4,6	13,2	0
9,8	4,7	13,5	-0,83
9,6	4,8	13,7	-0,63
9,2	4,9	14	-1,04
8	5	14,3	-3,33

6,8	5,1	14,4	-3,33
5	5,2	14,5	-5
2,7	5,3	14,6	-6,46
1,1	5,4	14,7	-4,38
0,5	5,5	14,7	-1,66
0,1	5,6	14,7	-1,04
0	5,7	14,7	0

Versuch 3 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
18,3	4,6	22,6	0
18,2	4,7	23,2	0
18,1	4,8	23,7	0
18,1	4,9	24,2	0
18,2	5	24,7	0
18,1	5,1	25,2	0
17,9	5,2	25,7	-0,63
17,6	5,3	26,2	-0,83
16,8	5,4	26,6	-2,29
16,1	5,5	27,1	-1,87
14,1	5,6	27,5	-5,63
12,1	5,7	27,9	-5,63
9,5	5,8	28,2	-7,29
6,6	5,9	28,5	-8,13
3,8	6	28,6	-7,71
2,2	6,1	28,7	-4,38
0,5	6,2	28,7	-4,79
0	6,3	28,7	-1,46
0	6,4	28,7	0

Versuch 4 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
22,8	4,5	27,3	0
23	4,6	27,9	-0,63
22,9	4,7	28,6	0
22,7	4,8	29,2	-0,63
22,6	4,9	29,8	0
22,5	5	30,5	0
22,4	5,1	31,1	0
21,2	5,2	31,7	-3,33
19,8	5,3	32,3	-3,96

17,9	5,4	32,8	-5,21
15,3	5,5	33,3	-7,29
12,7	5,6	33,7	-7,29
9,6	5,7	34	-8,54
6,5	5,8	34,2	-8,54
4	5,9	34,4	-6,88
1,8	6	34,4	-6,04
0,2	6,1	34,4	-4,38
0	6,2	34,4	0

Versuch 5 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
27,2	4,4	32,7	0
27,2	4,5	33,5	0
27	4,6	34,3	-0,63
26,8	4,7	35	-0,63
26,2	4,8	35,7	-1,66
25,4	4,9	36,5	-2,29
24,2	5	37,2	-3,33
21,9	5,1	37,8	-6,46
19,6	5,2	38,4	-6,46
16,8	5,3	38,9	-7,71
13,8	5,4	39,4	-8,33
11	5,5	39,7	-7,71
8	5,6	40	-8,33
5,2	5,7	40,1	-7,71
3,1	5,8	40,3	-5,83
1	5,9	40,3	-5,83
0,3	6	40,3	-1,87
0,1	6,1	40,3	-0,63
0	6,2	40,3	0

Anhang E: Tabelle Messergebnisse VW Golf VII R Versuch 1 und 2

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,7	3,5	11,1	0
10,3	3,6	11,4	-1,03
9,7	3,7	11,7	-1,48
8,5	3,8	12	-2,25
7,6	3,9	12,2	-3,93
6,2	4	12,3	-3,96
4,1	4,1	12,4	-4,85
2,2	4,2	12,5	-5,83
1,1	4,3	12,6	-3,37
0,5	4,4	12,7	-1,46
0	4,5	12,8	-0,83
0	4,6	12,8	0

Versuch 2 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
18,4	1,5	8	0
18	1,6	8,5	0
18	1,7	9	0
17,8	1,8	9,5	-0,63
17,6	1,9	10	-0,63
17,4	2	10,5	-0,83
17,2	2,1	11	-0,83
16,4	2,2	11,4	-2,5
15,4	2,3	11,9	-3,12
13,5	2,4	12,3	-5,83
11,1	2,5	12,7	-6,46
8,8	2,6	12,9	-6,67
6,1	2,7	13,2	-6,88
3,8	2,8	13,3	-7,29
2,3	2,9	13,5	-4,85
0,7	3	13,6	-4,17
0,5	3,1	13,8	-1,46
0	3,2	13,8	0

Anhang F: Tabelle Messergebnisse Volvo V40 Versuch 1 – 5

Versuch 1 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
10,7	4,5	13,2	0
10,7	4,6	13,4	0
10,6	4,7	13,8	0
10,7	4,8	14	0
10,7	4,9	14,3	0
10,4	5	14,7	-0,83
10,1	5,1	15	-0,83
9,1	5,2	15,3	-2,17
7,5	5,3	15,5	-4,38
5,9	5,4	15,6	-4,38
3,7	5,5	15,7	-6,04
1,5	5,6	15,8	-6,04
0,6	5,7	15,9	-2,5
0,2	5,8	15,9	-1,04
0	5,9	15,9	-0,63
0	6	15,9	0

Versuch 2 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
18,2	4,2	21,2	0
18,1	4,3	21,6	0
18	4,4	22,1	0
17,8	4,5	22,7	-0,63
16,8	4,6	23,2	-2,71
15,8	4,7	23,7	-2,71
14	4,8	24,1	-5
11,8	4,9	24,4	-6,04
9,7	5	24,7	-5,83
7,8	5,1	25	-5,21
5,9	5,2	25,1	-5,21
4,3	5,3	25,3	-4,38
2,7	5,4	25,4	-4,38
1,6	5,5	25,4	-3,13
0,8	5,6	25,4	-2,29
0	5,7	25,4	-2,29
0	5,8	25,4	0

Versuch 3 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
23	4,3	25,9	0
23	4,4	26,5	0
22,8	4,5	27,2	-0,63
22,5	4,6	27,8	-0,63
21,2	4,7	28,4	-3,5
19,8	4,8	29	-3,71
17,8	4,9	29,5	-5,64
15,3	5	30	-6,88
12,9	5,1	30,4	-6,67
10,4	5,2	30,7	-6,88
7,8	5,3	31	-7,24
5,4	5,4	31,2	-6,64
3	5,5	31,3	-6,64
1,2	5,6	31,3	-5
0,6	5,7	31,3	-1,66
0,1	5,8	31,3	-1,04
0	5,9	31,3	0

Versuch 4 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
23,5	3,9	25,4	0
23,4	4	26	0
23,3	4,1	26,6	0
22,3	4,2	27,3	-2,71
21,4	4,3	27,9	-2,5
19,5	4,4	28,5	-5,64
17,1	4,5	29	-6,67
14,7	4,6	29,4	-6,67
12,2	4,7	29,8	-6,67
9,5	4,8	30,1	-7,52
7,1	4,9	30,3	-6,67
4,5	5	30,5	-7,52
2,6	5,1	30,6	-5,21
1,2	5,2	30,6	-3,96
0	5,3	30,6	-3,33
0	5,4	30,6	-0,2
0	5,5	30,6	0

Versuch 5 Geschwindigkeit [km/h]	Zeit [sek]	Meter [m]	Verzögerung [m/s²]
31,1	3,7	33,3	0
31,1	3,8	34,1	-0,63
30,9	3,9	35	0
30,8	4	35,9	-3,54
29,5	4,1	36,7	-5
27,7	4,2	37,5	-5,63
25,7	4,3	38,3	-6,67
23,3	4,4	39	-6,88
20,8	4,5	39,6	-8,13
17,9	4,6	40,1	-8,33
14,9	4,7	40,6	-8,13
12	4,8	41	-7,71
9,2	4,9	41,2	-7,5
6,5	5	41,5	-6,04
4,3	5,1	41,6	-6,04
2,1	5,2	41,7	-3,13
1	5,3	41,7	-3,13
0,5	5,4	41,7	-1,46
0	5,5	41,7	-1,46
0	5,6	41,7	0

Gefilmte Aufnahmen mit der Videokamera von den Fahrversuchen:

Anhang G: Tabelle Inhalt der DVD 1 (Videokamera)

ACC-System			
Volvo V40	Versuch 1	30 km/h	
City-Brake / City-Safety-System			
Audi SQ5	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 2	10 km/h	
	Versuch 3	20 km/h	
	Versuch 4	20 km/h	
	Versuch 5	25 km/h	
		30 km/h	Keine Bremsreaktion
VW Up	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 2	10 km/h	
	Versuch 3	20 km/h	
	Versuch 4	25 km/h	
	Versuch 5	30 km/h	
VW Golf VII R	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 2	20 km/h	
Volvo V40	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 2	20 km/h	
	Versuch 3	25 km/h	
	Versuch 4	25 km/h	
		30 km/h	Keine Bremsreaktion

Gefilmte Aufnahmen mit der Dashcam von den Fahrversuchen:

Anhang H: Tabelle Inhalt der DVD 2 (Dashcam)

City-Brake / City-Safety-System			
Audi SQ5	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 3	20 km/h	
	Versuch 4	20 km/h	
	Versuch 5	25 km/h	
		30 km/h	Keine Bremsreaktion
VW Up	Versuch 1	10 km/h	
	Versuch 2	10 km/h	
	Versuch 3	20 km/h	
	Versuch 4	25 km/h	
	Versuch 5	30 km/h	
		35 km/h	Keine Bremsreaktion
Volvo V40	Versuch 2	20 km/h	
	Versuch 3	25 km/h	
	Versuch 4	25 km/h	