

Reinhard Holl

# **Integration längsdynamisch regelnder Fahrerassistenzsysteme in das Gesamtfahrzeug**

**Diplomarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur

Studienrichtung:  
**Maschinenbau**

**Technische Universität Graz  
Fakultät für Maschinenbau**

Betreuer: Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.techn. Arno Eichberger  
Institut für Fahrzeugtechnik

Graz, März 2012

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Reinhard Holl)

## **Kurzfassung**

### **Integration längsdynamisch regelnder Fahrerassistenzsysteme in das Gesamtfahrzeug**

Fahrerassistenzsysteme (FAS) unterstützen den Fahrer in seiner Fahraufgabe. Sie kommen in allen Fahrzeugklassen vermehrt zum Einsatz. Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden längsdynamisch regelnde FAS, genauer Adaptive Cruise Control (ACC), Forward Collision Warning (FCW), Brake Assist (BA), Automatic Emergency Brake (AEB) und Active City Stop (ACS) betrachtet. Für diese Systeme wird der Stand der Technik erhoben und Anforderungen an Gesamtfahrzeug und Komponenten definiert. Vorhandene Bewertungsmethoden für Fahrerassistenzsysteme werden recherchiert und daraus ein Testkatalog erstellt. Abgeleitet von diesen objektiven Tests wird für ACC ein Testkatalog mit 20 Fahrmanövern und 75 Kriterien erstellt, der auf einer ausgewählten Strecke auf öffentlicher Straße im Raum Graz abgearbeitet werden kann und eine, mit einfacher Messtechnik unterstützte, subjektive Bewertung erlaubt. In einem Fahrversuch wird dieser Testkatalog validiert und verbessert.

Die objektive Erprobung von Fahrerassistenzsystemen ist zeitintensiv und erfordert aufwändige Messtechnik, spezielle Teststrecken, Vorbereitung der Fahrzeuge. Der im Zuge dieser Diplomarbeit erarbeitete subjektive Testkatalog dient dazu, in kurzer Zeit und mit geringem Aufwand grundsätzliche Aussagen über die Funktionalität eines Fahrerassistenzsystems treffen zu können und mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattete Fahrzeuge untereinander zu vergleichen.

## **Abstract**

### **Integration of Longitudinal Advanced Driver Assistance Systems in the Full Vehicle**

Advanced driver assistance systems (ADAS) support the driver in his driving task. They are increasingly used in all vehicle classes. In this diploma thesis ADAS, acting in longitudinal direction, specifically Adaptive Cruise Control (ACC), Forward Collision Warning (FCW), Brake Assist (BA), Automatic Emergency Brake (AEB) and Active City Stop (ACS) are considered. For these systems, the state of the art is pointed out and the requirements on full vehicle level and components are defined. Existing testing methods for advanced driver assistance systems are investigated and summarized in a test catalogue. Derived from these objective tests, a test catalogue for ACC with 20 manoeuvres and 75 criteria is created that can be processed on a selected track on public roads in the area of Graz and permits subjective evaluation supported by simple measurement equipment. In a driving test, this test catalogue will be validated and improved.

The objective testing of advanced driver assistance systems is time consuming and requires sophisticated measurement equipment, special test tracks and preparation of vehicles. The subjective test catalogue, developed in this diploma thesis, enables basic statements about the functionality of an advanced driver assistance system in a short time and gives the possibility to compare different vehicles with advanced driver assistance systems with each other.

## **Inhalt**

Eidesstattliche Erklärung .....	II
Kurzfassung .....	III
Abstract .....	IV
Abkürzungen .....	VII
Formelzeichen.....	IX
1. Einleitung .....	1
1.1. Einführung.....	1
1.2. Aufgabenstellung .....	1
1.3. Ziele der Arbeit.....	2
2. Grundlagen .....	3
2.1. Fahrzeugtechnik.....	3
2.2. Fahrzeugsicherheit.....	12
2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen.....	14
3. Stand der Technik .....	18
3.1. Abstandsregeltempomat .....	18
3.2. Frontalkollisionsschutzsysteme .....	25
4. Anforderungen an längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme .....	38
4.1. Gesamtfahrzeug.....	38
4.2. Komponenten.....	43
5. Erprobungsplan.....	61
5.1. Objektive Kriterien.....	61
5.2. Objektiver Testkatalog.....	62
5.3. Prüfmittel und Ressourcen für objektive Tests.....	63
5.4. Subjektive Bewertung für ACC und FSRA.....	65
5.5. Prüfmittel und Ressourcen zur subjektiven Bewertung von ACC und FSRA .....	80

6. Fahrversuch .....	84
6.1. Planung.....	84
6.2. Durchführung .....	84
6.3. Ergebnisse .....	86
6.4. Interpretation der Ergebnisse .....	92
7. Zusammenfassung und Ausblick.....	95
Literaturverzeichnis .....	97
Abbildungsverzeichnis.....	100
Tabellenverzeichnis.....	102
A. Anhang.....	103
A.1 Systemübersicht.....	103
A.2 Fahrzeugdaten .....	104
A.3 Zahlenwertbeispiel TTC.....	105
A.4 Zahlenwertbeispiel Zykluszeit.....	106
A.5 Objektiver Testkatalog.....	107
A.6 Messkanäle .....	108
A.7 Subjektiver Bewertungsbogen .....	109
A.8 Subjektive Bewertung des Fzg. A .....	111
A.9 Subjektive Bewertung des Fzg. B .....	113

## Abkürzungen

ABS	...	Antiblockiersystem
ACC	...	Adaptive Cruise Control (Abstandsregeltempomat)
ACS	...	Active City Stop (Notbremse für niedrige Geschwindigkeiten)
ADAC	...	Allgemeiner Deutscher Automobil Club
ADAS	...	Advanced Driver Assistance System (Fortschrittliches Fahrerassistenzsystem)
AEB	...	Automatic Emergency Brake (Automatische Notbremse)
ASR	...	Antriebsschlupfregelung
BA	...	Brake Assist (Bremsassistent)
CaB	...	Collision avoidance by Braking (Kollisionsvermeidung durch Bremsen)
CAN	...	Controller Area Network (Bussystem in Fahrzeugen)
CmB	...	Collision mitigation by Braking (Minderung der Unfallschwere durch Bremsen)
CC	...	Cruise Control (Tempomat)
DAS	...	Driver Assistance System (Fahrerassistenzsystem)
eCall	...	Automatische Notrufverständigung bei einem Unfall
EHB	...	Elektrohydraulische Bremse
EMB	...	Elektromechanische Bremse
ESP	...	Elektronisches Stabilitätsprogramm
FAS	...	Fahrerassistenzsystem
FCW	...	Forward Collision Warning (Auffahrwarnsystem)
FSRA	...	Full Speed Range Adaptive Cruise Control
HMI	...	Human Machine Interface ( Mensch-Maschine Schnittstelle)
HzGM	...	höchstzulässige Gesamtmasse
ISO	...	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
Lkw	...	Lastkraftwagen

## Abkürzungen

---

ÖAMTC	...	Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touringclub
Pkw	...	Personenkraftwagen
RCS-TUG	...	Retrospective Case Study – Technische Universität Graz
SAE	...	Society of Automotive Engineers (Verband der Automobilingenieure)
TTC	...	Time To Collision (Zeit bis zum Aufprall)
TÜV	...	Technischer Überwachungs-Verein
US NCAP	...	United States New Car Assessment Programme (US Neuwagen-Bewertungsprogramm)
VDC	...	Vehicle Dynamics Controller (Fahrdynamikregler)
ZEDATU	...	Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle

## Formelzeichen

$a$	m/s <sup>2</sup>	Beschleunigung
$A_F$	m <sup>2</sup>	longitudinale Anströmfläche
$a_r$	-	Rollwiderstandsbeiwert
$B$	N	Bremskraft
$c$	m	Clearance (Abstand)
$c_w$	-	Luftwiderstandsbeiwert
$d$	m	Abstand
$F_L$	N	Kraft in longitudinaler Richtung
$f_{rel}$	-	relativer Fehler
$g$	m/s <sup>2</sup>	Erdbeschleunigung
$G$	N	Gewichtskraft
$h$	m	Höhe
$I$	kgm <sup>2</sup>	Massenträgheitsmoment
$i$	-	Übersetzungsverhältnis
$i_V$	-	variable Übersetzung
$l$	m	Länge
$m$	kg	Masse
$m^*$	kg	verallgemeinerte Masse
$M$	Nm	Moment
$M_{R\Sigma}$	Nm	Summenradmoment
$n$	-	Anzahl der Fälle
$n_A$	-	Anzahl der Auffahrunfälle
$p$	bar	Bremsdruck
$r$	m	Reifenradius
$R$	m	Kurvenradius
$s$	-	Schlupf

$s^*$	-	bezogener Schlupf
$t$	s	Zeit
$T$	s	Reaktionszeit
$TTC$	s	Time to collision (Zeit bis zur Kollision)
$t_Z$	s	Zeitdauer eines Messzyklus
$v$	m/s	Fahrzeuggeschwindigkeit
$V$	m/s	Fahrzeuggeschwindigkeit in ISO 15623
$V_S$	1/m	Strangverstärkung
$\dot{v}$	m/s <sup>2</sup>	Beschleunigung
$W_L$	N	Luftwiderstand
$W_S$	N	Steigungswiderstand
$W_V$	m	Width of vehicle (Fahrzeugbreite) in ISO 15623
$y$	m	seitlicher Versatz

### Griechische Zeichen

$\alpha_S$	°	halber horizontaler Sensoröffnungswinkel
$\beta$	°	Steigungswinkel
$\beta_S$	°	halber vertikaler Sensoröffnungswinkel
$\gamma$	m/s <sup>3</sup>	Ruck
$\delta$	°	Lenkwinkel
$\Delta[ \ ]$	-	Differenz $\Delta[ \ ] = [ \ ]_2 - [ \ ]_1$
$\eta$	-	Wirkungsgrad
$\lambda$	-	Drehmassenfaktor
$\rho_L$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte von Luft
$\dot{\psi}$	°/s	Gierrate
$\tau$	s	Zeitlücke
$\omega$	1/s	Winkelgeschwindigkeit
$\theta$	°	Nickwinkel

$\Phi$  ° Wank- oder Rollwinkel

$\Psi$  ° Gierwinkel

### Indizes

[ ] <sub>II</sub>	Performance Class II	[ ] <sub>low</sub>	Mindest-
[ ] <sub>III</sub>	Performance Class III	[ ] <sub>max</sub>	Maximal-
[ ] <sub>IV</sub>	Performance Class IV	[ ] <sub>min</sub>	Minimal-
[ ] <sub>A</sub>	Aufbau, Antrieb, Achse	[ ] <sub>R</sub>	Rollwiderstand
[ ] <sub>B</sub>	Bremse	[ ] <sub>rel</sub>	Relativ-
[ ] <sub>Circle</sub>	Kurven-	[ ] <sub>set</sub>	eingestellt
[ ] <sub>Ego</sub>	Ego-Fahrzeug	[ ] <sub>soll</sub>	Sollwert
[ ] <sub>G</sub>	Getriebe	[ ] <sub>Target</sub>	Target-Fahrzeug
[ ] <sub>H</sub>	Hinterachse	[ ] <sub>V</sub>	Vorderachse
[ ] <sub>ist</sub>	Istwert	[ ] <sub>x</sub>	in x-Richtung
[ ] <sub>M</sub>	Motor	[ ] <sub>y</sub>	in y-Richtung

### Vektoren und Matrizen

$\mathbf{u}(t)$  Steuersignal des Fahrers

$\mathbf{v}(t)$  Störsignal der Umwelt

$\mathbf{x}_E(t)$  dynamischer Zustand des Fahrzeugs

$\mathbf{x}_{E,m}(k)$  diskreter dynamischer Zustand des Fahrzeugs

$\mathbf{x}_{U,i}(k)$  diskreter dynamischer Zustand von  $i$  Objekten der Umwelt

## **1. Einleitung**

### **1.1. Einführung**

Mit längsdynamisch regelnden Fahrerassistenzsystemen (FAS) sind in der vorliegenden Arbeit fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme gemeint, die in die longitudinale Fahrzeugbewegung eingreifen können. Damit erfolgt eine Abgrenzung zu Systemen, die eine laterale-, vertikale- oder Drehbewegung beeinflussen.

Fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) unterstützen den Fahrer in der primären Fahraufgabe, stellen aktive Unterstützung für Quer- und/oder Längsregelung mit oder ohne Warnung bereit, detektieren und evaluieren die Fahrzeugumgebung, verwenden komplexe Signalverarbeitung und bieten direkte Interaktion zwischen Fahrer und System [SKJ<sup>+</sup>06].

Neben einer Einteilung in längs- und querdynamische Systeme lassen sich fortschrittliche Fahrerassistenzsysteme in Komfort- und Sicherheitssysteme einteilen: Ein Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control, ACC) lässt sich den Komfortsystemen zuordnen, während Auffahrwarnsysteme (Forward Collision Warning, FCW), elektronische Bremsassistenten (Brake Assist, BA) und automatische Notbremsen (Automatic Emergency Brake, AEB) zu den Sicherheitssystemen zählen.

Fahrerassistenzsysteme dringen von der automobilen Oberklasse kommend immer weiter in niedrigere Fahrzeugklassen vor. Komfort- und Sicherheitszuwachs durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen wird auch in der Kompakt- und Mittelklasse gewünscht. Ein Abstandsregeltempomat ist zurzeit gegen Aufpreis bereits in der Kompaktklasse im Ford Focus erhältlich. Für den 2012 auf den Markt kommenden Kleinwagen VW up! ist Active City Stop (ACS) Serienausstattung [VW12]. Auch gesetzliche Vorgaben fördern die Verbreitung von Assistenzsystemen. So ist beispielsweise das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) seit 1. November 2011 in jedem in der EU neu typisierten Pkw Pflicht [Bos11].

Die Diplomarbeit erfolgt im Rahmen des Projekts VDC-DAS (Vehicle Dynamics Controller - Driver Assistance Systems), basierend auf einem Kooperationsprojekt des Magna Project House mit dem Institut für Fahrzeugtechnik an der TU Graz. Das Magna Project House ist eine Kooperation von Magna Steyr Fahrzeugtechnik, Magna Powertrain und Magna E-Car.

### **1.2. Aufgabenstellung**

Zu Beginn der Arbeit gilt es, sich in die Thematik einzulesen, Begriffe rund um das Thema „Fahrerassistenzsystem“ zu definieren und betreffende Normen und Richtlinien systematisch aufzubereiten. Am Markt befindliche und in der Literatur erwähnte Systeme werden in einer Auflistung gesammelt (siehe Anhang A.1) und nach Funktion geordnet. Aufgrund der verschiedensten Bezeichnungen für oft ein und dasselbe System erleichtert eine einheitliche Wortwahl die Kommunikation ungemein. Aus dieser Auflistung werden die weiterhin zu betrachtenden Systeme festgelegt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit werden die Systeme

- Abstandsregeltempomat
  - Adaptive Cruise Control (ACC)
  - Full Speed Range Adaptive Cruise Control (FSRA)

als Komfortsysteme, und

- Frontalkollisionsschutzsysteme
  - Auffahrwarnsystem (Forward Collision Warning, FCW)
  - Elektronischer Bremsassistent (Brake Assist, BA)
  - Automatische Notbremse (Automatic Emergency Brake, AEB)
  - Active City Stop (ACS)

als Sicherheitssysteme behandelt. Aufbauend auf diese Festlegung werden die Systeme spezifiziert, ihre Systemgrenzen festgelegt und die Randbedingungen analysiert.

Außerdem gilt es die Anforderungen auf Gesamtfahrzeug- und Komponentenebene zu definieren. Aus den funktionalen Anforderungen und Komfort- und Sicherheitskriterien wird ein Erprobungsplan mit den erforderlichen Prüfmitteln und Ressourcen erstellt. Mit Fahrversuchen werden die theoretischen Vorarbeiten auf Praxistauglichkeit überprüft.

### **1.3. Ziele der Arbeit**

Mit dieser Arbeit sollen die zum Verständnis von längsdynamisch regelnden Fahrerassistenzsystemen notwendigen Grundlagen zusammengefasst, der Stand der Technik der derzeit und in naher Zukunft am Markt befindlichen Systeme abgebildet und die Anforderungen an längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme definiert werden.

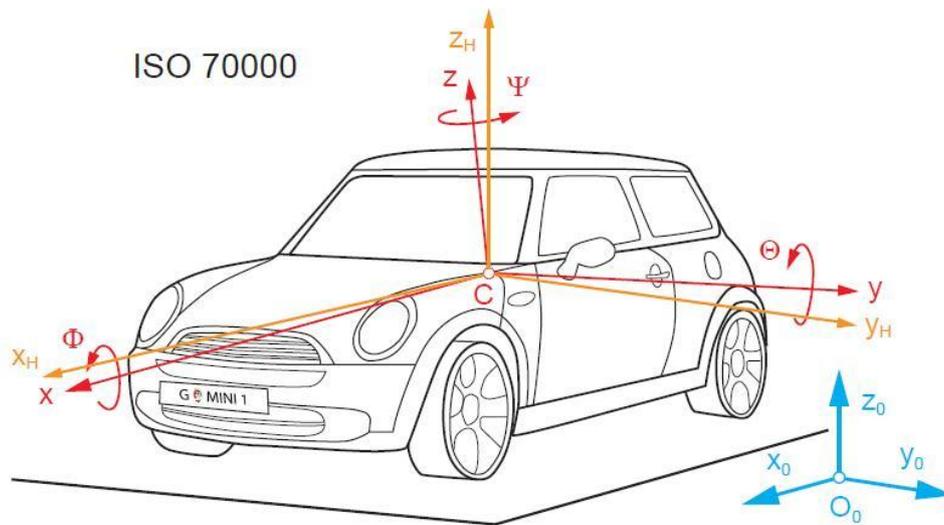
Ein wesentliches Ziel ist es, bestehende Erprobungsmethoden zu erfassen und daraus einen vereinfachten Erprobungsplan zu erstellen, mit dessen Hilfe in kurzer Zeit Aussagen über die Funktion eines Fahrerassistenzsystems gemacht werden können. In einem Fahrversuch wird der Erprobungsplan zur Anwendung gebracht und die dabei gewonnenen Erkenntnisse zur weiteren Vorgehensweise eingearbeitet.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Fahrzeugtechnik

#### Koordinatensysteme

Zur einheitlichen Betrachtung wird ein Koordinatensystem nach ISO 70000 (siehe Abbildung 2.1) definiert.



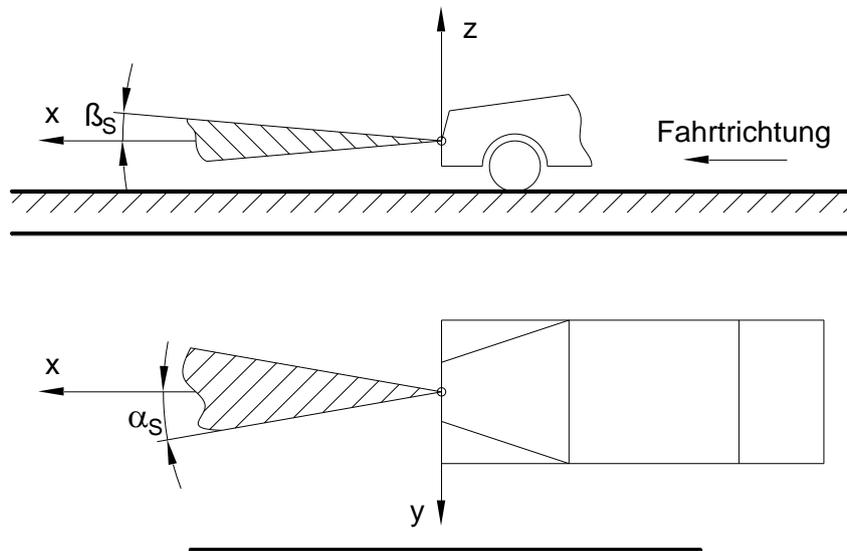
**Abbildung 2.1:** Fahrzeugbewegungen nach ISO [HW11a]

- $\{O_0, x_0, y_0, z_0\}$  ... Inertialsystem
- $\{C, x, y, z\}$  ... Fahrzeugfestes System
- $\{C, x_H, y_H, z_H\}$  ... Horizontiertes Fahrzeug-Referenzsystem

Die Bewegungen in den verschiedenen Richtung sind definiert als:

- |             |  |
|-------------|--|
| Translation | Longitudinal in x-Richtung: Fahren, Rucken<br>Lateral in y-Richtung: (Quer-) Schieben<br>Vertikal in z-Richtung: Heben, Springen |
| Rotation    | $\Psi$ um z-Achse: Gieren (yaw)<br>$\theta$ um y-Achse: Nicken (pitch)<br>$\Phi$ um x-Achse: Wanken, Rollen (roll).              |

Zur Betrachtung von Sensoren zur Umgebungserkennung wird ein fahrzeugfestes Koordinatensystem mit dem Ursprung im Sensor definiert (siehe Abbildung 2.2).



**Abbildung 2.2:** Koordinatensystem und Winkel am Sensor  
 $\alpha_S$  ... Halber horizontaler Sensoröffnungswinkel  
 $\beta_S$  ... Halber vertikaler Sensoröffnungswinkel

Längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme setzen die Betrachtung der Grundlagen der Fahrzeuglängsdynamik voraus. Dabei wird auf die translatorische Bewegung in longitudinaler (x-) Richtung eingegangen.

### Fahrzeuglängsdynamik

Die Fahrzeuglängsdynamik beschreibt die Bewegungen des Fahrzeugs in Längsrichtung, vor allem die Fahr- und Bremsleistung wird untersucht.

### Fahrwiderstände

Die Fahrwiderstände (siehe Abbildung 2.3) setzen sich zusammen aus [HW11a]:

- Rollwiderstandsmoment

$$M_{RV,H} = r a_r m g \cos \beta \quad (4.1)$$

- Luftwiderstand

$$W_L \approx \frac{1}{2} c_w \rho_L A_F v^2 \quad (4.2)$$

- Steigungswiderstand

$$W_S = m g \sin \beta \quad (4.3)$$

$r$	...	dynamischer Reifenradius	$\beta$	...	Steigungswinkel
$a_r$	...	Rollwiderstandsbeiwert	$c_w$	...	Luftwiderstandsbeiwert

$m$	...	Fahrzeugmasse	$\rho_L$	...	Dichte Luft
$g$	...	Erdbeschleunigung	$A_F$	...	Longitudinale Anströmfläche
$v$	...	Fahrzeuggeschwindigkeit			

### Bewegungsgleichungen für das Fahrzeug

Es gilt  $r=r_V=r_H$  ... dynamischer Reifenradius  
 Indizes  $V, H$  ... vorne, hinten

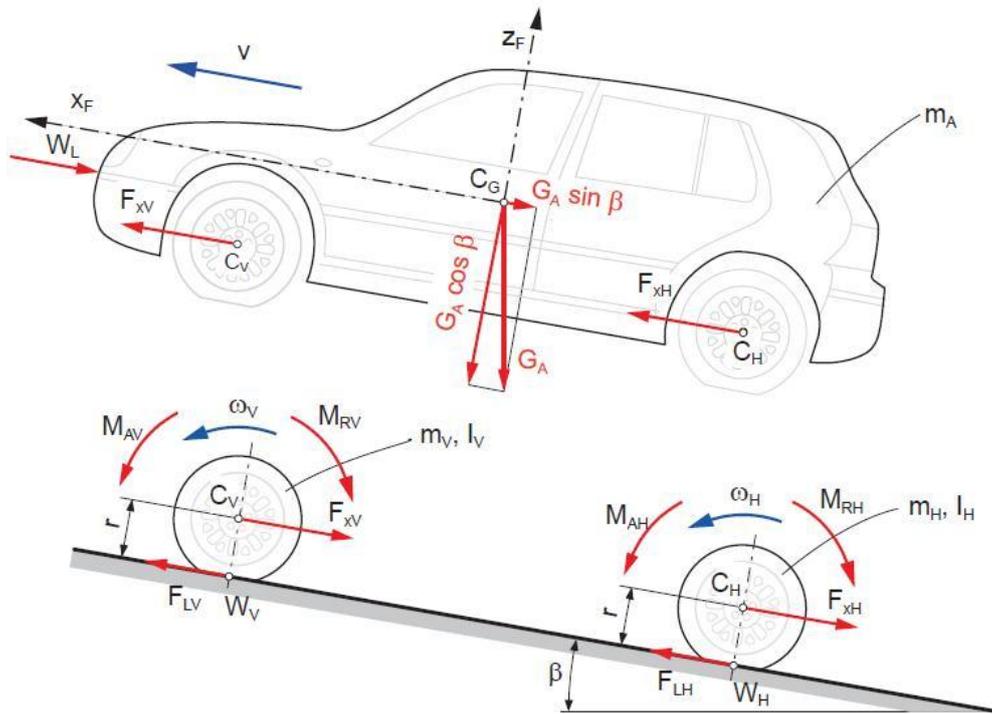


Abbildung 2.3: Fahrzeug, Achsen (Rad) und Fahrbahn [HW11a]

Für den Aufbau (siehe Abbildung 2.3 oben) und die Achsen (siehe Abbildung 2.3 unten) ergeben sich folgende Bewegungsgleichungen [HW11a]:

- Aufbau

$$m_A \dot{v} = F_{xV} + F_{xH} - W_L - W_S \quad (4.4)$$

- Achsen

$$m_{V,H} \dot{v} = F_{LV,H} + F_{xV,H} \quad (4.5)$$

$$I_{V,H} \dot{\omega}_{V,H} = M_{AV,H} - r F_{LV,H} - M_{RV,H} \quad (4.6)$$

Reduzierung der Winkelbeschleunigungen  $\dot{\omega}_{V,H}$  der Räder auf die translatorische Beschleunigung  $\dot{v}$  [HW11a]:

Der Antriebsschlupf  $s_A$  ist definiert als (siehe Abbildung 2.4)

$$s_A = \frac{v_{Sx}}{|\omega| r} = \frac{\omega r - v}{r|\omega|}. \quad (4.7)$$

Daraus ergibt sich die Winkelgeschwindigkeit bei Antriebsschlupf<sup>1</sup>  $\omega$  mit

$$\omega = \frac{v}{r} \frac{1}{1 - s_A} = \frac{v}{r} s^*. \quad (4.8)$$

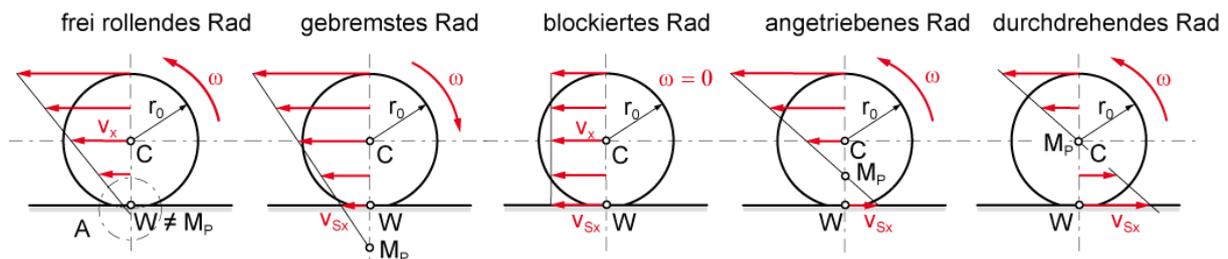
Der Bremschlupf  $s_B$  lautet

$$s_B = \frac{v_{Sx}}{|v|} = \frac{\omega r - v}{|v|}, \quad (4.9)$$

und es ergibt sich die Bremschlupf-Winkelgeschwindigkeit<sup>2</sup>  $\omega$  mit

$$\omega = \frac{v}{r} (1 + s_B) = \frac{v}{r} s^*. \quad (4.10)$$

In Abbildung 2.4 ist die Lage des Momentanpols je nach Antriebs- oder Bremszustand dargestellt.



**Abbildung 2.4:** Längsgeschwindigkeiten am frei rollenden und schlupfenden Rad [HW11b]:  
 $M_P$  ... Momentanpol,  $C$  ... Radmittelpunkt,  $W$  ... Radaufstandspunkt auf der Fahrbahn,  $\omega$  ... Winkelgeschwindigkeit,  $r_0$  ... undeformierter Reifenradius,  $v_x$  ... Fahrzeuglängsgeschwindigkeit,  $v_{Sx}$  ... Schlupfgeschwindigkeit;

Im Vergleich dazu ist die Winkelgeschwindigkeit für das frei rollende Rad [HW11a]:

$$\omega = \frac{v}{r} (s^*), \quad s^* = 1 \quad (4.11)$$

<sup>1</sup> für Vorwärtsfahrt ist  $|\omega| = \omega$

<sup>2</sup> für Vorwärtsfahrt ist  $|v| = v$

Die hier eingeführte Größe  $s^*$  ist wie folgt definiert:

$$s^* = \begin{cases} \frac{1}{1 - s_A} & \dots \text{ bei Antriebsschlupf} \\ 1 & \dots \text{ frei rollendes Rad} \\ 1 + s_B & \dots \text{ bei Bremschlupf} \end{cases} \quad (4.12)$$

Mit  $s^*$  ergibt sich bei der Addition von (4.5) und (4.6) für die beiden Achsen [HW11a]:

$$\left( m_{V,H} + s_{V,H}^* \frac{I_{V,H}}{r^2} \right) \dot{v} = -F_{x_{V,H}} + \frac{M_{A_{V,H}}}{r} - \frac{M_{R_{V,H}}}{r} \quad (4.13)$$

Durch Addition von Gleichung (4.4) und Gleichung (4.13) ergibt sich die Bewegungsgleichung für das Gesamtfahrzeug [HW11a]:

$$\underbrace{\left( m_A + m_V + m_H + s_V^* \frac{I_V}{r^2} + s_H^* \frac{I_H}{r^2} \right)}_{\text{verallgemeinerte Masse}} \dot{v} = \frac{M_{A_V} + M_{A_H}}{r} - \frac{M_{R_V} + M_{A_H}}{r} - W_L - W_S \quad (4.14)$$

Die verallgemeinerte Masse wird bei Antriebsschlupf größer und bei Bremschlupf kleiner [HW11a].

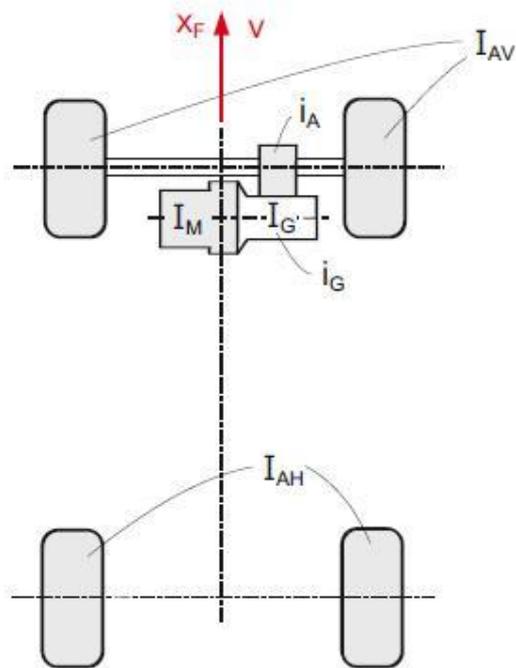
Die auf die Achsen reduzierten Massenträgheitsmomente  $I_{V,H}$  enthalten auch die Anteile des Antriebsstrangs (im Wesentlichen die Trägheiten von Motor und Getriebe  $I_M, I_G$ ), welche abhängig sind von

- $i_A$  ... Achsübersetzung (konstant),
- $i_G$  ... diskrete Getriebeübersetzung, oder
- $i_V$  ... variable Übersetzung durch Wandler, CVT und Viskokupplung.

Als Beispiel zur Ermittlung der reduzierten Massenträgheitsmomente sei ein Fahrzeug mit Vorderradantrieb und Schaltgetriebe (siehe Abbildung 2.5) angenommen.

$$I_V = I_{AV} + i_A^2 (I_G + i_G^2 I_M)$$

$$I_H = I_{AH}$$



**Abbildung 2.5:** Fahrzeug mit Vorderradantrieb und Schaltgetriebe [HW11b]

Bei Vernachlässigung des Reifenschlupfs ( $s_A = s_B = 0$ ) reduziert sich Gleichung (4.14) zu

$$\underbrace{\left( m_A + m_V + m_H + \frac{I_V + I_H}{r^2} \right)}_{m + \frac{I}{r^2} \dots \text{verallgemeinerte Masse } m^*} \dot{v} = \frac{M_{AV} + M_{AH}}{r} - \frac{M_{RV} + M_{RH}}{r} - W_L - W_S. \quad (4.15)$$

Die verallgemeinerte Masse  $m^*$  kann auch angeschrieben werden als

$$m^* = \lambda m = \left( 1 + \frac{I}{mr^2} \right) m, \quad (4.16)$$

der Drehmassenfaktor  $\lambda$  kennzeichnet den rotatorischen Trägheitsanteil. Typische Werte für den Drehmassenfaktor im Pkw-Bereich sind  $1,05 < \lambda < 1,08$  im höchsten Gang und  $1,25 < \lambda < 1,75$  im niedrigsten Gang [HW11a].

### Antriebs- und Bremsmomente

Auf die Räder der Fahrzeugachsen wirken folgende Antriebs- und Bremsmomente [HW11a]:

$$M = M_A + M_B = M_{A_{V,H}} + M_{B_{V,H}} \quad (4.17)$$

$M_{A_{V,H}}$  ist abhängig von Motormoment, Übersetzung und Wirkungsgrad des Antriebsstrangs sowie der Antriebsart.

Zum obigen Beispiel Vorderradantrieb, siehe Abbildung 2.5:

$$M_{AV} = \eta i_A i_G M_M(\omega_M) - \underbrace{i_A^2 (I_G + i_G^2 I_M)}_{\text{Trägheit Antriebsstrang}} \frac{\dot{v}}{r}$$

$$M_{AH} = 0$$

$M_M(\omega_M)$  ... Motormoment

$\eta$  ... Wirkungsgrad des Antriebsstranges, wobei typische Werte bei  $0,95 < \eta < 0,97$  für Vorder- oder Hinterradantrieb und  $0,92 < \eta < 0,95$  für Allradantrieb liegen [HW11a].

Das an den Rädern verfügbare Antriebsmoment  $M_A(v)$  kann für  $\dot{v} = 0$  und  $\omega_M = i_A i_G \frac{v}{r}$  als stationäres Lieferkennfeld (siehe Abbildung 2.6) dargestellt werden. Dabei ist im positiven Momentenbereich das maximale Antriebsmoment und im negativen Momentenbereich das maximale Schlepplmoment in den einzelnen Gängen dargestellt.

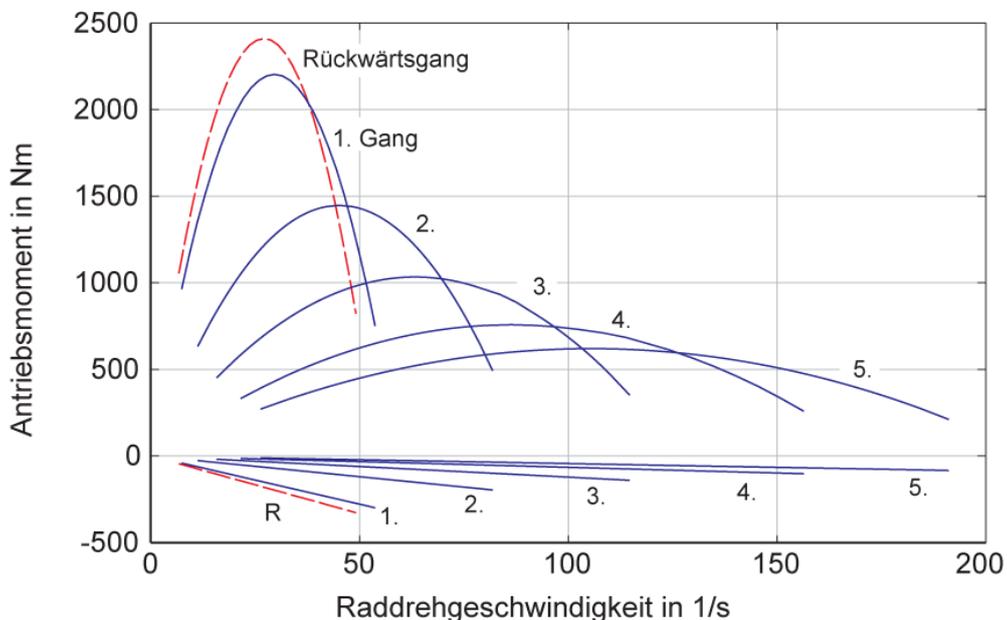
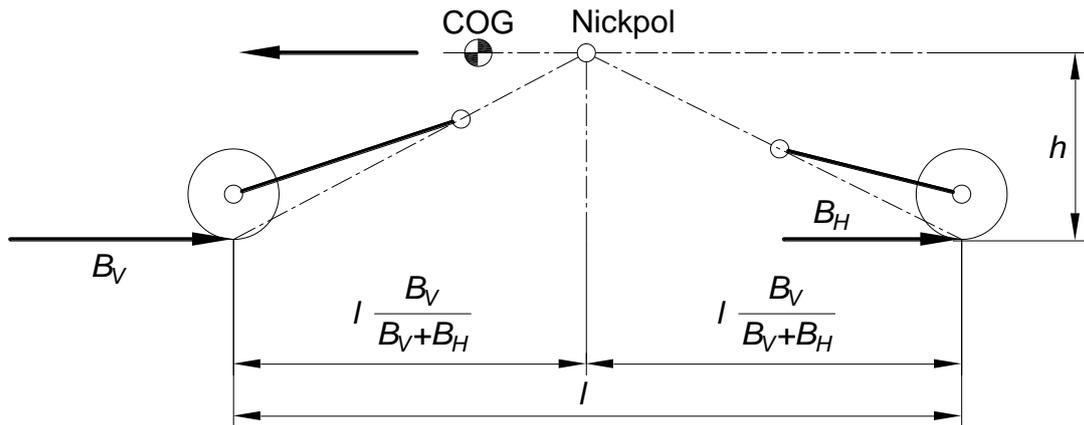


Abbildung 2.6: Stationäres Lieferkennfeld [HW11a]





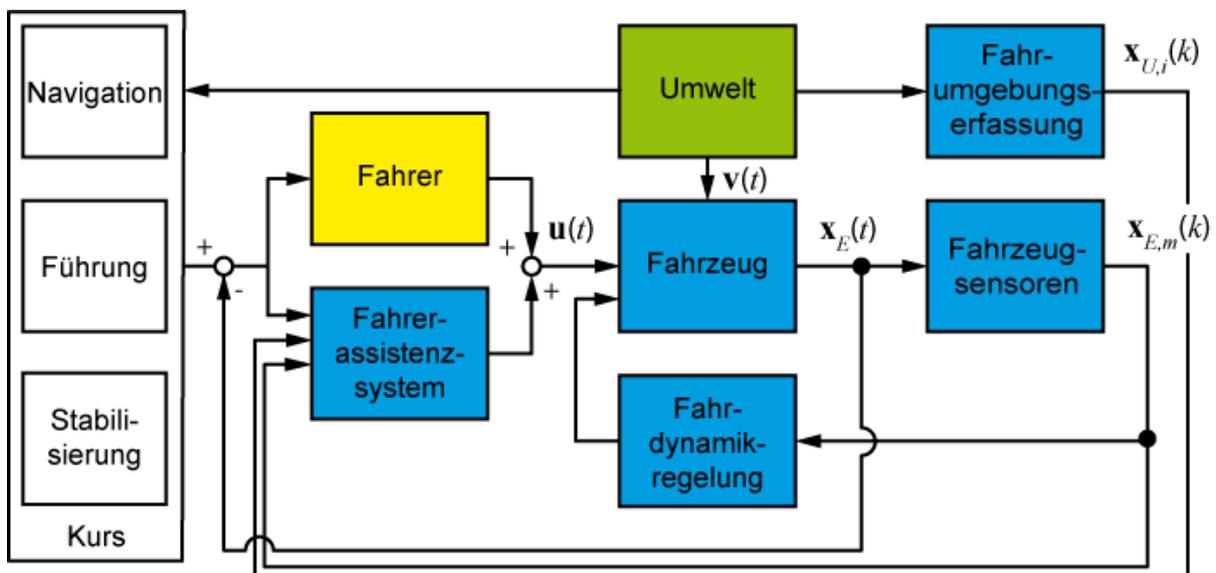
**Abbildung 2.8:** Vollständiger Nickausgleich durch geeignete Wahl der Radaufhängungsgeometrie:  
 COG (Center of Gravity) ... Schwerpunkt,  $B_V$  ... Bremskraft vorne,  $B_H$  ... Bremskraft hinten;

Ist das Fahrzeug mit einem aktiv geregelten Fahrwerk ausgestattet, besteht die Möglichkeit des Nickausgleichs durch schnelle Niveauregelung.

## 2.2. Fahrzeugsicherheit

Im System Fahrer-Fahrzeug-Umwelt stellt der Fahrer die größte Fehlerquelle dar. Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer in seiner Fahraufgabe und dienen dazu, Fehler des Fahrers zu minimieren bzw. die Auswirkung der Fehler gering zu halten.

Die Fahraufgabe besteht aus den Teilbereichen Navigation, Führung und Stabilisierung (siehe Abbildung 2.9). Der Fahrer wirkt mit den Steuersignalen  $\mathbf{u}(t)$  auf das Fahrzeug ein. Auf den dynamischen Zustand des Fahrzeugs  $\mathbf{x}_E(t)$  wirken zusätzliche Störgrößen der Umwelt  $\mathbf{v}(t)$  (Wind, Spurrillen, u.a.) ein. In der Fahrumgebungserkennung wird ein diskretes Modell der Umwelt  $\mathbf{x}_{U,i}(k)$  gebildet, das dem Fahrerassistenzsystem übermittelt wird. Fahrzeugsensoren nehmen den dynamischen Zustand des Fahrzeuges  $\mathbf{x}_E(t)$  auf und übermitteln diesen diskretisiert  $\mathbf{x}_{E,m}(k)$  an die Fahrdynamikregelung und an das Fahrerassistenzsystem. Die Fahrdynamikregelung befindet sich in einem inneren Regelkreis ohne Fahrereingriff, das Fahrerassistenzsystem sitzt hingegen parallel zum Fahrer und schaltet seine Steuersignale den Steuersignalen des Fahrers  $\mathbf{u}(t)$  auf [ETH<sup>+</sup>11].

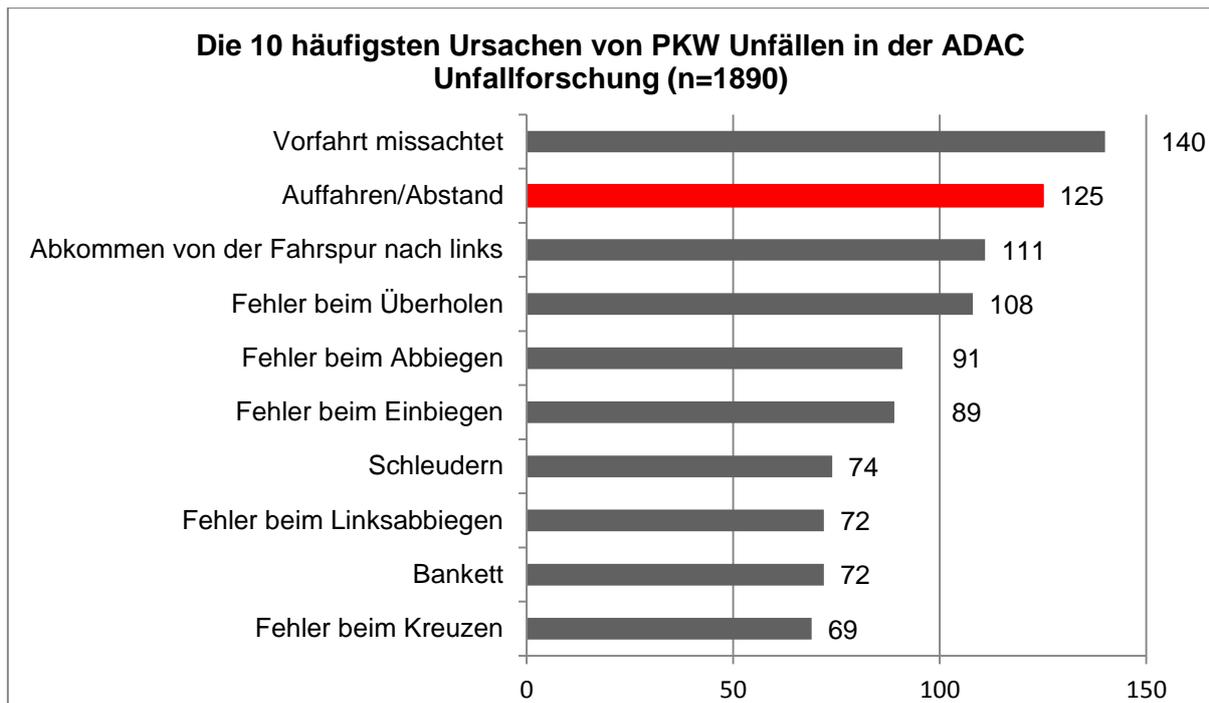


**Abbildung 2.9:** System Verkehr, modifiziert nach [Eic10]:

$\mathbf{u}(t)$  ... Steuersignal des Fahrers,  $\mathbf{x}_E(t)$  ... dynamischer Zustand des Fahrzeugs,  
 $\mathbf{v}(t)$  ... Störungen der Umwelt,  $\mathbf{x}_{U,i}(k)$  ... diskreter dynamischer Zustand von  $i$  Objekten der Umwelt,  
 $\mathbf{x}_{E,m}(k)$  ... diskreter dynamischer Zustand des Fahrzeugs;

Wie in Abbildung 2.10 ersichtlich, sind Auffahrunfälle die zweithäufigste Unfallart in der ADAC<sup>3</sup> Unfallforschung. In diese Statistik sind Unfälle mit mindestens einem beteiligten Pkw eingegangen. Die Gesamtanzahl der Fälle ist  $n = 1890$ , somit machen die Auffahrunfälle ( $n_A = 125$ ) einen Anteil von ca. 7% aus. Genau diese Unfälle können durch längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme minimiert werden, indem durch Präventivmaßnahmen die kritische Situation an sich vermieden wird oder im Falle des Eintretens einer kritischen Situation der Fahrer in seiner Handlung unterstützt wird bzw. das System die Handlung für den Fahrer übernimmt.

<sup>3</sup> ADAC: Allgemeiner Deutscher Automobil Club [www.adac.de](http://www.adac.de)



**Abbildung 2.10:** Unfallursachen, Daten aus [SPS11]

Kann ein Unfall verhindert werden, spricht man im Englischen von Collision avoidance (CaB - Collision avoidance by Braking), bei Maßnahmen zur Minderung der Unfallschwere von Collision mitigation (CmB - Collision mitigation by Braking).

## TTC

Eine wichtige Beschreibungsgröße für alle Abläufe unmittelbar vor einem drohenden Unfall ist die sogenannte Time to Collision (TTC, Zeit bis zum Aufprall). TTC ist definiert als

$$TTC = \frac{d}{\Delta v} \quad (2.20)$$

mit dem Abstand  $d$  und der Relativgeschwindigkeit  $\Delta v$ .

Die Phasen eines Verkehrsunfalls sind in Abbildung 2.11 dargestellt. Im obersten Balken ist der Verlauf von normaler Fahrsituation über kritische Fahrsituation, Vorkollisionsphase, Kollisionsphase bis zur Nachkollisionsphase dargestellt, darunter die Übergänge zwischen den einzelnen Phasen. Im mittleren Balken ist die Strategie eingetragen, mit der den Fahrzeuginsassen in der jeweiligen Situation am besten geholfen werden kann. Der unterste abgestufte Balken unterteilt zwischen Komfort, primärer-, sekundärer- und tertiärer Sicherheit. Primäre Sicherheitssysteme dienen dazu, eine Kollision erst gar nicht stattfinden zu lassen bzw. die Unfallschwere zu reduzieren, sekundäre Sicherheitssysteme sollen bei erfolgter Kollision die Unfallfolgen möglichst gering halten und tertiäre Sicherheitssysteme sorgen für eine möglichst schnelle und gute Versorgung der Verunfallten.

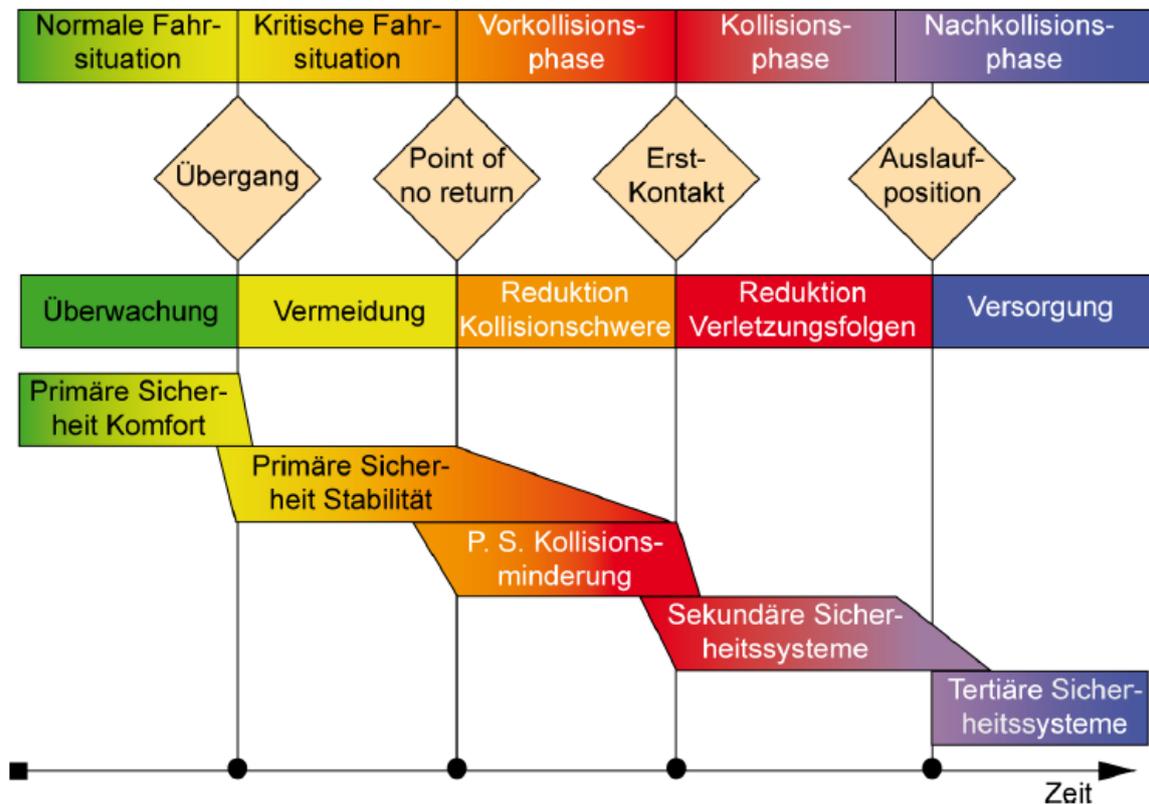


Abbildung 2.11: Phasen eines Verkehrsunfalls [ES11]

Beispiele für primäre Sicherheitssysteme sind Fahrerassistenzsysteme, Sichtverbesserungssysteme und Systeme die ins Handling eingreifen. Zu den sekundären Sicherheitssystemen zählen strukturelle Maßnahmen am Fahrzeug, Airbags, intelligente pre-crash Systeme, Rückhaltesysteme und aktive Sitze. Tertiäre Sicherheitssysteme sind Systeme, die die Versorgung der Unfallopfer beinhalten, wie eCall<sup>4</sup>, automatische Unfallerkennung und Unfalldatenrekorder [BAD<sup>+</sup>07].

Die betrachteten längsdynamisch regelnden Fahrerassistenzsysteme können nach der Darstellung in Abbildung 2.11 bis zur Kollision Nutzen bringen - zum Teil auch darüber hinaus, wenn man beispielsweise ein Festbremsen des Fahrzeuges nach erfolgter Kollision als Zusatzfunktion von BA oder AEB betrachtet. Mit dem Festbremsen soll ein Fahrzeug nach erfolgter Kollision möglichst schnell zum Stillstand gebracht werden, um Sekundärkollisionen zu vermeiden.

### 2.3. Rechtliche Rahmenbedingungen

#### Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr

Im Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr 1968, das von vielen Staaten der Welt, nicht aber beispielsweise von China und den USA, ratifiziert worden ist, heißt es in Kapitel II „Verkehrsregeln“:

<sup>4</sup> eCall: Automatische Notrufverständigung bei einem Unfall

Artikel 8, Absatz 5: „Jeder Lenker (Führer von Tieren) muß dauernd sein Fahrzeug beherrschen oder seine Tiere führen können.“

und

Artikel 13, Absatz 1: „Jeder Fahrzeuglenker muß unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können und um ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen. ...“[WÜ68].

Die gängige Interpretation dieser Teile des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr ist, dass in Situationen, in denen der Fahrer eine Kollision ohne Eingriff des Fahrerassistenzsystems vermeiden kann, das Fahrzeug eine Übersteuerbarkeit des Fahrerassistenzsystems gewährleisten **muss**. In Situationen, in denen der Fahrer eine Kollision nicht vermeiden kann, **kann** das Fahrzeug eine Übersteuerbarkeit des Fahrerassistenzsystems bereitstellen [Zas11].

In Kapitel III „Bedingungen für die Zulassung der Kraftfahrzeuge“ sind Fahrerassistenzsysteme nicht erwähnt, daher argumentieren manche Juristen, dass FAS zulassungsrechtlich nicht relevant sind.

### **Verordnung (EG) Nr. 661/2009**

In der „Verordnung (EG) Nr. 661/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen, Kraftfahrzeuganhängern und von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge hinsichtlich ihrer allgemeinen Sicherheit“ ist auf Seite 3 angeführt:

„(24) Elektronische Fahrdynamik-Regelsysteme, Notbrems-Assistenzsysteme und Spurhaltewarnsysteme haben ein hohes Unfallverhütungspotenzial. Deshalb sollten Anforderungen an solche Systeme von der Kommission im Einklang mit den UN/ECE-Regelungen für diejenigen Fahrzeugklassen festgelegt werden, bei denen ihre Anwendung zweckmäßig ist und bei denen erwiesen ist, dass sie das allgemeine Sicherheitsniveau anheben. Ausreichende Vorlaufzeiten bis zur Umsetzung dieser Anforderungen sollten vorgesehen werden, damit die Durchführungsmaßnahmen erlassen werden können, sowie danach für die Entwicklung und Anwendung dieser komplexen Technologien am Fahrzeug.“

und in Kapitel II „Pflichten der Hersteller“:

Artikel 10, Absatz 1: „Vorbehaltlich der Befreiungen gemäß Artikel 14 Absatz 3 Buchstabe a müssen Fahrzeuge der Klassen  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $N_2$  und  $N_3$ <sup>5</sup> mit einem Notbrems-Assistenzsystem

---

<sup>5</sup>  $M_2$ : Fahrzeuge für Personenbeförderung mit >8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer höchstzulässigen Gesamtmasse (hzGM)  $\leq 5$  t;

$M_3$ : Fahrzeuge für Personenbeförderung mit >8 Sitzplätzen außer dem Fahrersitz und einer hzGM  $> 5$  t;

$N_2$ : Fahrzeuge für Güterbeförderung mit  $3,5 < \text{hzGM} \leq 12$  t

$N_3$ : Fahrzeuge für Güterbeförderung mit hzGM  $> 12$  t [Hel12]

*ausgerüstet sein, das den Vorschriften dieser Verordnung und ihrer Durchführungsmaßnahmen entspricht.“*

Artikel 14, Absatz 3, Buchstabe a: *„Befreiungen bestimmter Fahrzeuge oder Klassen von Fahrzeugen der Klassen M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, N<sub>2</sub> und N<sub>3</sub> von der Verpflichtung, diese Fahrzeuge gemäß Artikel 10 mit Fahrerassistenzsystemen auszustatten, wenn sich im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse und unter Berücksichtigung aller relevanten Sicherheitsaspekte herausstellt, dass eine Ausstattung mit diesen Systemen bei diesen Fahrzeugen oder Klassen von Fahrzeugen nicht zweckmäßig ist.“* [EG09]

Die Verordnung tritt für Neutypisierungen am 01. November 2013 und für Neufahrzeuge am 01. November 2015 in Kraft [Zas11].

Aus diesen Anforderungen für Nutzfahrzeuge lässt sich ableiten, dass es auf längere Sicht auch eine Pflichtausstattung für Pkws mit AEB geben wird.

### **UN/ECE-R13-H Anhang 8 und UN/ECE-R13 Anhang 18**

Das funktionale Sicherheitskonzept des Fahrerassistenzsystems (sofern es mit den Bremsen zu tun hat) muss mit den Anforderungen in

*„Regelung Nr. 13-H der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Personenkraftwagen hinsichtlich der Bremsen, Anhang 8 — Spezielle Vorschriften für die Sicherheitsaspekte komplexer elektronischer Fahrzeugsteuersysteme“* [R13-H] und in

*„Regelung Nr. 13 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen der Klassen M, N und O<sup>6</sup> hinsichtlich der Bremsen, Anhang 18 -- Spezielle Vorschriften für die Sicherheitsaspekte komplexer elektronischer Fahrzeugsteuersysteme“* [R13] übereinstimmen.

### **Normen**

Normen haben zwar keinen Gesetzesstatus, doch stellen sie den Stand der Technik dar und werden im Regressfall als Maßstab heranangezogen. Wie aus Tabelle 2.1 ersichtlich, gibt es für ACC, FSRA und FCW bereits ISO-Normen und SAE-Standards, die Norm ISO 22839 für BA und AEB ist in Entstehung, aber bislang noch nicht erschienen.

---

<sup>6</sup> M: Kraftwagen zur Personenbeförderung mit mindestens vier Rädern

N: Kraftfahrzeuge für Güterbeförderung mit mindestens vier Rädern (Lastkraftwagen)

O: Anhänger (einschließlich Sattelanhänger) [Hel12]

**Tabelle 2.1:** Relevante Normen bzw. Standards

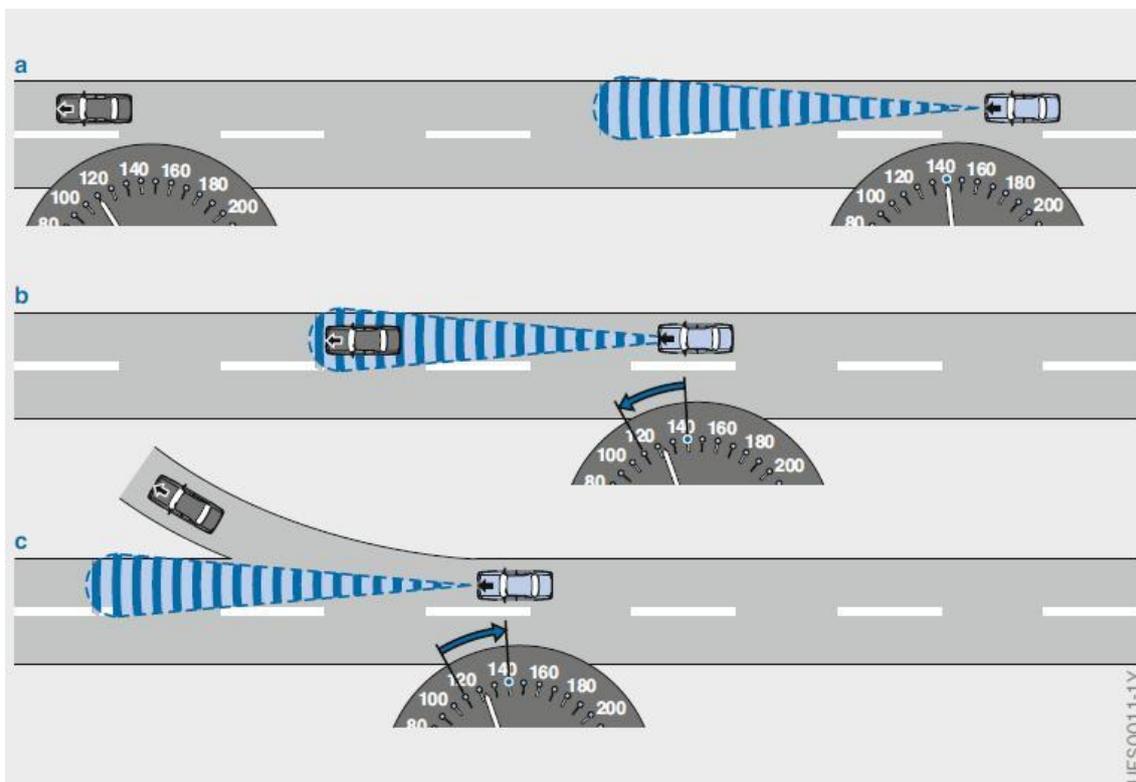
Norm	Bezeichnung	Anmerkung	FAS
ISO 15622	Intelligent transport systems -- Adaptive Cruise Control systems -- Performance requirements and test procedures		ACC
ISO 15623	Transport information and control systems -- Forward vehicle collision warning systems -- Performance requirements and test procedures		FCW
ISO 17386	Transport information and control systems -- Manoeuvring Aids for Low Speed Operation (MALSO) -- Performance requirements and test procedures		
ISO 22178	Intelligent transport systems -- Low speed following (LSF) systems -- Performance requirements and test procedures		FSRA
ISO 22179	Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems -- Performance requirements and test procedures		FSRA
ISO 26262	Road vehicles -- Functional safety		alle
ISO 22839	Intelligent Transport System -- Forward Vehicle Collision Mitigation Systems -- Operation, Performance, and Verification Requirements	in Entstehung	BA, AEB
SAE J2399	Adaptive Cruise Control (ACC) Operating Characteristics and User Interface		ACC
SAE J2400	Human Factors in Forward Collision Warning Systems: Operating Characteristics and User Interface Requirements		FCW

### 3. Stand der Technik

#### 3.1. Abstandsregeltempomat

Ein Abstandsregeltempomat besitzt zusätzlich zur Funktion des Tempomaten, die Fahrgeschwindigkeit auf einen einstellbaren Wert zu regeln und konstant zu halten, die Funktion, den Abstand des eigenen Fahrzeugs (in weiterer Folge als Ego-Fahrzeug bezeichnet) zu einem vorausfahrenden Fahrzeug (in weiterer Folge Target-Fahrzeug genannt) zu regeln. In Freifahrt wird die eingestellte Fahrgeschwindigkeit geregelt, in Folgefahrt der Abstand zum Target-Fahrzeug (siehe Abbildung 3.1).

Mit Hilfe von in der Fahrzeugfront des Ego-Fahrzeugs verbauten Sensoren wird das Target-Fahrzeug erkannt und über eine entsprechende Regelung und Aktuatorik die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs angepasst.

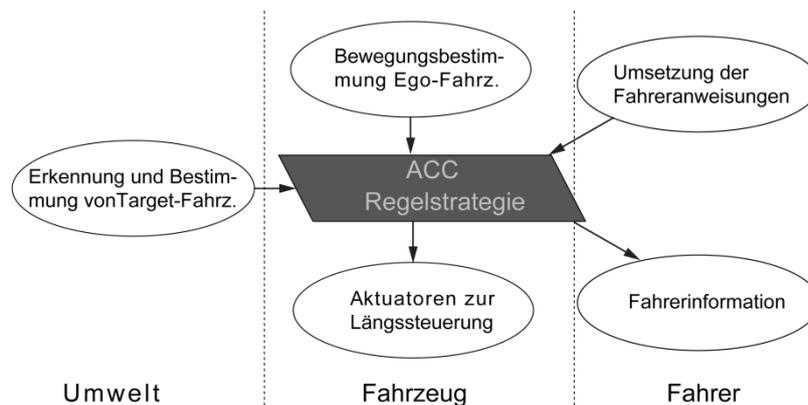


**Abbildung 3.1:** ACC-Funktion [Rei10]: **a** Annäherung an ein vorausfahrendes Fahrzeug in Freifahrt, **b** Abbremsen und Hinterherfahren in Folgefahrt, **c** nach Abbiegen des vorausfahrenden Fahrzeugs Beschleunigen und Wiederaufnehmen der eingestellten Wunschgeschwindigkeit

In Abbildung 3.1 sind die wesentlichen Zustände eines Abstandsregeltempomaten dargestellt: Das Ego-Fahrzeug befindet sich in Freifahrt. Im Erkennungsbereich des ACC-Sensors befindet sich kein relevantes Objekt. Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs wird konstant gehalten (**a** in Abbildung 3.1). Durch die Annäherung des Ego-Fahrzeugs an ein vorausfahrendes langsamerer Fahrzeug kommt dieses in den Erkennungsbereich des ACC-Sensors und wird als Ziel (Target-Fahrzeug) erkannt. Die Fahrgeschwindigkeit des Ego-

Fahrzeugs wird durch Motoransteuerung oder Bremsengriff an die Geschwindigkeit des Target-Fahrzeugs angepasst. Das Ego-Fahrzeug befindet sich in Fahrgeschwindigkeit hinter dem Target-Fahrzeug, dabei wird die Zeitlücke (Definition siehe Abbildung 3.5) der beiden Fahrzeuge durch Motoransteuerung oder Bremsengriff konstant gehalten. Ändert das Target-Fahrzeug seine Fahrgeschwindigkeit, passt mit ACC auch das Ego-Fahrzeug seine Geschwindigkeit an (**b** in Abbildung 3.1). Verschwindet das Target-Fahrzeug aus dem Erkennungsbereich des ACC-Sensors, indem es abbiegt oder die Spur wechselt, beschleunigt das Ego-Fahrzeug wieder auf die zuvor eingestellte Geschwindigkeit. Das Ego-Fahrzeug befindet sich wieder in Freifahrt (**c** in Abbildung 3.1).

Unter Verwendung der Information der Umgebung, die Erkennung und Entfernungsbestimmung von vorausfahrenden Fahrzeugen, die Information über die eigene Fahrzeugbewegung und der Umsetzung der Fahreranweisungen gibt der Regler des Abstandsregeltempomaten die Stellbefehle an die Aktuatoren zur Längsregelung und über die Mensch-Maschine-Schnittstelle die entsprechende Information an den Fahrer (siehe Abbildung 3.2).



**Abbildung 3.2:** Funktionsstruktur ACC, modifiziert nach [ISO15622]

Der ACC Sensor (siehe Abbildung 3.3) bestimmt den Relativabstand und die Relativgeschwindigkeit der Target-Fahrzeuge. Mit Hilfe der Bewegungsinformation über das eigene Fahrzeug (Gierrate, Querbewegung, Radwinkelgeschwindigkeiten, Lenkwinkel) erfolgt eine Einteilung der Target-Fahrzeuge, ob sie sich in der eigenen Spur befinden, oder nicht.

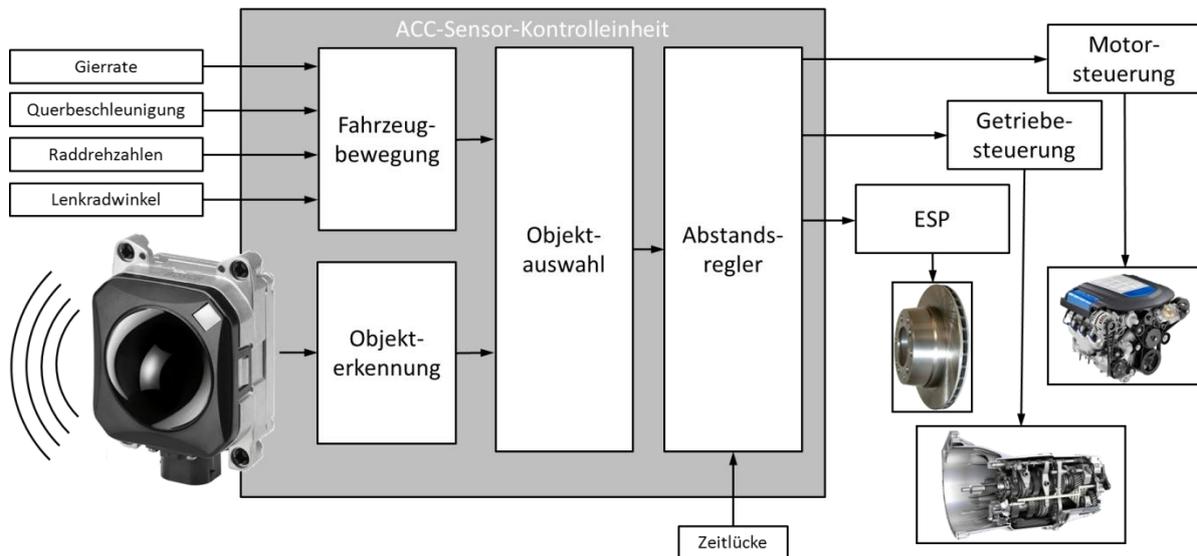


Abbildung 3.3: ACC-Komponenten

Wird vom ACC-Sensor kein Zielobjekt in der eigenen Fahrspur erkannt (Freifahrt) erfolgt eine Regelung wie bei einem konventionellen Tempomat. Über die Motorsteuerung und über einen Bremseingriff (ESP in Abbildung 3.3) wird die vom Fahrer eingestellte Wunschgeschwindigkeit konstant gehalten.

Detektiert der ACC-Sensor ein langsames Target-Fahrzeug in der eigenen Fahrspur und in seinem Erkennungsbereich (typischerweise 200 m), schaltet das ACC auf die Regelstrategie Folgefahrt um und die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs wird reduziert. Das kann sowohl durch Eingriff in die Motorsteuerung, durch Bremseingriff oder als Kombination von Motorbremswirkung und Bremseingriff geschehen. Es wird nun der Abstand zum Target-Fahrzeug in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit geregelt. Die dabei einzuhaltende Zeitlücke  $\tau$  zwischen Target- und Ego-Fahrzeug lässt sich bei den meisten Systemen über die Bedieneinheit in Grenzen (z.B.  $0,8 \text{ s} \leq \tau \leq 2,2 \text{ s}$ ) einstellen.

Beschleunigt das Target-Fahrzeug, folgt das Ego-Fahrzeug dem Target-Fahrzeug bis zur zuvor eingestellten Wunschgeschwindigkeit. Auch wenn das Target-Fahrzeug die Fahrspur verlässt, beschleunigt das Ego-Fahrzeug bis auf die eingestellte Wunschgeschwindigkeit.

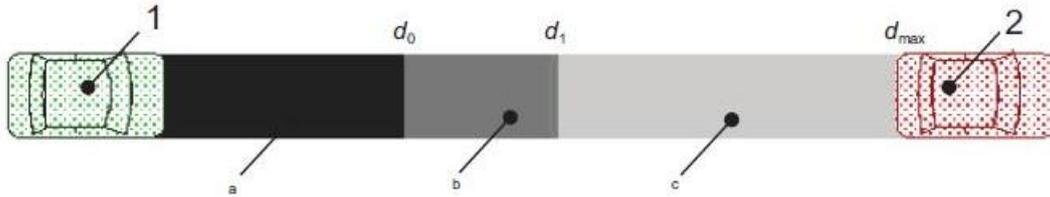
Hinsichtlich des Geschwindigkeitsbereichs, in dem der Abstandsregeltempomat funktioniert, gibt es die Unterscheidung zwischen Adaptive Cruise Control (ACC), das in einem Geschwindigkeitsbereich oberhalb von ca. 30 km/h funktioniert und Full Speed Range Adaptive Cruise Control (FSRA), das vom Stillstand weg funktioniert:

### 3.1.1. Adaptive Cruise Control (ACC)

**Definition:** Hält die Geschwindigkeit über ca. 30 km/h des Fahrzeugs konstant und verringert diese, wenn der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug zu gering wird bzw. erhöht die Geschwindigkeit, wenn der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug zu groß wird.

Ein ACC funktioniert in einem Geschwindigkeitsbereich von typischerweise 30 km/h bis 200 km/h. Da ACC im Langsamfahrbereich unter einer Geschwindigkeit von 30 km/h nicht

funktioniert, reichen einfachere Sensoren als beim FSRA aus, der Erkennungsbereich der Sensoren braucht durch die Mindestgeschwindigkeit direkt vor dem Fahrzeug nicht so groß zu sein bzw. ist eine Erkennung von Objekten unmittelbar vor dem Ego-Fahrzeug nicht erforderlich (siehe Abbildung 3.4).

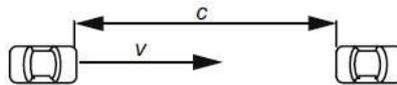


**Abbildung 3.4:** Erkennungsbereich – Zonen [ISO15622]: **1** Ego-Fahrzeug, **2** Target-Fahrzeug, **a** Erkennung nicht notwendig, **b** Erkennung von Fahrzeugen notwendig, **c** Bestimmung des Abstandes notwendig;

In Abbildung 3.4 ist der Bereich vor dem Ego-Fahrzeug in Zonen eingeteilt. In Zone **a** ist eine Erkennung nicht notwendig, in Zone **b** ist eine Erkennung von Fahrzeugen notwendig, aber die Bestimmung von Abstand und Relativgeschwindigkeit nicht erforderlich und in Zone **c** ist die Bestimmung des Abstandes zwischen Ego- und Target-Fahrzeug notwendig [ISO15622].

Der maximale Abstand  $d_{max}$  errechnet sich aus der maximal einstellbaren Zeitlücke (siehe Abbildung 3.5) bei höchster Geschwindigkeit  $\tau_{max}(v_{set\_max})$  und der maximalen Geschwindigkeit  $v_{set\_max}$  [ISO15622]:

$$d_{max} = \tau_{max}(v_{set\_max}) \cdot v_{set\_max} \quad (3.1)$$



**Abbildung 3.5:** Zeitlücke  $\tau$  [ISO15622]:  
 $\tau = \frac{c}{v}$  mit  $c$  ... Abstand und  $v$  ... Fahrgeschwindigkeit

Der Abstand  $d_1$  errechnet sich aus der minimal einstellbaren Zeitlücke bei minimaler Geschwindigkeit  $\tau_{min}(v_{low})$  und der minimalen Geschwindigkeit, bei der das ACC noch funktioniert [ISO15622]:

$$d_1 = \tau_{min}(v_{low}) \cdot v_{low} \quad (3.2)$$

Der Abstand  $d_0$  errechnet sich wie folgt aus der minimalen Geschwindigkeit, bei der das ACC noch funktioniert [ISO15622]:

$$d_0 = \max[2, (0,25 \cdot v_{low})] \quad (3.3)$$

Nach ISO 15622 erfolgt eine Einteilung von ACC-Systemen in verschiedene Typen (siehe Tabelle 3.1). Dabei erfolgt eine Unterscheidung, ob eine manuelle Kupplungsbetätigung des Fahrers erforderlich ist und ob das ACC-System selbsttätig bremst.

**Tabelle 3.1:** Einteilung von ACC-Systemen nach Funktion [ISO15622]

Typ	Manuelle Kupplungsbetätigung erforderlich	Aktiver Bremsengriff
1a	Ja	Nein
1b	Nein	Nein
2a	Ja	Ja
2b	Nein	Ja

Die Typen 1a und 1b aus Tabelle 2.1 ohne Bremsengriff sind nicht mehr Stand der Technik. Bei Fahrzeugen mit Handschaltgetrieben muss der Fahrer manuell die Kupplung betätigen und den Schaltvorgang durchführen (Typ 2a). Durch die Getriebebetätigung (Gangwechsel, Wechsel von einem Gang in den Leerlauf, Wechsel vom Leerlauf in einen Gang ...) wird die ACC-Funktion ein- oder ausgeschaltet. Bei Fehlbedienung durch den Fahrer kann die ACC-Funktion auch nach dem Schaltvorgang ausgeschaltet bleiben.

Des Weiteren sieht die ISO 15622 eine Einteilung in Performance Classes je nach Kurvenfähigkeit vor. Aus Tabelle 3.2 kann abgelesen werden, dass für Performance Class I keine Kurvenfähigkeit definiert ist, für Performance Class II der Kurvenradius, bei dem ACC noch funktioniert, größer oder gleich 500 m ist, Performance Class III funktioniert bis zu einem Kurvenradius von 250 m und Performance Class IV bis 125 m. Die maximale Fahrgeschwindigkeit eines vorausfahrenden Fahrzeuges, hinter dem in einer Kurve eine Folgefahrt möglich sein muss, ist gegeben mit:

$$v_{Circle} = \sqrt{a_y \cdot R_{min}} \quad (3.4)$$

Die Quereschleunigung  $a_y$  ist, abhängig von der Performance Class, in den Beziehungen (3.7) und (3.8) angegeben, der minimale Kurvenradius  $R_{min}$  ist Tabelle 3.2 zu entnehmen.

**Tabelle 3.2:** Einteilung von ACC-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO15622]

Performance Class	Minimaler Kurvenradius $R_{min}$ in m
I	Kurvenfähigkeit nicht definiert
II	$\geq 500$
III	$\geq 250$
IV	$\geq 125$

Die Grenzen für Längsbeschleunigung  $a_x$ , Längsruck  $\gamma_x$  und Querbearleunigung  $a_y$  für ACC sind in der ISO 15622 mit

$$-3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \leq a_x \leq 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{gemittelt über 2 s} \quad (3.5)$$

$$|\gamma_x| \leq 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^3} \quad \text{gemittelt über 1 s} \quad (3.6)$$

$$|a_{yII}| \leq 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Perf. Class II} \quad (3.7)$$

$$|a_{yIII,IV}| \leq 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad \text{Perf. Class III, IV} \quad (3.8)$$

festgelegt.

### 3.1.2. Full Speed Range Adaptive Cruise Control (FSRA, FSRACC)

**Definition:** Hält die Geschwindigkeit des Fahrzeugs konstant und verringert diese, wenn der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug zu gering wird bzw. erhöht diese, wenn der Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug zu groß wird. Es gibt keine Mindestgeschwindigkeit.

FSRA funktioniert in einem Geschwindigkeitsbereich von 0 bis ca. 200 km/h, das heißt, das Fahrzeug wird bis in den Stand automatisch verzögert. Das Wiederauffahren erfordert bei manchen Systemen eine Aktion des Fahrers, andere Systeme fahren innerhalb einer gewissen Stillstandszeit automatisch wieder an. Für die Nahbereichserkennung direkt vor dem Ego-Fahrzeug beim Auffahren und im Langsamfahrbereich sind aufwändigere Sensoren mit einem größeren Erkennungsbereich (siehe Abbildung 4.11) als für ACC, das erst ab einer Mindestgeschwindigkeit von ca. 30 km/h funktioniert, erforderlich.

In Abbildung 3.4 ist der Bereich vor dem Ego-Fahrzeug für FSRA in Zonen eingeteilt. Ist ein vorausfahrendes Fahrzeug im Entfernungsbereich  $d_1$  bis  $d_{max}$  ( $c$  in Abbildung 3.4), soll das FSRA die Entfernung zum vorausfahrenden Fahrzeug erfassen. Das vorausfahrende Fahrzeug soll in einem Querbereich, der mindestens der Fahrzeugbreite entspricht, erkannt werden. Der maximale Abstand  $d_{max}$  errechnet sich aus der maximal einstellbaren Zeitlücke

(Definition siehe Abbildung 3.5) bei höchster Geschwindigkeit  $\tau_{\max}(v_{set\_max})$  und der maximalen Geschwindigkeit  $v_{set\_max}$  [ISO22179]:

$$d_{max} = \tau_{\max}(v_{set\_max}) \cdot v_{set\_max} \quad (3.9)$$

Ist ein Target-Fahrzeug im Entfernungsbereich  $d_0$  bis  $d_1$  (**b** in Abbildung 3.4), soll es erkannt werden. Eine Entfernungs- oder Geschwindigkeitsbestimmung ist nicht erforderlich [ISO22179]:

$$d_1 = 4 \text{ m} \quad (3.10)$$

Befindet sich ein Fahrzeug in einem Abstand kleiner als  $d_0$  (**a** in Abbildung 3.4), braucht das FSRA das Fahrzeug nicht zu erkennen [ISO22179]:

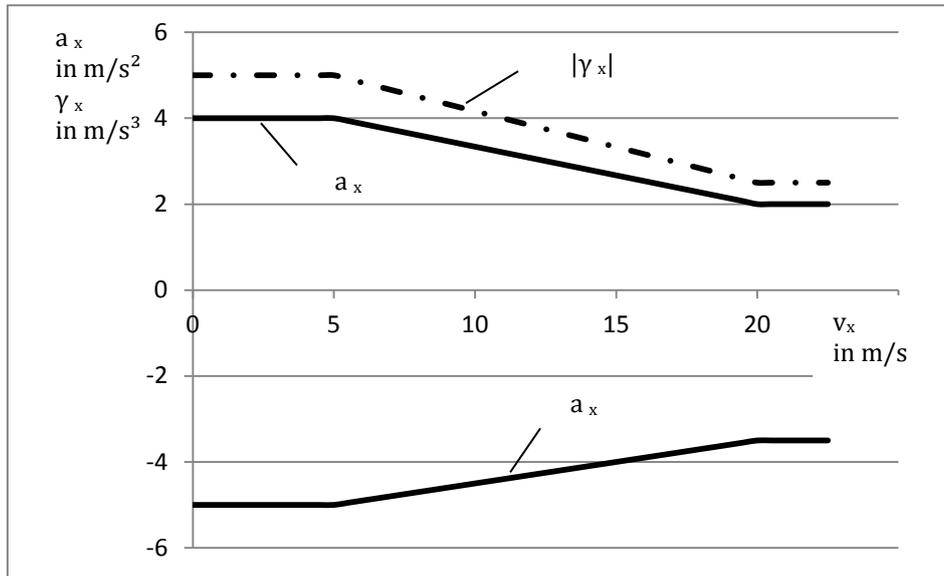
$$d_0 = 2 \text{ m} \quad (3.11)$$

Wie die Norm ISO 15622 für ACC sieht auch die Norm ISO 22179 für FSRA eine Einteilung in Performance Classes je nach Kurvenfähigkeit vor. Aus Tabelle 3.3 ist ersichtlich, dass Performance Class I für FSRA nicht existiert, für Performance Class II der Kurvenradius, bei dem das FSRA-System noch funktioniert, größer oder gleich 500 m ist, Performance Class III funktioniert bis zu einem Kurvenradius von 250 m und Performance Class IV bis 125 m.

**Tabelle 3.3:** Einteilung von FSRA-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO22179]

Performance Class	Minimaler Kurvenradius $R_{min}$ in m
I	Reserviert für ACC ISO 15622, nicht für FSRA anwendbar
II	$\geq 500$
III	$\geq 250$
IV	$\geq 125$

Grenzen für Längsbeschleunigung  $a_x$ , und Längsruck  $\gamma_x$  sind für FSRA in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v_x$  in ISO 22179 festgelegt, wie Abbildung 3.6 zeigt.



**Abbildung 3.6:** Beschleunigungs- und Ruckgrenzen für FSRA nach ISO 22179

Die Querbewegung  $a_y$  in Kurvenfahrt ist laut ISO 22179 für Performance Class II mit

$$|a_{yII}| \leq 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3.12)$$

und für Performance Class III und IV mit

$$|a_{yIII,IV}| \leq 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3.13)$$

begrenzt.

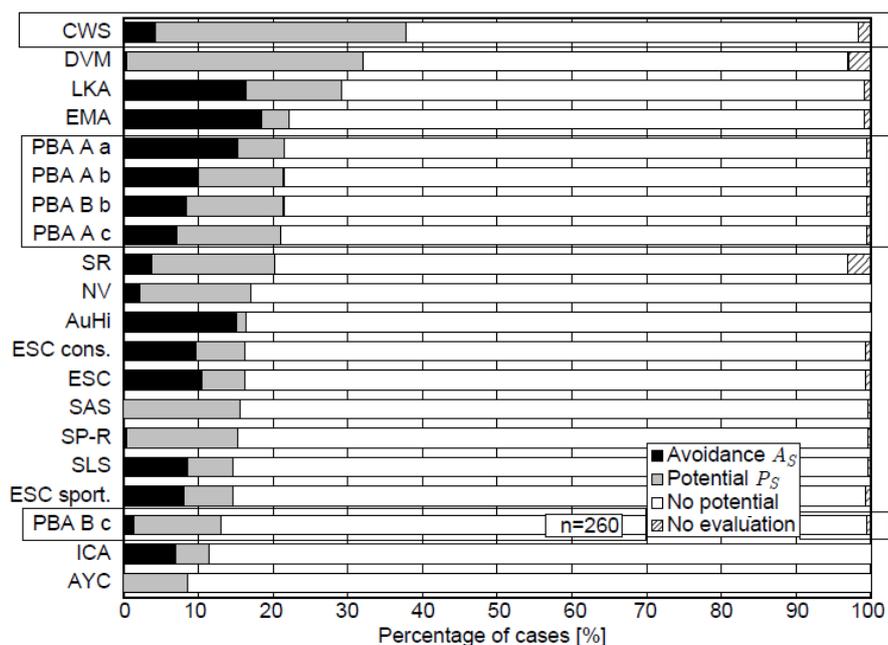
### 3.2. Frontalkollisionsschutzsysteme

Frontalkollisionsschutzsysteme helfen dabei, Frontalkollisionen zu verhindern (Collision Avoidance) oder die Unfallschäden zu mindern (Collision Mitigation).

In der an der TU Graz durchgeführten Studie RCS-TUG<sup>7</sup> ist die Wirksamkeit von FAS anhand 217 realer Unfälle aus der Unfalldatenbank ZEDATU<sup>8</sup> in einer Simulation unter Anwendung verschiedener Systeme der aktiven Sicherheit und Fahrerassistenz nachgebildet worden. Das Ergebnis (siehe Abbildung 3.7) zeigt die Wirksamkeit der eingesetzten Systeme hinsichtlich Unfallvermeidung und Potenzial zur Minderung der Unfallschäden [Eic10].

<sup>7</sup> RCS-TUG: Retrospective Case Study – Technische Universität Graz

<sup>8</sup> ZEDATU: Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle mit Auswertung der Vermeidbarkeitsmöglichkeiten



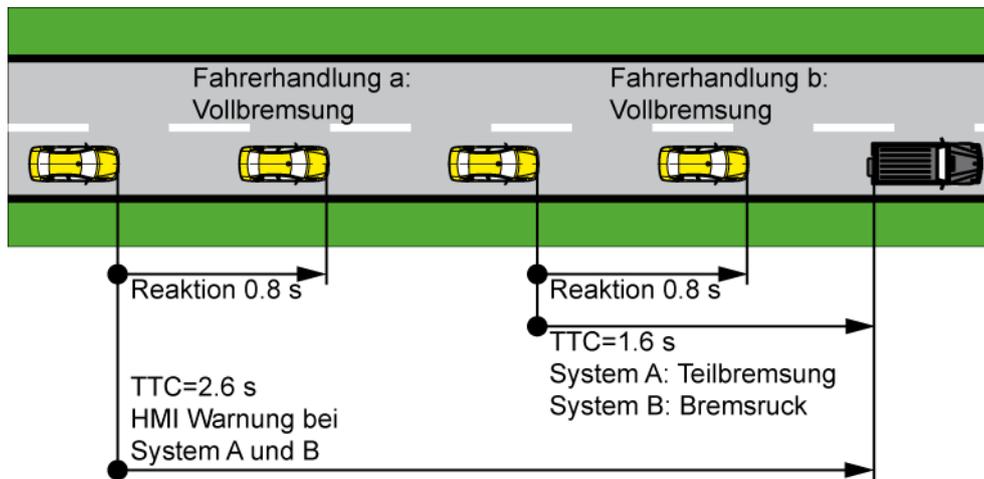
**Abbildung 3.7:** Sicherheitspotential von Sicherheitssystemen aus RCS-TUG [Eic10], gereiht nach Gesamtpotenzial aus Vermeidung  $A_S$  und Potenzial  $P_S$  zur Minderung der Unfallschäden

Wie in Abbildung 3.7 ersichtlich, besitzen die in dieser Arbeit betrachteten Systeme ein erhebliches Potential zur Unfallvermeidung bzw. zur Reduktion der Unfallschäden. Die mit CWS (Collision Warning Systems) bezeichneten Systeme entsprechen dem Auffahrwarnsystem (FCW, Forward Collision Warning, siehe Kapitel 3.2.1) in dieser Arbeit. PBA (Predictive Brake Assist) entspricht je nach Ausführung (siehe Tabelle 3.4) dem elektronischen Bremsassistenten (BA, Brake Assist, siehe Kapitel 3.2.2) und der automatischen Notbremse (AEB, Automatic Emergency Brake, siehe Kapitel 3.2.3). Active City Stop (ACS) ist keinem der Systeme der RCS-TUG Studie zugeordnet, da dieses System in der Studie nicht berücksichtigt worden ist.

**Tabelle 3.4:** Erläuterung der Abkürzungen aus Abbildung 3.7 und Zuordnung

Abkürzung	Bedeutung	entspricht	Bedeutung
<b>CWS</b>	<b>Collision Warning Systems</b>	<b>FCW</b>	<b>Forward Collision Warning</b>
DVM	Driver Vigilance Monitoring		
LKA	Lane Keeping Assist		
EMA	Evasive Manoeuvre Assist		
<b>PBA A a*)</b>	<b>Predictive Brake Assist</b>	<b>BA</b>	<b>Brake Assist</b>
<b>PBA A b*)</b>	<b>Predictive Brake Assist</b>	<b>BA</b>	<b>Brake Assist</b>
<b>PBA B b*)</b>	<b>Predictive Brake Assist</b>	<b>BA</b>	<b>Brake Assist</b>
<b>PBA A c*)</b>	<b>Predictive Brake Assist</b>	<b>AEB</b>	<b>Automatic Emergency Brake</b>
SR	Seatbelt Reminder and Buckle Sensor		
NV	Night Vision		
AuHi	Automated Highway		
ESC cons.	ESC conservative		
ESC	Electronic Stability Control		
SAS	Speed Alerting System		
SP-R	Speed Recommendation		
SLS	Speed Limiting System		
ESC sport.	ESC sportive		
<b>PBA B c*)</b>	<b>Predictive Brake Assist</b>	<b>AEB</b>	<b>Automatic Emergency Brake</b>
ICA	Intersection Coll. Avoidance		
AYC	Active Yaw Control		

\*) Zusatzzeichen zu PBA siehe Abbildung 3.8



**Abbildung 3.8:** Fahrereingriff [ETH<sup>+</sup>11]:

**A** (entspricht Daimler PreSafe Brake): 2,6 s vor der erwarteten Kollision erscheint eine HMI<sup>9</sup> Warnung. Erfolgt keine Reaktion des Fahrers wird 1 s später eine Teilbremsung mit ca. 50% der maximal möglichen Verzögerung eingeleitet.

**B** (entspricht Audi Brake-Guard): Anstelle einer autonomen Bremsung wie bei System A, erfolgt ein Bremsruck mit 5 km/h Geschwindigkeitsreduktion. Der Hintergrund dieser Eingriffsstrategie ist, den Fahrer sicher auf die Notbremsung aufmerksam zu machen, ohne eine Fehlbremmung zu riskieren.

**a:** Der Fahrer reagiert nach der Warnung.

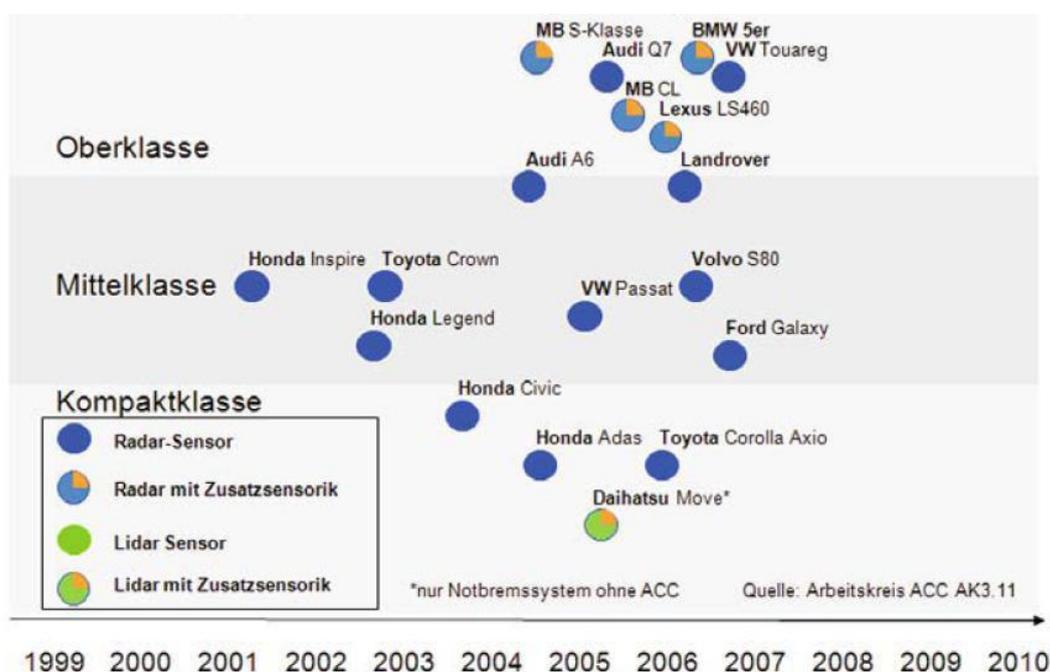
**b:** Der Fahrer reagiert nach der Bremsung.

**c:** Keine Fahrerreaktion.

<sup>9</sup> HMI: **H**uman **M**achine **I**nterface: Mensch-Maschine-Schnittstelle

Frontalkollisionsschutzsysteme nutzen zum Großteil die Sensoren der Komfortsysteme ACC und FSRA. Der Aufwand, ein Frontalkollisionsschutzsystem in ein Fahrzeug zu integrieren, das mit ACC oder FSRA ausgestattet ist, ist demnach geringer als ein Frontalkollisionsschutzsystem als „stand-alone“ Lösung anzubieten. Ein Blick in die Ausstattungslisten der Automobilhersteller zeigt, dass Komfortsysteme oft im Paket mit Sicherheitssystemen angeboten werden, z.B. Audi A8, FSRA in Kombination mit Bremsassistent [Aud12], und jeweils nicht alleine erhältlich sind. Active City Stop stellt in dieser Hinsicht eine Ausnahme dar. Als System, das mit vergleichbar einfachen Sensoren auskommt, gibt es Active City Stop auch alleine ohne Kombination mit anderen Komfort- oder Sicherheitssystemen [VW12].

Abbildung 3.9 zeigt die Verbreitung von Collision Mitigation Systemen in den Fahrzeugklassen Ober-, Mittel- und Kompaktklasse vom Jahr 2001 bis zum Jahr 2007. Es ist ersichtlich, dass der Großteil der Systeme mit Radar<sup>10</sup>- bzw. Radar- mit Zusatzsensorik des ACC arbeitet, nur ein System ohne ACC arbeitet mit Lidar<sup>11</sup>- mit Zusatzsensorik.



**Abbildung 3.9:** Verbreitung von Collision Mitigation Systemen [Arbeitskreis ACC AK3.11, zit. in [Win09a]]

### 3.2.1. Auffahrwarnsystem (Forward Collision Warning FCW)

Ein Auffahrwarnsystem dient dazu, den Fahrer zu warnen, wenn ein anderes Fahrzeug in der Bewegungslinie des eigenen Fahrzeugs zur potentiellen Gefahr wird [ISO15623]. Die

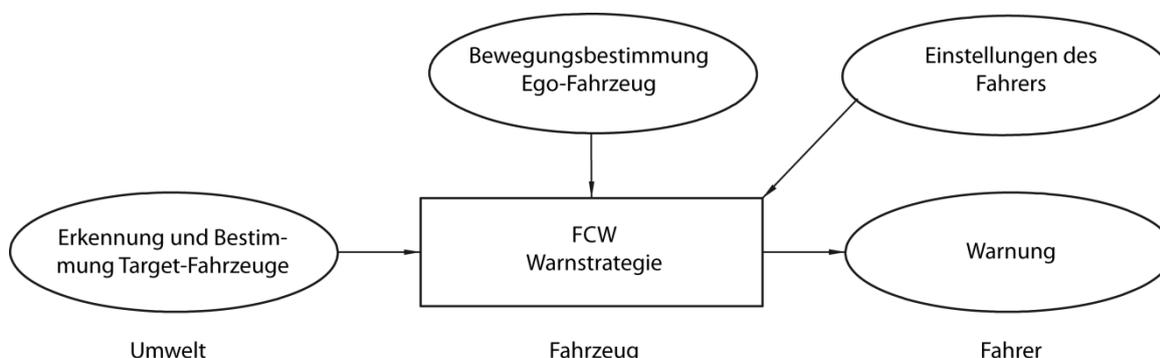
<sup>10</sup> Radar: **R**adio **d**etection **a**nd **r**anging: Objekterkennung, Entfernungs- und Geschwindigkeitsbestimmung auf Basis elektromagnetischer Wellen im Radiofrequenzbereich

<sup>11</sup> Lidar: **L**ight **d**etection **a**nd **r**anging: Objekterkennung, Entfernungs- und Geschwindigkeitsbestimmung auf optischer Basis

Warnung kann akustisch, optisch, haptisch oder aus einer Kombination der genannten Möglichkeiten bestehend erfolgen.

In Abbildung 3.10 sind die funktionalen Elemente eines Auffahrwarnsystems über die drei Ebenen Umwelt, Fahrzeug und Fahrer dargestellt. Potentiell gefährliche Fahrzeuge müssen mit Abstand und Relativgeschwindigkeit zum eigenen Fahrzeug erfasst werden (Erkennung und Bestimmung Target-Fahrzeuge), die Bewegung des eigenen Fahrzeuges muss bekannt sein (Bewegungsbestimmung Ego-Fahrzeug) und abhängig von den Einstellungen des Fahrer und der Zeit zur etwaigen Kollision wird vom FCW-Steuergerät (FCW Warnstrategie) eine Warnung an den Fahrer ausgegeben [ISO 15623].

Laut ISO 15623 hat die Warnung in mindestens zwei Stufen mit steigender Intensität zu erfolgen, zuerst als Vorab-Warnung um den Fahrer auf eine potentielle Gefahr hinzuweisen und ihm Zeit zu geben, die richtige Reaktion einzuleiten und in weiterer Folge als Warnung, bei der eine Reaktion notwendig ist, um die drohende Kollision abzuwenden (siehe Tabelle 4.1) [ISO 15623].



**Abbildung 3.10:** Funktionale Elemente eines Auffahrwarnsystems, modifiziert nach [ISO 15623]

Ähnlich dem ACC ist in ISO 15623 eine Einteilung von Auffahrwarnsystemen nach ihrer Kurvenfähigkeit vorgesehen (siehe Tabelle 3.5). Class I bedeutet, dass das System bei einem Kurvenradius größer 500 m funktionieren muss, Class II bei einem Kurvenradius größer 250 m und Class III bei einem Kurvenradius größer 125 m.

**Tabelle 3.5:** Einteilung von FCW-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO 15623]

Class	Minimaler Kurvenradius in m
I	≥ 500
II	≥ 250
III	≥ 125

Der Mindestanforderung an den Erkennungsbereich ist in Abbildung 3.11 dargestellt. Die maximale Erkennungsreichweite  $d_{max}$  errechnet sich aus [ISO15623]:

$$d_{max} = V_{max} \cdot T_{max} + \frac{V_{max}^2}{2 a_{min}} \quad (3.14)$$

Der minimale Erkennungsabstand  $d_2$  lt. Abbildung 3.11 ist definiert als [ISO15623]

$$d_{2I} = 10 \text{ m} \quad (3.15)$$

$$d_{2II} = 7,5 \text{ m} \quad (3.16)$$

$$d_{2III} = 5 \text{ m} \quad (3.17)$$

je nach Class I, Class II oder Class III.

Der minimale Abstand, bei dem der Abstand noch bestimmt werden muss,  $d_1$  ergibt sich aus [ISO15623]:

$$d_1 = T_{min} \cdot V_{min} \quad (3.18)$$

Und der minimale Erkennungsabstand, bei dem keine Abstandsmessung erforderlich ist,  $d_0$  beträgt [ISO15623]:

$$d_0 \leq 2 \text{ m} \quad (3.19)$$

Dabei sind

$V_{max}$  ... Maximale Fahrzeuggeschwindigkeit bei der das Auffahrwarnsystem funktioniert

$V_{min}$  ... Minimale Fahrzeuggeschwindigkeit bei der das Auffahrwarnsystem funktioniert

$T_{max}$  ... Maximale Reaktionszeit des Fahrers (Zeit zwischen Warnung und Bremsung)

$T_{min}$  ... Minimale Reaktionszeit des Fahrers (Zeit zwischen Warnung und Bremsung)

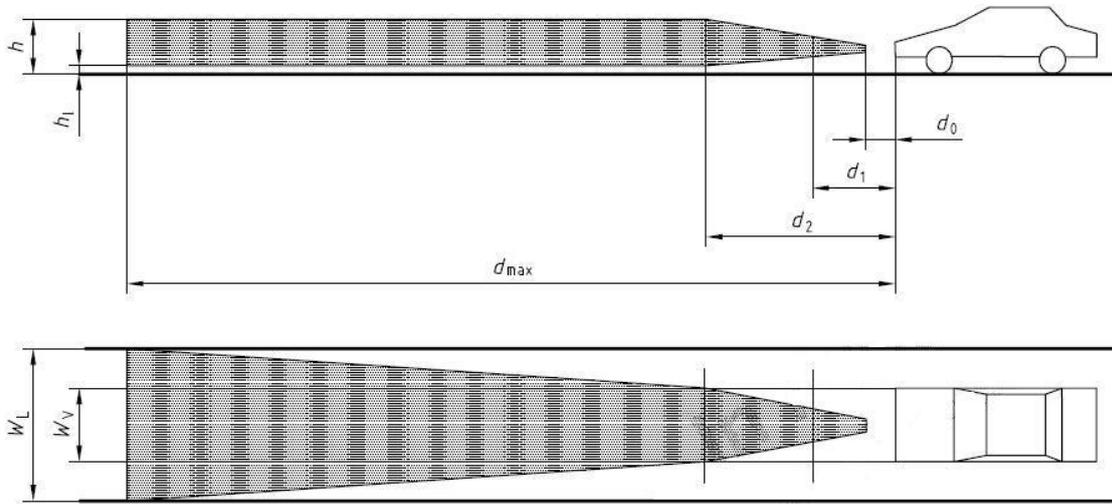
$a_{min}$  ... Minimale Verzögerung des Fahrzeugs bei Notfall-Bremsung

In ISO 15623 sind folgende Auslegungsparameter empfohlen:

$$T_{max} = 1,5 \text{ s} \quad (3.20)$$

$$T_{min} = 0,4 \text{ s} \quad (3.21)$$

$$a_{min} = 3,6 \frac{m}{s^2} \quad (3.22)$$



**Abbildung 3.11:** Erkennungsbereich von FCW [ISO15623]

Im Bereich vor dem Fahrzeug bis zum Abstand  $d_0$  ist keine Erkennung notwendig, im Bereich zwischen  $d_0$  und  $d_1$  muss ein Objekt erkannt werden aber es ist keine Entfernungsbestimmung notwendig und zwischen  $d_1$  und  $d_2$  ist eine Objekterkennung mit Entfernungsbestimmung erforderlich.

In Tabelle 3.6 sind die Mindestanforderungen an die Erkennungsbreite und Erkennungshöhe des Erkennungsbereichs (siehe Abbildung 3.11) angegeben.

**Tabelle 3.6:** Anforderungen an Erkennungsbreite und Erkennungshöhe [ISO 15623]

Distanz	Minimale Erkennungsbreite	Erkennungshöhe
$d_{max}$	$W_L = 3,5 \text{ m}$	$h_1 = 0,2 \text{ m}$ und $h = 1,1 \text{ m}$
$d_2$	$W_V \dots$ Fahrzeugbreite	$h_1 = 0,2 \text{ m}$ und $h = 1,1 \text{ m}$
$d_1$	nicht festgelegt	nicht festgelegt
$d_0$	nicht festgelegt	nicht festgelegt

$W_L, W_V, h_1, h$  siehe Abbildung 3.11

Die Systemgrenzen (z.B. keine Querverkehrswarnung, keine Warnung vor stehenden Objekten, Sensorreichweite, minimaler Kurvenradius, ...) sollen dem Anwender bewusst gemacht werden. Das soll laut ISO 15623 zumindest durch klare Angaben im Benutzerhandbuch erfolgen.

Die Quereschleunigung  $a_y$  in Kurvenfahrt ist für Class I mit

$$|a_{yI}| \leq 2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3.23)$$

und für Performance Class II und III mit

$$|a_{yII,III}| \leq 2,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3.24)$$

begrenzt [ISO 15623].

### 3.2.2. Elektronischer Bremsassistent (Brake Assist BA)

Ein elektronischer Bremsassistent warnt den Fahrer vor einem drohenden Unfall, konditioniert das Fahrzeug auf eine bevorstehende Notbremsung und sorgt, sobald eine Fahreraktion als Notbremsabsicht erkannt ist, für einen schnellstmöglichen Verzögerungsaufbau.

Bremsassistenten ohne Umfelderkennung erkennen abhängig von der Betätigungsgeschwindigkeit des Bremspedals die Notbremssituation und sorgen für einen möglichst schnellen Bremsdruckaufbau an allen Rädern bis in den ABS-Regelbereich. Zusätzlich können negative Einflüsse wie Bremsenfading und Verschleiß kompensiert werden. Der Übergang von einer Notbremsung auf eine Ziel- bzw. Normalbremsung erfolgt aus Komfortgründen stetig. Eine passende Auslöselogik gewährleistet eine sichere Erkennung der Notbremsabsicht für alle Fahrsituationen und Fahrweisen.

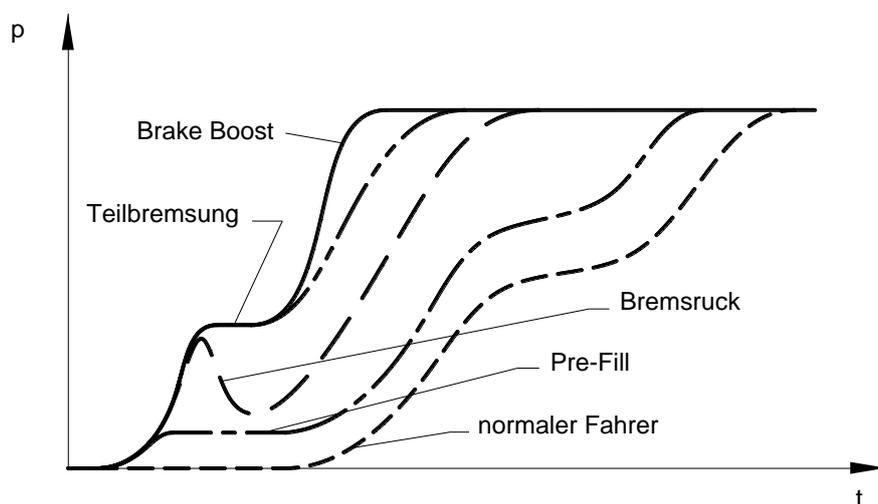
Der Eingriff erfolgt beim pneumatisch elektronischen Bremsassistent am Bremskraftverstärker, der hydraulisch elektronische Bremsassistent nützt die ESP-Rückförderpumpe, um aktiv Bremsdruck aufzubauen [LWW99].

Bei Bremsassistenten, die zusätzliche Information über die Fahrsituation aus einer Umfelderkennung haben, gibt es deutlich mehr Möglichkeiten zur Unterstützung des Fahrers [Win09a]:

- Pre-Fill: Beaufschlagung der Bremsen mit geringer Spannkraft, die noch keine merkliche Verzögerung hervorruft. Dadurch werden vorhandene Leerwege ausgeglichen und die Bremse spricht schneller an.
- Absenkung der Bremsassistenten-Auslöseschwelle bei drohender Frontalkollision: Die Auslöseschwelle zum schnellen Bremsdruckaufbau wird herabgesetzt.
- Änderung der Fahrwerkseinstellung: Sofern im Fahrzeug möglich, Vorbereitung auf Notbremsung.
- Bremsruck: Klare haptische Warnung und Bremsaufforderung an den Fahrer. Durch den Bremsruck erfolgt eine leichte Geschwindigkeitsreduktion.

- Teilbremsung: Bremsengriff mit 30-40% der maximalen Bremsverzögerung bei einer TTC<sup>12</sup> von ca. 1,5 s. Dabei ist darauf zu achten, dass die Teilbremsung durch den Fahrer übersteuert werden kann.
- Starker Bremsengriff: Eine Bremsung mit mehr als 50% der maximalen Bremsverzögerung kann eingeleitet werden, wenn ein Ausweichen ausgeschlossen werden kann oder nicht mehr möglich ist.

Typische Bremsdruckverläufe der verschiedenen Eingriffe findet man in Abbildung 3.12. Durch Pre-Fill wird ein schnelleres Ansprechen der Bremse erreicht. Mit einem Bremsruck wird der Fahrer zum Bremsen aufgefordert und reagiert schneller. Durch eine Teilbremsung erfolgt bereits eine deutliche Geschwindigkeitsreduktion und wenn der Fahrer reagiert, startet der Bremsdruckaufbau schon von einem höheren Niveau. Die Bremsdruckaufbaurrate, die ein normaler Fahrer erreicht, lässt sich durch Brake Boost deutlich steigern indem bei erkannter Notbremsabsicht des Fahrers (z.B. durch schnelle Betätigungsgeschwindigkeit des Bremspedals) unverzüglich voller Bremsdruck unter Berücksichtigung der Schlupfgrenze eingesteuert wird.



**Abbildung 3.12:** Typische Bremsdruckverläufe

Um den nachfolgenden Verkehr nicht unnötig zu gefährden, gibt es eine Zielbremsfunktion. Dabei wird die Verzögerung nur so stark erhöht, wenn der Fahrer zu schwach bremst, dass ein Anhalten bzw. Erreichen eines sinnvollen Abstandes hinter dem vorausfahrenden Fahrzeug gewährleistet ist.

Zusätzlich zur ISO15623 für warnende Systeme gibt es eine Norm in Entstehung, die ISO 22839 „Intelligent Transport System -- Forward Vehicle Collision Mitigation Systems -- Operation, Performance, and Verification Requirements“ (siehe Tabelle 2.1) für eingreifende Systeme, die, unter anderem, passende Eingriffszeitpunkte für verschiedene Maßnahmen vor einem drohenden Unfall zum Inhalt haben wird [Win09a].

<sup>12</sup> TTC: Time To Collision, Zeit bis zum Aufprall, siehe Kapitel 0

### 3.2.3. Automatische Notbremse (Automatic Emergency Brake AEB)

Die automatische Notbremse unterscheidet sich vom Bremsassistent, indem die Bremsung ohne Aktion des Fahrers erfolgt. Eine automatische Notbremse benötigt Sensoren, die den Umgebungsbereich vor dem Fahrzeug detektieren. Die Funktion des Systems bei hohen Geschwindigkeiten erfordert eine große Reichweite der Sensoren. Über das HMI erfolgt der Informationsaustausch mit dem Fahrer. Das sind Warnungen an den Fahrer die akustisch (z.B. über das Soundsystem), optisch (z.B. über eine Anzeige am Armaturenbrett oder ein Head-Up-Display) oder haptisch (z.B. durch einen Bremsruck oder Gegendruck am Fahrpedal oder Zupfen am Sicherheitsgurt) erfolgen können.

Aktuelle Systeme leiten eine Notbremsung sehr spät ein, wenn eine Kollision bereits unausweichlich ist und durch die Notbremsung kein anderes Fahrmanöver gestört werden kann.

Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14 zeigen exemplarisch die Warnkaskade und Eingriffszeitpunkte zweier Fahrzeuge aus einem Test für Notbremsassistenten des ADAC. In diesem Test fahren die Testkandidaten mit einer Fahrgeschwindigkeit von anfangs konstant 100 km/h auf ein konstant mit 60 km/h fahrendes Target auf.

Beim Audi A7 erfolgt zuerst eine optische und akustische Warnung. Erfolgt keine Reaktion des Fahrers, gibt es einen Bremsruck. Danach wird eine zweistufige Teilbremsung veranlasst. Sehr kurz vor dem Aufprall wird automatisch eine Vollbremsung eingeleitet. Die Geschwindigkeitsreduktion beim Auffahren mit anfangs 100 km/h auf ein Target mit 60 km/h beträgt 32 km/h [SPS11].

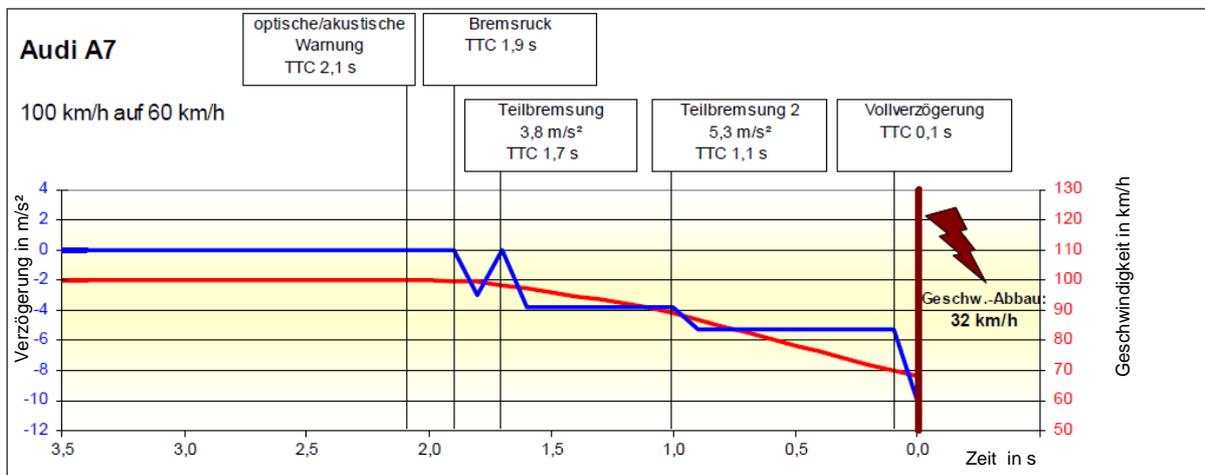
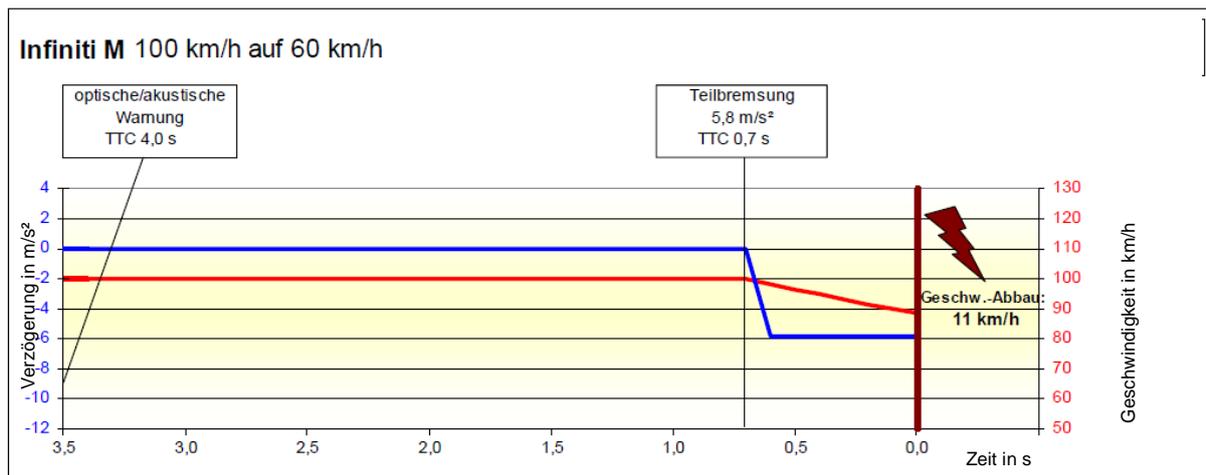


Abbildung 3.13: Warnkaskade Audi A7 [SPS11]

Im Infiniti M wird der Fahrer bereits früh optisch und akustisch gewarnt. Eine Teilbremsung beginnt erst sehr kurz vor dem Aufprall. Die Geschwindigkeitsreduktion beim Auffahren mit anfangs 100 km/h auf ein Target mit 60 km/h beträgt dabei 11 km/h [SPS11].



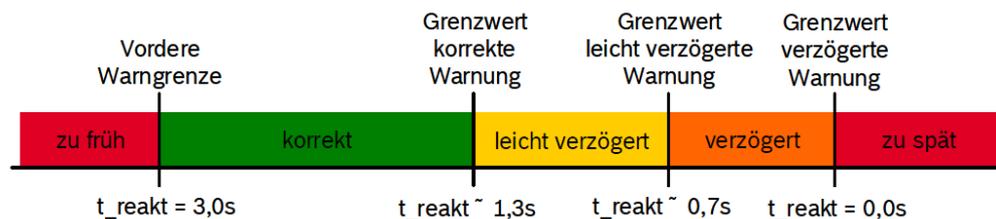
**Abbildung 3.14:** Warnkaskade Infiniti M100 [SPS11]

Der Audi A7 wird in diesem Test sehr gut bewertet, besonders hervorgehoben wird die deutliche optische (auch im Head-Up-Display, aufpreispflichtig) und akustische Warnung. Der Bremsruck und die darauffolgende zweistufige Teilbremsung eignen sich sehr gut als haptische Warnung.

Im Infiniti M wird die optische und akustische Warnung als zu wenig intensiv und zu früh kritisiert. Die autonome Teilbremsung setzt zu kurz vor dem Aufprall ein und kann daher nicht mehr als haptische Warnung gelten, da dem Fahrer zu wenig Zeit zum Reagieren bleibt.

Die Bewertung des ADAC erfolgt unter folgenden Gesichtspunkten [SPS11]:

- Erfolgt die Warnung so rechtzeitig, dass ein durchschnittlicher Fahrer genügend Zeit hat, mit einer Bremsung zu reagieren um die Kollision zu vermeiden (siehe Abbildung 3.15)?
- Reagiert der Fahrer mit nicht ausreichend starkem Bremsen, unterstützt ihn das System, dass die Kollision vermieden werden kann?
- Reagiert der Fahrer nicht und die Kollision ist unvermeidlich, reduziert das System die Kollisionsgeschwindigkeit durch einen autonomen Bremseingriff um die Unfallfolgen zu mindern?



**Abbildung 3.15:** Warngrenzen für die Reaktionszeit  $t_{\text{reakt}}$  [SPS11]:

$t_{\text{reakt}} = 3\text{ s}$ : unaufmerksamer Fahrer mit langsamer Reaktion

$t_{\text{reakt}} = 1,3\text{ s}$ : unaufmerksamer Fahrer mit schneller Reaktion

$t_{\text{reakt}} = 0,7\text{ s}$ : Kollisionsvermeidung nur durch extrem reaktionsstarken Fahrer möglich, Reduzierung der Aufprallgeschwindigkeit durch Notbremsung

$t_{\text{reakt}} = 0\text{ s}$ : keine verbleibende Reaktionszeit zur Kollisionsvermeidung

### 3.2.4. Active City Stop (ACS)

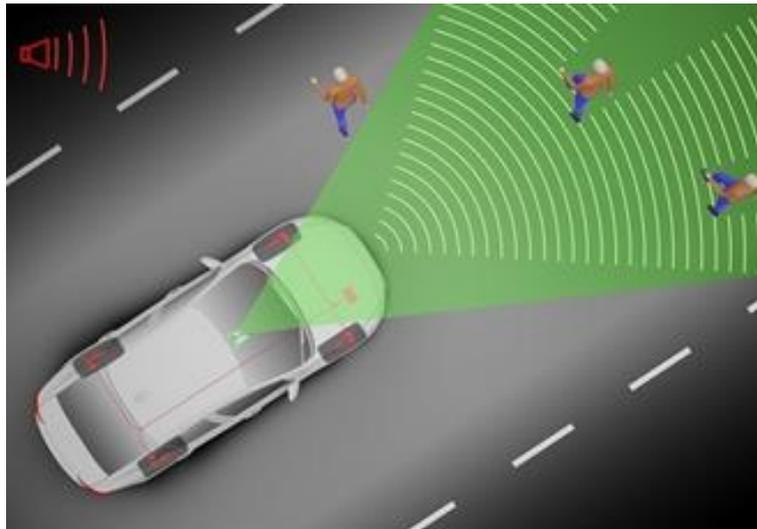
Active City Stop ist eine automatische Notbremse im Langsamfahrbereich (typischerweise  $< 35\text{ km/h}$ ). Durch den Bremsengriff wird eine drohende Kollision entweder verhindert (Collision Avoidance) oder die Unfallschäden minimiert (Collision Mitigation). Liegt die Fahrgeschwindigkeit über dem Langsamfahrbereich, ist Active City Stop deaktiviert.

Bei drohender Kollision wird zunächst die Bremse auf ein Notmanöver vorbereitet (siehe auch Abbildung 3.12), eine Warnung ausgegeben und im letzten Moment eine selbsttätige Bremsung eingeleitet [VKU11].

Im Vergleich zur automatischen Notbremse für höhere Geschwindigkeiten kommt Active City Stop mit einfacheren Sensoren und einfacherer Datenverarbeitung aus. Durch die niedrige Geschwindigkeit braucht die Reichweite der Sensoren nicht so groß zu sein. Die Anzahl der Fehlerkennungen ist bei geringerem Abstand zum potenziellen Hindernis kleiner. Sollte durch Fehlerkennung und Fehlauflösung im schlimmsten Fall ein Unfall geschehen, sind die Unfallfolgen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich geringer als bei hohen Geschwindigkeiten.

Active City Stop ist ab 2012 in einem Fahrzeug der Kompaktklasse, dem VW up!, serienmäßig vorhanden [VW12]. Es ist auch in anderen Fahrzeugen erhältlich, zum Teil serienmäßig, zum Teil aufpreispflichtig.

Abbildung 3.16 zeigt das System von Volvo, das mit zwei Sensoren arbeitet, einerseits ein Radarsensor im Kühlergrill, andererseits eine Kamera, die sich hinter der Windschutzscheibe im Bereich des Innenspiegels befindet. Das Kollisionswarnsystem des Volvo erkennt auch Fußgänger und funktioniert bis  $35\text{ km/h}$  [Vol12].



**Abbildung 3.16:** Volvo City-Safety im S60 [Vol12]

## 4. Anforderungen an längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme

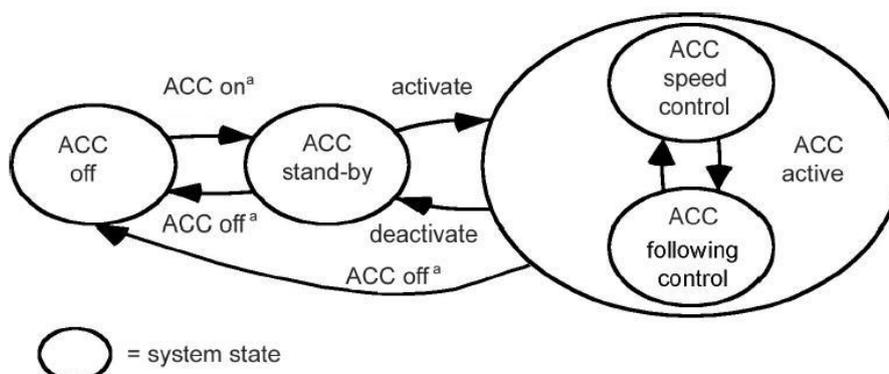
Eine Auflistung von Anforderungen dient dazu, in weiterer Folge ein funktionales Lastenheft erstellen zu können. Parameter im Lastenheft können von System zu System und von Fahrzeug zu Fahrzeug verschieden sein. Diese allgemeine Auflistung soll einen Überblick geben und die Vorgehensweise vom Allgemeinen zum Speziellen vorgeben.

### 4.1. Gesamtfahrzeug

#### 4.1.1. Anforderungen aus Normen

In ISO 15622 sind folgende Mindestanforderungen für ACC definiert:

- Bei aktivem ACC wird die Fahrgeschwindigkeit automatisch geregelt, entweder um einen Abstand zu einem vorausfahrenden Fahrzeug einzuhalten oder um eine eingestellte Geschwindigkeit zu halten. Das Umschalten zwischen diesen beiden Regel-Modi erfolgt durch das ACC.
- Der stationäre Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug kann entweder vom ACC oder vom Fahrer eingestellt werden. Zumindest eine Zeitlückeneinstellung  $\tau$  (Definition Zeitlücke siehe Abbildung 3.5) im Bereich von 1,5 s bis 2,2 s soll vorgesehen sein. Die minimal einstellbare Zeitlücke  $\tau_{min}$  hat größer als 0,8 s zu sein. Ausgeführte ACC-Systeme erlauben eine Einstellung in mehreren Stufen oder stufenlos von ca. 0,8 s bis 2,2 s.
- ACC darf sich unter einer Mindestgeschwindigkeit  $v_{low}$  nicht aktivieren lassen (Übergang von ACC stand-by auf ACC active in Abbildung 4.1). Fällt die Fahrgeschwindigkeit bei aktivem ACC unter die Mindestgeschwindigkeit  $v_{low}$  darf das System nicht mehr automatisch beschleunigen. Optional darf das ACC dabei auf Stand-by umschalten (siehe Abbildung 4.1).

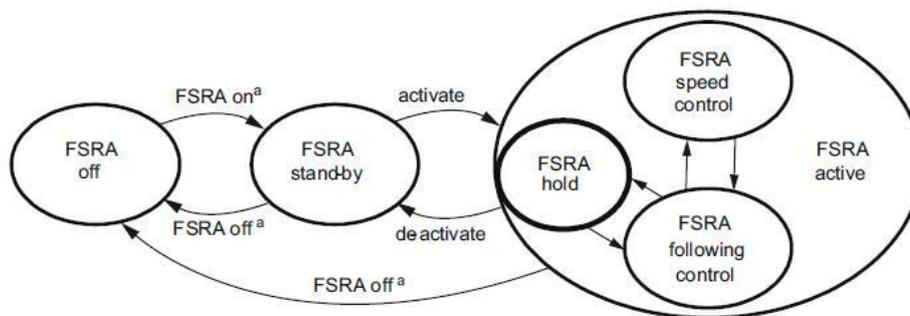


**Abbildung 4.1:** ACC Zustände und Übergänge [ISO15622]:  
<sup>a</sup> Manual and/or automatically after self-test.

- Bei mehreren vorausfahrenden Fahrzeugen wird das, dem gefolgt wird, automatisch ausgewählt.
- ACC erkennt die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs (Target-Fahrzeug).
- ACC braucht keine stehenden Objekte zu erkennen. Erkennt das System keine stehenden Objekte ist der Fahrer darüber zumindest im Benutzerhandbuch zu informieren.
- In stationärem Zustand darf der Mindestabstand nicht kleiner als das Produkt aus minimaler Zeitlücke und Fahrgeschwindigkeit  $\tau_{min} \cdot v$  sein. Bei dynamischen Fahrmanövern darf dieser Mindestabstand kurzzeitig unterschritten werden, wenn anschließend der Mindestabstand eingestellt wird.
- Erkennungsreichweite und Kurvenfähigkeit siehe Kapitel 3.1.1.
- Auf der Nebenspur fahrende Fahrzeuge sollen nicht als Ziel erkannt werden.

Diese Anforderungen gelten sinngemäß auch für FSRA. Eine Mindestgeschwindigkeit, unter der das System nicht funktionieren soll, gibt es nicht, FSRA soll den Geschwindigkeitsbereich vom Stillstand weg abdecken. Abweichend von den Anforderungen an ACC sind in ISO 22179 folgende Anforderungen an FSRA angegeben:

- Der Systemstatus soll innerhalb einer Zeit von 3 s von Folgeregelung auf Stillstandszustand wechseln, wenn das Fahrzeug angehalten hat (FSRA following control – FSRA hold in Abbildung 4.2)



**Abbildung 4.2:** FSRA Zustände und Übergänge [ISO22179]:

<sup>a</sup> This is manual and/or automatic after self-test.

- Im Stillstandszustand (FSRA hold in Abbildung 4.2) soll das Fahrzeug sicher gehalten werden.
- FSRA wird innerhalb seiner Verzögerungsgrenzen versuchen hinter einem erkannten und angehaltenen Fahrzeug stehenzubleiben. Die Erkennung stehender oder sich langsam bewegender Objekte ist optional. Reagiert FSRA nicht auf stehende oder sich langsam bewegende Objekte, ist das dem Fahrer zumindest im Benutzerhandbuch mitzuteilen.

- Die minimal einstellbare Zeitlücke  $\tau_{min}$  für FSRA hat größer als 1 s zu sein.
- Der minimale Abstand für stationäre Zustände (inklusive Stillstandszustand)  $c_{min}$  hat größer oder gleich 2 m zu sein.
- Zumindest eine Zeitlückeneinstellung  $\tau$  im Bereich von 1,5 s bis 2,2 s für Geschwindigkeiten größer 8 m/s soll vorgesehen sein.
- Als Mindestanforderung soll FSRA in der Lage sein, hinter einem Fahrzeug anzuhalten, das aus dem Ausgangsfahrzustand mit einer Fahrgeschwindigkeit von 10 m/s (stationäre Fahrfahrt) mit einer Verzögerung von 2,5 m/s<sup>2</sup> bis zum Stillstand verzögert.
- Der Übergang vom Stillstandszustand in die Folge- oder Geschwindigkeitsregelung [(FSRA hold) in (FSRA following control) oder (FSRA speed control) in Abbildung 4.2] soll ohne Fahreraufforderung nicht möglich sein. Das bedeutet, automatisches Wiederauffahren ist innerhalb von 3 s ohne Aktion des Fahrers erlaubt, denn innerhalb einer Zeit von 3 s soll FSRA in den Stillstandszustand schalten, sobald das Fahrzeug angehalten hat.

In ISO 15623 sind Anforderungen an FCW-Systeme angegeben:

- Überwachung des Abstandes und der Relativgeschwindigkeit zwischen Target- und Ego-Fahrzeug. Ein mögliches Target-Fahrzeug wird mit Einrichtungen wie Lidar, Radar oder bildverarbeitenden Systemen erfasst.
- Bestimmen der Zeit zu einer eventuellen Kollision (TTC): Aus der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges, dem Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug und der Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges wird die TTC zu einer eventuellen Kollision ermittelt. Bei mehreren möglichen Target-Fahrzeugen wird das mit der kleinsten TTC, das sich in der Trajektorie des Ego-Fahrzeuges befindet, ausgewählt.
- Vorabwarnung und Kollisionswarnung: FCW-Systeme sollen mindestens zwei voneinander unabhängige Warnungen ausgeben. Eine Vorabwarnung und eine Kollisionswarnung. Der Zweck der Vorabwarnung ist es, den Fahrer über die Anwesenheit eines Target-Fahrzeuges zu informieren damit dieser sich auf eine Aktion, die zur Kollisionsvermeidung notwendig ist, vorbereiten kann. Die Kollisionswarnung zeigt einen unmittelbaren Handlungsbedarf auf.

Warnungen können optisch, akustisch, haptisch oder als Kombination dieser Möglichkeiten erfolgen. Die Kollisionswarnung soll akustisch und/oder haptisch erfolgen, zusätzlich kann die Kollisionswarnung auch optisch sein.

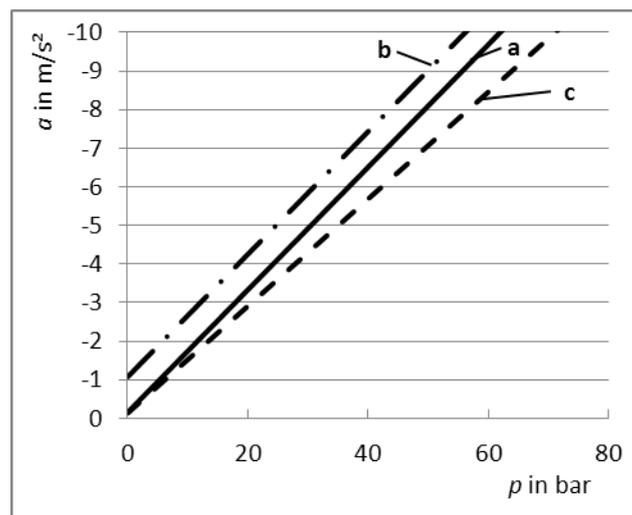
- Warnungen werden abhängig von der Relativgeschwindigkeit, der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges, des Abstandes zwischen Ego- und Target-Fahrzeug, der Reaktionszeit und der Verzögerung bei entsprechenden TTC-Schwellenwerten ausgegeben.
- Fehleranzeige: Wird beim Systemstart oder im Betrieb ein Fehler detektiert, ist dies dem Fahrer mitzuteilen.

Für elektronische Bremsassistenten, automatische Notbremse und Active City Stop sind die relevanten ISO-Normen (siehe Übersicht in Tabelle 2.1) bis dato noch nicht erschienen.

#### 4.1.2. Anforderungen aus veränderlichen Parametern

Im Folgenden sind einige Parameter aufgeführt und ihre Auswirkung auf Abstandsregeltempomaten und Frontalkollisionsschutzsysteme erörtert.

- **Beladung:** Durch Beladung des Fahrzeuges ändern sich Gesamtmasse und Gesamtschwerpunktlage. Die Änderung der Gesamtmasse hat direkten Einfluss auf die Fahrzeuglängsdynamik (siehe Kapitel 2.1), mit steigender Masse steigen die erforderlichen Antriebs- und Bremsmomente bei gleicher Beschleunigung. Antriebsseitig ist es möglich, dass eine gewünschte Beschleunigung nicht erreicht wird, da der Motor das dazu erforderliche Moment nicht liefern kann. Die Fahrzeugbremse ist darauf ausgelegt, auch bei voller Beladung volle Verzögerung bereitstellen zu können. In Abbildung 4.3 ist für ein hydraulisches Bremssystem der Zusammenhang zwischen Bremsdruck und Verzögerung dargestellt, unter der Voraussetzung dass am Reifen der notwendige Kraftschluss zur Fahrbahn vorhanden ist. Bei höherer Beladung ist ein höherer Bremsdruck erforderlich um die gleiche Verzögerung zu erreichen (siehe c in Abbildung 4.3).



**Abbildung 4.3:** Zusammenhang zwischen Bremsdruck  $p$  und Verzögerung  $a$  bei einem hydraulischen Bremssystem (Fahrzeugdaten siehe Tabelle A.2)

- a Fahrgeschwindigkeit 100 km/h, 0% Steigung, 1720 kg Gesamtmasse
- b Fahrgeschwindigkeit 100 km/h, 10% Steigung, 1720 kg Gesamtmasse
- c Fahrgeschwindigkeit 100 km/h, 0% Steigung, 1985 kg Gesamtmasse

Die Veränderung der Schwerpunktlage durch Beladung bewirkt ein verändertes Nickverhalten des Fahrzeuges. Der vertikale Erkennungsbereich der Umfeldsensoren der Fahrerassistenzsysteme muss diese zusätzlichen Nickwinkel abdecken. Einerseits kann hecklastige Beladung und Stützlast eines Anhängers bereits statisch zu einer Nickwinkeldifferenz zum unbeladenen Fahrzeug führen, andererseits verändern beispielsweise Dachlasten die dynamischen Nickwinkel bei Beschleunigung- und Verzögerung. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, sind die

auftretenden Nickwinkel von Fahrzeug zu Fahrzeug verschieden und müssen für jedes Fahrzeug und Fahrwerk gesondert betrachtet werden.

- **Fahrbahnneigung:** Die Fahrbahnlängsneigung (Gefälle oder Steigung) wirkt sich auf die Längsdynamik aus (siehe Kapitel 2.1). Auf Gefällestrecken ist das erforderliche Antriebsmoment kleiner bzw. das erforderliche Bremsmoment größer um die gleiche geforderte Beschleunigung zu erreichen wie in der Ebene. Auf einem steigenden Straßenstück ist das erforderliche Antriebsmoment größer und das erforderliche Bremsmoment kleiner, beispielhaft ist der Zusammenhang zwischen Bremsdruck und Verzögerung in Abbildung 4.3 für eine 10% Steigung und ein bestimmtes Fahrzeug dargestellt.

Um die erforderliche Beschleunigung bereitstellen zu können, sind längsdynamisch regelnde Systeme mit einem Steigungsschätzer ausgestattet [WDS09]. Dazu wird das vom Antrieb umgesetzte Ist-Summenradmoment<sup>13</sup> mit der Fahrzeuflängsbeschleunigung verglichen. Je nach Fahrbahnlängsneigung wird der entsprechende Offset im erforderlichen Bremsdruck eingestellt (siehe Abbildung 4.3 a und b).

Bis in den Stillstand verzögernde Systeme (FRSA, BA, AEB, ACS) müssen im Stillstand je nach Fahrbahnlängsneigung das notwendige Bremsmoment bereitstellen, um das Fahrzeug sicher zu halten.

- **Antriebsvarianten:** Ein Abstandsregeltempomat gibt neben einer Bremsanforderung auch eine Antriebsanforderung aus. Um Übergänge zwischen Antrieb und Bremse harmonisch zu gestalten, empfiehlt sich die Ausgabe einer Größe, mit der beide Aktuatorssysteme angesteuert werden können, beispielsweise ein Soll-Summenradmoment. Die Aufteilung auf die einzelnen Räder ist für den Abstandsregeltempomat nicht von Bedeutung. Der Abstandsregeltempomat benötigt vom Antrieb das momentan mögliche Mindest- und Maximalsummenradmoment um im Bedarfsfall auch eine Bremsanforderung ausgeben zu können und als Rückmeldung das aktuelle Ist-Summenradmoment [WDS09]. Nach dieser Betrachtung des Antriebes als Momentensteller kann die Art des Antriebes verschieden sein (Verbrennungsmotor, Elektromaschine, Kombination von VKM und E-Maschine, ...) und ist für den Abstandsregeltempomat nicht von Bedeutung.

Die Komfortsysteme ACC und FSRA sollen eine möglichst ruckarme aber doch ausreichende Beschleunigung und Verzögerung über den gesamten Geschwindigkeitsbereich bereitstellen. Insbesondere Übergänge von Motor- auf Reibungsbremse oder Schaltvorgänge des Getriebes sollen kaum wahrnehmbar sein.

#### **4.1.3. Fehlauslösungen**

Eine wichtige Anforderung an alle betrachteten Systeme ist eine möglichst geringe Anzahl an Fehlerkennungen und Fehlauslösungen. Fehlerkennungen und Fehlauslösungen mindern im günstigsten Fall die Kundenakzeptanz und können dazu führen, dass Systeme deaktiviert werden und ihr Komfort- und Sicherheitspotenzial nicht genutzt wird. Im schlimmsten Fall

---

<sup>13</sup> Summenradmoment: Summe aller Radmomente

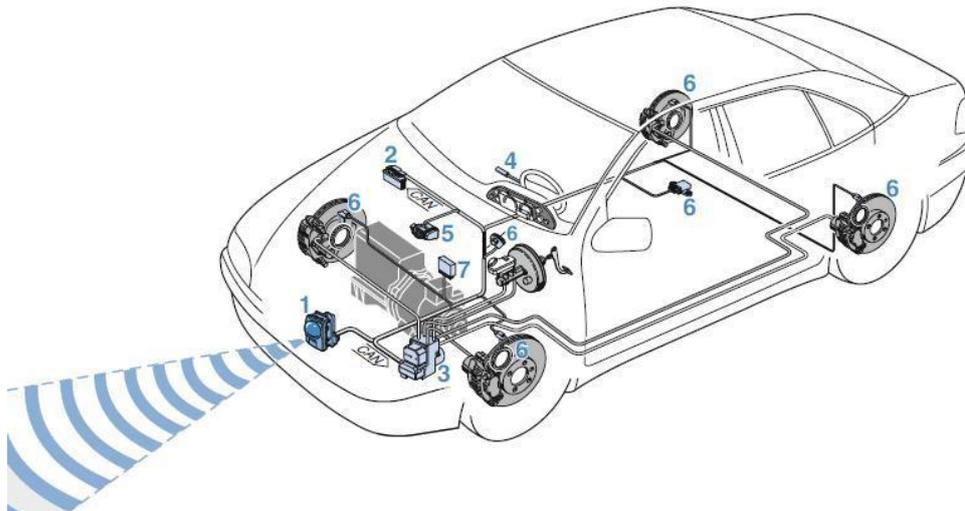
kann durch eine Fehlauslösung ein Unfall verursacht werden. Die Fehlauslöserate für sicherheitsunkritische Systeme, die den Fahrer mit einem Bremsruck warnen, ist auf eine Fehlauslösung pro 10.000 km festgelegt. Systeme, die durch eine Fehlauslösung eine sicherheitskritische Situation hervorrufen können, dürfen eine Fehlerwahrscheinlichkeit pro Zeit von maximal  $10^{-9}$  pro Stunde aufweisen [Mau09]. Eine Größe, die durch Fahrversuche nicht abgeprüft werden kann, da sich bei einer angenommenen Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h eine durchschnittliche Fahrstrecke von  $3 \cdot 10^{10}$  km ergibt.

Im Vergleich dazu weisen Systeme auf dem heutigen Stand der Technik eine Fehlalarmrate von 1 Fehlalarm auf 100.000 km auf [GPD+07]. Für sicherheitsunkritische Systeme liegt dies unter dem oben genannten Grenzwert, für sicherheitskritische Systeme ist dieser Wert viel zu hoch.

In anderen Literaturstellen sind differierende Angaben zu finden: Zur Ableitung der Anforderungen an die Robustheit wird die Zahl der Nutzfälle betrachtet. Die Unfallrate liegt bei etwa einem Unfall mit Personenschaden pro  $2 \cdot 10^6$  km, nicht alle Unfälle sind Frontalkollisionen, so wird von einer optimistischen Nutzrate von etwa 1 pro  $5 \cdot 10^6$  km ausgegangen. Nicht jede Fehlauslösung führt zu einem Unfall, also kann eine Fehlauslösungsrate in der gleichen Größenordnung als akzeptabel angesehen werden. Somit liegen zwischen zwei Fehlauslösungen eine durchschnittliche Kilometerleistung von  $5 \cdot 10^6$  km, umgelegt auf eine Lebensdauer eines Fahrzeuges von  $2 \cdot 10^5$  km entspricht das 25 Fahrzeuglebensdauern [Win09a].

### **4.2. Komponenten**

Die typischen Komponenten eines längsdynamisch regelnden Systems sind in Abbildung 4.4 exemplarisch für ein ACC-System dargestellt. Über den ACC-Sensor **1** wird die Relativgeschwindigkeit und der Abstand zum Target-Fahrzeug bestimmt, mit den Daten aus Gierrate, Querbewegung, Radwinkelgeschwindigkeiten und Lenkwinkel **6** wird die Bewegung des Ego-Fahrzeuges errechnet. Die Anforderung des ACC wird über die Motorsteuerung **2** (bei Automatgetrieben in Kombination mit der Getriebesteuerung **7**) und/oder über das ESP **3** umgesetzt. Der Informationsaustausch mit dem Fahrer erfolgt über die Bedien- und Anzeigeeinheit **4**.



**Abbildung 4.4:** ACC-System [Rei10]: 1 ACC Sensor und Regeleinheit, 2 Motorsteuerung, 3 aktiver Bremsengriff über ESP, 4 Bedien- und Anzeigeeinheit, 5 Motoreingriff über elektronisch verstellbare Drosselklappe (bei Otto), 6 Sensoren, 7 Getriebesteuerung (optional);

Bei dem dargestellten Fahrzeug mit hydraulischer Bremsanlage und ESP erfolgt der Bremsengriff über das ESP **3**. Andere Möglichkeiten sind ein Eingriff über einen aktiven Bremskraftverstärker oder direkt über den Aktuator einer elektrohydraulischen oder elektromechanischen Bremse (Brake by Wire<sup>14</sup>). Der Motoreingriff erfolgt allgemein über die Motorsteuerung, eine elektronisch verstellbare Drosselklappe **5** findet sich nur bei Ottomotoren. Bei Handschaltgetrieben erfolgt keine Getriebesteuerung **7**, der Fahrer führt die Schaltvorgänge durch.

#### 4.2.1. Bremse

Kommt es zu einer Verzögerungsanforderung durch das längsdynamisch regelnde System, wird diese in einer konventionellen hydraulischen Bremsanlage mit ESP, wie sie im Großteil der heute hergestellten Fahrzeuge verbaut ist, umgesetzt und im Hydroaggregat des ESP der erforderliche Bremsdruck aufgebaut.

#### Stellbereich

In ISO 22179 ist für FSRA eine Maximalverzögerung  $a_x = -5 \text{ m/s}^2$  bei niedrigen Geschwindigkeiten gefordert (vgl. Kapitel 3.1.2, Abbildung 3.6). Bei einem Fahrzeug laut Abbildung 4.3 ergibt sich daraus ein Bremsdruck bis zu 40 bar. Unter Berücksichtigung ungünstiger Verhältnisse (Zuladung, ungebremste Anhängelast, Bergabfahrt, Fading) und Reserven muss im Extremfall bereits für FSRA der gesamte zur Verfügung stehende Stellbereich genutzt werden [WDS09].

Notbremsassistenten sollten zur Erzielung der maximal möglichen Verzögerung den maximal zur Verfügung stehenden Stellbereich unter Berücksichtigung der Schlupfgrenze (ESP) nutzen.

<sup>14</sup> Brake by Wire: Wegfall eines weiteren Übertragungsmediums (Hydraulik-, Pneumatik-fluid), Rein elektrische Übertragung der Bremskraft;

## Stelldynamik

Die maximale Verzögerungsänderung (der maximale Ruck) ist in ISO 22179 für FSRA mit  $|\gamma_x| = 5 \text{ m/s}^3$  gemittelt über 1 s angegeben (vgl. Abbildung 3.6). Daraus ergibt sich laut Abbildung 4.3 eine Druckänderungsdynamik von ca. 40 bar/s. Um jedoch vorgegebenen Bremsmomenten- bzw. Druckverläufen mit ausreichender Dynamik folgen zu können, muss die Bremsanlage in der Lage sein, Veränderungen mit einer maximalen Druckänderung bis zu 150 bar/s zu folgen [WDS09].

Die maximalen Verzugszeiten beim Folgen einer Sollwertvorgabe sollten kleiner als 300 ms sein. Dazu ist ein ausreichend dimensioniertes Hydroaggregat und eine Entdrosselung des Hydrauliksystems saugseitig notwendig, um die benötigten Volumina temperaturunabhängig zur Verfügung stellen zu können. Das Einregeln des Sollwertes hat überschwingungsfrei zu erfolgen, da das vom Fahrer als sehr unangenehm wahrgenommen werden kann. Das für den ACC-Betrieb typische Ausregeln von kleinen Regeldifferenzen soll möglichst stufenlos erfolgen und stationäre Abweichungen sind zu vermeiden, da die sich daraus ergebenden Geschwindigkeits- und Abstandsabweichungen zu Schwingungen führen können [WDS09].

Die mögliche Stelldynamik bei Notbremsassistenten soll möglichst hoch sein, je früher die Maximalverzögerung erreicht und gehalten werden kann, desto besser. Komfortanforderungen sind bei Notbremsassistenten nicht gegeben, solange eine Komfortbeeinflussung nur im Notbremsfall und nicht im täglichen Betrieb eintritt.

## Regelkomfort

Ein sensibler Fahrer kann bereits Druckstufen ab ca. 0,5 bis 1 bar spüren, der Merkschwellwert der Verzögerung liegt bei ca.  $0,15 \text{ m/s}^2$  [WDS09]. Daher ist es notwendig, den Druck kleiner als 0,5 bar abzustufen. Der Bremsdruckauf- und -abbau soll weitgehend geräuschfrei und kontinuierlich verlaufen, dazu ist eine erhöhte Anzahl von Pumpenelementen und kontinuierlich regelnde Ventile notwendig. Das Hydroaggregat soll möglichst entkoppelt in der Karosserie gelagert sein [WDS09].

## Weitere Anforderungen

Für den Fahrer ist die Bereitstellung eines typischen Pedalgefühls wichtig. Vibrationen oder Schläge am Bremspedal sind zu vermeiden. Unabhängig davon, wie gebremst wird (Fahrer betätigt Bremspedal, Anforderung eines Fahrerassistenzsystems, elektrisches Bremsen bei Hybridantrieb), soll das Pedalgefühl stets gleich sein. Dazu kann es notwendig sein, die Bremspedalkraft zu simulieren und über einen Aktuator am Bremspedal aufzubringen.

Neben der beschriebenen konventionellen hydraulischen Bremse gibt es auch die elektrohydraulische Bremse (EHB), ein Brake by Wire-System mit hydraulischer Rückfallebene, im Serieneinsatz. Derzeit nur als Feststellbremse wird die elektromechanische Bremse (EMB), ebenfalls ein Brake by Wire-System, im Serieneinsatz verwendet. Die oben genannten Anforderungen an die hydraulische Bremse gelten auch für diese Bremssysteme, wenn die Anforderungen an das Übertragungsmedium (Bremsdruck, Bremsdruckaufbau, ...) auf die Wirkung am Rad (Bremsmoment, Bremsmomentaufbau, ...) umgelegt werden.

Die Bremsleuchten müssen unabhängig von der Bremsenbetätigung des Fahrers angesteuert werden können. Ein Flackern der Bremsleuchten ist über Mindestansteuerzeiten oder Schalthysterese zu vermeiden.

Die Fahrzeugregelung (ABS, ASC, ESP) hat Vorrang gegenüber den Fahrerassistenzsystemen. Die Übergänge in die Schlupfregelung bei Fahrzeuginstabilitäten sind passend zu gestalten.

Bei FSRA ist ein geeignetes Stillstandsmanagement erforderlich, das das Fahrzeug im Stand sicher hält – auch beim Spannungseinbruch des Bordnetzes während des Motorstarts bei Motor-Start-Stopp-Systemen [WDS09].

#### 4.2.2. Antrieb

Verbrennungsmotor und Getriebe werden aus Sicht von ACC und FSRA gemeinsam betrachtet. Es sind auch andere Antriebsvarianten (z.B. Elektromaschine) möglich. Der Antrieb dient dem ACC oder FSRA als Momentensteller, der das geforderte Antriebsmoment umsetzt – für die Systemfunktion ist es unerheblich, wie das Moment erzeugt wird. Bei Ausnutzung des Schleppmoments (oder elektrischem Bremsen mit einer E-Maschine) zum Verzögern ist es mit der Reibungsbremse zu koordinieren, um Übergänge möglichst kontinuierlich und für den Fahrer nicht merkbar zu gestalten.

Vom ACC wird eine Summen-Rad-Sollmomentanforderung an das Antriebssystem gegeben, diesem wird es überlassen, wie das Antriebsmoment gestellt wird, durch Veränderung des Motormoments oder durch Veränderung der Getriebeübersetzung.

Es ergibt sich analog zu Abbildung 4.3 der Zusammenhang von Beschleunigungsänderung  $\Delta a$  aus Summen-Radmomenteänderung  $\Delta M_{R\Sigma}$ , verallgemeinerter Fahrzeugmasse  $m^*$  und dynamischem Rollradius der (Antriebs-) Räder  $r$ :

$$\Delta a = \frac{\Delta M_{R\Sigma}}{m^* r} \quad (4.1)$$

Die erhöhte Dynamik bei ACC und FSRA-Betrieb stellt erhöhte Anforderungen an die Antriebssteuerung, eine schaltberuhigtes Getriebekennfeld wie bei einem für Konstantfahrt ausgelegten Fahrgeschwindigkeitsregler eines konventionellen Tempomaten reicht nicht aus [WDS09].

Die Anforderungen der Notbremsassistenten an den Antrieb beschränken sich darauf, eine Notbremsung so weit als möglich zu unterstützen. Bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe kann es bei einer Notbremsung in den Stillstand vorkommen, dass der Verbrennungsmotor „abgewürgt“ wird, wenn der Fahrer die Kupplung nicht betätigt.

#### Motorsteuerung

Der notwendige Stellbereich reicht (analog zur Bremse) über den gesamten zur Verfügung stehenden Momentenbereich, um alle Fahrsituationen abdecken zu können. Der zur Verfügung stehende Momentenbereich reicht vom Schleppmoment im negativen Momentenbereich bis zur Vollastkurve im positiven Momentenbereich (siehe Abbildung 2.6).

Die erforderliche Stelldynamik entspricht der Dynamik, die der Fahrer auch bei Betätigung des Fahrpedals fordert. Bei modernen Systemen erfolgt die Übertragung der Fahrersollwerte elektronisch, so dass Fahrer- und ACC bzw. FSRA-Vorgaben auf dem gleichen Weg mit der gleichen Dynamik übertragen werden.

Bei Fahrzeugen mit Handschaltgetrieben muss der Motorsteuerung der eingelegte Gang bekannt sein. Aus der Übersetzung und dem vom ACC angeforderten Antriebsmoment errechnet die Motorsteuerung das erforderliche Motormoment. Bei zu niedriger Motordrehzahl weist die Motorsteuerung den Fahrer darauf hin, in einen niedrigeren Gang zurückzuschalten. Um zu verhindern, dass der Motor „abgewürgt“ wird, hat die Motorsteuerung die Möglichkeit, ACC zu deaktivieren. ACC wird auch deaktiviert, wenn die Kupplung über eine zu lange Zeitdauer (typisch 8 s) betätigt bleibt, oder nicht der passende Gang eingelegt wird [WDS09].

### **Getriebesteuerung**

Fahrzeuge mit Handschaltgetriebe können mit ACC, FCW, BA, AEB oder ACS ausgestattet sein. FSRA erfordert ein Getriebe mit dem automatisches Anhalten und Wiederlosfahren möglich ist. Aus Komfortgründen sind auch ACC-Fahrzeuge häufig mit Automatgetrieben ausgestattet.

Automatgetriebe bieten Einstellmöglichkeiten für Fahrprogramme wie beispielsweise:

- Economy
- Normal oder
- Sport.

Diese Einstellungen unterscheiden sich durch die Wahl der Schaltzeitpunkte untereinander. Manche Getriebesteuerungen erkennen die Fahrsituation und passen die Schaltzeitstrategie danach an. Besondere Fahrsituationen können z. B.

- Bergauffahrt: Schaltpunkte bei höherer Drehzahl
- Kurvenfahrt: Schaltvorgänge verzögert oder verboten um Fahrzeugstabilität zu erhöhen
- Winterbetrieb: Durchdrehen der Räder verhindern, höheren Gang auswählen um weniger Moment auf die Antriebsräder zu übertragen
- ASR<sup>15</sup>-Betrieb: Unterdrückung angeforderter Schaltvorgänge zur Unterstützung der ASR-Funktion

sein [Bos04]. Diese Fahrsituationen können auch mit aktiviertem ACC bzw. FSRA auftreten, wobei es erforderlich sein kann, dass ACC bzw. FSRA in manchen Situationen nach einer Übergabeaufforderung an den Fahrer deaktiviert wird.

---

<sup>15</sup> ASR: Antriebsschlupfregelung

Die ACC bzw. FSRA-Steuerung braucht die Information, welcher Gang eingelegt ist bzw. ob ein gültiger (Vorwärts-)Gang eingelegt ist. Soll vom ACC ein Motormoment vorgegeben werden, so ist auch die Kenntnis der aktuellen Strangverstärkung  $V_S$ , zusammengesetzt aus der Wandlerverstärkung  $\mu_W$ , der aktuellen Getriebeübersetzung  $i_G$ , der Achsübersetzung  $i_A$  und dem dynamischen Rollradius  $r$  notwendig:

$$V_S = \frac{\mu_W \cdot i_G \cdot i_A}{r} \quad (4.2)$$

Elektronisch schaltbare Getriebe bieten für FSRA die Möglichkeit des automatischen Einlegens der Parksperrung, wobei die Verantwortung zur Stillstandsabsicherung trotzdem an den Fahrer übergeben wird, da die Parksperrung nur auf die angetriebenen Räder wirkt, was in manchen Fällen nicht ausreichend sein kann [WDS09].

### 4.2.3. Bedienung und Anzeige

Über die Bedienung und Anzeige erfolgt die Schnittstelle zum Fahrer (sog. Mensch-Maschine-Schnittstelle, HMI<sup>16</sup>). Die Bedienung und die Interpretation der Anzeige sollen möglichst einfach, eindeutig und intuitiv sein [Bos04].

Die Ausführungen der Bedienung und Anzeige sind in verschiedenen Fahrzeugen verschieden und dem Bedienkonzept des jeweiligen Herstellers angepasst. Im Folgenden werden die Mindestanforderungen für die Bedienung und Anzeige für ACC laut ISO 15622 beschrieben:

- Der Fahrer soll die gewünschte Sollgeschwindigkeit einstellen können.
- Bei Betätigung des Bremspedals durch den Fahrer soll das ACC deaktiviert werden, wenigstens wenn die vom Fahrer geforderte Bremskraft größer ist als die vom ACC geforderte. Das Ansprechverhalten der Bremsen auf eine Betätigung des Fahrers hin darf durch das ACC nicht wesentlich verändert werden, auch wenn das ACC gerade automatisch bremst.
- Bei Fahrzeugen mit Schaltgetriebe kann ACC bei Betätigung des Kupplungspedals entweder vorübergehend deaktiviert werden und im (ACC active) - Zustand (siehe Abbildung 4.1) bleiben oder auf (ACC stand-by) (siehe Abbildung 4.1) umschalten. Ein automatisches Bremsmanöver kann bei Betätigung des Kupplungspedals fortgesetzt werden. Werden die Bremsen gelöst, kann das ACC entweder aktiv bleiben oder auf (ACC stand-by) umschalten, je nachdem, ob der Fahrer das Kupplungspedal betätigt, oder nicht.
- Die größere Beschleunigungsanforderung entweder des Fahrers oder des ACC wird an die Motorsteuerung weitergegeben. Dadurch kann der Fahrer die ACC-Beschleunigungsanforderung jederzeit übersteuern. Ist die Beschleunigungsanforderung des Fahrers größer als die des ACC, wird eine automatische Bremsung unverzüglich beendet und die Fahrerforderung umgesetzt.

---

<sup>16</sup> HMI: Human Machine Interface

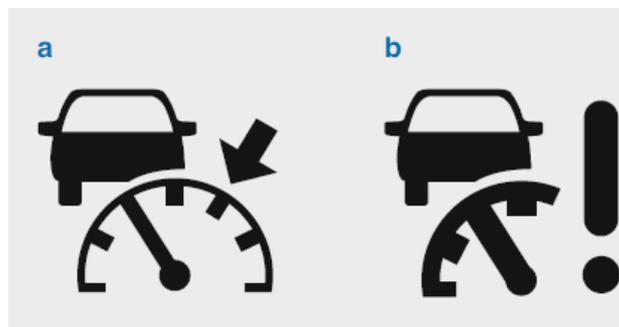
- Durch eine automatische Bremsung dürfen die Räder nicht länger blockieren, als dies mit ABS der Fall wäre.
- Eine Antriebsregelung durch das ACC darf nicht zu länger andauerndem großen Radschlupf führen, als dies mit ASR der Fall wäre.

Laut ISO 15622 ist es nach den beiden letztgenannten Forderungen nicht notwendig, dass ABS und ASR im Fahrzeug vorhanden sind. Um ein Blockieren der Räder beim automatischen Bremsen bzw. Durchdrehen der Räder beim automatischen Beschleunigen wirkungsvoll zu vermeiden ist allerdings ABS und ASR erforderlich.

- ACC-Systeme können die Zeitlücke automatisch vergrößern (z.B. bei schlechten Wetterbedingungen, die über den in manchen Fahrzeugen bereits verbauten Regensensor erkannt werden können). Die automatische Einstellung darf nicht kleiner als die Einstellung des Fahrers sein.
- Lässt sich die Zeitlücke durch den Fahrer einstellen, soll die Einstellung eine der Forderungen erfüllen:
  - Bleibt die zuletzt verwendete Zeitlücke gespeichert, wenn das System wieder aktiviert wird, ist die Zeitlückeneinstellung dem Fahrer klar anzuzeigen.
  - Bleibt die zuletzt verwendete Zeitlücke nicht gespeichert, hat die voreingestellte Zeitlücke beim Aktivieren des Systems  $\geq 1,5$  s zu sein.
- Gibt es auch einen konventionellen Tempomat (Cruise Control, CC) neben dem Abstandsregeltempomat (Adaptive Cruise Control, ACC), darf nicht automatisch zwischen den beiden umgeschaltet werden.

Bezüglich der Anzeigeelemente ist Folgendes in ISO 15622 festgelegt:

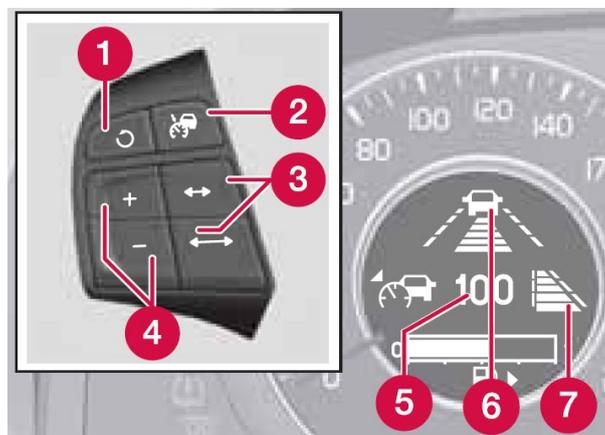
- Die minimale Anzeigeinformation für den Fahrer enthält den Aktivierungsstatus (ist ACC aktiv oder nicht, siehe **a** in Abbildung 4.5) und die gewählte Sollgeschwindigkeit. Das kann durch eine kombinierte Anzeige geschehen, beispielsweise Anzeige der gewählten Sollgeschwindigkeit nur, wenn ACC aktiv ist.



**Abbildung 4.5:** Symbole für die ACC-Aktivierung nach ISO 2575 [Rei10]:  
**a** ACC-Funktion, **b** ACC-Fehlfunktion

- Der Fahrer soll über eine ACC-Fehlfunktion informiert werden. Wird dazu ein Symbol verwendet, soll ein Symbol nach ISO 2575 (siehe **b** in Abbildung 4.5) verwendet werden.
- Wird ACC automatisch deaktiviert, soll der Fahrer informiert werden.
- Ist das Fahrzeug mit ACC und einem konventionellen Tempomat ausgestattet, soll der Fahrer darauf aufmerksam gemacht werden, welches System gerade in Betrieb ist.
- Eine Anzeige, dass ein vorausfahrendes Fahrzeug als Target-Fahrzeug zur ACC-Regelung erkannt wurde wird empfohlen, ist aber nicht verpflichtend [ISO15622].

Exemplarisch sind die Bedienelemente für ACC und die Anzeige eines Volvo S80 in Abbildung 4.6 dargestellt. Die Bedienelemente sind als Tasten am Lenkrad ausgeführt und die Anzeige befindet sich am Armaturenbrett innerhalb des Tachometers. Mit der Taste **1** wird vom Bereitschaftsmodus in aktive ACC-Regelung gewechselt und die gespeicherte Geschwindigkeit wiederaufgenommen („Resume“). Taste **2** dient zum Ein- und Ausschalten bzw. zum Wechseln in den Bereitschaftsmodus. Mit den Tasten **3** kann die Zeitlücke zum Vorderfahrzeug in fünf Stufen eingestellt werden. Über die Tasten **4** wird die Sollgeschwindigkeit eingestellt. Die Digitalanzeige **5** zeigt die eingestellte Sollgeschwindigkeit an. Bei **6** erscheint ein Fahrzeugsymbol, wenn ein Target-Fahrzeug erfasst ist, die waagrechten Balken zeigen die Zeitlückeneinstellung (über **3**) während der Einstellung an. **7** zeigt die Zeitlücke nach der Einstellung an, da die Anzeige **6** auch für andere Informationen verwendet wird.



**Abbildung 4.6:** Bedienung und Anzeige des ACC im Volvo S80, Modelljahr 2011 [Vol10]:

- 1 Der Bereitschaftsmodus wird verlassen und die gespeicherte Geschwindigkeit wiederaufgenommen.
- 2 ACC – Ein/Aus oder Bereitschaftsmodus. 3 Zeitlücke – Erhöhen/Verringern. 4 Geschwindigkeit aktivieren und einstellen. 5 Gewählte Geschwindigkeit (in Klammer = Bereitschaftsmodus). 6 Zeitlücke – Ein, während der Einstellung. 7 Zeitlücke – Ein, nach der Einstellung.

Nach ISO 22179 gelten die für ACC angeführten Anforderungen sinngemäß auch für FSRA. Zusätzlich gibt es für FSRA noch folgendes zu beachten:

- Optional kann FSRA auch im Stillstand vom Fahrer aktiviert werden, auch wenn das Bremspedal betätigt ist.

Für FCW werden in ISO 15623 folgende Anforderungen an die Warnung gestellt:

Die optische oder akustische Warnung soll wie in Tabelle 4.1 dargestellt erfolgen.

Bei Überlagerung mit anderen Warnungen soll die Frontalkollisionswarnung für den Fahrer klar von den anderen Warnungen unterscheidbar sein.

**Tabelle 4.1:** Warncharakteristik von FCW [ISO15623]

Warnung	Optische Warnung	Akustische Warnung
Kollisionswarnung	Farbe: rot Position: Hauptblickrichtung Helligkeit: hoch Intervall: mit kurzem Intervall intermittierend wird empfohlen	Lautstärke: höchste Lautstärke aller gerade im Fahrzeug durchgeführten Warnungen um die höchste Wichtigkeit darzustellen Ton: ein reiner Ton soll vermieden werden Intervall: mit kurzem Intervall intermittierend wird empfohlen
Vorab-Kollisionswarnung	Farbe: gelb oder bernsteinfarben Helligkeit: hell genug bei Tag, nicht grell bei Nacht Intervall: kontinuierlich oder mit langem Intervall intermittierend	Lautstärke: ausreichend um Hintergrundgeräusche zu übertönen Ton: nicht störender Ton Intervall: kontinuierlicher Klang oder mit langem Intervall intermittierend oder einzelner Warnton

Der Fahrer soll optisch darüber informiert werden, dass FCW in Betrieb ist (z.B. ein beleuchteter Ein-Schalter). Funktioniert das System nicht, ist dies dem Fahrer anzuzeigen (z.B. als Störungsanzeige am Armaturenbrett).

Beim Volvo S80 Modelljahr 2011 erfolgt eine Frontalkollisionswarnung, wenn die Systemgrenzen des ACC beim Verzögern überschritten werden und ein Fahrereingriff notwendig wird. Dazu erfolgt eine akustische und optische Warnung. Zur optischen Warnung wird im Sichtbereich des Fahrers über dem Armaturenbrett ein roter Balken auf die Windschutzscheibe projiziert (siehe Abbildung 4.7).



**Abbildung 4.7:** Optische Frontalkollisionswarnung im Volvo S80, Modelljahr 2011 [Vol10]:  
1 Roter Balken auf die Windschutzscheibe projiziert

#### 4.2.4. Sensoren

Längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme nutzen zum Teil bereits im Fahrzeug vorhandene Sensoren (Standardsensoren) um die Bewegung des Ego-Fahrzeugs ermitteln zu können, sie benötigen aber auch zusätzliche Sensoren (Zusatzsensoren) zur Umgebungserkennung.

##### Standardsensoren

Die Sensoren des ESP werden zur Ermittlung der Fahrzeugbewegung genutzt. Die Messgrößen werden über das Fahrzeugbussystem vom ESP-Steuergerät zum Steuergerät des Abstandsregeltempomaten oder Frontalkollisionsschutzsystem übertragen [Bos04]. Folgende Sensoren werden auch von längsdynamisch regelnden Systemen genutzt [Mör09]:

- Drehratensensor: Die Drehbewegung eines Fahrzeuges um alle drei Raumachsen wird sensiert. Für ESP ist die Gierrate um die Fahrzeughochachse von Bedeutung. Überschlagserkennung benötigt die Rollbewegung um die Fahrzeuglängsachse und eine aktive Fahrwerksregelung benötigt die Nickbewegung um die Fahrzeugquerachse.
- Lenkradwinkelsensor: Der Lenkradwinkel ist die Eingangsgröße des Fahrers, der Richtungswunsch, den der Fahrer vorgibt. Er wird an der Lenksäule erfasst. Über die Lenkübersetzung kann damit der Lenkwinkel an den Rädern (links/rechts) ermittelt werden.
- Beschleunigungssensor: Die Beschleunigung des Fahrzeugaufbaus wird im Bereich des Schwerpunkts gemessen um gyroskopische Einflüsse gering zu halten. Für längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme ist die Beschleunigung in Fahrzeuglängs- und Fahrzeugquerrichtung wichtig. Statische Abweichungen (Fahrbahnlängs- und -querneigung) wirken sich auf die Beschleunigungssensoren aus.
- Raddrehzahlsensor: Raddrehzahl, Radbeschleunigung und manchmal auch Raddrehrichtung werden mit den Raddrehzahlsensoren an jedem Rad bestimmt. Daraus können Reibwert, Radschlupf und Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt werden.
- Bremsdrucksensor: Zur Erfassung der vom Fahrer eingesteuerten Bremskraftanforderung wird der Bremsdruck im Hauptbremszylinder gemessen. Bei manchen Fahrzeugen, wird zusätzlich der Bremsdruck in den einzelnen Bremskreisen oder an jedem Radbremszylinder gemessen.

##### Zusatzsensoren

Für längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme sind zusätzliche Sensoren zur Umgebungserkennung erforderlich. Der Abstand und die Relativgeschwindigkeit zu einem möglichen Zielobjekt sind zu bestimmen. Die Sensoren müssen

- bei allen Lichtverhältnissen
- in jeder Umgebung (Tunnel, Unterführung, ...)

- bei allen Witterungsbedingungen und
- bei verschiedenen Fahrbahnbegrenzungen

die im Einsatz auftreten können, im Rahmen ihrer Systemgrenzen funktionieren [Luh06]. Sollten unter gewissen Bedingungen die Systemgrenzen überschritten werden und das System nicht funktionieren, so ist dies dem Fahrer klar mitzuteilen.

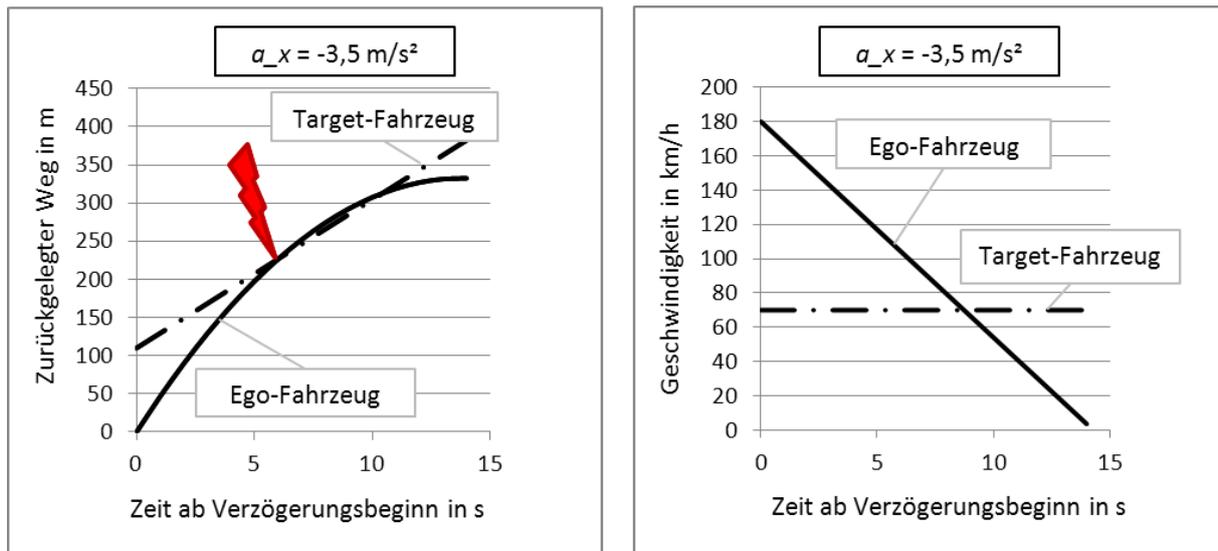
Der notwendige Erkennungsbereich der Sensoren kann mit Reichweite und Öffnungswinkel (siehe Abbildung 2.2) angegeben werden.

Die Erkennungsreichweite für ACC ist in ISO 15622 wie in Abbildung 3.4 dargestellt und nach den Gleichungen (3.1) bis (3.3) festgelegt. Mit gängigen Eingangsgrößen ergibt sich eine Reichweite nach Tabelle 4.2.

**Tabelle 4.2:** Erkennungsreichweite für ACC nach ISO 15622

Minimale Zeitlücke bei minimaler Geschwindigkeit bei der Beschleunigung erlaubt ist	Maximale Zeitlücke bei maximaler Sollgeschwindigkeit	Minimale Geschwindigkeit bei der Beschleunigung erlaubt ist		Maximale Sollgeschwindigkeit		Grenzabstand, unter dem Erkennung eines Fahrzeuges nicht erforderlich ist	Grenzabstand, unter dem Abstands- oder Geschwindigkeitserkennung nicht erforderlich	Maximale Erkennungsreichweite auf gerader Straße
$\tau_{\min}(v_{\text{low}})$	$\tau_{\max}(v_{\text{set\_max}})$	v_low		v_set_max		d_0	d_1	d_max
s	s	km/h	m/s	km/h	m/s	m	m	m
0,8	2,2	18	5	180	50	2	4	110

Die maximale Erkennungsreichweite bei maximaler Sollgeschwindigkeit ist für den stationären Zustand ausreichend, bei großen Geschwindigkeitsdifferenzen ist eine höhere Erkennungsreichweite erforderlich. Wie in Abbildung 4.9 ersichtlich, reicht bei einer begrenzten Verzögerung (wie bei ACC nach ISO 15622) die Erkennungsreichweite nach Tabelle 4.2 nicht aus, um mit einem Fahrzeug mit einer Fahrgeschwindigkeit von 180 km/h automatisch hinter einem Ego-Fahrzeug, das sich konstant mit einer Fahrgeschwindigkeit von 70 km/h fortbewegt, zu verzögern. In diesem Fall ist ein Fahrereingriff notwendig. In Abbildung 4.8 links ist der Verlauf der zurückgelegten Wege von Ego- und Target-Fahrzeug über der Zeit dargestellt, wenn die Verzögerung unverzüglich bei Erkennung in einem Abstand von 110 m einsetzt. In Abbildung 4.8 rechts ist der Verlauf der Geschwindigkeiten von Ego- und Target-Fahrzeug über der Zeit aufgetragen.


**Abbildung 4.8:** Nicht ausreichende ACC Erkennungsreichweite

Mit größer werdendem Abstand wird die Zielauswahl immer schwieriger und eine Verzögerungsreaktion auf ein weit entferntes Ziel wird vom Fahrer oft nicht gewünscht, da der entsprechende Überholvorgang erst später eingeleitet wird. Die eingesetzten Sensoren haben zwar eine größere Reichweite, der Bereich in dem auf Ziele reagiert wird, ist in der Praxis oft beschränkt [WDS09].

Der für ACC notwendige horizontale Öffnungswinkel  $\alpha_S$  nach Abbildung 4.9 errechnet sich aus [WDS09]

$$\alpha_S = \arcsin\left(\frac{y_{max}}{d_{Rmin}}\right), \quad (4.3)$$

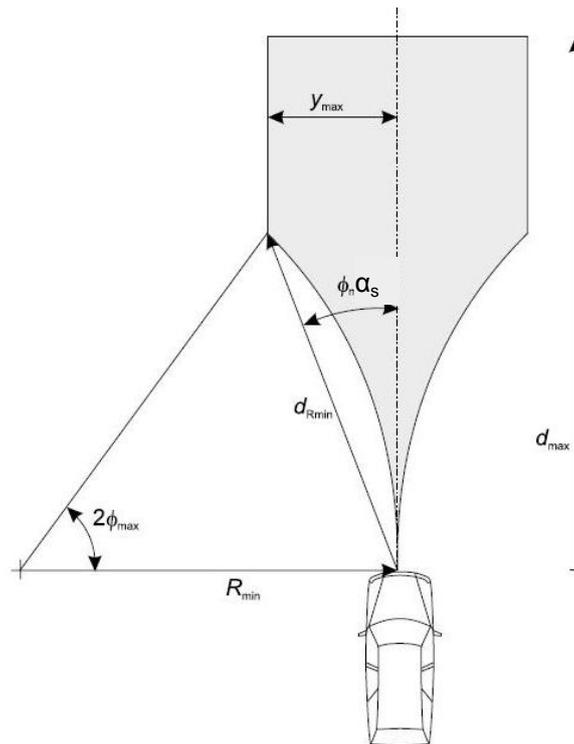
mit dem maximalen Querversatz  $y_{max}$

$$y_{max} = \frac{\tau_{max}^2}{2} \cdot a_{ymax}, \quad (4.4)$$

der bei und maximaler Zeitlücke  $\tau_{max}$  und maximaler Querbeschleunigung  $a_{ymax}$  erreicht werden kann und dem minimalen Abstand  $d_{Rmin}$

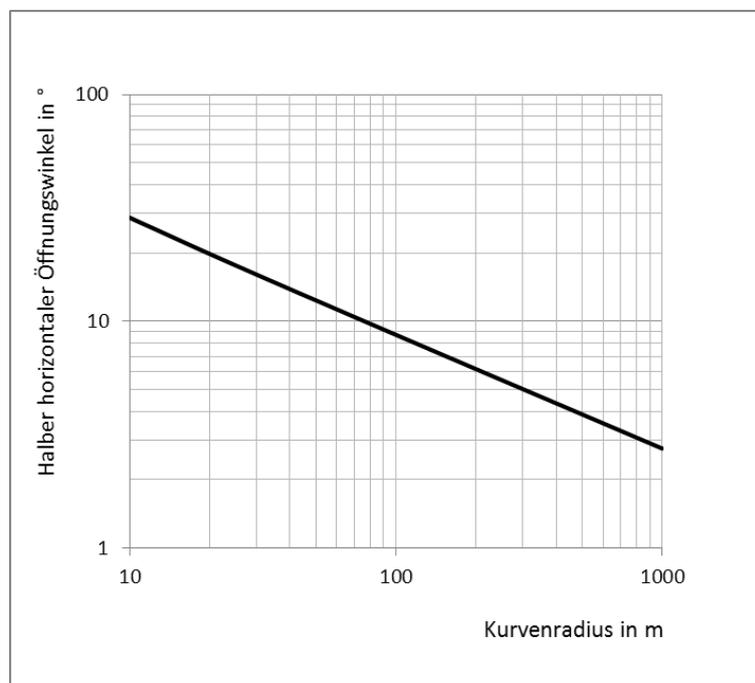
$$d_{Rmin} = \tau_{max} \cdot \sqrt{a_{ymax} \cdot R_{min}}, \quad (4.5)$$

der sich aus der maximalen Zeitlücke  $\tau_{max}$ , der maximalen Querbeschleunigung  $a_{ymax}$  und dem minimalen Kurvenradius  $R_{min}$  zusammensetzt.



**Abbildung 4.9:** Notwendiger horizontaler Erkennungsbereich für ACC [WDS09]

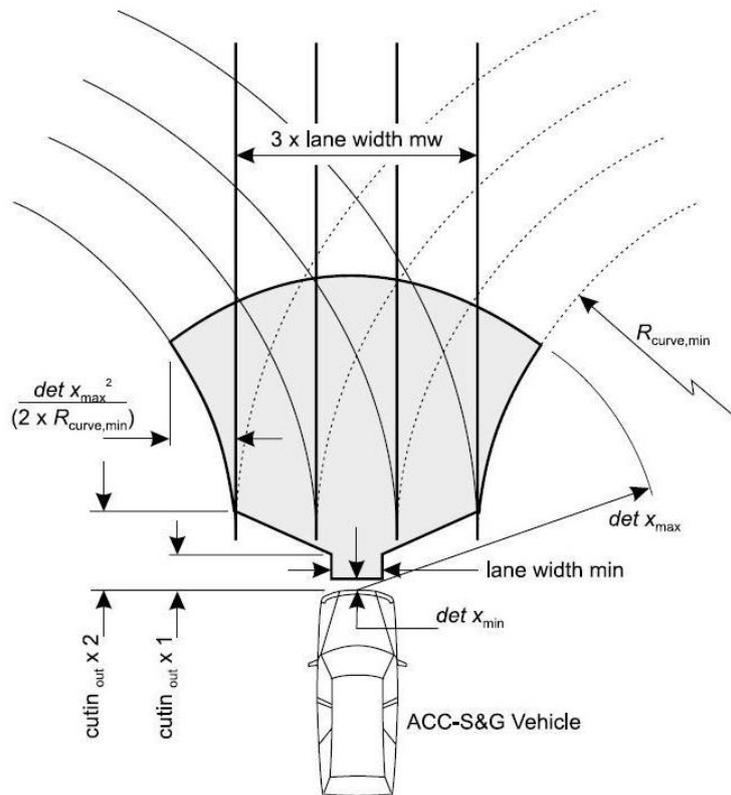
Ausgewertet für  $\tau_{\max} = 2s$  und  $a_{y\max} = 2,3m/s^2$  (siehe Kapitel 3.1.1) ergibt sich der Zusammenhang nach Abbildung 4.10:



**Abbildung 4.10:** Erforderlicher Öffnungswinkel für ACC

Der erforderliche horizontale Erkennungsbereich für FSRA ist größer, da für automatisches Anfahren der Bereich vor dem Fahrzeug auf ganzer Breite abdeckt werden muss, bzw. zur

Erkennung einsicherender Fahrzeuge im Langsamfahrbereich die Erkennungsbreite auch die benachbarten Spuren einschließen muss, siehe Abbildung 4.11. Laut [WDS09] wird für FSRA eine Abdeckung von drei Fahrspuren unter Berücksichtigung des minimal möglichen Kurvenradius vor dem Ego-Fahrzeuge gefordert um etwaige einsicherende Fahrzeuge bei langsamer Kolonnenfahrt schon auf der Nebenspur zu erkennen.



**Abbildung 4.11:** Horizontaler Erkennungsbereich für FSRA [WDS09]

Um den geforderten Erkennungsbereich für FSRA (siehe Abbildung 4.11) abdecken zu können, ist meist eine Kombination mehrerer Sensoren notwendig.

Der vertikale Erkennungsbereich für ACC und FSRA-Fernbereichssensoren liegt bei mindestens  $\beta_s = \pm 1,5^\circ$  [WDS09]. Ist der auftretende Nickwinkel im Fahrzeug größer, muss auch der vertikale Erkennungsbereich der Sensoren entsprechend größer sein. Treten größere Verzögerungen auf, wie bei Frontalkollisionsschutzsystemen, können größere Nickwinkel (Richtwert nach [MW04] für Pkw, bezogen auf die Erdbeschleunigung: 1,0 bis 2,3°/g) auftreten. Auch die Topologie des Straßenverlaufs (Wannen, Kuppen, Rampen, sonstige Unebenheiten) oder ein statischer Nickwinkel durch Beladung oder Anhänger (siehe Kapitel 4.1.2) fordert einen größeren vertikalen Erkennungsbereich. Möglichkeiten zum Nickwinkelausgleich sind ein Kapitel 2.1 beschrieben.

Die geforderte Genauigkeit für ACC und FSRA liegt bei Abstandsbestimmung bei  $< 1$  m. Die Anforderungen an die Genauigkeit der Relativgeschwindigkeitsermittlung sind höher, da jede Abweichung der Relativgeschwindigkeit zu einer Veränderung der Beschleunigung führt. Eine Genauigkeit von 0,25 m/s oder 3% der Relativgeschwindigkeit soll erreicht werden [WDS09].

Fernbereichssensoren für ACC, FSRA, FCW, BA und AEB sind oft als Radarsensoren im 76-77 GHz Frequenzbereich oder als Lidarsensoren im 905-920 nm Wellenlängenbereich ausgeführt. Der Erkennungsbereich erstreckt sich typischerweise von 1 m bis 200 m Entfernung. Der horizontale Öffnungswinkel liegt bei  $\alpha_S = \pm 10^\circ$ , der vertikale Öffnungswinkel ist meist  $\beta_S \geq \pm 2^\circ$ . Der Relativgeschwindigkeitsmessbereich ausgeführter Sensoren liegt bei etwa -80 m/s bis +30 m/s, die Relativgeschwindigkeitsgenauigkeit bei  $< 0,2$  m/s und die Abstandsgenauigkeit bei  $< 1$  m [Win09b].

Unter Kapitel A.3 findet sich ein Zahlenwertbeispiel zur Abweichung der TTC wenn die Abweichungen der ermittelten Werte für Abstand und Relativgeschwindigkeit im Grenzbereich liegen.

Die Dauer eines Messzyklus im Sensor ist in [Win09b] mit 36 ms bis 125 ms angegeben. In Kapitel A.4 ist ein Zahlenwertbeispiel zur Relativabstandsänderung bei einer bestimmten Relativgeschwindigkeit innerhalb der Dauer eines Messzyklus angegeben.

Die Mittel- und Nahbereichserkennung für FSRA, FCW, BA, AEB und ACS kann über Radarsensoren im 24 GHz Frequenzbereich, Lidarsensoren oder über Kamerasysteme bewerkstelligt werden. Bei geringerer maximaler Reichweite haben diese Sensoren größere Öffnungswinkel zum Abdecken des Bereichs vor dem Fahrzeug (vgl. Abbildung 4.11). Der horizontale Öffnungswinkel reicht bis  $\alpha_S = \pm 60^\circ$ , der vertikale Öffnungswinkel ist typisch  $\beta_S = \pm 10^\circ$ , je nach System [Win09b].

Der Laser in Lidarsensoren hat der Laserklasse 1 nach IEC 60825-1 zu entsprechen [ISO15623].

Ein Hersteller optikbasierender Sensoren, Mobileye, stellt eine Kamera für ACC mit einer Reichweite bis zu 200 m als alleinigen Sensor ohne Unterstützung eines Radarsensors in Aussicht [Mob12].

Durch Sensorfusion eröffnen sich weitere Möglichkeiten. Um eine verbesserte Abdeckung von Fern- und Nahbereich zu erreichen, werden mehrere Sensoren verwendet. In sich überlappenden Erkennungsbereichen kann eine Plausibilitätskontrolle durchgeführt werden, ein Sensor kann verschiedene Assistenzsysteme versorgen, beispielsweise eine Kamera für die Nahbereichsüberwachung des FSRA, Spurhalteassistent, Objekterkennung für ACS in Kombination mit einem Radarsensor für die Fernbereichsüberwachung des FSRA. In Abbildung 4.12 ist der getrennte Einbau von Kamera und Radarsensor zu sehen.



**Abbildung 4.12:** Kamera im Bereich des Innenspiegels an der Windschutzscheibe im Wischbereich des Scheibenwischers, Radarsensor hinter dem Kühlergrill im Volvo S60 [VKU11]

Die Montageposition der Sensoren liegt in der Fahrzeugfront. Dabei ist darauf zu achten, dass durch geeignete Leitung der Luftströmung und passende Ausführung der Sensorabdeckung die Verschmutzung gering gehalten wird. Die Abdeckung sollte möglichst glatt sein, damit Schmutz nicht leicht haften bleibt. Die Fortführung von Rippen des Kühlergrills aus Designgründen erweist sich hier als nachteilig. Zur Vermeidung von anhaftendem Schnee und Matsch gibt es auch die Möglichkeit der Linsenheizung.

Bagatellunfälle können zu Schäden an Sensoren für Fahrerassistenzsysteme mit erheblichen Reparaturkosten führen[Öam12]. Die Montage der Sensoren außerhalb des beschädigungsgefährdeten Frontschürzen- und Kühlergrillbereichs ist in Betracht zu ziehen. Der in einem Gehäuse integrierte Radar- und Kamerasensor inklusive Sensordatenfusion und Auswerteelektronik, RACam von Delphi (siehe Abbildung 4.13) wird im Bereich des Innenspiegels an der Windschutzscheibe im Wischbereich des Scheibenwischers montiert.



**Abbildung 4.13:** Delphi RACam [Del12]

Je größer die Reichweite von Umfelderkennungssensoren, desto genauer muss die Sensorachse parallel zur Fahrzeuginnenachse ausgerichtet sein. Bereits kleine Winkelfehler durch ungenaue Montage wirken sich im Erkennungsverhalten stark aus, ab ca.  $0,3^\circ$  horizontaler Fehlstellung bei einem ACC-Sensor sind die Auswirkungen für den Fahrer spürbar [Bos04]. Die Befestigung sollte möglichst steif und einstellbar erfolgen. Die Kontrolle der Sensoreinstellung kann beispielsweise über einen am Sensorgehäuse angebrachten Spiegel mit einem Laser am Achsgeometrieprüfstand erfolgen, indem der Spiegel mit einem Laser aus einer definierten Richtung bestrahlt wird und der reflektierte Laserstrahl in einen definierten Bereich treffen muss.

#### 4.2.5. Kommunikation/Datenübertragung/Schnittstellen

Die Datenübertragung zwischen Sensoren, Steuergeräten und Aktuatoren erfolgt über verschiedene Bussysteme im Fahrzeug. Aus der Sicht von längsdynamisch regelnden Systemen ergeben sich folgende Anforderungen an diese [RB09]:

- **Bandbreiten:** Besonders die Übertragung von Videosignalen von Kameras benötigt eine hohe Übertragungsbandbreite.
- **Latenzzeiten:** Bei Systemen, die einen schnellen Eingriff erfordern sind mögliche Latenzzeiten (worst case execution time) im Vorfeld abzuschätzen.
- **Jitter:** Die Schwankungen im Übertragungstakt (Jitter) sind gering zu halten, insbesondere bei Sensordatenfusion, wenn eine genaue Zeitzuordnung notwendig ist.
- **Übertragungssicherheit:** Die Robustheit der Datenübertragung trotz vieler eingestrahelter und eingekoppelter Störungen im Fahrzeug ist ohne aufwendige Abschirmmaßnahmen zu gewährleisten.
- **Leitungslänge:** Mit steigender Übertragungsrates der Bussysteme steigen die Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften der Busverbindung. Die Topologie der Busverbindungen muss ausreichend dimensioniert und durch Simulation und Messung abgesichert werden.

Wird beispielsweise beim Verzögern mit ACC erst das Schlepplmoment des Motors genutzt und erst, wenn dieses nicht mehr ausreicht, die Reibbremse über das Hydroaggregat mit Druck beaufschlagt, hat der Übergang für den Fahrer möglichst nicht merkbar zu erfolgen. Das ACC-Steuergerät hat unter Berücksichtigung der Datenübertragung seine Stellbefehle so an Antriebssteuerung (Motor- und Getriebesteuergerät) und Bremse (ESP) auszugeben, dass die Umsetzung der Befehle dort zur gewünschten Zeit die gewünschte Wirkung hervorruft.

#### 4.2.6. Steuergerät

Das Steuergerät ist oft mit einem Sensor kombiniert zu einer sogenannten Sensor-Control Unit (SCU). Durch den Montageort in der Fahrzeugfront hat die SCU robust gegen äußere Einflüsse und klein in den Abmessungen zu sein.

In Abbildung 4.14 ist exemplarisch die Funktionsstruktur des DISTRONIC Steuergerätes von Mercedes-Benz zu sehen. Es handelt sich dabei um ACC mit Abstandswarnfunktion. Die Eingangsgrößen sind die Daten des Radarsensors und der Lenkwinkel für das Funktionsmodul Tracking. Die Einstellung des Tempomathebels, Kick-down Erkennung, Leerlaufenerkennung, Fahrpedalstellung, Istgeschwindigkeit und Signal des Bremslichtschalters gehen als Eingangsgrößen in das Fahrerinterpretationssystem. Über Abstandsregler, Tempomat, Begrenzer, Koordinator und Längsregler gehen die Stellbefehle als Momentenanforderung an das ESP-Steuergerät, über das hier als Besonderheit nicht nur die Ansteuerung der Bremse, sondern auch für die Ansteuerung des Antriebs erfolgt.

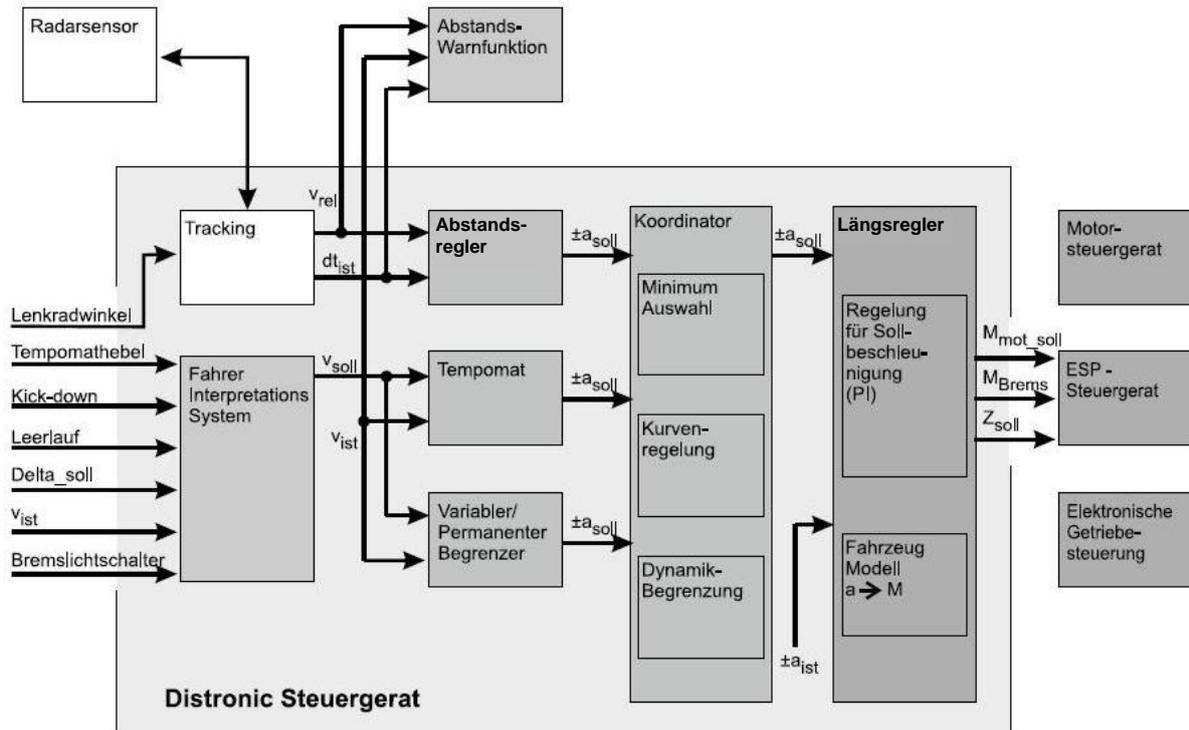


Abbildung 4.14: DISTRONIC Steuergerät [WDS09]

Über die Funktionen Kurvenregelung und Dynamikbegrenzung im Koordinator werden die Beschleunigungsgrenzen des ACC in Quer- und Längsrichtung (siehe Kapitel 3.1.1) eingehalten. Im Fahrzeugmodell im Längsregler wird die Beschleunigungsanforderung in eine Momentenanforderung umgerechnet.

Zusätzlich wird, je nach Relativgeschwindigkeit, Eigengeschwindigkeit und Abstand die Abstandswarnfunktion aktiviert, die den Fahrer zum Eingriff auffordert.

## 5. Erprobungsplan

Für ACC, FSRA und FCW gibt es bereits erschienene Normen (siehe Kap. 2.3) in denen Standards zur Erprobung definiert sind. Für BA, AEB und ACS gibt es noch keine Standards aber eine große Anzahl von Vorschlägen von diversen Organisationen (z.B. ADAC, TÜV Süd<sup>17</sup>) und EU-unterstützten Forschungsprojekten (z.B. eVALUE<sup>18</sup>, ActiveTest<sup>19</sup>, PReVENT<sup>20</sup>).

Um einen Überblick zu erhalten, wird die zugängliche Information aus o. g. Normen und Veröffentlichungen der Forschungsprojekte in einem objektiven Testkatalog (siehe Tabelle A.3) zusammengestellt.

### 5.1. Objektive Kriterien

Objektive Prüfverfahren zeichnen sich dadurch aus, fahrerunabhängige Messdaten zu liefern. Mit diesen Messdaten können Fahrzeuge untereinander auch nach langer Zeit noch objektiv verglichen werden. Die Ergebnisse sind mit geringer Abweichung reproduzierbar. Die Messdaten können als Eingangsgrößen für die Simulation verwendet werden. Die Anforderungen an die Feinfühligkeit des Fahrers sind bei objektiven Prüfverfahren nicht so hoch wie bei einer subjektiven Bewertung.

Für die standardisierten Prüfverfahren nach

- ISO 15622 für ACC
- SAE J2399 für ACC
- ISO 22179 für FSRA
- ISO 15623 für FCW
- US NCAP FCW Confirmation Tests
- SAE J2400 für FCW,

sind die Kriterien stichwortartig in den objektiven Testkatalog aufgenommen worden. Eine detaillierte Beschreibung der Prüfvorschrift ist den Originaldokumenten zu entnehmen.

---

<sup>17</sup> TÜV Süd: Technischer Überwachungs-Verein Süd [www.tuev-sued.de](http://www.tuev-sued.de)

<sup>18</sup> eVALUE: Testing and Evaluation Methods for ICT-based Safety Systems [www.evaluate-project.eu](http://www.evaluate-project.eu)

<sup>19</sup> ActiveTest: Dissemination of performance testing methods for active safety functions in road vehicles [www.activetest.eu](http://www.activetest.eu)

<sup>20</sup> PReVENT: Project of European automotive industry and European Commission to contribute to road safety [www.prevent-ip.org](http://www.prevent-ip.org)

Für die Tests, wie sie von

- TÜV Süd für ACC und FSRA
- ADAC für FCW, BA, AEB und ACS

durchgeführt werden, ist keine so detaillierte Information verfügbar. Soweit vorhanden, sind die Prüfkriterien in den objektiven Testkatalog aufgenommen worden.

Als Mindestanforderung werden Messgrößen (siehe Tabelle A.4) festgelegt, die in den zu erprobenden Fahrzeugen gemessen werden sollen. Dabei ist auch berücksichtigt, ob für diese Messgrößen zusätzliche Sensoren notwendig sind, oder die Information der fahrzeugeigenen Sensoren vom Fahrzeugbussystem aufgezeichnet werden kann.

### **5.2. Objektiver Testkatalog**

Der objektive Testkatalog ist im Tabelle A.3 zu finden. Darin sind bereits bestehende Testmanöver für ACC, FSRA, FCW, BA, AEB und ACS aufgelistet, die aus Normen und Standards entnommen worden sind, oder aus anderen Publikationen recherchiert wurden.

In Matrixdarstellung ist übersichtlich dargestellt, ob es sich um einen

- Sensortest
- Funktionstest oder
- Fehlfunktionstest

handelt.

Bei einem Sensortest wird allein die korrekte Funktion eines Sensors bezüglich Reichweite, Erkennungsgeschwindigkeit und Genauigkeit geprüft.

Ein Funktionstest stellt die Prüfung einer konkreten Funktion eines längsdynamisch regelnden Systems dar. Er wird geprüft, ob die Reaktion des Systems den Vorgaben entspricht.

Bei einem Fehlfunktionstest (false alert, fail operation) wird geprüft ob das System in gewissen Situation falsch reagiert, oder auf Situationen reagiert, in denen keine Reaktion erfolgen darf.

### 5.3. Prüfmittel und Ressourcen für objektive Tests

#### Target

Für alle Testmanöver ist zumindest ein Target erforderlich, je nach Manöver kann dies

- ein beliebiges Fahrzeug (Pkw)
- ein besonders spezifiziertes Target
- ein Dummy

sein.

Für manche Testmanöver ist ein beliebiger Pkw ausreichend, es werden keine weiteren Anforderungen an das Target gestellt. Es können auch mehrere Targets notwendig sein, beispielsweise wenn die Zielunterscheidungsfähigkeit eines Systems getestet werden soll.

Manche Tests verlangen besonders spezifizierte Targets, z.B. ein Motorrad, Fahrzeuge mit einer bestimmten Reflexionscharakteristik für Radar oder Lidar, Verkehrszeichen, Lkws oder bauliche Ziele wie Unterführungen.

Droht ein Aufprall auf das Target, muss das Target als Dummy ausgeführt sein, so dass der Aufprall für das Ego-Fahrzeug und dessen Fahrer ohne Folgen bleibt. Auch die Dummies sind für manche Testmanöver besonders spezifiziert.

Das Target kann je nach Anforderung

- feststehend oder
- bewegt

sein.

Um reale Verkehrssituation im Testmanöver nachbilden zu können, muss das Target häufig bewegt werden. Für reproduzierbare Tests können dabei automatisch gesteuerte Fahrzeuge notwendig sein, die einer vorgegebenen Bahn folgen können.

Hinsichtlich der Form wird zwischen

- ebenem (2-D) und
- räumlich ausgedehntem (3-D)

Target unterschieden.

In Situationen, in denen eine größere Winkelabweichung zwischen Ego-Fahrzeuglängsachse und der Target-Längsachse auftritt, ist eine Ausdehnung des Targets in die „Tiefe“ erforderlich um eine reale Situation darstellen zu können.

**Teststrecke**

Je nach Manöver sind die Anforderungen an die Teststrecke verschieden (siehe Tabelle A.3). Manche Manöver können auf der öffentlichen Straße durchgeführt werden, andere müssen abseits vom öffentlichen Verkehr durchgeführt werden.

**Messtechnik**

Für die standardisierten Testmanöver sind die zumeist hohen Anforderungen an die zu verwendete Messtechnik genau in den Prüfvorschriften beschrieben.

Um Messtechnik den einzelnen Fahrmanövern zuordnen zu können, werden drei Messsysteme definiert, siehe Tabelle 5.1.

**Tabelle 5.1:** Messsysteme

Name:		Bestehend aus:	Messgrößen, die aufgezeichnet werden können:
Messsystem 1	MS1	-	subjektiver Eindruck des Fahrers
Messsystem 2	MS2	VBOX 3 mit IMU	Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigungen in alle 3 Richtungen, Roll-, Nick- und Gierrate; Fahrzeugbus-Daten bedingt
Messsystem 3	MS3	ADAS Messsystem (z.B. Racelogic oder Dewetron)	zusätzlich zu MS2: Fahrzeugbus-Daten, Analogdaten, Video, Position (dGPS) für Ego- und Target-Fahrzeug mit online-Synchronisation der Daten

Mit Messsystem 1 können die Anforderungen für kein Fahrmanöver des objektiven Testkataloges erfüllt werden, diese Bewertungsmethode kommt allerdings bei der subjektiven Bewertung ab Kapitel 5.4 zur Anwendung.

Messsystem 2 entspricht der in der Automobilindustrie üblichen Standardmesstechnik, mit dem Problem, dass der Abstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug über den Entfernungssensor im Ego-Fahrzeug gemessen wird. Diese Daten können in einem Entwicklungsprojekt über das Fahrzeugbussystem aufgezeichnet werden. Das Messsystem 2 besteht aus einer VBOX 3, einer Inertial-Measurement-Unit (IMU) und einem Messrechner.

Die VBOX 3 ist ein GPS-Datenlogger des Messtechnikherstellers Racelogic der in Kombination mit einer IMU die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit, die Beschleunigung in allen 3 Richtungen und um 3 Raumachsen und eine begrenzte Anzahl von Fahrzeugbus-Größen mit maximal 100 Hz aufzeichnen kann.

Messsystem 3 bietet zusätzlich zu MS 2 die Möglichkeit, alle relevanten Fahrzeugbus-Daten aufzuzeichnen, Videoaufzeichnungen zu machen, eine genaue Positionsbestimmung von Ego- und Target-Fahrzeug mittels dGPS<sup>21</sup> und die Möglichkeit, alle Messdaten online zu synchronisieren.

---

<sup>21</sup> dGPS: Differential Global Positioning System (Globales Positionssystem mit Differentialsignal)

MS 3 wird auch als Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)-Messsystem bezeichnet. Derartige Systeme werden beispielsweise von den Messtechnikherstellern Racelogic oder Dewetron angeboten.

Für den Großteil der Fahrmanöver aus dem objektiven Testkatalog ist MS 3 erforderlich, wenn die Manöver anhand ihrer Prüfvorschrift durchgeführt werden.

### **Automatisierung**

Um die Reproduzierbarkeit der Fahrmanöver zu gewährleisten, werden manche Manöver mit Lenk- oder Bremsrobotern durchgeführt. Der TÜV Süd verwendet in seinen ACC-Tests beispielsweise einen genau und reproduzierbar steuernden Lenkroboter im Target-Fahrzeug um Spurwechselmanöver vor dem Ego-Fahrzeug definiert durchzuführen.

### **5.4. Subjektive Bewertung für ACC und FSRA**

Eine subjektive Bewertung kann schnell und mit vergleichbar wenig Aufwand durchgeführt werden. Im direkten Vergleich von verschiedenen Fahrzeugen kann eine subjektive Bewertung sehr kleine Unterschiede aufzeigen.

Aus den objektiven Testmanövern werden Manöver abgeleitet, deren Bewertung hauptsächlich subjektiv durch den Fahrer erfolgt („Messsystem 1“ in Tabelle 5.1). Zur Unterstützung kann schnell zu rüstende Standardmesstechnik im Fahrzeug (z.B. Messsystem 2 in Tabelle 5.1) angebracht werden.

Im Entwicklungsprozess sind Fahrzeuge oft nur für kurze Zeit verfügbar und es dürfen an den Fahrzeugen keine Änderungen vorgenommen werden, um Messtechnik rüsten zu können. Der erstellte subjektive Bewertungsbogen dient dazu, trotzdem eine Aussage über die verbauten Fahrerassistenzsysteme treffen zu können und die Ergebnisse vergleichbar darzustellen und zu dokumentieren.

Am Deckblatt des Bewertungsbogens für ACC und FSRA (siehe Abbildung A.1) werden Fahrer-, Fahrzeug- und Systemdaten angegeben, zusätzlich die Umweltbedingungen. Auch das Bewertungsergebnis ist nach erfolgter Bewertung am Deckblatt ersichtlich.

Die Bewertungsskala reicht von 1 bis 10, wobei 1 bis 5 für den Kunden nicht akzeptabel ist, 6 bis 7 akzeptabel, aber bemerkbar, 8 gut, 9 sehr gut und 10 das perfekte System darstellt. Die Bewertung 10 wird praktisch nicht vergeben. Besonders hervorstechende Probleme und etwaige Verbesserungsvorschläge können direkt am Deckblatt vermerkt werden. Es besteht die Möglichkeit, die einzelnen Kriterien zu gewichten.

Die Darstellung des Ergebnisses erfolgt als Spinnendiagramm am Deckblatt, aufgeteilt in die Kriterien

- Funktion
- Komfort
- Sensorfunktion

- NVH<sup>22</sup>
- Geometrische Sensorintegration
- Bedienbarkeit und
- Fehlreaktionen,

welche im Folgenden erläutert werden. Das Kriterium Funktion zielt darauf ab, ob das System in der Situation funktioniert und wie es funktioniert. Der Komfort wird subjektiv von den Fahrzeuginsassen bewertet, beispielsweise ob ein Verzögerungsvorgang ruckend oder harmonisch erfolgt. Mit Sensorfunktion wird über das Kriterium Funktion hinausgehend die Funktion des (der) Sensors (Sensoren) bewertet. Mit dem Kriterium NVH [Noise, Vibration and Harshness (Geräusch, Vibration und Rauheit)] erfolgt eine Bewertung ob aufgrund des Systemeingriffs störende Geräusche oder Schwingungen spürbar sind. Die geometrische Sensorintegration bewertet den Ort des Sensoreinbaus hinsichtlich Funktionalität und Schadensanfälligkeit. Unter dem Punkt Bedienbarkeit wird die Einfachheit und Eindeutigkeit der Fahrerschnittstelle bewertet. Mit Fehlreaktionen wird die Anzahl und Schwere etwaiger falscher Auslösungen des Systems bewertet.

Es sind 20 Fahrmanöver in den subjektiven Bewertungsbogen (siehe Tabelle A.5) aufgenommen worden, die mit der zusätzlichen Bewertung von Bedienbarkeit, Sicherheit, Geräuschverhalten und Sensoreinbau nach gesamt 75 Kriterien zu bewerten sind. Die 20 Fahrmanöver sind zum Teil mit verschiedenen Parametern durchzuführen.

In den folgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Manöver des subjektiven Bewertungsbogens, die zur Beurteilung von ACC und FSRA dienen, näher beschrieben. Der Fahrer hat sich vor Fahrtantritt mit der Bedienung und den Anzeigen des ACC/FSRA vertraut zu machen.

### **5.4.1. Bedienbarkeit 1 – 10:**

- Anzeige ACC aktiviert, stand by: Ist die Anzeige unklar oder klar?
- Anzeige gewählte Geschwindigkeit: Gibt es eine Anzeige? Wie ist die Qualität der Anzeige?
- Anzeige Zielfahrzeug: Gibt es eine Anzeige? Wird auch der Abstand zum Zielfahrzeug angezeigt?
- Bedienung ACC ein, aus: Ist die Bedienung kompliziert oder einfach?
- Einstellung Sollgeschwindigkeit: Ist die Einstellung der Sollgeschwindigkeit kompliziert oder einfach möglich?
- Einstellmöglichkeiten Abstand: Ist die Einstellung des Sollabstandes kompliziert oder einfach, erfolgt die Einstellung in Stufen oder kontinuierlich?

---

<sup>22</sup> NVH: **N**oise, **V**ibration and **H**arshness (Geräusch, Vibration und Rauheit)

- Einstellmöglichkeit ACC-Charakteristik (Komfort-Sport Wahlschalter): Gibt es eine Einstellmöglichkeit (auch des Getriebes oder Fahrwerks, sofern sich diese auf das ACC auswirkt)?
- Fahrerübergabeaufforderung bei Systemgrenze unkritisch: Wie erfolgt die Übergabeaufforderung an den Fahrer, wenn die Systemgrenze unkritisch überschritten wird (z.B. bei Unterschreitung der Mindestgeschwindigkeit beim ACC)? Ist die Warnung zu wenig, in Ordnung oder störend?
- Fahrerübergabeaufforderung bei Systemgrenze kritisch: Wie erfolgt die Übergabeaufforderung an den Fahrer, wenn die Systemgrenze kritisch überschritten wird (z.B. bei Unterschreitung des Mindestabstandes)? Ist die Warnung zu wenig, in Ordnung oder störend?
- Sind die Systemgrenzen im Handbuch klar aufgelistet (Kurvenradien, Mindest- bzw. Maximalgeschwindigkeiten, max. Beschleunigung, max. Verzögerung, Fahrmanöver bei denen ACC falsch reagieren kann)?

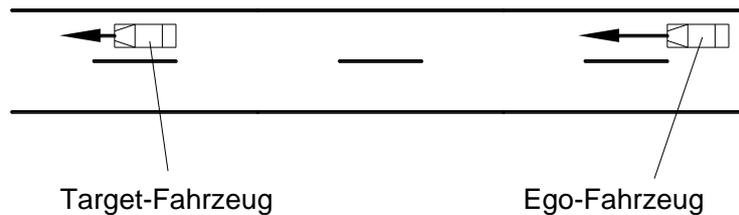
### **5.4.2. Funktion 1: Einschwingverhalten bei Auffahren auf ein langsames Fahrzeug in eigener Spur (entspricht LKW, Traktor)**

Das Ego-Fahrzeug fährt mit aktiviertem ACC in Geschwindigkeitsregelung auf ein langsames vorausfahrendes Fahrzeug in eigener Spur auf (siehe Abbildung 5.1). Dabei schaltet das ACC von Geschwindigkeits- auf Abstandsregelung um und das Verhalten dabei soll nach untenstehenden Kriterien beurteilt werden:

- Eingriffszeitpunkt: Ist der Eingriffszeitpunkt zu spät, zu früh oder passend?
- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Wie erfolgt der Übergang von Motor- auf Reibbremse? Ruckend oder harmonisch?
- Ist der auftretende Minimalabstand sicherheitskritisch klein oder passend?
- Ist ein ausgeprägtes Unterschwingen erkennbar?

Dieses Manöver wird auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges von 130 km/h und einer Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges von 80 km/h gefahren. Das entspricht dem Auffahren eines Pkw auf einen Lkw auf der Autobahn.

Auf der Landstraße wird dieses Manöver mit einer Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges von 100 km/h und einer Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges von 30 km/h gefahren. Das entspricht dem Annähern eines Pkw an einen Traktor auf der Landstraße. Es empfiehlt sich die Verwendung eines Target-Fahrzeuges mit einer Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug.



**Abbildung 5.1:** Auffahren in eigener Spur

Bei den einzelnen Manövern ist darauf zu achten, dass tatsächlich ein eingeschwungener Zustand erreicht wird, d. h. es ist ausreichend lange abzuwarten bis das Fahrmanöver beendet wird.

#### **5.4.3. Funktion 2: Beschleunigen und Verzögern mit ACC-Funktion**

Diese Funktion ist mit mehreren Manövern zu testen:

- In Folgefahrt: Änderung des Sollabstandes von Minimal auf Maximal und umgekehrt. Dabei wird in Folgefahrt auf der Autobahn bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h der Sollabstand aus dem eingeschwungenen Zustand von Minimal auf Maximal geändert und gewartet bis ein eingeschwungener Zustand erreicht ist. Umgekehrt ist aus dem eingeschwungenen Zustand der Sollabstand von Maximal auf Minimal zu ändern und abzuwarten bis ein eingeschwungener Zustand erreicht ist.
- In Freifahrt: Änderung der Sollgeschwindigkeit in beide Richtungen

Einmal wird in Freifahrt auf der Autobahn die Sollgeschwindigkeit von 80 km/h auf 130 km/h und von 130 km/h auf 80 km/h geändert. Es ist darauf zu achten, dass jeweils ein eingeschwungener Zustand erreicht wird. Dieses Manöver entspricht der Änderung der Geschwindigkeit im Bereich einer Geschwindigkeitsbegrenzung auf der Autobahn.

Zusätzlich wird in Freifahrt auf der Landstraße die Sollgeschwindigkeit von 100 km/h auf 50 km/h und von 50 km/h auf 100 km/h geändert. Wieder soll dazwischen jeweils ein eingeschwungener Zustand erreicht werden. Dieses Manöver entspricht der Änderung der Geschwindigkeit im Bereich eines Ortsgebietes auf einer Landstraße.

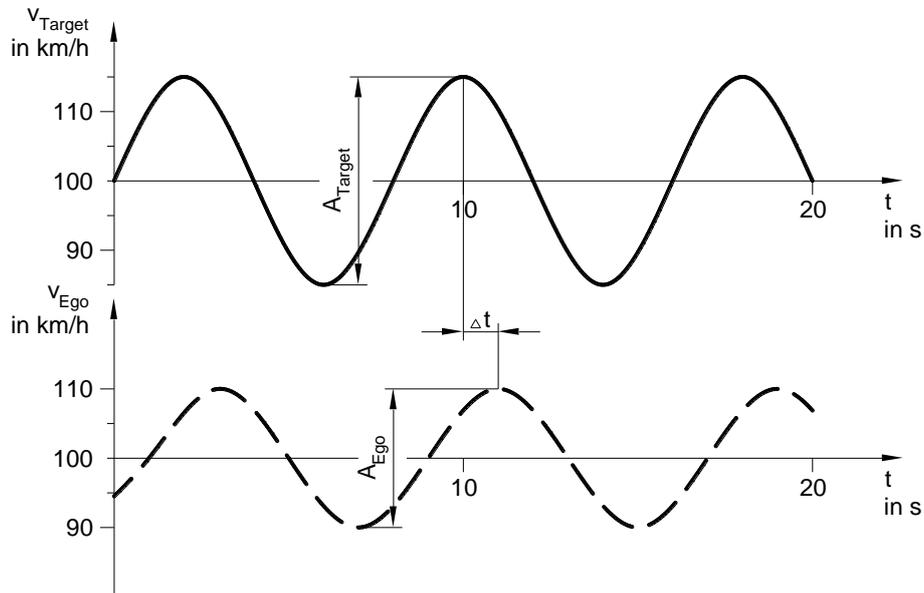
Nach folgenden Kriterien erfolgt die Bewertung:

- Beschleunigung: Erfolgt die Beschleunigung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Beschleunigung ruckend oder harmonisch?
- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?

#### **5.4.4. Funktion 3: Halten der Geschwindigkeit bei unruhiger Fahrt des Target-Fahrzeuges**

Die Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges schwingt um 100 km/h mit einer Amplitude von  $\pm 5$  km/h und  $\pm 15$  km/h durch Gasgeben- und Gaswegnahme und, wenn erforderlich,

mitbremsen (siehe Abbildung 5.2). Das Ego-Fahrzeug folgt in Folgefahrt, einmal mit minimal eingestellter Zeitlücke und einmal mit maximal eingestellter Zeitlücke.



**Abbildung 5.2:** Geschwindigkeitsverlauf bei unruhiger Fahrt des Target-Fahrzeuges (idealisiert):  
 $v_{\text{Target}}$  ... Geschwindigkeit des Target-Fahrzeuges,  $v_{\text{Ego}}$  ... Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges,  
 $A_{\text{Target}}$  ... Geschwindigkeitsamplitude des Target-Fahrzeuges,  $A_{\text{Ego}}$  ... Geschwindigkeitsamplitude des  
 Ego-Fahrzeuges,  $\Delta t$  ... Zeitverzögerung der Geschwindigkeitsschwingung des Ego-Fahrzeuges,  $t$  ...  
 Zeit;

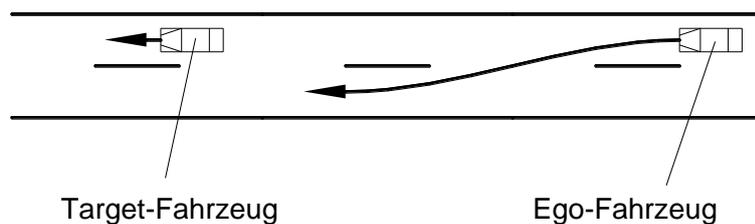
Die Bewertung erfolgt nach:

- Schwingung Ego-Fahrzeug: Ist die Geschwindigkeitsschwingung unangenehm, erkennbar, nicht erkennbar.

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug mit einer Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug notwendig.

#### 5.4.5. Funktion 4: Ausscheren hinter einem Target-Fahrzeug zum Überholen

Das Ego-Fahrzeug folgt dem Target-Fahrzeug in Folgefahrt auf der Autobahn mit 80 km/h. Die eingestellte Sollgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges beträgt 150 km/h. Das Ego-Fahrzeug schert zum Überholen auf die Überholspur aus und beschleunigt selbstständig (siehe Abbildung 5.3).



**Abbildung 5.3:** Ausscheren

Dieses Manöver wird einmal mit Blinker, einmal ohne Blinker durchgeführt. Dadurch wird überprüft, ob das ACC die Überholabsicht aufgrund des gesetzten Blinkers erkennt, oder nicht.

Bewertet werden:

- Latenzzeit: Ist die Zeit bis das Ego-Fahrzeug selbsttätig beschleunigt zu groß, erkennbar oder nicht erkennbar?
- Beschleunigung: Erfolgt die Beschleunigung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Beschleunigung ruckend oder harmonisch?
- Überschwingen: Ist ein Überschwingen erkennbar?

#### 5.4.6. Funktion 5 - 6: Einschwingverhalten bei Einscheren hinter einem Fahrzeug

Auf der Autobahn schert das Ego-Fahrzeug mit aktiviertem ACC mit einer eingestellten Geschwindigkeit von 130 km/h auf die Fahrspur eines vorausfahrenden langsameren Fahrzeugs, das sich mit 80 km/h fortbewegt ein.

Das Einscheren erfolgt einmal im Abstand von 100 m (Hilfestellung siehe Abbildung 5.4, 6 Mittelstriche oder 4 Leitpföcke dazwischen) und einmal im Abstand von 50 m (Sicherheitskritisch, 3 Mittelstriche oder 2 Leitpföcke dazwischen). Bei einem Abstand von 50 m ist nicht gewährleistet, dass das ACC ausreichend verzögern kann – dieses Manöver kann einen Fahrereingriff erforderlich machen.

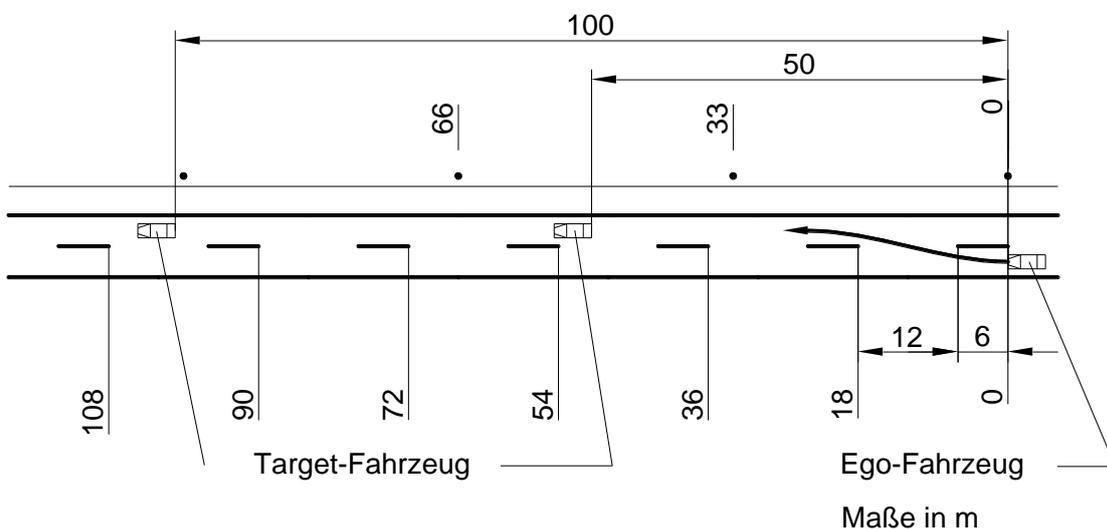


Abbildung 5.4: Einscheren hinter einem Fahrzeug

Bewertet werden:

- Latenzzeit: Ist die Latenzzeit bis zum Einleiten der Verzögerung zu groß, erkennbar oder nicht erkennbar?
- Unterschwingen: Ist ein Unterschwingen erkennbar?

- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Übergang von Motor- auf Reibbremse: Erfolgt der Übergang ruckend oder harmonisch?
- Minimalabstand: Ist der erreichte Minimalabstand sicherheitskritisch klein oder passend?
- Fahrerübergabe: Erfolgt eine etwaige Übergabeaufforderung an den Fahrer zu spät oder passend bzw. zu wenig oder ausreichend?

#### 5.4.7. Funktion 7: Reaktion auf Einscheren eines anderen Fahrzeugs

Das Ego-Fahrzeug folgt einem Target-Fahrzeug 1 (z.B. Lkw) auf der Autobahn in Folgefahrt mit 80 km/h mit minimal eingestelltem Abstand. Das Target-Fahrzeug 2 schert mit 80 km/h in der Mitte dazwischen ein (siehe Abbildung 5.5).

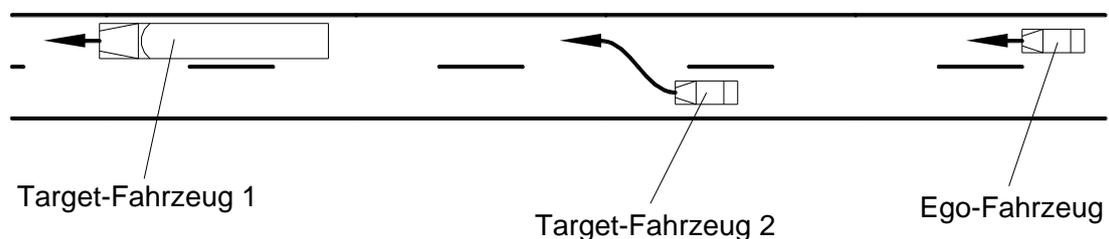


Abbildung 5.5: Einscheren eines anderen Fahrzeugs

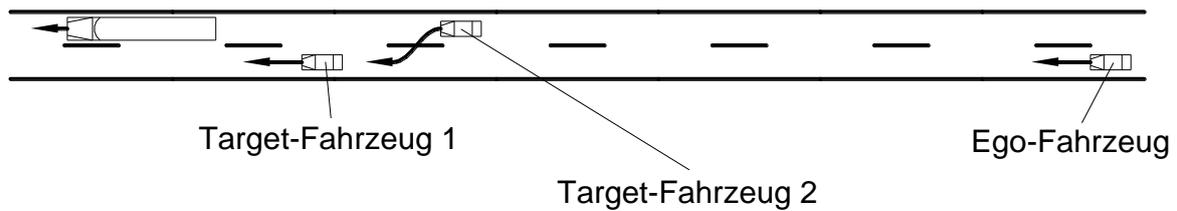
Bewertet werden:

- Latenzzeit: Ist die Latenzzeit bis zum Einleiten der Verzögerung zu groß, erkennbar oder nicht erkennbar?
- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Minimalabstand: Ist der erreichte Minimalabstand sicherheitskritisch klein oder passend?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug (Target-Fahrzeug 2) mit einer Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug erforderlich.

#### 5.4.8. Funktion 8: Reaktion auf Einscheren eines anderen Fahrzeugs (Sicherheitskritisch)

Das Ego-Fahrzeug befindet sich in Folgefahrt hinter einem Target-Fahrzeug 1 (beliebiger Pkw mit passender Geschwindigkeit) mit 130 km/h auf der Überholspur auf der Autobahn bei maximal eingestelltem Abstand. Das Target-Fahrzeug 2 schert mit 80 km/h unmittelbar hinter dem Target-Fahrzeug 1 auf die Fahrspur des Ego-Fahrzeugs ein (siehe Abbildung 5.6). Diese Fahrmanöver soll die Situation nachstellen, wenn ein Fahrzeug ohne Rücksicht auf den nachfolgenden Verkehr auf die Überholspur wechselt.



**Abbildung 5.6:** Reaktion auf Einschneiden eines anderen Fahrzeugs (Sicherheitskritisch)

Beim Einschneiden ist besondere Vorsicht geboten:

- Genaues Beobachten des Target-Fahrzeugs 1 und des Ego-Fahrzeugs im Rückspiegel.
- Einschneiden unmittelbar hinter Target-Fahrzeug 1, um Abstand zum Ego-Fahrzeug nicht zu klein werden zu lassen.
- Einschneiden auf den rechten Rand der Fahrspur um links im Fall des Falles Platz für das Ego-Fahrzeug zu lassen.

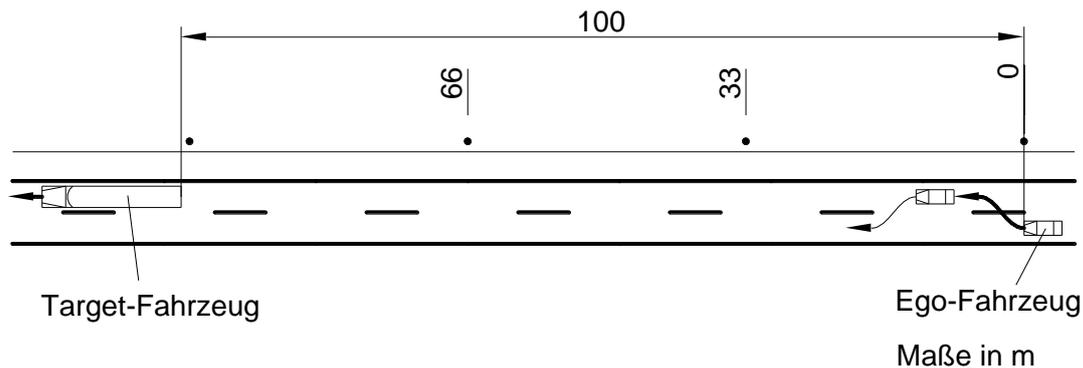
Bewertet werden:

- Latenzzeit: Ist die Latenzzeit bis zum Einleiten der Verzögerung zu groß, erkennbar oder nicht erkennbar?
- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Minimalabstand: Ist der erreichte Minimalabstand sicherheitskritisch klein oder passend?
- Fahrerübergabe: Erfolgt eine etwaige Übergabeaufforderung an den Fahrer zu spät oder passend bzw. zu wenig oder ausreichend?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug (Target-Fahrzeug 2) mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug erforderlich.

#### **5.4.9. Funktion 9: Reaktion bei doppeltem Spurwechsel**

Das Target-Fahrzeug fährt mit konstant 80 km/h auf der Autobahn. Das Ego-Fahrzeug schert mit 130 km/h in einem Abstand von 100 m hinter dem Target-Fahrzeug auf die Fahrspur des Target-Fahrzeugs ein und unmittelbar wieder aus (siehe Abbildung 5.7). Dieses Manöver ist einmal mit Blinker und einmal ohne Blinker durchzuführen, dadurch soll geprüft werden, ob das ACC die Spurwechselabsicht des Fahrers durch den gesetzten Blinker erkennt, oder nicht.



**Abbildung 5.7:** Reaktion bei doppeltem Spurwechsel

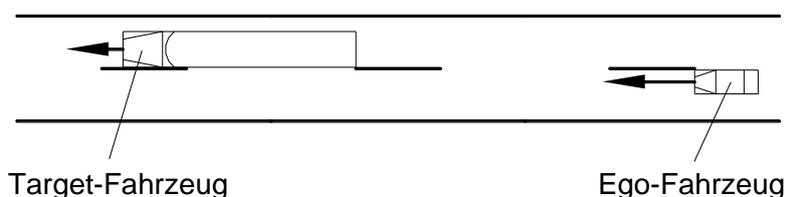
Dabei werden bewertet:

- Störende Verzögerung: Tritt eine störende Verzögerung auf?
- Übersteuerbarkeit: Ist diese Verzögerung unverzüglich übersteuerbar (z.B. durch Betätigen des Gaspedals)?

#### 5.4.10. Funktion 10: Zielunterscheidung

Werden Fahrzeuge, die auf der Nebenspur nahe der Leitlinie fahren fälschlicherweise als Ziel erkannt?

Ein Target-Fahrzeug fährt auf der Autobahn auf der rechten Spur mit 80 km/h nahe der Leitlinie (z. B. Lkw). Das Ego-Fahrzeug passiert auf der linken Spur mit 100 km/h das Target-Fahrzeug (siehe Abbildung 5.8).



**Abbildung 5.8:** Zielunterscheidung bei Fahrzeugen nahe der Leitlinie

Dabei wird bewertet:

- Wird das Target-Fahrzeug auf der Nebenspur fälschlicherweise als Ziel erkannt?

#### 5.4.11. Funktion 11: System bleibt über Schaltvorgang hinweg aktiv (Handschalter)

Bei Fahrzeugen mit Handschaltgetriebe:

- Bleibt ACC über einen Schaltvorgang hinweg aktiv oder muss es nach dem Schaltvorgang reaktiviert werden?

#### **5.4.12. Funktion 12 - 14: Full Speed Range ACC (FSRA)**

Bei Fahrzeugen mit Full Speed Range ACC (FSRA):

##### **Stop&Go Fähigkeit**

Das Ego-Fahrzeug fährt in Folgefahrt hinter dem Target-Fahrzeug. Das Target-Fahrzeug verzögert bis zum Stillstand und fährt wieder an.

Bewertet werden:

- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Anhalteabstand: Ist der Anhalteabstand zu klein, angemessen oder zu groß?
- Anhaltezustand: Geht das System in einen sicheren Anhaltezustand über? Gibt es einen aktiven Halt oder erfolgt eine Übergabe an den Fahrer? Nach welcher Zeit erfolgt die Übergabe an den Fahrer?
- Selbsttätiges Anfahren: Ist ein selbsttätiges Anfahren möglich oder ist eine Aktion des Fahrers erforderlich? Innerhalb welcher Zeit ist ein selbsttätiges Anfahren möglich?
- Beschleunigung: Erfolgt die Beschleunigung ruckend oder harmonisch?

##### **Kriechen**

Das Target-Fahrzeug fährt sehr langsam an und bleibt wieder stehen.

Bewertet wird:

- Folgt das Ego-Fahrzeug dem Target-Fahrzeug?

##### **Unerwünschtes Nachziehen**

Um ruckarm anzuhalten lüftet das Target-Fahrzeug kurz vor Stillstand die Bremse und hält mit sehr geringer Verzögerung an.

Bewertet wird das Verhalten des Ego-Fahrzeuges:

- Zieht das Ego-Fahrzeug mit einem Sprung nach vorne nach oder verzögert es komfortabel bis zum Stillstand?

Um FSRA-Funktionen testen zu können, bietet sich die B67 und B67A im Stadtgebiet von Graz an.

### 5.4.13. Funktion 15 - 16: Kurvenfähigkeit

Die Kurvenfähigkeit lässt sich z.B. im Weblinger Kreisverkehr (siehe Abbildung 5.9) testen.



Abbildung 5.9: Weblinger Kreisverkehr [Goo11]

Das Ego-Fahrzeug fährt auf der Innenspur des Weblinger Kreisverkehrs mit aktiviertem ACC mit 60 km/h auf das mit 45 km/h vorausfahrende Target-Fahrzeug auf. Der Weblinger Kreisverkehr hat einen Radius von ca. 100 m. Dabei werden Querbeschleunigungen von ca. 2,8 m/s<sup>2</sup> bei 60 km/h und ca. 1,5 m/s<sup>2</sup> bei 45 km/h erreicht.

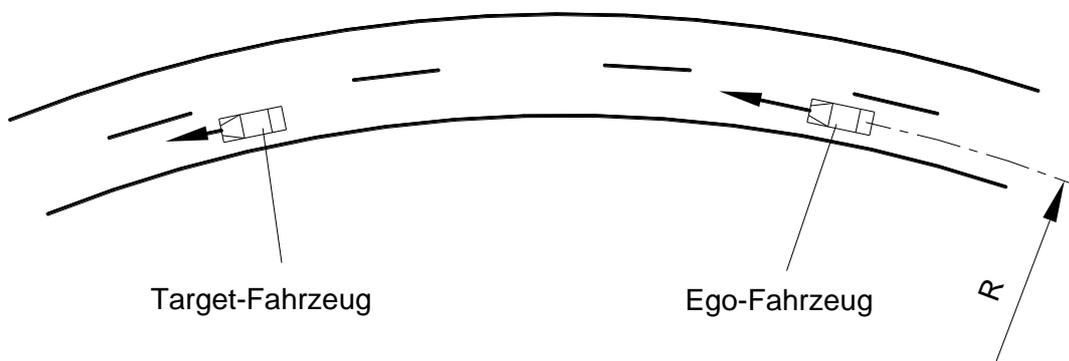


Abbildung 5.10: Kurvenfähigkeit

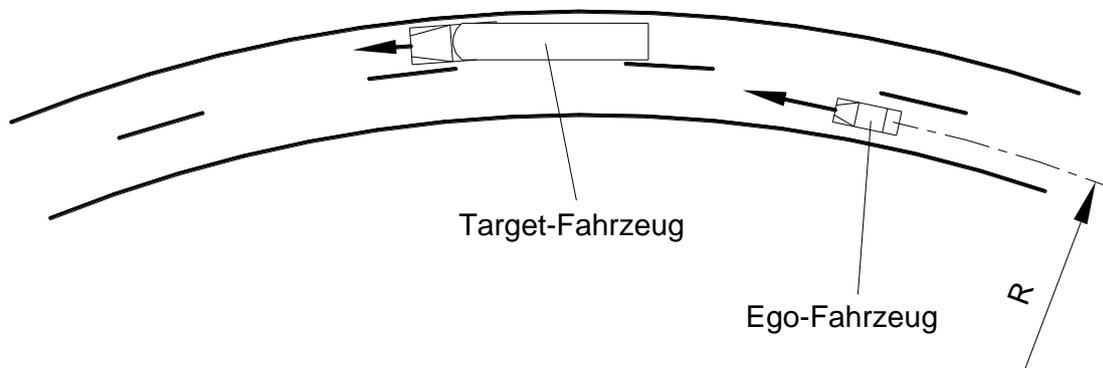
Bewertet werden:

- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Folgevermögen: Ist eine Fahrfolge möglich oder nicht?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug notwendig.

### Zielunterscheidung

Das Ego-Fahrzeug fährt mit aktiviertem ACC in Freifahrt mit 60 km/h auf der Innenspur des Weblinger Kreisverkehrs. Auf der Außenspur bewegen sich diverse Target-Fahrzeuge (je nach Verkehrsaufkommen) mit ca. 45 km/h fort (siehe Abbildung 5.11).



**Abbildung 5.11:** Kurvenfähigkeit-Zielunterscheidung

Bewertet wird:

- Werden Fahrzeuge auf der Außenspur fälschlicherweise als Ziel erkannt und tritt eine unerwünschte Verzögerung auf?

### Systemgrenze

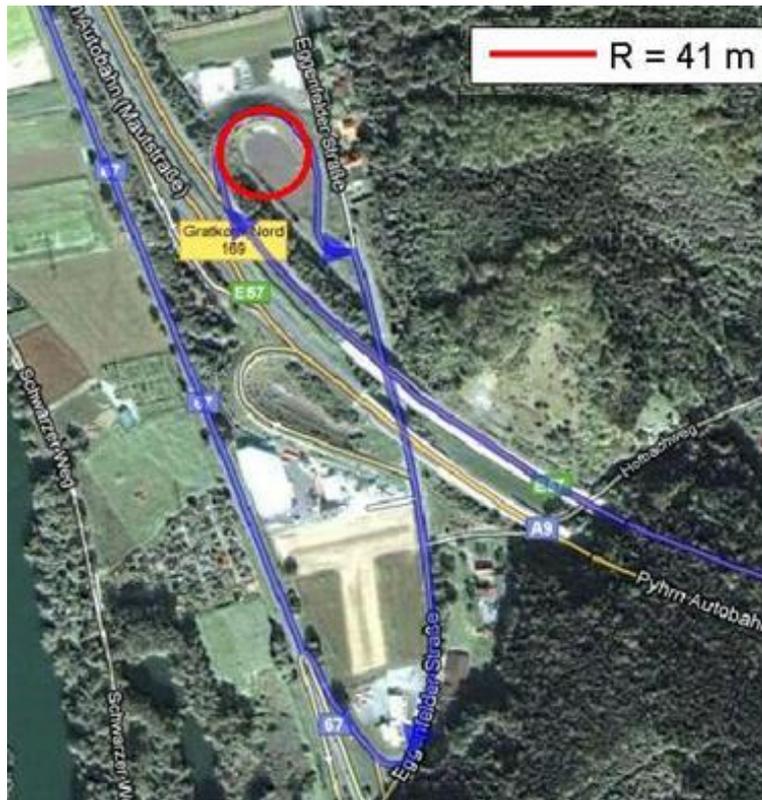
Das Ego-Fahrzeug fährt mit aktiviertem ACC in Freifahrt mit 45 km/h auf der Innenspur des Weblinger Kreisverkehrs. Die Sollgeschwindigkeit wird auf 100 km/h erhöht.

Bewertung:

- Bleibt das System innerhalb der Systemgrenzen (Querbewegung), oder ist ein Eingreifen des Fahrers notwendig, um nicht auf eine zu hohe Geschwindigkeit zu beschleunigen?

#### 5.4.14. Funktion 17: Zielverlustverhalten

Das Zielverlustverhalten lässt sich am Übergang von der Geraden in eine Kurve mit geringem Radius (z. B. an der Autobahnausfahrt Gratkorn-Nord, siehe Abbildung 5.12) überprüfen. Der Kurvenradius der Autobahnausfahrt Gratkorn-Nord beträgt ca. 40 m – dabei ist ein Zielverlust des ACC zu erwarten.



**Abbildung 5.12:** Autobahnabfahrt Gratkorn-Nord [Goo11]

Ego- und Target-Fahrzeug fahren in Folgefahrt auf der Autobahn mit 130 km/h. Das Ego-Fahrzeug folgt dem Target-Fahrzeug beim Verlassen der Autobahn mit aktiviertem ACC. Das Target-Fahrzeug soll mit maximal  $3,5 \text{ m/s}^2$  verzögern, um die Systemgrenzen des ACC nicht zu überschreiten. Dabei zeigt sich das Verhalten des ACC bei Zielverlust und Wiedererkennen des Ziels.

Bewertet werden:

- Unerwartetes Beschleunigen: Tritt ein unerwartetes Beschleunigen bei Zielverlust ein oder nicht?
- Verzögerung: Erfolgt die Verzögerung zu langsam, ausreichend oder unkomfortabel? Erfolgt die Verzögerung ruckend oder harmonisch?
- Minimalabstand: Ist der erreichte Mindestabstand zwischen Ego- und Target-Fahrzeug sicherheitskritisch klein oder passend?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug erforderlich.

#### **5.4.15. Funktion 18: Folgevermögen auf kurviger Straße**

Zum Testen des Folgevermögens auf kurviger Straße ist beispielsweise die L318 nach Semriach (siehe Abbildung 5.13) geeignet. Das Ego-Fahrzeug folgt dem Target-Fahrzeug mit aktiviertem ACC. Das Target-Fahrzeug fährt mit einer Richtgeschwindigkeit von 80 km/h, in Kurven entsprechend langsamer. Dabei zeigt sich die Strategie bei etwaigem Zielverlust und bei Wiedererkennung des Ziels.

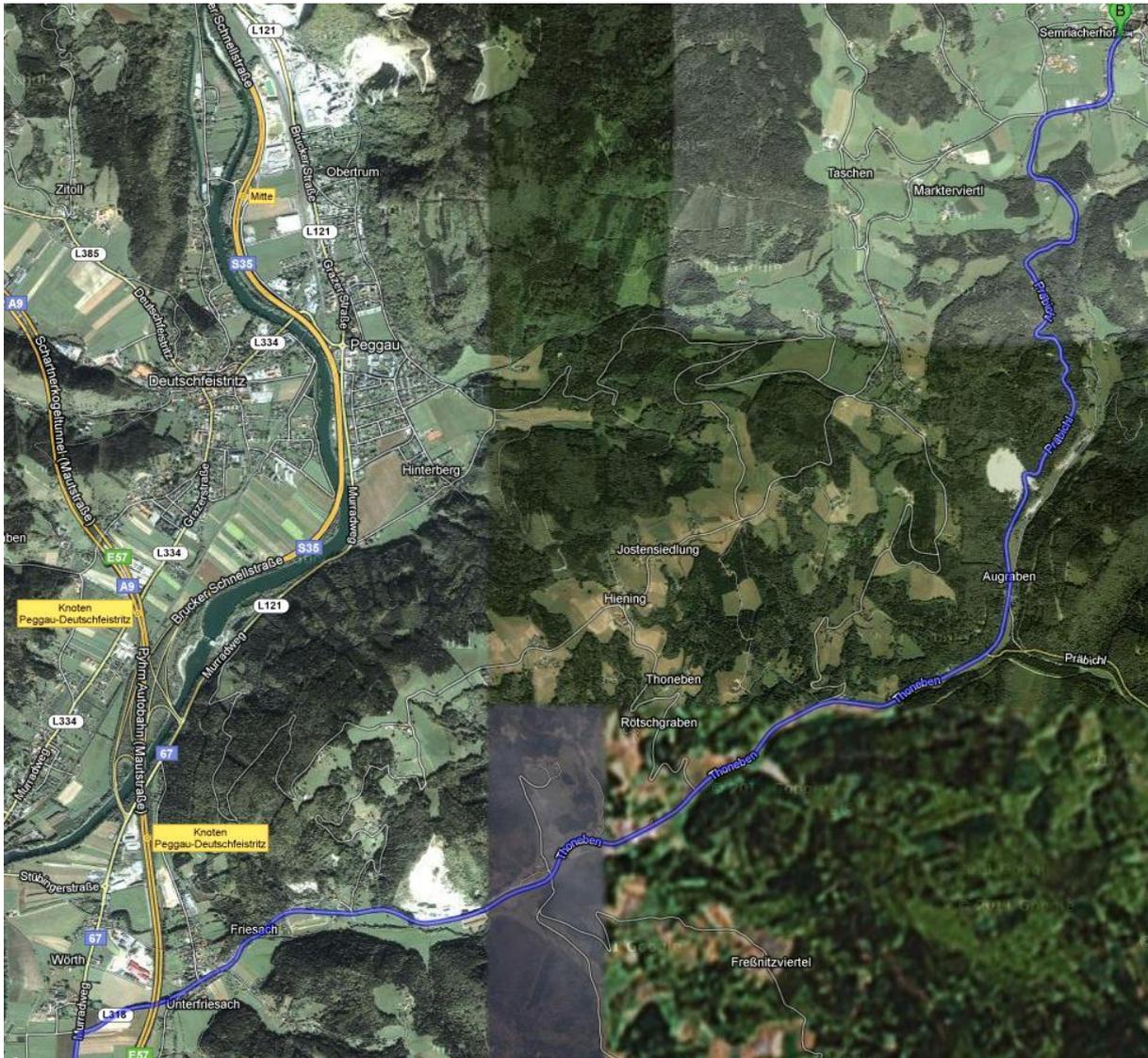


Abbildung 5.13: L 318 Richtung Semriach [Goo11]

Bewertung:

- Ist eine Folgefahrt möglich ist oder nicht.

Für dieses Manöver empfiehlt sich ein Target-Fahrzeug mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug, da damit das Manöver mit verschiedenen Geschwindigkeiten in den Kurven durchgeführt werden kann.

#### 5.4.16. Funktion 19: Verhalten bei Abbiegen eines vorausfahrenden Fahrzeugs

Das Ego-Fahrzeug folgt auf der Landstraße mit aktiviertem ACC dem Target-Fahrzeug mit 80 km/h. Das Target-Fahrzeug biegt in eine Seitenstraße, Einfahrt o.ä. ein. Dazu verzögert das Target-Fahrzeug mit gesetztem Blinker und biegt von der Landstraße ab. Wie verhält sich das Ego-Fahrzeug?

Bewertet werden:

- Verzögert das Ego-Fahrzeug zu lange oder passend?

- Ist die Verzögerung übersteuerbar oder nicht?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug notwendig.

Für dieses Manöver bietet die L318 nach Semriach (siehe Abbildung 5.13) Gelegenheiten.

#### 5.4.17. Funktion 20: Queren der Lücke mit höherer Geschwindigkeit

Das Ego-Fahrzeug fährt mit aktiviertem ACC hinter dem mit konstant 80 km/h fahrenden Target-Fahrzeug 1. Ein mit 100 km/h fahrendes Target-Fahrzeug 2 quert die Lücke zwischen Ego- und Target-Fahrzeug 1.

Für dieses Manöver ist eine dreispurige Autobahn (siehe Abbildung 5.14) wie z.B. die A2 im Großraum Graz notwendig.

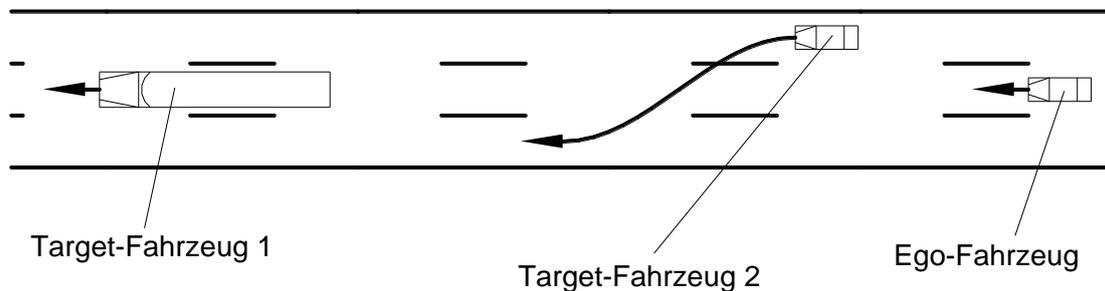


Abbildung 5.14: Queren der Lücke

Bewertet wird:

- Tritt eine unerwünschte Beschleunigung (ein unerwünschtes Folgen des Target-Fahrzeugs 2) mit anschließender Verzögerung hinter Target-Fahrzeug 1 auf? Ist diese deutlich, kaum oder nicht merkbar?

Für dieses Manöver ist ein Target-Fahrzeug (Target-Fahrzeug 2) mit Sprechfunkverbindung zum Ego-Fahrzeug notwendig.

#### 5.4.18. Sicherheit 1: Full Speed Range ACC (FSRA): Anhaltezustand

Was passiert, wenn der Fahrer innerhalb von 2 s nach dem automatischen Anhalten aussteigt?

Bewertung:

- Geht das System in einen sicheren Anhaltezustand über, oder nicht?

#### **5.4.19. Sicherheit 2: Verhalten bei Sensorverschmutzung**

Auf die Sensoren wird künstlich eine Verschmutzung aufgebracht (z.B. Abkleben mit Aluminium-Klebeband bei Radarsensor).

Bewertet wird:

- Gibt es innerhalb einer angemessenen Zeit (z.B. 5 Minuten) eine Warnung?
- Wird das System deaktiviert?

#### **5.4.20. Geräusche 1: Innenraum**

Während der Fahrt wird auf Geräusche geachtet, die durch das System hervorgerufen werden (z.B. Surren des ESP, Schalten von Magnetventilen, Rückstellung des Bremspedals).

Bewertung:

- Wie störend sind etwaige Geräusche?

#### **5.4.21. Geräusche 2: Außen**

Treten außen störende Geräusche auf (z.B. Bremsenquietschen bei ACC-Bremung)?

Bewertung:

- Wie störend sind etwaige Geräusche?

#### **5.4.22. Sensoreinbau**

Bewertet wird die geometrische Integration der Sensoren ins Fahrzeug:

- Ist der ACC-Sensor möglichst mittig und hoch ins Fahrzeug eingebaut?
- Ist die Abdeckung des Sensors verschmutzungsanfällig?
- Bei Radarsensoren: Ist die Abdeckung des Sensors mit konstanter Wandstärke ausgeführt?

### **5.5. Prüfmittel und Ressourcen zur subjektiven Bewertung von ACC und FSRA**

#### **Target**

Bei der subjektiven Bewertung von ACC und FSRA nach dem erstellten Bewertungsbogen werden als Targets ausschließlich reale Objekte verwendet (echte Fahrzeuge, bauliche Gegebenheit an der Strecke).

Wie aus dem subjektiven Bewertungsbogen (siehe Tabelle A.5) ersichtlich, kann für manche Fahrmanöver ein beliebiges Target-Fahrzeug aus dem übrigen Verkehr verwendet werden. Auf der Autobahn bieten sich dazu Lkws an, da die ihre Fahrgeschwindigkeit meist nahezu konstant halten. Bei zu geringem Verkehrsaufkommen kann es schwierig sein, im passenden Moment ein passendes Target-Fahrzeug zu finden.

Eleganter lassen sich die Fahrmanöver abarbeiten, wenn ein zweites Fahrzeug mit einer Funksprechverbindung zwischen den Fahrzeugen zur Verfügung steht, zumal für einige Manöver ein über Funk delegierbares Target-Fahrzeug unerlässlich ist.

Für manche Fahrmanöver sind drei Fahrzeuge erforderlich (Ego, Target 1 und Target 2). Dabei kann ein Target-Fahrzeug aus dem übrigen Verkehr sein, bei zu geringem Verkehrsaufkommen empfiehlt es sich mit drei „eigenen“ Fahrzeugen mit Funksprechverbindung zu fahren.

### **Teststrecke**

Die Fahrmanöver des subjektiven Bewertungsbogens (siehe Tabelle A.5) sind so gestaltet, dass sie auf öffentlicher Straße durchgeführt werden können. Für den Raum Graz ist dazu ist eine Benchmarkstrecke erarbeitet worden, die auch die Bewertung von Spurverlassenswarnern, Spurhalte- und Toter-Winkel-Assistenten erlaubt.

Der Verlauf der gesamten Benchmarkstrecke ist von MSF **(A)** - Knoten Graz Ost - A2 - Abfahrt Graz/Feldkirchen - Stadtgebiet Graz - Weblinger Kreisverkehr - A9 - Gratkorn Nord - B67 - L 318 - Semriach **(B)**, wenden - B67**(C)** - S35 - Röthelstein **(D)**, wenden - S35 - A9 - A2 - Kreisverkehr Mooskirchen **(E)**, wenden - A2 - zurück zu MSF **(A)**, siehe Abbildung 5.15.



### **Kommunikation zwischen den Fahrzeugen**

Bei „eigenen“ Target-Fahrzeugen ist eine Funksprechverbindung zwischen den Fahrern bzw. dem Beifahrer im Ego-Fahrzeug erforderlich.

### **Material zum Abdecken der Sensoren**

Zur Überprüfung des Verhaltens der Systeme bei abgedeckten Sensoren eignet sich Aluminium-Klebeband für Radarsensoren. Für Lidarsensoren und Kamerasensoren ist herkömmliches undurchsichtiges Klebeband ausreichend.

## 6. Fahrversuch

Die durchgeführten Fahrversuche dienen dazu,

- die Benchmarkstrecke zu validieren und ggf. Änderungen vorzunehmen
- das Verhalten von ACC zu untersuchen
- ein Systemverständnis für ACC aufzubauen
- Messdaten zu gewinnen, die als Eingangsdaten für eine später im Kooperationsprojekt vorgesehene Simulation verwendbar sind.

Die Fahrversuche sind als Kombination von subjektiver Bewertung mit der Unterstützung von Standardmesstechnik anhand des in Kapitel 5.4 beschriebenen subjektiven Bewertungsbogens durchgeführt worden.

### 6.1. Planung

Zwei ACC-Entwicklungsfahrzeuge der oberen Mittelklasse von verschiedenen Herstellern werden verwendet, ein Kombi (Fzg. A) und eine Limousine (Fzg. B). In Tabelle 6.1 finden sich die Fahrzeugdaten, die detaillierten Fahrzeugdaten werden aus Platzgründen hier nicht angegeben.

**Tabelle 6.1:** Fahrzeugdaten der Testfahrzeuge

	Fzg. A	Fzg. B
Baujahr	2005	2011
Motorisierung	5,5 l Otto, 285 kW @ 6000 1/min	2,4 l Diesel, 120 kW @ 4000 1/min
Anzahl Schaltstufen, Automat	5	6
Antriebsart	Allrad	Vorderradantrieb
Sensortyp	Radar	Radar

Es ist geplant, jeweils ein Fahrzeug mit Messtechnik auszurüsten und das zweite Fahrzeug als Target-Fahrzeug zu verwenden.

Die Bedienungsanleitungen der Fahrzeuge werden beschafft, damit sich die Fahrer mit der Bedienung des ACC vertraut machen können.

Die Verfügbarkeit verschiedener Messsysteme ist geprüft worden, verwendet wird Messsystem 2 (MS2) nach Tabelle 5.1.

### 6.2. Durchführung

Vor Beginn der Fahrversuche wird die Messtechnik, bestehend aus Stromversorgung, IMU, Datenlogger und Messrechner (siehe Abbildung 6.1), gerüstet. Die Stromversorgung erfolgt direkt von der Fahrzeugbatterie, die sich bei Fzg. A im Heck des Fahrzeugs und bei Fzg. B im Motorraum befindet. Im Zuge des Rüstens der Messtechnik wird der Reifendruck an allen vier Rädern kontrolliert und ggf. richtig gestellt.



**Abbildung 6.1:** Messtechnik in Fzg. A: links Stromversorgung und IMU an der Mittelkonsole befestigt, rechts Stromversorgung, Datenlogger und Messrechner

Nach Einbau der Messtechnik muss diese auf das Fahrzeug kalibriert werden. Die Fahrzeugparameter werden am Messrechner eingegeben. Das Fahrzeug wird mit der gleichen Beladung bzw. Besetzung wie im Messbetrieb auf eine waagrechte Fläche gestellt und die Beschleunigungssensoren nullpunktkorrigiert.

Die Messtechnik wird mit diversen Fahrmanövern auf Funktion und Plausibilität der Messwerte geprüft.

Auf der Benchmarkstrecke werden erst die Fahrmanöver anhand des subjektiven Bewertungsbogens (siehe Tabelle A.5), die ohne „eigenes“ Target-Fahrzeug möglich sind abgearbeitet.

Nach Absolvierung dieser erfolgen die Testmanöver, die ein über Funk delegierbares Target-Fahrzeug erfordern. Die Aufgabenverteilung im Ego-Fahrzeug erfolgt in der Weise, dass der Beifahrer das nächste Fahrmanöver auswählt und die entsprechenden Anweisungen an den Fahrer gibt. Der Fahrer bedient das Funkgerät und gibt die Anweisungen an den Fahrer des Target-Fahrzeuges weiter. Wenn die Messtechnik bereit ist, erfolgt auf das Startsignal des Beifahrers der Beginn der Messung und des Fahrmanövers.

Um eine Verschmutzung des Radarsensors nachzubilden, wird dieser mit Aluminiumklebeband schrittweise teilweise bis vollständig abgeklebt (siehe Abbildung 6.2) und die Reaktion des Systems geprüft.

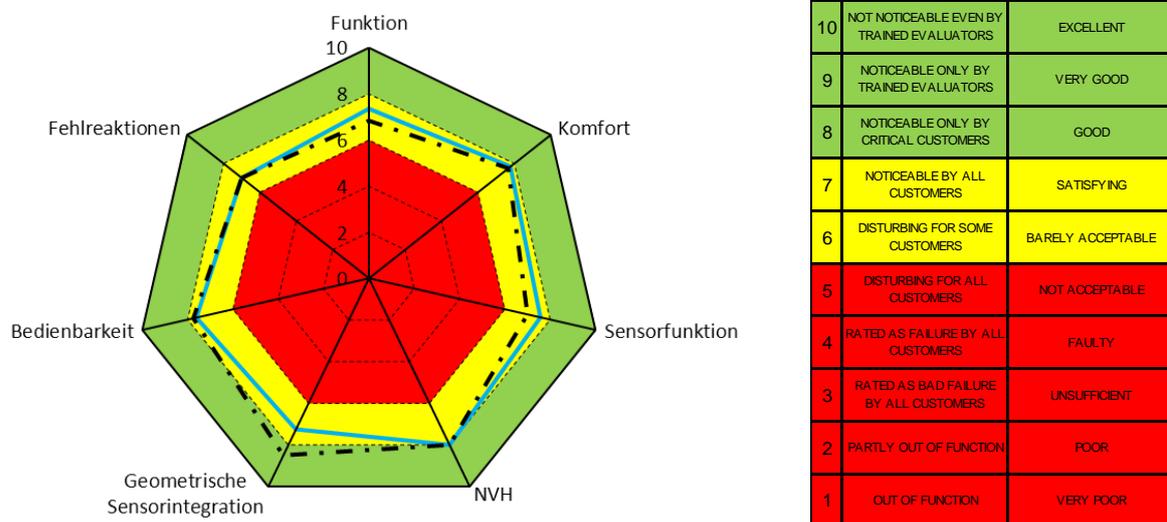


**Abbildung 6.2:** Radarsensor des Fzg. B teilweise mit Aluminiumklebeband abgeklebt

Nach Absolvierung aller Fahrmanöver des subjektiven Bewertungsbogens wird die Messtechnik im ersten Fahrzeug ausgebaut und das zweite Fahrzeug damit gerüstet.

### 6.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Auswertungen der subjektiven Bewertungsbögen für ACC beider Fahrzeuge übereinandergelegt ist in Abbildung 6.3 ersichtlich. Die detaillierten Bewertungsbögen befinden sich im Anhang, Abbildung A.2 und Tabelle A.6 für Fzg. A und Abbildung A.3 und Tabelle A.7 für Fzg. B.



**Abbildung 6.3:** ACC-Bewertung Fzg. A (schwarz-strichpunktiert) und Fzg. B (blau-durchgezogen)

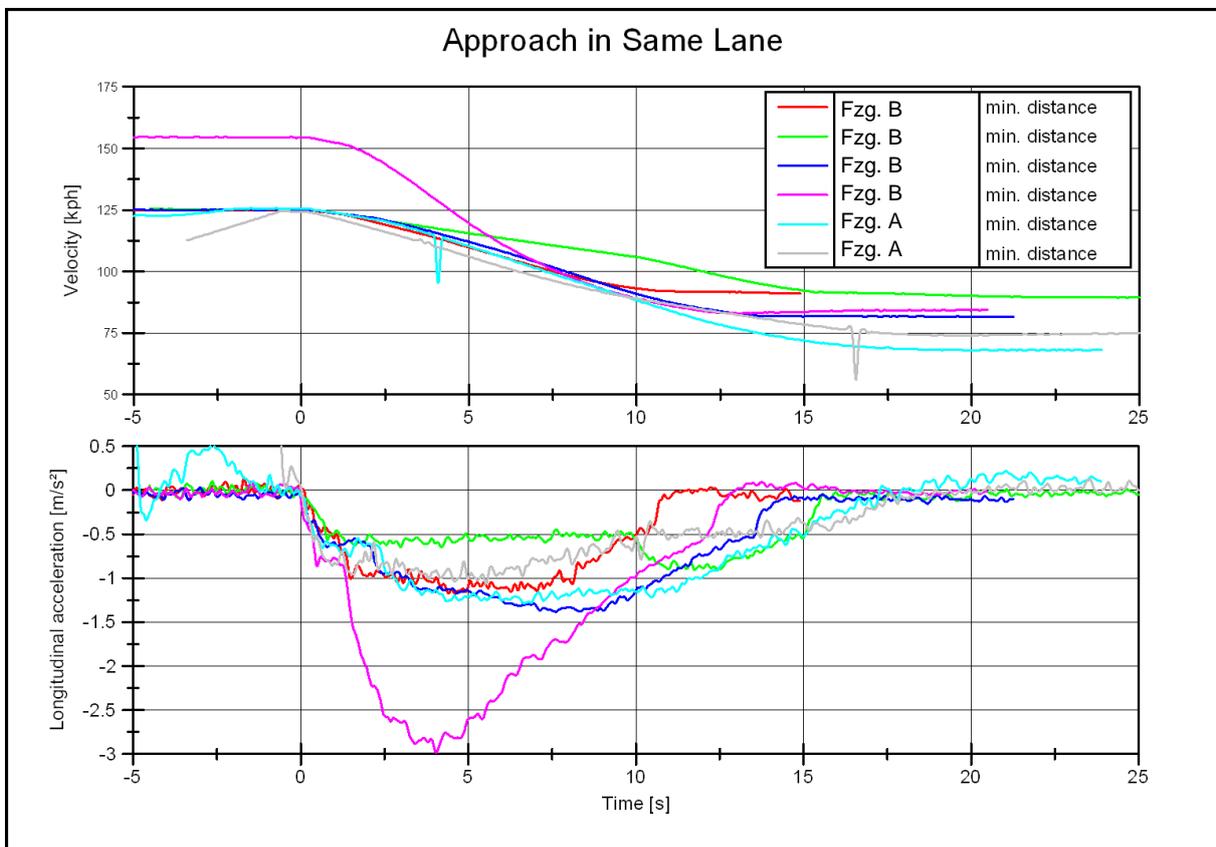
- Aufgrund zum Teil schlechter Witterungsbedingungen ist aufgefallen, dass das ACC des Fzg. A bei Regen, nasser Fahrbahn und Gischt vom Target-Fahrzeug dieses nicht erkennt. Es erfolgt dabei keine Fehlermeldung, dass das ACC nicht funktioniert.
- Bei der simulierten Verschmutzung des Radarsensors des Fzg. B erfolgt keine Fehlermeldung, wenn der Radarsensor vollständig mit Aluminiumklebeband

abgeklebt ist. Bei teilweiser Abdeckung erfolgt eine Fehlermeldung, dass das ACC nicht funktioniert.

- Im Gegensatz zum Fzg. A verzögert Fzg. B bei enger werdendem Kurvenradius nicht.
- Das ACC des Fzg. B hat einen Fahrradfahrer erkannt, der vom Target-Fahrzeug, hinter dem sich das Fzg. B in ACC-Folgefahrt befunden hat, überholt wurde.

Die Auswertung der gemessenen Daten ist in den untenstehenden Diagrammen ersichtlich.

Abbildung 6.4 zeigt das Verhalten beider Fahrzeuge beim Auffahren auf ein langsameres Target-Fahrzeug in der eigenen Fahrspur bei minimaler Zeitlückeneinstellung.



**Abbildung 6.4:** Fahrmanöver 1 - Einschwingverhalten bei Auffahren auf langsameres Fahrzeug in eigener Spur

Abbildung 6.5 zeigt die Beschleunigung des Fzg. B mit der Tempomatfunktion des ACC von ca. 30 auf 95 km/h mit einer eingestellten Sollgeschwindigkeit von 100 km/h.

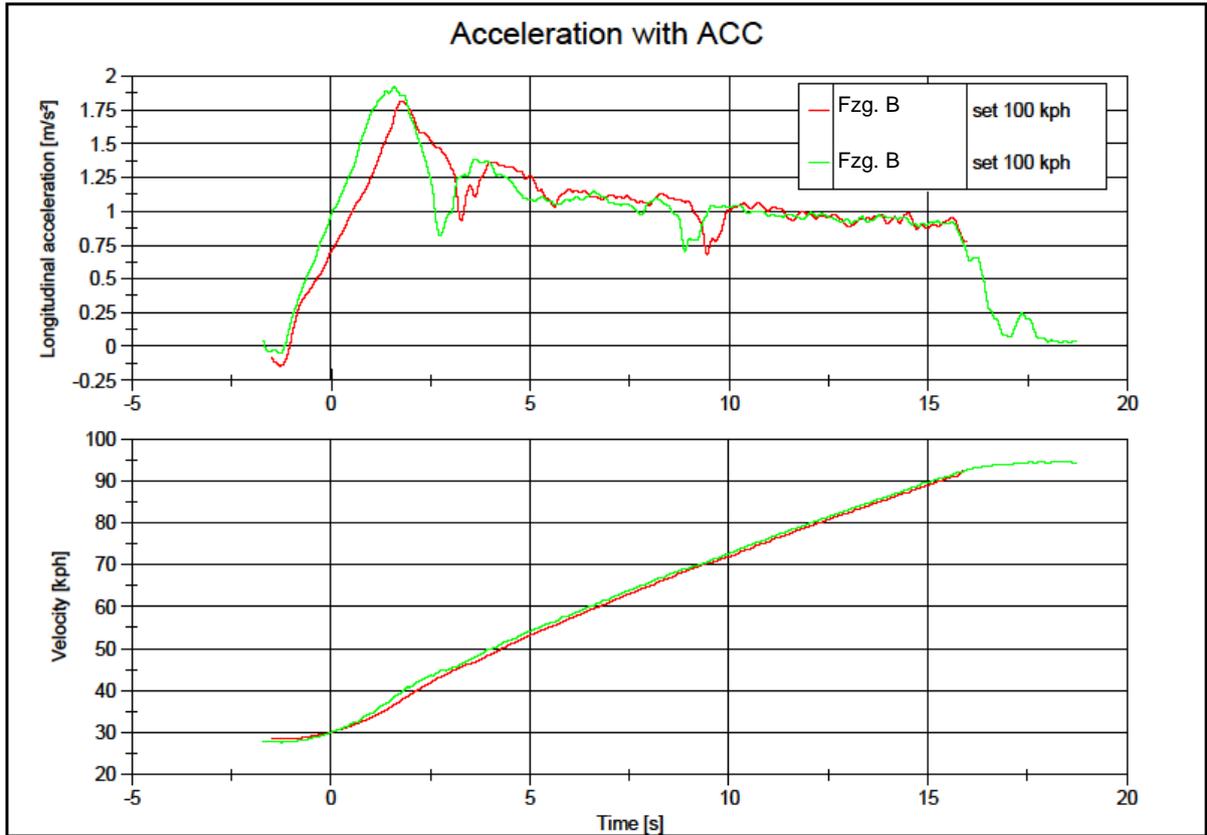


Abbildung 6.5: Fahrmanöver 2 - Beschleunigen mit ACC Funktion

Abbildung 6.6 zeigt das Verhalten des Fzg. A wenn die Fahrgeschwindigkeit des Target-Fahrzeuges um 100 km/h laut Tacho mit verschiedenen Amplituden und Schwingungsdauern schwingt.

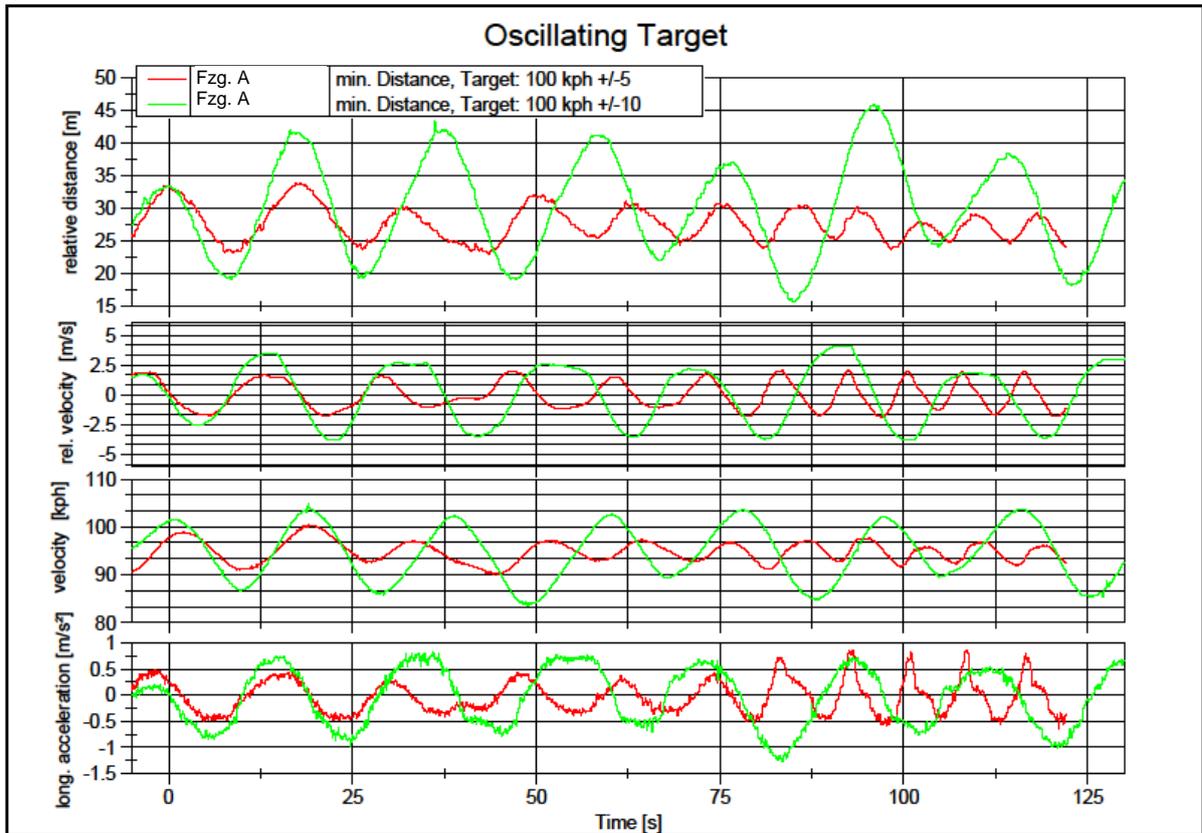
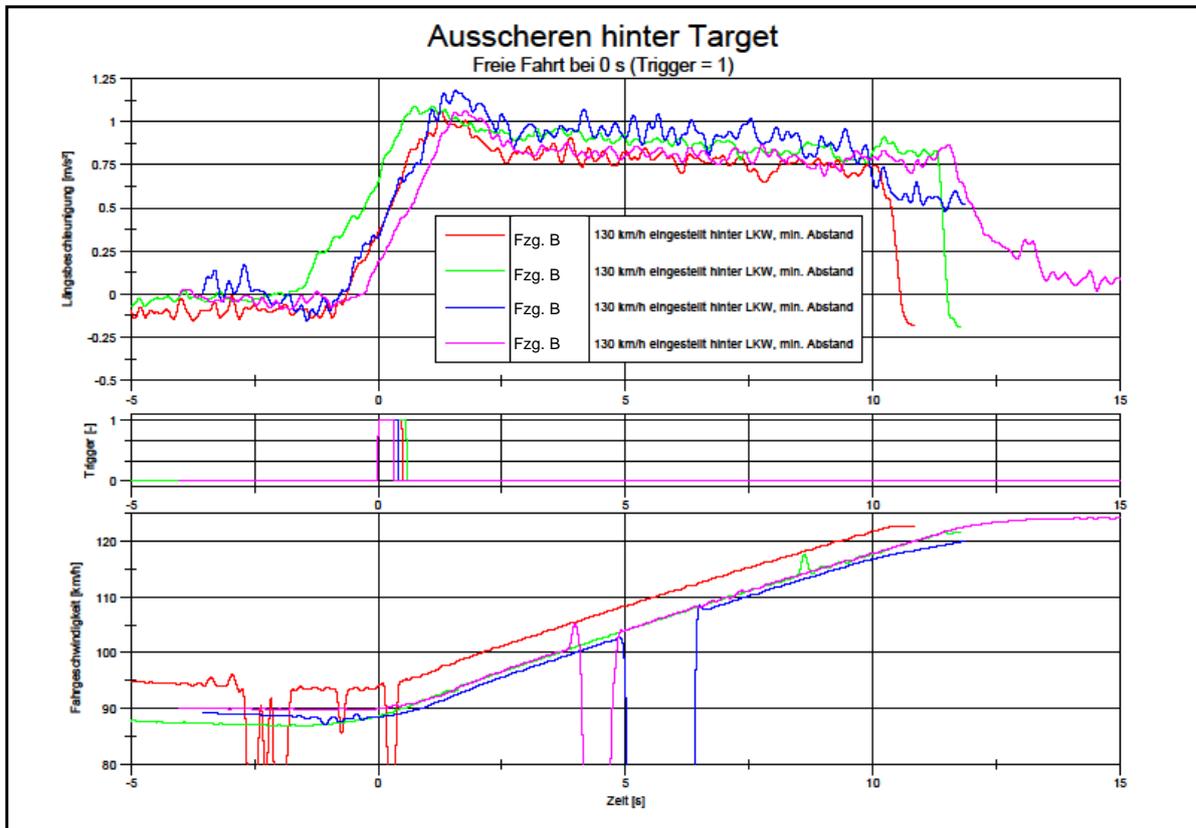


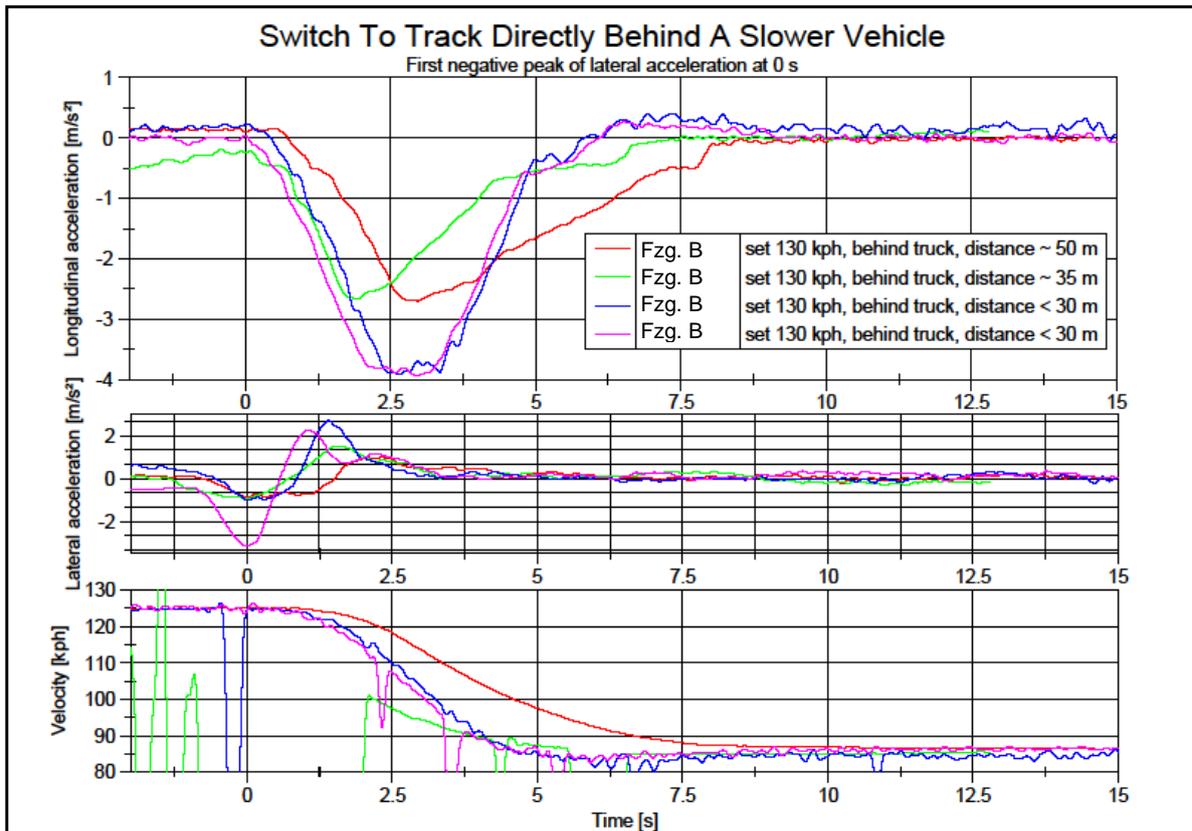
Abbildung 6.6: Fahrmanöver 3 - Halten der Geschwindigkeit bei unruhiger Fahrt des Targets, Fzg. A

Abbildung 6.7 zeigt das Verhalten des Fzg. B beim Ausscheren hinter dem Target-Fahrzeug (Ansetzen zum Überholen) mit höher eingestellter Sollgeschwindigkeit.



**Abbildung 6.7:** Fahrmanöver 4 - Ausscheren hinter Target bei Folgefahrt und höher eingestellter Sollgeschwindigkeit und freier zweiter Spur mit und ohne Blinker (Ansetzen zum Überholen), Fzg. B

Abbildung 6.8 zeigt das Verhalten des Fzg. B beim Einscheren auf die Fahrspur eines Target-Fahrzeugs mit 130 km/h Sollgeschwindigkeit in verschiedenen Abständen.



**Abbildung 6.8:** Fahrmanöver 6 - Sicherheit: Einschwingverhalten bei Einscheren hinter Fahrzeug in verschiedenen Abständen, Fzg. B

Abbildung 6.9 zeigt die Reaktion des Fzg. A auf Einschernen von Target-Fahrzeug 2 auf die eigene Spur mit gleicher Geschwindigkeit während einer Folgefahrt hinter Target-Fahrzeug 1.

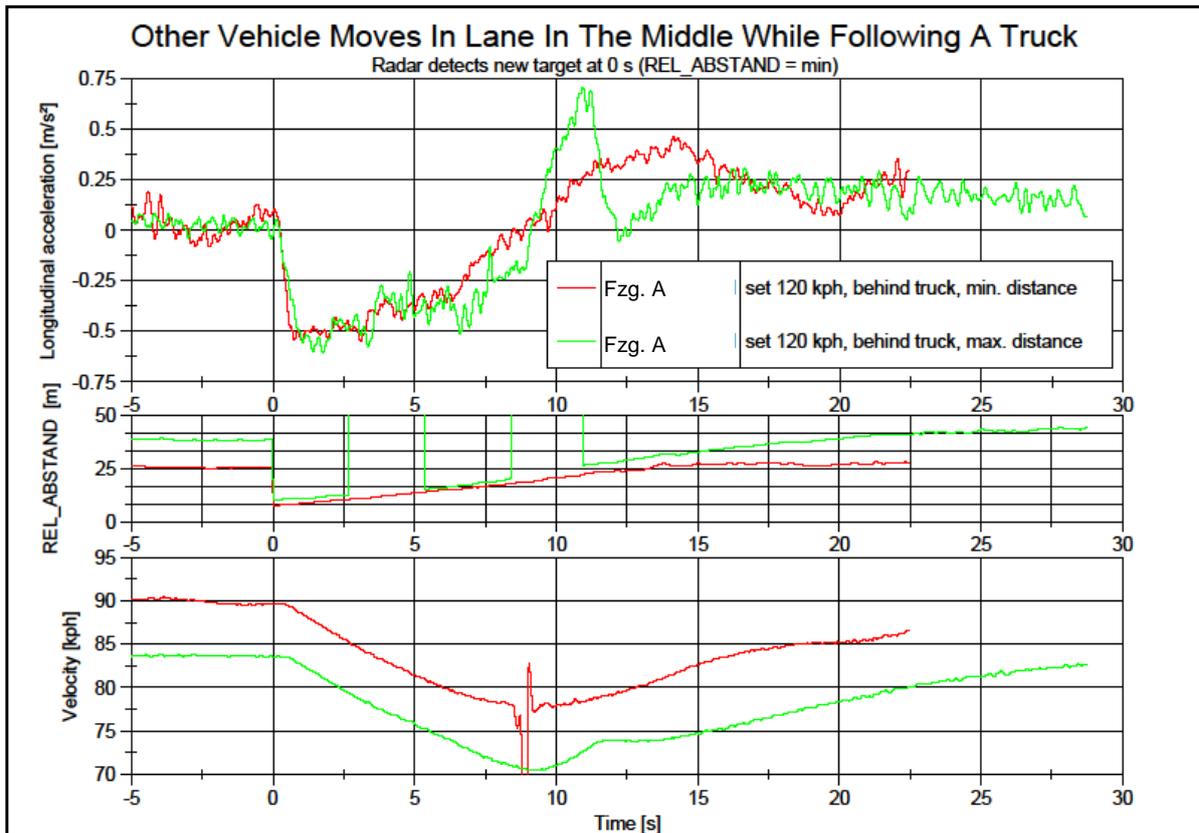


Abbildung 6.9: Fahrmanöver 7 - Reaktion auf Einschernen eines anderen Fahrzeugs, Fzg. A

#### 6.4. Interpretation der Ergebnisse

In Abbildung 6.3 sind die Ergebnisse der Auswertungen der subjektiven Bewertungsbögen für ACC für Fzg. A und Fzg. B übereinandergelegt. Fzg. B schneidet in allen Punkten außer der geometrischen Integration des Sensors (Geometric Integration of the Sensor) besser oder gleich gut ab wie Fzg. A. Das schlechtere Abschneiden des Fzg. B im Punkt geometrische Integration des Sensors ist darin begründet, dass die Kühlerrippen über der Sensorabdeckung durchgezogen sind (siehe Abbildung 6.2) und somit eine Ablagerungsmöglichkeit für Verschmutzungen bieten. Die Abdeckung des Radarsensors bei Fzg. A ist glatt ausgeführt, die Fortsetzung der Kühlerrippen aus Designgründen erfolgt rein optisch.

Sowohl das ACC des Fzg. A als auch das des Fzg. B sind als komfortabel zu beurteilen, die gut funktionieren (Funktion, Sensorfunktion). Die Zahl der Fehlreaktionen ist gering und die Bedienbarkeit in Fzg. A ist sehr gut. Das ist aus der Bewertung im Vergleich zum Fzg. B nicht ersichtlich, da der Punkt Bedienbarkeit für das Fzg. A aufgrund einer sehr späten Übergabeaufforderung bei kritischer Abstandsunterschreitung abgewertet wird. Im Punkt NVH erreichen beide Fahrzeuge das gleich gute Ergebnis.

Bei schlechten Witterungsbedingungen (Regen, nasse Fahrbahn, Gischt von vorausfahrenden Fahrzeugen) erkennt der ACC-Sensor des Fzg. A das Target-Fahrzeug oft nicht. Dass dabei keine Warnung ausgegeben wird, dass das ACC nicht funktioniert ist negativ zu bewerten. Es gibt den Hinweis in der Betriebsanleitung, dass ACC bei schlechten Witterungsbedingungen nicht funktioniert.

Ebenfalls negativ zu bewerten ist die ausstehende Fehlermeldung, wenn der Radarsensor des Fzg. B vollständig mit Aluminiumklebeband abgeklebt ist. Die Tempomatfunktion des ACC lässt sich trotzdem aktivieren ohne irgendeinen Unterschied zum funktionierenden Sensor.

Ein im Weblinger Kreisverkehr mit seinem enger und weiter werdenden Kurvenradius auffallendes Verhalten des Fzg. B ist, dass das Fahrzeug bei enger werdendem Kurvenradius nicht verzögert wenn die Sollgeschwindigkeit höher eingestellt ist, obwohl das ACC seine Systemgrenze (Begrenzung der Querschleunigung) erreicht. Dies führt dazu, dass das Fahrzeug Runde um Runde schneller wird im Kreisverkehr und schließlich ein Fahrereingriff notwendig wird.

Positiv ist die problemlose Erkennung eines Fahrradfahrers auf der Landstraße des Fzg. B zu bewerten. Der Fahrradfahrer ist als Target-Fahrzeug erkannt worden und das Fzg. B ist in Folgefahrt gefolgt.

In Abbildung 6.4 ist ein ähnliches Verhalten beider Fahrzeuge zu erkennen. Charakteristisch ist das kurze Halten im Verzögerungsverlauf bei ca.  $-1$  bis  $-0,5$   $\text{m/s}^2$  sowohl beim Verzögerungsaufbau als auch beim Verzögerungsabbau. Das ist der Grenzwert der Verzögerung, der mit dem Schleppmoment des Motors erreicht werden kann. Für höhere Verzögerungswerte setzt die Reibbremse ein. Obwohl im Verzögerungsverlauf gut sichtbar ist beim Fahren kein Ruck spürbar, das Anbremsen als auch das Bremse lösen verläuft in beiden Fahrzeugen sehr komfortabel.

Eine maximale Beschleunigung von knapp unter  $2$   $\text{m/s}^2$  ist bei ca.  $35$   $\text{km/h}$  in Abbildung 6.5 ersichtlich. Mit steigender Geschwindigkeit sinkt die Beschleunigung. Bei ca.  $45$   $\text{km/h}$  und ca.  $70$   $\text{km/h}$  ist jeweils ein Schaltvorgang im Beschleunigungsverlauf erkennbar. Als Fahrer empfindet man die Schaltvorgänge als komfortabel.

Analog zu Abbildung 6.6 hat man als Fahrer bei dem Fahrmanöver das Gefühl, als würde das Ego-Fahrzeug an einem Gummiseil vom Target-Fahrzeug gezogen und dessen Längsschwingung zeitverzögert folgen. Bei diesem Fahrmanöver sollte die Absolutgeschwindigkeit des Target-Fahrzeuges zum Vergleich mit der Absolutgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeuges mitgemessen werden, was allerdings erhöhte Anforderungen an die zu verwendende Messtechnik stellt.

Abbildung 6.7 zeigt, dass die Beschleunigung beim Ansetzen zum Überholen in Folgefahrt hinter einem Target-Fahrzeug mit höher eingestellter Sollgeschwindigkeit schon einsetzt, bevor die Fahrspur verlassen wird (Betätigung des Triggers beim Beginn der Querung der Leitlinie). Subjektiv im Fahrzeug erscheint die Zeit, bis die Beschleunigung einsetzt, in beiden Fahrzeugen zu lang, im wirklichen Fahrbetrieb wird das ACC mit dem Fahrpedal übersteuert werden.

In Abbildung 6.8 ist ersichtlich, dass die Längsverzögerung beim Einscheren auf die Spur des Target-Fahrzeugs in etwa einsetzt, wenn die Querbefleunigung ihren ersten Extremwert erreicht. Auch bei geringen Abständen hat Fzg. B automatisch ausreichend verzögert, sodass kein Fahrereingriff notwendig gewesen ist. Die maximale Längsverzögerung von knapp  $-4 \text{ m/s}^2$  ist stärker als der in ISO 15622 festgelegte Grenzwert von  $-3,5 \text{ m/s}^2$ .

Ein zweimaliger Zielverlust des Fzg. B ist in Abbildung 6.9 ersichtlich. Beim ersten Zielverlust bei geringem Abstand zum Target-Fahrzeug verzögert das ACC weiter - ein sehr sicheres Verhalten, beim zweiten Zielverlust mit größerem Abstand zum Target-Fahrzeug beschleunigt das Fahrzeug, bis das Ziel wiedererkannt wird.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Längsdynamisch regelnde Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer in seiner primären Fahraufgabe, stellen aktive Unterstützung für Längsregelung mit oder ohne Warnung bereit, detektieren und evaluieren die Fahrzeugumgebung, verwenden komplexe Signalverarbeitung und bieten direkte Interaktion zwischen Fahrer und System [SKJ<sup>+</sup>06].

Die vorliegende Diplomarbeit dient dazu, die Gesamtfahrzeugintegration längsdynamisch regelnder Fahrerassistenzsysteme zu unterstützen. Die Durchführung der Diplomarbeit erfolgt im Rahmen des Kooperationsprojekts VDC-DAS<sup>23</sup> des Magna Project House und des Instituts für Fahrzeugtechnik der TU Graz.

Dazu wird der Stand der Technik für die betrachteten Systeme ACC, FSRA, FCW, BA, AEB und ACS detailliert erhoben. In den weiterfolgenden Kapiteln wird das Hauptaugenmerk auf ACC, FSRA und FCW gelegt, mit Ausnahme des objektiven Testkatalogs, in den auch die verfügbare Information über BA, AEB und ACS eingetragen wird.

Im objektiven Testkatalog werden vorhandene Testmethoden für Fahrerassistenzsysteme aus verschiedenen Quellen (ISO<sup>24</sup>, SAE<sup>25</sup>, US NCAP<sup>26</sup>, ADAC, TÜV Süd, EU-Projekte) aufgelistet und mit den für die Abprüfung erforderlichen Ressourcen übersichtlich dargestellt. Eine objektive Fahrzeugbewertung erfordert die Ausrüstung der Testfahrzeuge mit aufwändiger und kostenintensiver Messtechnik.

Der subjektive Bewertungsbogen wird für ACC und FSRA erstellt und der Fahrversuch mit zwei ACC-Fahrzeugen erfolgreich durchgeführt. Mit Hilfe des ausgearbeiteten subjektiven Bewertungsbogens kann vergleichsweise schnell und mit geringem Aufwand eine grundsätzliche Aussage über ACC und FSRA-Fahrzeuge getätigt werden. Das Ergebnis ist einfach dokumentierbar und kann auch nach längerer Zeit noch mit Ergebnissen aus anderen Fahrversuchen verglichen werden.

Die subjektive Bewertung erfolgt mit Unterstützung von in der Automobilindustrie üblicher Standardmesstechnik. Die dabei erhaltenen Messdaten werden im weiteren Fortschritt des Projekts VDC-DAS als erste Eingangsdaten für die Simulation genutzt, wobei weitere Messungen durchgeführt werden, die auf den bereits gewonnenen Erkenntnissen aufbauen.

Die ausgewählte Benchmarkstrecke im Großraum Graz bietet die Möglichkeit, längs- und querdynamische Fahrerassistenzsysteme im Rahmen der auf der öffentlichen Straße einzuhaltenden Vorschriften und Verhaltensregeln zu testen. Die Benchmarkstrecke beinhaltet Autobahn, Schnellstraße, Landstraße und Ortsgebiet. Bei ungünstiger

---

<sup>23</sup> VDC-DAS: **V**ehicle **D**ynamic **C**ontroller-**D**river **A**ssistance **S**ystem (Fahrndynamikregler-Fahrerassistenzsystem)

<sup>24</sup> ISO: **I**nternational **O**rganization for **S**tandardization (Internationale Organisation für Normung)

<sup>25</sup> SAE: **S**ociety of **A**utomotive **E**ngineers (Verband der Automobilingenieure)

<sup>26</sup> US NCAP: **U**nited **S**tates **N**ew **C**ar **A**ssessment **P**rogramme (US Neuwagen-Bewertungsprogramm)

Verkehrssituation kann auf weniger befahrene Teilstücke der Benchmarkstrecke ausgewichen werden.

Gesetzliche Rahmenbedingungen können zur weiteren Verbreitung von Fahrerassistenzsystemen beitragen. Wenn man die im Zuge der EG-Verordnung Nr. 661/2009 ab 2013 bzw. 2015 gültige Ausrüstungspflicht von Nutzfahrzeugen mit AEB fortführt, können durchaus auch für Pkws bestimmte Fahrerassistenzsysteme gesetzlich vorgeschrieben werden. Die EU-weite Ausrüstungspflicht für neu typisierte von Pkws mit ESP ab November 2011 ist bereits ein Schritt in diese Richtung.

Zu beachten ist, dass die Gesamtkosten für Fahrerassistenzsysteme über die Fahrzeuglebensdauer für den Kunden in einem angemessenen Rahmen bleiben. Sensoren müssen so montiert sein, dass Bagatellunfälle keine hohen Reparaturkosten, sei es durch Austausch des Sensors oder nur durch die Notwendigkeit der Justage eines Sensors in der Werkstätte, nach sich ziehen. Sollten bestimmte Systeme gesetzlich vorgeschrieben werden, so müssen diese robust gestaltet sein, um über die Fahrzeuglebensdauer die Kundenakzeptanz nicht zu verlieren.

Ein Ausblick kann dahingehend gegeben werden, als dass eine fortschreitende Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen, sowohl im Fahrzeug durch Sensordatenfusion und gemeinsame Steuergeräte, als auch über das Fahrzeug hinausgehend durch Car-to-X<sup>27</sup> Kommunikation stattfinden wird, sobald passende Standards dafür festgelegt sind.

In das Thema Leichtbau werden Fahrerassistenzsysteme als Systeme der aktiven Sicherheit hineinspielen indem sie Einsparpotenzial bei „schweren“ Systemen der passiven Sicherheit bringen. Passive Sicherheitssysteme werden durch leichtere aktive Systeme, die den gleichen Nutzen bringen, ersetzt werden.

---

<sup>27</sup> Car-to-X Kommunikation: Kommunikation eines Fahrzeuges mit anderen Fahrzeugen, Verkehrsleiteinrichtungen, o. ä.

## Literaturverzeichnis

- [BAD<sup>+</sup>07] Barrios, J. M. et al: Common database of existing safety functions & corresponding system platforms, Deliverable 6.1, Project No. 027763 – TRACE, 2007, [www.trace-project.org/publication/archives/trace-wp6-d6-1.pdf](http://www.trace-project.org/publication/archives/trace-wp6-d6-1.pdf) (Zugriff am 07.03.2012).
- [Bos04] Robert Bosch GmbH (Hrsg.): Sicherheits- und Komfortsysteme, Vieweg Verlag Wiesbaden, 2004.
- [Eic10] Eichberger, A.: Contributions to Primary, Secondary and Integrated Traffic Safety, Habilitationsschrift, TU Graz, 2010.
- [ES11] Eichberger, A.; Sinz, W.: Integrierte Sicherheit, Skriptum zu Vorlesung Integrierte Sicherheit, Institut für Fahrzeugtechnik und Institut für Fahrzeugsicherheit, TU Graz, 2011.
- [ETH<sup>+</sup>11] Eichberger, A.; Tomasch, E.; Hirschberg, W.; Steffan, H.: Potenziale von Systemen der aktiven Sicherheit und Fahrerassistenz, In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 113 (2011) 07-08, S. 594-601.
- [GPD<sup>+</sup>07] Gietelink, O.; Ploeg, J.; De Schutter, B.; Verhaegen, M.: Development of advanced driver assistance systems with vehicle hardware-in-the-loop simulations, In: Vehicle Systems Dynamics, 44:7, S. 569-590.
- [HW11a] Hirschberg, W.; Waser, H., M.: Fahrzeugdynamik, Skriptum zur Vorlesung Fahrzeugdynamik, Institut für Fahrzeugtechnik, TU Graz, 2011.
- [HW11b] Hirschberg, W.; Waser, H., M.: Kraftfahrzeugtechnik, Skriptum zur Vorlesung Kraftfahrzeugtechnik, Institut für Fahrzeugtechnik, TU Graz, 2011.
- [ISO15622] International Organization for Standardization: ISO 15622 – Intelligent transport systems – Adaptive Cruise Control Systems – Performance requirements and test procedures, Beuth Verlag Berlin, 2010.
- [ISO15623] International Organization for Standardization: ISO 15623 – Transport information and control systems – Forward vehicle collision warning systems – Performance requirements and test procedures, Beuth Verlag Berlin, 2002.
- [ISO22179] International Organization for Standardization: ISO 22179 – Intelligent transport systems – Full speed range adaptive cruise control (FSRA) systems – Performance requirements and test procedures, Beuth Verlag Berlin, 2009.
- [Luh06] Luh, S.-A.; Untersuchung des Einflusses des horizontalen Sichtbereichs eines ACC-Sensors auf die Systemperformance, Dissertation, TU Darmstadt, 2006.
- [LWW99] Lücke, H.-U.; Wagner, J.; Wiss, H.: Hydraulischer Bremsassistent, In: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 101 (1999) 6, S. 470.

- [Mau09] Maurer, M.: Entwurf und Test von Fahrerassistenzsystemen, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [Öam12] Kleine Ursache, teurer Schaden, In: auto touring, Magazin des ÖAMTC Österreichischer Automobil-, Motorrad- und Touring Club, Wien Februar 2012, S.31.
- [MW04] Mitschke, M.; Wallentowitz, H.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, 4. Auflage, Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2004.
- [Mör09] Mörbe, M.: Fahrdynamik-Sensoren für FAS, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [RB09] Reichart, G.; Bielefeld, J.: Einflüsse von Fahrerassistenzsystemen auf die Systemarchitektur im Kraftfahrzeug, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [Rei10] Reif, K.(Hrsg.): Fahrstabilisierungssysteme und Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, 2010.
- [SPS11] Silvestro, D.; Pingel, C.; Sacher, A.: Vergleichstest von Notbremsassistenten, Testbericht ADAC, Landsberg/Lech, 2011  
[www.adac.de/\\_mmm/pdf/Testbericht%20AEBS-Internet\\_75482.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/Testbericht%20AEBS-Internet_75482.pdf) (Zugriff am 09.01.2011).
- [SKJ<sup>+</sup>06] Schwarz, J.; et al: RESPONSE 3 - Code of Practice for the design and evaluation of ADAS, PReVENT project deliverable D11.2, 2006, [www.prevent-ip.org](http://www.prevent-ip.org) (Zugriff am 09.11.2011).
- [VKU11] Seidenstücker, T.: Radarsysteme im Automobil bringen mehr Sicherheit und Komfortfunktionalität, In: VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik April 2011, S. 134.
- [Vol10] Betriebsanleitung Volvo S80, Volvo Car Corporation TP 11730 (German), Göteborg 2010.
- [WDS09] Winner, H.; Danner, B.; Steinle, J: Adaptive Cruise Control, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [Win09a] Winner, H.: Frontalkollisionsschutzsysteme, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [Win09b] Winner, H.: Radarsensorik, In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden 2009.
- [Zas11] Zastrow, K., F.: Regulatory situation of Advanced Emergency Braking Systems, Vortrag zum 1<sup>st</sup> ActiveTest Workshop, Aachen 2011.

### Online Quellen

- [Aud12] Preisliste Audi A8, Porsche Austria GmbH, Oktober 2011  
[www.audi.at/files/at/element/file\\_download/audi\\_a8\\_preisliste\\_10\\_2011\\_web.pdf](http://www.audi.at/files/at/element/file_download/audi_a8_preisliste_10_2011_web.pdf) (Zugriff am 25.01.2012)
- [Bos11] Robert Bosch AG  
[www.bosch-presse.at/tbwebdb/bosch-at/de-AT/Presstext.cfm?id=555](http://www.bosch-presse.at/tbwebdb/bosch-at/de-AT/Presstext.cfm?id=555) (Zugriff am 18.01.2012)
- [Del12] Delphi Automotive LLP.  
<http://delphi.com/images/mediaRoom/photos/2011/hires/Delphi-RACAM.jpg> (Zugriff am 23.02.2012)
- [EG09] Verordnung (EG) Nr. 661/2009  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:200:0001:0024:DE:PDF> (Zugriff am 25.02.2012)
- [Goo11] Googlemaps <http://maps.google.de/> (Zugriff am 02.11.2011)
- [Hel12] Bundeskanzleramt Österreich  
<https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/6/Seite.061800.html> (Zugriff am 27.02.2012)
- [Mob12] Mobileye N.V.  
<http://mobileye.com/technology/applications/vehicle-detection/vision-only-adaptive-cruise-control/> (Zugriff am 22.02.2012)
- [R13] UN/ECE-R13 Anhang 18  
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/44834/publicationFile/1393/r-13-bremsen-teil-ii-pdf.pdf> (Zugriff am 25.02.2012)
- [R13-H] UN/ECE-R13-H Anhang 8  
<http://www.bmvbs.de/cae/servlet/contentblob/44836/publicationFile/41718/r-13-h-harmonisierte-bremsen-pdf.pdf> (Zugriff am 25.02.2012)
- [Vol12] Volvo Car Austria GmbH  
[www.volvocars.com/at/top/about/safety/new\\_safety\\_systems/pages/pedestrian-detection.aspx](http://www.volvocars.com/at/top/about/safety/new_safety_systems/pages/pedestrian-detection.aspx) (Zugriff am 26.01.2012)
- [VKU11] VKU – Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik: Notbremsassistent für Kleinwagen  
[www.vkuonline.de/notbremsassistent-auch-fuer-kleinwagen-1072088-vku\\_article.html](http://www.vkuonline.de/notbremsassistent-auch-fuer-kleinwagen-1072088-vku_article.html) (Zugriff am 21.10.2011)
- [VW12] Porsche Austria GmbH & Co OG  
[www.volkswagen.at/modelle/up/highlights](http://www.volkswagen.at/modelle/up/highlights) (Zugriff am 24.01.2012)
- [WÜ68] Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr  
[www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1982\\_290\\_0/1982\\_290\\_0.pdf](http://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1982_290_0/1982_290_0.pdf) (Zugriff am 25.02.2012)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Fahrzeugbewegungen nach ISO .....	3
Abbildung 2.2: Koordinatensystem und Winkel am Sensor.....	4
Abbildung 2.3: Fahrzeug, Achsen (Rad) und Fahrbahn.....	5
Abbildung 2.4: Längsgeschwindigkeiten am frei rollenden und schlupfenden Rad .....	6
Abbildung 2.5: Fahrzeug mit Vorderradantrieb und Schaltgetriebe.....	8
Abbildung 2.6: Stationäres Lieferkennfeld .....	9
Abbildung 2.7: Fahrzeugmodell mit Längslenkern .....	10
Abbildung 2.8: Vollständiger Nickausgleich .....	11
Abbildung 2.9: System Verkehr .....	12
Abbildung 2.10: Unfallursachen.....	13
Abbildung 2.11: Phasen eines Verkehrsunfalls.....	14
Abbildung 3.1: ACC-Funktion .....	18
Abbildung 3.2: Funktionsstruktur ACC.....	19
Abbildung 3.3: ACC-Komponenten.....	20
Abbildung 3.4: Erkennungsbereich – Zonen.....	21
Abbildung 3.5: Zeitlücke $\tau$ .....	21
Abbildung 3.6: Beschleunigungs- und Ruckgrenzen für FSRA nach ISO 22179.....	25
Abbildung 3.7: Sicherheitspotential von Sicherheitssystemen aus RCS-TUG.....	26
Abbildung 3.8: Fahrereingriff .....	27
Abbildung 3.9: Verbreitung von Collision Mitigation Systemen .....	28
Abbildung 3.10: Funktionale Elemente eines Auffahrwarnsystems.....	29
Abbildung 3.11: Erkennungsbereich von FCW .....	31
Abbildung 3.12: Typische Bremsdruckverläufe.....	33
Abbildung 3.13: Warnkaskade Audi A7 .....	34
Abbildung 3.14: Warnkaskade Infiniti M100.....	35
Abbildung 3.15: Warngrenzen für die Reaktionszeit $t_{\text{reakt}}$ .....	36
Abbildung 3.16: Volvo City-Safety im S60 .....	37
Abbildung 4.1: ACC Zustände und Übergänge.....	38
Abbildung 4.2: FSRA Zustände und Übergänge.....	39
Abbildung 4.3: Zusammenhang zwischen Bremsdruck $p$ und Verzögerung $a$ .....	41
Abbildung 4.4: ACC-System.....	44
Abbildung 4.5: Symbole für die ACC-Aktivierung nach ISO 2575 .....	49
Abbildung 4.6: Bedienung und Anzeige des ACC im Volvo S80, Modelljahr 2011 .....	50
Abbildung 4.7: Optische Frontalkollisionswarnung im Volvo S80, Modelljahr 2011.....	51
Abbildung 4.8: Nicht ausreichende ACC Erkennungsreichweite .....	54
Abbildung 4.9: Notwendiger horizontaler Erkennungsbereich für ACC .....	55
Abbildung 4.10: Erforderlicher Öffnungswinkel für ACC.....	55
Abbildung 4.11: Horizontaler Erkennungsbereich für FSRA .....	56
Abbildung 4.12: Kamera, Radarsensor im Volvo S60 .....	58
Abbildung 4.13: Delphi RACam .....	58
Abbildung 4.14: DISTRONIC Steuergerät .....	60
Abbildung 5.1: Auffahren in eigener Spur .....	68
Abbildung 5.2: Geschwindigkeitsverlauf bei unruhiger Fahrt .....	69

Abbildung 5.3: Ausscheren.....	69
Abbildung 5.4: Einscheren hinter einem Fahrzeug .....	70
Abbildung 5.5: Einscheren eines anderen Fahrzeugs.....	71
Abbildung 5.6: Reaktion auf Einscheren eines anderen Fahrzeugs (Sicherheitskritisch) .....	72
Abbildung 5.7: Reaktion bei doppeltem Spurwechsel .....	73
Abbildung 5.8: Zielunterscheidung bei Fahrzeugen nahe der Leitlinie .....	73
Abbildung 5.9: Weblinger Kreisverkehr.....	75
Abbildung 5.10: Kurvenfähigkeit .....	75
Abbildung 5.11: Kurvenfähigkeit-Zielunterscheidung .....	76
Abbildung 5.12: Autobahnabfahrt Gratkorn-Nord.....	77
Abbildung 5.13: L 318 Richtung Semriach.....	78
Abbildung 5.14: Queren der Lücke .....	79
Abbildung 5.15: Benchmarkstrecke .....	82
Abbildung 6.1: Messtechnik im Fzg. A.....	85
Abbildung 6.2: Radarsensor des Fzg. B teilweise mit Aluminiumklebeband abgeklebt .....	86
Abbildung 6.3: ACC-Bewertung Fzg. A und Fzg. B.....	86
Abbildung 6.4: Fahrmanöver 1 .....	87
Abbildung 6.5: Fahrmanöver 2 .....	88
Abbildung 6.6: Fahrmanöver 3 .....	89
Abbildung 6.7: Fahrmanöver 4 .....	90
Abbildung 6.8: Fahrmanöver 6 .....	91
Abbildung 6.9: Fahrmanöver 7 .....	92
Abbildung A.1: Deckblatt des subjektiven Bewertungsbogens mit Ergebnisdarstellung .....	109
Abbildung A.2: Subjektive Bewertung Fzg. A.....	111
Abbildung A.3: Subjektive Bewertung des Fzg. B.....	113

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Relevante Normen bzw. Standards.....	17
Tabelle 3.1: Einteilung von ACC-Systemen nach Funktion [ISO15622].....	22
Tabelle 3.2: Einteilung von ACC-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO15622] .....	23
Tabelle 3.3: Einteilung von FSRA-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO22179] .....	24
Tabelle 3.4: Erläuterung der Abkürzungen aus Abbildung 3.7 und Zuordnung .....	27
Tabelle 3.5: Einteilung von FCW-Systemen nach Kurvenfähigkeit [ISO 15623].....	29
Tabelle 3.6: Anforderungen an Erkennungsbreite und Erkennungshöhe [ISO 15623] .....	31
Tabelle 4.1: Warncharakteristik von FCW [ISO15623].....	51
Tabelle 4.2: Erkennungsreichweite für ACC nach ISO 15622.....	53
Tabelle 5.1: Messsysteme .....	64
Tabelle 6.1: Fahrzeugdaten der Testfahrzeuge .....	84
Tabelle A.1: Zuordnung verschiedener OEM-Bezeichnungen .....	103
Tabelle A.2: Fahrzeugdaten Mittelklasse-Limousine.....	104
Tabelle A.3: Objektiver Testkatalog .....	107
Tabelle A.4: Messkanäle .....	108
Tabelle A.5: Subjektiver Bewertungsbogen .....	110
Tabelle A.6: Subjektive Bewertung Fzg. A.....	112
Tabelle A.7: Subjektive Bewertung des Fzg. B .....	114

# A. Anhang

## A.1 Systemübersicht

Tabelle A.1: Zuordnung verschiedener OEM-Bezeichnungen

25.02.2022	Berechnung	Abkürzung	weitere Abk.	Hersteller	Bedeutung deutsch	Bedeutung englisch	Berechnung			
Sichere Systeme	Systeme die die Wahrnehmung der Umwelt durch den Fahrer verbessern.	PIS	AWH	Ford	Schwermetallwarnsystem	poisoning improvement system	Dunkelheit, Tunnel, Parkhaube			
			ALM	Ford	Leuchtweitenregler	adaptive headlight control	Adaptive headlight control			
			ALM	Ford	Leuchtweitenregler	adaptive headlight control	Adaptive headlight control			
			CE-HL	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			SP-HL	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			MADE	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			NV (NR, TR)	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			APA	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			PAF	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			PRDA	Ford	Adaptives Kurvenlicht	adaptive cornering light control	Adaptives Kurvenlicht			
			Fahrerassistenz	Erlaubt dem Fahrer das Erlangen des Fahrzeuges, bei Gefahr über 130km/h des Fahrzeuges Kontakt und verringert dies, wenn der Abstand zum vorausfahrenden FZ gering wird.	ACC	ART	Ford	Adaptiver Tempomat	adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat
						ADR	Ford	Adaptiver Tempomat	adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat
GAAC	Ford	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
Distronic	Daimler	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
A-ACC	BMW	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
ACC SR	BMW	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
ACC	BMW	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
Distronic plus	Daimler	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
Low assist ACC	Ford	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
UF	Ford	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
SG	Ford	Adaptiver Tempomat				adaptive cruise control	Adaptiver Tempomat			
Warnung	Warnung des Fahrer vor einer bevorstehenden Kollision, wenn die der keine Handlung setzt um diese zu vermeiden.	FCW				COM	Ford	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)
			FA	Ford	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			FCW	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			ABA	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BAS	Daimler	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BrakingGuard	Audi	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BSA	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BS	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			ANB	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			AMB	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			COM	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			PRE-SAFE	Daimler	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
Frontkollisionschutzsysteme	Warnung des Fahrer vor einer bevorstehenden Kollision, wenn die der keine Handlung setzt um diese zu vermeiden.	BA	ABA	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BAS	Daimler	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BrakingGuard	Audi	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BSA	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			BS	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			ANB	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			AMB	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			COM	BMW	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			PRE-SAFE	Daimler	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			COM	Ford	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			COM	Ford	Kollisionswarnsystem	collision warning system	Warnung vor Kollision (z.B. Radar funktioniert auch bei schlechter Sicht)			
			Lenksensenzsysteme	Warnung des Fahrer vor einer bevorstehenden Kollision, wenn die der keine Handlung setzt um diese zu vermeiden.	LDA	LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent	lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
LDWA	Ford	Leichtes Lenkassistent				lane departure warning	Warnung vor Abweichen von der Fahrbahn			
Fahrerassistenzsysteme	Warnung des Fahrer vor einer bevorstehenden Kollision, wenn die der keine Handlung setzt um diese zu vermeiden.	ICA				ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			
			ICA	BMW	Intelligentes Kurvenassistent	intelligent curve assistant	Warnung vor Kurvenassistent			

**A.2 Fahrzeugdaten****Tabelle A.2:** Fahrzeugdaten Mittelklasse-Limousine

Masse	1720	kg
Luftwiderstandsbeiwert $c_w$	0,27	
Bremsscheibendurchmesser Vorderachse	330	mm
Bremsskolbendurchmesser Vorderachse	57	mm
effektiver Reibradius Vorderachse	136,5	mm
Bremsenkennwert $C^*$	0,82	
Bremsscheibendurchmesser Hinterachse	336	mm
Bremsskolbendurchmesser Hinterachse	44	mm
effektiver Reibradius Hinterachse	146	mm
Bremsenkennwert $C^*$	0,78	
Räder	225/45 R17	
dynamischer Rollradius $r_{dyn}$	317	mm

### A.3 Zahlenwertbeispiel TTC

Ein Fahrzeug nähert sich mit 50 m/s einem mit konstant mit 20 m/s fahrenden Fahrzeug. In einer Entfernung von 110 m wird die TTC berechnet. Die Genauigkeit des Sensors beträgt +- 1 m bei Abstandsmessung und +-3% bei Relativgeschwindigkeitsmessung.

Nach Kapitel 0 errechnet sich TTC zu

$$t_{tc} = \frac{d}{\Delta v}$$

mit

$$d = 110\text{m}$$

und

$$\Delta v = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Setzt man die Sensorgenauigkeiten für den Fall der größten TCC ein, ergibt sich

$$t_{tcmax} = \frac{(110 + 1) \text{ m}}{30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,97} = 3,81\text{s.}$$

Werden die Sensorgenauigkeiten für den Fall der kleinsten TCC eingesetzt, erhält man

$$t_{tcmin} = \frac{(110 - 1) \text{ m}}{30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1,03} = 3,53\text{s.}$$

Der relative Fehler  $f_{rel}$  dabei ist

$$f_{rel} = \pm \frac{t_{tcmax} - t_{tcmin}}{t_{tcmax} + t_{tcmin}} = \pm \frac{(3,81 - 3,53)\text{s}}{(3,81 + 3,53)\text{s}} = \pm 3,81\%.$$

#### A.4 Zahlenwertbeispiel Zykluszeit

Bei einer Differenzgeschwindigkeit von  $\Delta v = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ( $= 72 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ) und einer Dauer eines Messzyklus von  $t_z = 80 \text{ ms}$  (mittlerer Wert aus dem in [Win09b] angegebenen Bereich) ergibt sich eine Abstandsänderung  $\Delta d$  von

$$\Delta d = \Delta v \cdot t_z = 30 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,08\text{s} = 2,4\text{m}$$

während eines Messzyklus.



**A.6 Messkanäle**

**Tabelle A.4: Messkanäle**

		Measuring channels	Additional sensor required	EGO	TARGET
			[Y]=Yes [O]=Optional [ ]=No		
1	distance between EGO-TARGET	Distanz zw. Fahrzeugen	Y	O	
2	lateral offset between EGO-TARGET	Lateraler Offset zw. Fahrzeugen	Y		
3	horizontal speed EGO (x-, y-)	Geschwindigkeit EGO horizontalisiert (x- und y-Richtung)	Y	O	
4	horizontal speed TARGET (x-, y-)	Geschwindigkeit TARGET horizontalisiert (x- und y-Richtung)	Y		O
5	horizontal acceleration EGO (x-, y-)	Beschleunigungen EGO horizontalisiert (x- und y-Richtung)	Y	O	
6	horizontal acceleration TARGET (x-, y-)	Beschleunigungen TARGET horizontalisiert (x- und y-Richtung)	Y		O
7	yawrate EGO	Gierrate EGO	Y	O	
8	yawrate TARGET	Gierrate TARGET	Y		O
9	set speed (EGO)	Sollgeschwindigkeit (EGO)		Y	
10	set distance (EGO)	Sollabstand (EGO)		Y	
11	real distance (EGO)	Istabstand (EGO)		Y	
12	flag ACC active	Flag Abstandsregelung aktiv		Y	
13	available engine torque	Verfügbares Motormoment		Y	
14	available brake torque	Verfügbares Bremsmoment		Y	
15	throttle angle	Drosselklappenstellung		Y	
16	brake pressure(s)	Bremsdruck (-drücke)	Y	O	
17	flag ABS/ESP	ESP/ABS-Flag		Y	
18	set brake pressure(s)	Sollbremsdruck		Y	
19	set engine torque	Sollmotormoment aus FAS-Ausgang		Y	
20	indicator	Blinker		Y	
21	accelerator pedal angle	Fahrpedalstellung		Y	
22	brake pedal angle	Bremspedalstellung		Y	
23	brake lights	Bremsleuchte		Y	
24	time gap setting	Zeitlückeneinstellung		Y	
25	distance setting	Abstandseinstellung		Y	
26	setting: comfort/normal/sporty	Einstellung: Komfort/Normal/Sport		Y	
27	gear	Fahrstufe/Gang		Y	
28	TTC	TTC		Y	
29	warning (TTC) (FCW)	Warnung (TTC) (FCW)		Y	
30	support (TTC) (pre-fill)	Unterstützung (TTC)		Y	
31	intervention (TTC)	Eingriff (TTC)		Y	
32	flag target detected	Flag Ziel erfasst		Y	

**A.7 Subjektiver Bewertungsbogen**

## ACC Evaluation

**REASON OF EVALUATION:**  
.....

Name: ..... Date: .....

**VEHICLE DATA**

Type: .....

Engine: ..... Engine No.: .....

Other ADAS:    BSM     LDW     BA

Transmission:   manual     automatic     No. of Speeds: .....

Vehicle Identification No.: .....

Mileage: .....

Build Level: .....

Loading condition: .....

Unloaded weight: .....

Type of Tyre: .....

Dimension of Tyre / DOT: .....

Sensors for ACC: .....

.....

Sensors for FCW: .....

Sensors for BSM: .....

**AMBIENT CONDITIONS** (weather condition, temperature, road cond., visibility)  
.....

10	NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS	EXCELLENT
9	NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS	VERY GOOD
8	NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS	GOOD
7	NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS	SATISFYING
6	DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS	BARELY ACCEPTABLE
5	DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS	NOT ACCEPTABLE
4	RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS	FAULTY
3	RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS	UNSATISFACTORY
2	PARTLY OUT OF FUNCTION	POOR
1	OUT OF FUNCTION	VERY POOR

**MAIN PROBLEMS:**

- o .....
- o .....
- o .....
- o .....

**Abbildung A.1:** Deckblatt des subjektiven Bewertungsbogens mit Ergebnisdarstellung



**A.8 Subjektive Bewertung des Fzg. A**

## ACC Evaluation

<p><b>REASON OF EVALUATION:</b> ACC Test</p> <p>Name: <u>Driver &amp; Codriver</u> Date: <u>15.12.2011</u></p> <p><b>VEHICLE DATA</b></p> <p>Type: <u>Fzg. A</u></p> <p>Engine: _____ Engine No.: _____</p> <p>Other ADAS: BSM <input type="checkbox"/> LDW <input type="checkbox"/> BA <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>Transmission: manual <input type="checkbox"/> automatic <input checked="" type="checkbox"/> No. of Speeds: _____</p> <p>Vehicle Identification No.: _____</p> <p>Mileage: _____</p> <p>Build Level: <u>pre-series</u></p> <p>Loading condition: <u>Driver + 1 Person</u></p> <p>Unloaded weight: _____</p> <p>Type of Tyre: <u>Winter</u></p> <p>Dimension of Tyre / DOT: <u>245/45R17</u></p> <p>Sensors for ACC: <u>Radar</u></p> <p>Sensors for FCW: _____</p> <p>Sensors for BSM: _____</p> <p><b>AMBIENT CONDITIONS</b> (w eather condion, temperature, road cond., visibility) <u>rainy, 5°C, w et, visibility partly bad due to w et road</u></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 5%; color: white;">10</td><td style="width: 70%; color: white;">NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS</td><td style="width: 25%; color: white;">EXCELLENT</td></tr> <tr><td style="color: white;">9</td><td style="color: white;">NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS</td><td style="color: white;">VERY GOOD</td></tr> <tr><td style="color: white;">8</td><td style="color: white;">NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS</td><td style="color: white;">GOOD</td></tr> <tr><td style="color: white;">7</td><td style="color: white;">NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="color: white;">SATISFYING</td></tr> <tr><td style="color: white;">6</td><td style="color: white;">DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS</td><td style="color: white;">BARELY ACCEPTABLE</td></tr> <tr><td style="color: white;">5</td><td style="color: white;">DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS</td><td style="color: white;">NOT ACCEPTABLE</td></tr> <tr><td style="color: white;">4</td><td style="color: white;">RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="color: white;">FAULTY</td></tr> <tr><td style="color: white;">3</td><td style="color: white;">RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="color: white;">UNINSUFFICIENT</td></tr> <tr><td style="color: white;">2</td><td style="color: white;">PARTLY OUT OF FUNCTION</td><td style="color: white;">POOR</td></tr> <tr><td style="color: white;">1</td><td style="color: white;">OUT OF FUNCTION</td><td style="color: white;">VERY POOR</td></tr> </table>	10	NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS	EXCELLENT	9	NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS	VERY GOOD	8	NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS	GOOD	7	NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS	SATISFYING	6	DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS	BARELY ACCEPTABLE	5	DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS	NOT ACCEPTABLE	4	RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS	FAULTY	3	RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS	UNINSUFFICIENT	2	PARTLY OUT OF FUNCTION	POOR	1	OUT OF FUNCTION	VERY POOR
10	NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS	EXCELLENT																													
9	NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS	VERY GOOD																													
8	NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS	GOOD																													
7	NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS	SATISFYING																													
6	DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS	BARELY ACCEPTABLE																													
5	DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS	NOT ACCEPTABLE																													
4	RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS	FAULTY																													
3	RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS	UNINSUFFICIENT																													
2	PARTLY OUT OF FUNCTION	POOR																													
1	OUT OF FUNCTION	VERY POOR																													

**MAIN PROBLEMS:**

- TARGET partly not detected in rain on w et road.
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

Category	Score (0-10)
Function	10
Comfort	8
Sensor Function	8
NVH	2
Geometric Integration of the Sensor	2
Operability	6
False positives	4

**Abbildung A.2: Subjektive Bewertung Fzg. A**

Tabelle A.6: Subjektive Bewertung Fzg. A

Funktionsbereich	Funktionsbeschreibung	Parameter	Anmerkung	Taugen mit Funk	zugewiesenes Kriterium	Bewertung	Publik. Bewertung	Gewichtung	Bewertung	Ergebnis	Wichtung	Bewertung
Bedienfeld	1. Anzeige ACC/Adaptiv/Start/Stop				Bedienfeld	Keine Info		1	1	0	1	Keine Info
	2. Anzeige adaptive Geschwindigkeit				Bedienfeld	Keine Info		1	0	0	2	Keine Info
	3. Anzeige ACC/Adaptiv/Start/Stop				Bedienfeld	Keine Info		1	7	7	7	Keine Info
	4. Anzeige ACC/Adaptiv/Start/Stop				Bedienfeld	Keine Info		1	7	7	7	Keine Info
	5. Einstellung S-förmiger Fahrt				Bedienfeld	Komfortlich		1	8	8	5	Über separate Leuchte (in 10 und 1 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
	6. Einstellung des Abstandes				Bedienfeld	Anzahl der Stufen bzw. Kraftvertrieb		1	8	8	7	Über separate Leuchte (in 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
	7. Einstellung des Abstandes				Bedienfeld	1 bis mindestens 5 Stufen		1	8	8	6	Über separate Leuchte (in 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
	8. Einstellung des Abstandes				Bedienfeld	Keine Info		1	8	8	8	Über separate Leuchte (in 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
	9. Einstellung des Abstandes				Bedienfeld	Keine Info		1	8	8	8	Über separate Leuchte (in 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
	10. Einstellung des Abstandes				Bedienfeld	Keine Info		1	8	8	8	Über separate Leuchte (in 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 6, 6,5, 7, 7,5, 8, 8,5, 9, 9,5, 10 km/h Schritt), kann jedoch nach Speed-Limit werden
Scheinwerfer	1. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	12	Keine Info
	2. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	3. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 80 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	4. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 60 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	5. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 40 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	6. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 20 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	7. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 10 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	8. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 0 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	9. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
	10. Einblendverhalten bei Auftreten auf Gegenverkehr	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	12	Keine Info
Fahrerassistenz	1. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	2. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	3. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 80 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	4. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 60 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	5. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 40 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	6. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 20 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	7. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 10 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	8. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 0 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	9. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
	10. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	7	7	21	Keine Info
Fahrerassistenz	1. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	2. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	3. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 80 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	4. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 60 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	5. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 40 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	6. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 20 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	7. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 10 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	8. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 0 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	9. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	10. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
Fahrerassistenz	1. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	2. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	3. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 80 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	4. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 60 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	5. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 40 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	6. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 20 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	7. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 10 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	8. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 0 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	9. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 130 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info
	10. Reaktion auf Entweichen eines anderen Fahrzeuges	EGO 100 km/h/TARGET 80 km/h			Keine Info			1	8	8	24	Keine Info

**A.9 Subjektive Bewertung des Fzg. B**

## ACC Evaluation

<p><b>REASON OF EVALUATION:</b> ACC and LDW Test</p> <p>Name: <u>Driver &amp; Codriver</u> Date: <u>12.-14.12.2011</u></p> <p><b>VEHICLE DATA</b></p> <p>Type: <u>Fzg. B</u></p> <p>Engine: _____ Engine No.: _____</p> <p>Other ADAS: BSM X LDW X BA X</p> <p>Transmission: manual O automatic X No. of Speeds: <u>6</u></p> <p>Vehicle Identification No.: _____</p> <p>Mileage: _____</p> <p>Build Level: <u>Serie</u></p> <p>Loading condition: <u>Driver + 1 or 2 Persons</u></p> <p>Unloaded weight: <u>1667 kg (according to registration certificate)</u></p> <p>Type of Tyre: <u>Pirelli Sottozero Winter 210 Serie III</u></p> <p>Dimension of Tyre / DOT: <u>225/55R16 / 5010</u></p> <p>Sensors for ACC: <u>Radar</u></p> <p>Sensors for FCW: <u>Camera (behind windscreen, manuf. unknown)</u></p> <p>Sensors for BSM: <u>IR-Camera (under door mirrors, manuf. unknown)</u></p> <p><b>AMBIENT CONDITIONS</b> (weather condition, temperature, road cond., visibility) <u>cloudy, 0°C - 8°C, dry (partly wet, icy), visibility good (partly foggy)</u></p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td style="width: 5%; color: white;">10</td><td style="width: 70%; color: white;">NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS</td><td style="width: 25%; background-color: #90EE90;">EXCELLENT</td></tr> <tr><td style="color: white;">9</td><td style="color: white;">NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS</td><td style="background-color: #90EE90;">VERY GOOD</td></tr> <tr><td style="color: white;">8</td><td style="color: white;">NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS</td><td style="background-color: #90EE90;">GOOD</td></tr> <tr><td style="color: white;">7</td><td style="color: white;">NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="background-color: #FFFF00;">SATISFYING</td></tr> <tr><td style="color: white;">6</td><td style="color: white;">DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS</td><td style="background-color: #FFFF00;">BARELY ACCEPTABLE</td></tr> <tr><td style="color: white;">5</td><td style="color: white;">DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS</td><td style="background-color: #FF0000;">NOT ACCEPTABLE</td></tr> <tr><td style="color: white;">4</td><td style="color: white;">RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="background-color: #FF0000;">FAULTY</td></tr> <tr><td style="color: white;">3</td><td style="color: white;">RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS</td><td style="background-color: #FF0000;">UNINSUFFICIENT</td></tr> <tr><td style="color: white;">2</td><td style="color: white;">PARTLY OUT OF FUNCTION</td><td style="background-color: #FF0000;">POOR</td></tr> <tr><td style="color: white;">1</td><td style="color: white;">OUT OF FUNCTION</td><td style="background-color: #FF0000;">VERY POOR</td></tr> </table>	10	NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS	EXCELLENT	9	NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS	VERY GOOD	8	NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS	GOOD	7	NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS	SATISFYING	6	DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS	BARELY ACCEPTABLE	5	DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS	NOT ACCEPTABLE	4	RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS	FAULTY	3	RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS	UNINSUFFICIENT	2	PARTLY OUT OF FUNCTION	POOR	1	OUT OF FUNCTION	VERY POOR
10	NOT NOTICEABLE EVEN BY TRAINED EVALUATORS	EXCELLENT																													
9	NOTICEABLE ONLY BY TRAINED EVALUATORS	VERY GOOD																													
8	NOTICEABLE ONLY BY CRITICAL CUSTOMERS	GOOD																													
7	NOTICEABLE BY ALL CUSTOMERS	SATISFYING																													
6	DISTURBING FOR SOME CUSTOMERS	BARELY ACCEPTABLE																													
5	DISTURBING FOR ALL CUSTOMERS	NOT ACCEPTABLE																													
4	RATED AS FAILURE BY ALL CUSTOMERS	FAULTY																													
3	RATED AS BAD FAILURE BY ALL CUSTOMERS	UNINSUFFICIENT																													
2	PARTLY OUT OF FUNCTION	POOR																													
1	OUT OF FUNCTION	VERY POOR																													

**MAIN PROBLEMS:**

- No warning if sensors are covered completely, warning if partly covered (dirt simulated).
- No deceleration in curves if radius gets smaller.
- Good: Cyclist recognized (Recognition of a cyclist, overtaken by TARGET, EGO in following mode)
-

**Abbildung A.3:** Subjektive Bewertung des Fzg. B

