

Projektgruppe ViDAs
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Department für Informatik
2009-2010

Anforderungsdefinition

Version 1.1
5. März 2010

Jianyu Bao, Peter Battram, Alex Enkelmann, Andreas Gabel, Jens Heyen,
Thilo Koepke, Christoph Läsche, Sven Sieverding, Dirk Wacker

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1. Aufgabenstellung	4
1.2. Voraussetzungen	4
1.3. Fachbegriffe und Abkürzungen	5
1.4. Rechtliches	5
1.5. Struktur dieses Dokuments	5
2. Systembeschreibung	6
2.1. Beschreibung des Zielsystems	6
2.1.1. Teilsystem „ACC“	6
2.1.2. Teilsystem „LCA“	7
2.2. Simulationsumgebung	7
2.3. Umwelt	11
2.3.1. Modell der Autobahn	11
2.3.2. Relevante Schilder der Umwelt	14
2.3.3. Annahmen	16
3. Anforderungsspezifikation	18
3.1. Funktionale Anforderungen	18
3.1.1. Funktionen	18
3.1.2. Nutzerinteraktion	19
3.1.3. Sensorik	20
3.1.4. Aktorik	27
3.2. Nichtfunktionale Anforderungen	27
3.2.1. System	27
3.2.2. Rechtliches	28
3.3. Anwendungsfälle	30
3.3.1. Umwelt	31
3.3.2. LCA	35
3.3.3. ACC	39
4. Entwicklungsprozess	50
4.1. Vorgehensmodell	50
4.2. Werkzeuge	52

5. Testfälle und Testszenarien	54
5.1. Testfälle	54
5.2. Testszenarien	65
A. Konstanten	75
B. Glossar	76
C. Literaturverzeichnis	81

1. Einleitung

Das vorliegende Dokument stellt die Anforderungsdefinition der Projektgruppe „Virtual Driver Assistant“ (*ViDAs*) dar. Im Rahmen dieser Projektgruppe ist ein *Fahrerassistenzsystem* zu entwickeln, welches den *Fahrer* sowohl beim Einfädeln auf die Autobahn als auch beim Fahrspurwechsel unterstützt. Neben diesem „Lane Change Assistant“ (*LCA*) ist ebenso ein „Adaptive Cruise Control“ (*ACC*) einzubauen, das eine durch den Fahrer eingestellte Geschwindigkeit halten und gegebenenfalls der Fahrsituation anpassen muss.

1.1. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung der Projektgruppe besteht darin, ein Fahrerassistenzsystem für einen PKW der Mittelklasse zu entwickeln, welches auf einer vierspurigen Autobahn mit Auf- und Abfahrten funktionieren muss. Dabei soll zwar reale Hardware genutzt werden, dennoch wird das Fahrzeug und damit auch die Sensoren nur mittels eines Fahrsimulators simuliert.

Das Fahrerassistenzsystem muss zum Einen einen LCA enthalten, der auch beim Einfädeln auf die Autobahn hilft. Dabei sollen dem Fahrer Hinweise gegeben werden, wann er die Fahrspur wechseln, beziehungsweise auf die Autobahn auffahren kann. Insbesondere muss dazu der rückwärtige Verkehr beobachtet und daraus eine Prognose, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist, erstellt werden. Ebenso müssen Überholverbotsschilder, deren Aufhebung und durchgezogene Linien erkannt und bei der Erstellung der Prognose berücksichtigt werden.

Zum Anderen muss ein ACC implementiert werden. Dieses soll den Fahrer beim Halten der Geschwindigkeit unterstützen, welche der Fahrer zuvor gewählt hat. Ebenso soll es dazu dienen, den minimal nötigen *Sicherheitsabstand* einzuhalten. Dazu ist bei zu dichtem Auffahren die Geschwindigkeit des vorderen Fahrzeugs zu übernehmen. Sobald kein Vorderfahrzeug mehr vorhanden ist, soll die Geschwindigkeit wieder auf die *Wunschgeschwindigkeit* des Fahrers geregelt werden. Falls die aktuelle Strecke eine Geschwindigkeitsbegrenzung besitzt, so ist diese zu erkennen und einzuhalten, wobei der Fahrer dennoch eine eigene, höhere Geschwindigkeit wählen können sollte. Dabei müssen auch unterschiedliche Geschwindigkeitsbegrenzungen für beide Fahrspuren möglich sein.

1.2. Voraussetzungen

Für die Projektgruppe sind bereits zu Beginn einige Hardware-Modalitäten gegeben. So soll anstelle eines realen Fahrzeugs der Fahrsimulator „*SILAB*“ verwendet werden. Um dennoch eine Umgebung mit Realitätsnähe zu schaffen, müssen real existierende Sensoren ausgewählt werden. Diese können zwar nicht genutzt, aber innerhalb des Simulators mit ihren Eigenschaften nachgebaut werden.

Zum Erkennen von Straßenschildern und Fahrbahnmarkierungen soll eine Bilderkennung implementiert werden. Für diese darf auch ein Computer benutzt werden, der die Bildausgaben des Fahrsimulators verarbeitet. Diese Ausgaben werden anstelle einer realen Kamera genutzt. Die restlichen Steuerungsprogramme müssen jeweils auf einem oder mehreren *FPGAs*, die mit dem Fahrsimulator verbunden werden, ausgeführt werden.

Die Kommunikation zwischen dem Fahrsimulator und dem Steuerungsprogramm wird per *CAN* realisiert.

1.3. Fachbegriffe und Abkürzungen

Alle in diesem Dokument enthaltenen Fachbegriffe und Abkürzungen sind im Anhang B aufgeführt und werden dort erläutert. Die Begriffe sind kursiv gedruckt.

1.4. Rechtliches

Alle in diesem Dokument genannten Markennamen sind Warenzeichen der jeweiligen Eigentümer.

1.5. Struktur dieses Dokuments

Auf diese Einleitung folgt die Systembeschreibung, welche nach einer Beschreibung des zu realisierenden Systems genauere Informationen über die genutzte Simulationsumgebung sowie die festgelegten Annahmen über die Umwelt enthält.

Das darauf folgende Kapitel spezifiziert die funktionalen und nichtfunktionalen Anforderungen an das System. Dort sind auch zu realisierenden Anforderungen an das System aufgeführt und die zu realisierenden Anwendungsfälle gelistet.

Im Kapitel „Entwicklungsprozess“ wird das genutzte Vorgehensmodell beschrieben. Auch werden dort die verwendeten Werkzeuge genannt.

Das Kapitel „Testfälle und Testszenarien“ enthält, dem Namen entsprechend, eine Übersicht über alle definierten Testfälle und die daraus resultierenden Testszenarien. Mit diesen sollen später die Einhaltung der zuvor definierten Anforderungen überprüft werden.

Im Anhang befindet sich eine Liste der in diesem Dokument genutzten Konstanten und deren entsprechende Werte. Ebenso sind dort ein Glossar und ein Literaturverzeichnis zu finden.

2. Systembeschreibung

2.1. Beschreibung des Zielsystems

Das zu entwickelnde System soll ein Fahrerassistenzsystem sein, welches die Funktionen eines ACC und LCA umfasst. Für die grundlegende Funktionalität wurde sich an Systemen orientiert, die bereits auf dem Markt erhältlich sind. Details zur Funktionalität wurden dem Handbuch Fahrerassistenzsysteme [WHW09] entnommen und durch die ISO-Norm 15622 [ANS] (ACC) ergänzt. Zusätzlich sind einige neue Ideen der Entwickler mit in das System eingeflossen.

2.1.1. Teilsystem „ACC“

Das ACC soll dafür sorgen, dass ein Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug stets eingehalten wird. Dabei wird versucht, die zuvor vom Fahrer festgelegte Wunschgeschwindigkeit einzuhalten, sofern dies nicht durch ein langsamer fahrendes Vorderfahrzeug verhindert wird. Ebenso kann eine Geschwindigkeitsbegrenzung, die vom System mittels der Sensorik erkannt wurde, dazu führen, dass die Wunschgeschwindigkeit nicht erreicht werden kann. Die Wahl der Geschwindigkeit erfolgt dabei über Bedienelemente. Folgende Geschwindigkeitswahlbedienelemente sind vorgesehen:

- **Aktuelle Geschwindigkeit wählen**
- **Gespeicherte Geschwindigkeit 1 wählen**
- **Gespeicherte Geschwindigkeit 2 wählen**
- **Gespeicherte Geschwindigkeit 3 wählen**

Ebenso gibt es die folgenden beiden Bedienelemente:

- **Geschwindigkeit erhöhen (+)**
- **Geschwindigkeit verringern (-)**

Das ACC kann dabei durch Wahl einer der ersten vier Bedienelemente aktiviert werden. Eine Geschwindigkeitswahlbedienelementkontrollleuchte signalisiert daraufhin, dass diese Geschwindigkeit die aktuelle Wunschgeschwindigkeit ist. Ebenso erscheint die aktuelle Wunschgeschwindigkeit auf einer Anzeige. Durch erneute Wahl eines Geschwindigkeitswahlbedienelementes mit aktiver Geschwindigkeitswahlbedienelementkontrollleuchte kann das ACC wieder deaktiviert werden. Sobald eine andere Geschwindigkeit gewählt wird, ist diese aktuell und die Kontrollleuchte der zuvor gewählten Stufe erlischt.

Die einzelnen Bedienelemente haben dabei folgende Bedeutung:

Aktuelle Geschwindigkeit wählen:

Aktiviert das ACC und setzt die Wunschgeschwindigkeit auf die aktuelle Geschwindigkeit.

Gespeicherte Geschwindigkeit x wählen:

Aktiviert das ACC und setzt die Wunschgeschwindigkeit auf die gespeicherte Geschwindigkeit dieses individuellen Geschwindigkeitswahlbedienelementes.

Geschwindigkeit erhöhen (+)/Geschwindigkeit verringern (-):

Passt bei aktiviertem ACC die Wunschgeschwindigkeit während der Fahrt an. Dabei wird die Wunschgeschwindigkeit jeweils um $v_{acc,schrittweite}$ erhöht bzw. verringert.

Die voreingestellten Geschwindigkeiten sind dabei standardmäßig festgelegt, können aber bei stehendem Fahrzeug angepasst werden. Wird eine Wunschgeschwindigkeit während der Fahrt angepasst, so wird diese Einstellung nicht gespeichert.

Sollte die Geschwindigkeit des Fahrzeuges unter $v_{acc,min}$ sinken, so wird das ACC deaktiviert. Wenn eine stärkere Bremsung nötig ist, als der *Komfortbereich* vorsieht, so wird eine stärkere Verzögerung eingeleitet. In beiden Fällen wird der Fahrer akustisch gewarnt und so informiert, dass er eventuell eingreifen muss.

Betätigt der Fahrer das Bremspedal, so deaktiviert sich das ACC. Wird hingegen das Gaspedal betätigt, so bleibt es aktiv und regelt die Geschwindigkeit wieder auf die Wunschgeschwindigkeit, sobald das Pedal nicht mehr betätigt wird. Dieses Verhalten kann bei Überholmanövern von Vorteil sein.

Als zusätzliche Funktionalität wird die aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung auf einem Display dem Fahrer angezeigt.

2.1.2. Teilsystem „LCA“

Das LCA soll den Fahrer beim Wechseln von Fahrspuren sowie beim Auf- und Abfahren auf bzw. von der Autobahn unterstützen, aber nicht aktiv in die Steuerung des Ego-Fahrzeugs eingreifen. Aktiviert bzw. deaktiviert wird das LCA über ein Bedienelement, dessen Status durch eine Kontrollleuchte am Bedienelement angezeigt wird. Bei aktiviertem LCA kann der Fahrer über Lichtsignale an den beiden Außenspiegeln ablesen, ob ein Fahrspurwechsel bzw. ein Auf- oder Abfahren derzeit möglich ist, wobei immer nur die Fahrspur direkt neben dem Fahrzeug beachtet wird. Die Signale am linken Außenspiegel stehen dabei für einen Fahrspurwechsel auf die linke Fahrspur bzw. für das Auffahren auf die Autobahn. Durch die Signale am rechten Außenspiegel wird der Status für die rechte Fahrspur bzw. der Abfahrt angegeben. Ein grünes Signal bedeutet dabei, dass ein Fahrspurwechsel gefahrlos möglich ist. Ist das Signal rot, so ist ein Fahrspurwechsel derzeit nicht ohne Gefährdung der Verkehrssicherheit möglich oder auf Grund eines, durch die Sensorik erkannten, Überholverbotes nicht erlaubt. Bei deaktiviertem LCA sind alle Anzeigeelemente des LCA ausgeschaltet.

2.2. Simulationsumgebung

Das zu entwickelnde Fahrerassistenzsystem wird nicht in einem realen Fahrzeug, sondern innerhalb des Fahrsimulationssystems „SILAB“ getestet. Dies erleichtert die Entwicklung und das

Testen erheblich, da Prototypen bzw. auch Teilsysteme auf einfache Weise, unter annähernd realen Bedingungen, getestet werden können. Das Fahrsimulationssystem besteht zum Einen aus der Simulationssoftware selbst und zum Anderen aus dem physikalischen Aufbau, der zur Steuerung des vom Benutzer gesteuerten Fahrzeugs (im weiteren als *Ego-Fahrzeug* bezeichnet) innerhalb der Simulation verwendet wird. Für die Steuerung des Fahrzeugs innerhalb des Simulators, sowie des Assistenzsystems, wird zunächst davon ausgegangen, dass ein einfaches PC-Lenkrad inklusive Gas- und Bremspedal ausreichend ist. Dieser Aufbau könnte jedoch im Laufe der Entwicklung noch erweitert werden.

Eine schematische Darstellung der Simulationsumgebung sowie deren Anbindung an das Fahrerassistenzsystem und einer Unterteilung in reale und virtuelle Komponenten ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

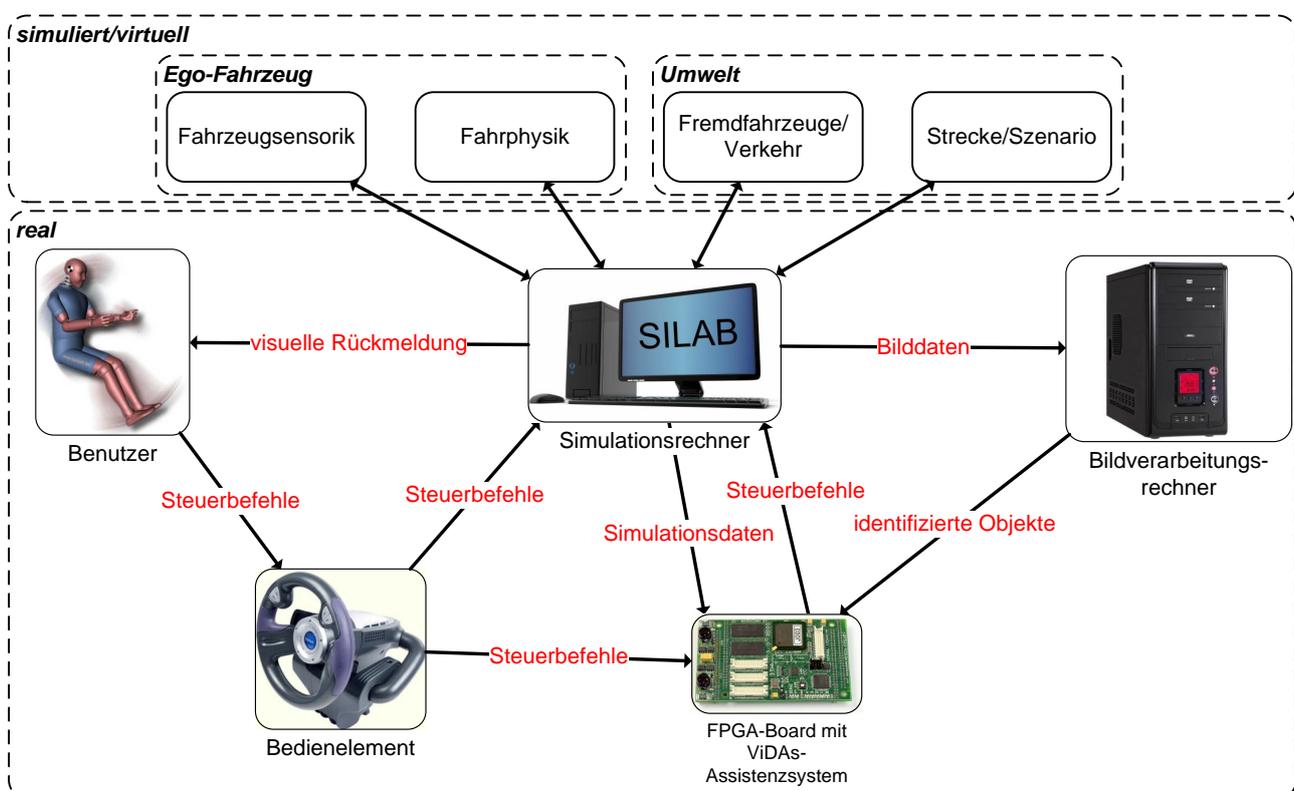


Abbildung 2.1.: Schematische Darstellung der Simulationsumgebung und Anbindung an das Fahrerassistenzsystem

Damit die Simulationsumgebung der Realität möglichst nahe kommt, müssen auf Seiten des Simulators folgende Aspekte betrachtet werden.

Ego-Fahrzeug

Zur Repräsentation des Ego-Fahrzeugs innerhalb der Simulationsumgebung wird vorerst ein Mittelklasse-Wagen vom Typ Skoda Octavia verwendet, der über eine Breite von 2,00 m und eine Länge von 4,36 m verfügt und für den bereits ein 3D-Modell im Simulator vorhanden ist.

Das Ego-Fahrzeug muss im Simulator über eine realistische *Fahrphysik* (Fahrmodell) verfügen, so dass das Fahrverhalten dem eines echten Fahrzeugs entspricht. Hierfür wird zunächst auf das, dem Simulator beiliegende Fahrmodell, zurückgegriffen, es wäre jedoch möglich, dass dieses im Laufe der Entwicklung noch ausgetauscht wird. Notwendige Informationen über das Fahrmodell, wie zum Beispiel die Beschleunigungskurve oder ähnliches, müssen eventuell experimentell ermittelt werden.

Fahrzeugsensorik

Zur Realisierung des Assistenzsystems wird eine Vielzahl von Sensoren nötig sein. Diese Sensorik muss in realistischer Weise innerhalb des Simulationssystems nachgebaut werden. Hierzu orientieren sich die Kenndaten der Sensoren an realen, erhältlichen Sensoren. Da das Simulationssystem eine perfekte Welt darstellt, dies jedoch nicht der Realität entspricht, muss im Weiteren auch noch über ein „Verrauschen“ der perfekten Sensordaten nachgedacht werden, damit diese eher realen Sensordaten entsprechen und das Verhalten des Systems, auf diese realistischen Sensordaten, beobachtet werden kann.

Fremdfahrzeuge/Verkehr

Das Simulationssystem ist dafür zuständig, neben dem Ego-Fahrzeug auch eine Menge von *Fremdfahrzeugen* zu verwalten, die in ihrer Gesamtheit den übrigen Straßenverkehr darstellen. Es muss sichergestellt sein, dass auch die Fremdfahrzeuge ein realistisches Fahrverhalten aufweisen und es muss möglich sein, das Verhalten der Fremdfahrzeuge zu beeinflussen, so dass sich beliebige Testszenarien erzeugen lassen.

Strecke/Szenario

Es muss möglich sein, innerhalb des Simulators den Querschnitt einer realen *Fahrbahn* nachzubauen und basierend auf diesem Querschnitt verschiedene Strecken, wie die Autobahnfahrbahn, aber auch Auf- und Abfahrten (siehe Abschnitt 2.3.1), zu erzeugen. Neben der Fahrbahn selbst muss es auch möglich sein, Verkehrszeichen (siehe Abschnitt 2.3.2) an den entsprechenden Stellen zu positionieren, an denen sie auch bei einer realen Strecke zu finden wären, so dass diese Zeichen später vom Assistenzsystem erkannt werden und entsprechend auf sie reagiert werden kann. Neben dem Erzeugen der eigentlichen Strecken muss auch der Verkehr (siehe vorheriger Abschnitt) auf diesen Strecken platziert werden, so dass andere Fahrzeuge ebenfalls die vom Ego-Fahrzeug befahrene Strecke benutzen. Für das Erzeugen von Strecken bietet das Simulationssystem „SILAB“ bereits alle nötigen Werkzeuge und Möglichkeiten.

Visualisierung

Neben der Datenhaltung und Zustandsberechnung für die Simulation auf dem Simulationsrechner muss das Simulationssystem den aktuellen Systemzustand in geeigneter Weise visualisieren, so dass der Benutzer auch eine visuelle Rückmeldung über das Verkehrsgeschehen und den eigenen Fahrvorgang hat. Ferner ist die Visualisierung nötig, um das Verhalten von Kameras zu

simulieren, die einen Teil der simulierten Welt wahrnehmen und unter anderem zur Objekterkennung durch einen Bildverarbeitungsrechner eingesetzt werden können. Eine 3D-Engine zur Darstellung der Simulation ist im Fahrsimulationssystem „SILAB“ bereits vorhanden und kann für diese Zwecke genutzt werden.

Schnittstelle

Neben dem Bedienelement zum Steuern des Ego-Fahrzeugs, das als Schnittstelle zwischen Benutzer und Fahrsimulator nötig ist, wird auch eine Schnittstelle zum Anschluss des Fahrerassistenzsystems an den Simulationsrechner benötigt. Über diese Schnittstelle wird der Austausch von Simulationsdaten und Steuerbefehlen zwischen simuliertem Fahrzeug und dem Assistenzsystem erfolgen. Um in einem für den Automotive-Bereich möglichst realistischen Umfeld zu bleiben, wird hier der CAN-Bus verwendet. Innerhalb des Simulators wird ein CAN-Bus simuliert und an diesen kann dann das entwickelte Fahrerassistenzsystem gekoppelt werden.

2.3. Umwelt

In diesem Abschnitt werden die Autobahn mit erforderlichen Maßen und Markierungen sowie die relevanten Verkehrszeichen beschrieben, wie sie auch in der realen Umwelt vorkommen. Bei der Autobahn handelt es sich um eine vierspurige, überregionale Bundesautobahn mit Stand- oder Beschleunigungs- beziehungsweise *Verzögerungstreifen*, sowie den anschließenden Auf- und Abfahrten. Alle im Folgenden angegebenen Maße stammen aus den *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*[For08] sowie aus *Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen*[Gie90],[Gie02]. Im Folgenden wird nur der für das zu entwickelnde System relevante Umweltausschnitt beschrieben.

2.3.1. Modell der Autobahn

Autobahn

Das Modell der Autobahn beschreibt eine deutsche, vierspurige, überregionale Bundesautobahn, wie sie in [For08] unter der Bezeichnung RQ31 in der Entwurfsklasse EKA 1 A zu finden ist. Jeder Fahrtrichtung sind zwei Fahrspuren der Breite $3,75\text{ m}$, sowie ein *Standstreifen* der Breite $3,00\text{ m}$ zugewiesen. Abbildung 2.2 gibt die entsprechenden Maßangaben wieder. An Anschlussstellen entfällt der Standstreifen und wird durch einen Beschleunigungs- beziehungsweise Verzögerungstreifen der Breite $3,75\text{ m}$ ersetzt, siehe dazu Abbildung 2.3. Am jeweils linken Bildrand sind die Fahrspurmaße, am rechten zusätzliche Maße notiert.

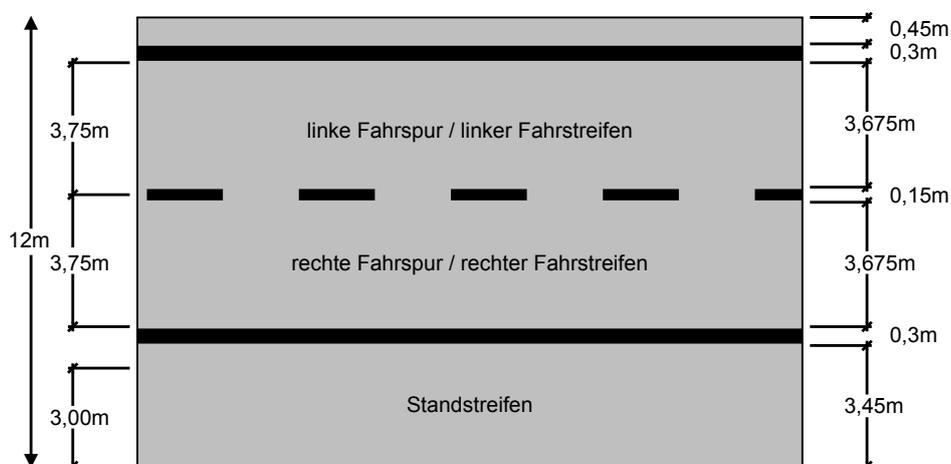


Abbildung 2.2.: Breitenangaben zur Autobahn mit Standstreifen

Markierungen

Der linke und rechte Fahrstreifen sind durch eine $0,15\text{ m}$ breite, gestrichelte *Leitlinie* voneinander getrennt. Die Strichlänge beträgt 6 m , die Lückenlänge zwischen zwei Strichen beträgt 12 m . Die linke Fahrspur ist durch eine $0,30\text{ m}$ breite, durchgezogene *Fahrbahnbegrenzungslinie* zum Fahrbahnaußen abgegrenzt. Die rechte Fahrspur ist durch eine $0,30\text{ m}$ breite, durchgezogene

Linie vom Standstreifen abgegrenzt (siehe Abbildung 2.2). An Anschlussstellen, an denen der Standstreifen durch die Beschleunigungs- beziehungsweise Verzögerungsspur (im Folgenden als Beschleunigungsspur zusammengefasst) ersetzt wird, verläuft die rechte Fahrbahnbegrenzungslinie am rechten Rand der Beschleunigungsspur und ersetzt somit die rechte Auf- beziehungsweise *Abfahrtsbegrenzungslinie* (im Folgenden als *Auffahrtsbegrenzungslinie* zusammengefasst). Zwischen der rechten Fahrspur und der Beschleunigungsspur befindet sich eine $0,30\text{ m}$ breite, gestrichelte *Auffahrtslinie*, die aus der linken Auffahrtslinie am Ende der Auffahrt hervor geht. Die Strich- bzw. Lückenlängen betragen 6 m bzw. 12 m . Die Auffahrtslinie mündet am Ende der Beschleunigungsspur in die rechte Fahrbahnbegrenzungslinie und ist dort wieder als $0,30\text{ m}$ breite, durchgezogene Linie ausgeführt (siehe Abbildungen 2.3 und 2.5). Alle Begrenzungs- beziehungsweise Markierungslinien sind in weiß ausgeführt. Für Verzögerungsspuren und Abfahrten an Anschlussstellen gilt obiges analog. Siehe auch Abbildung B.1 und B.2.

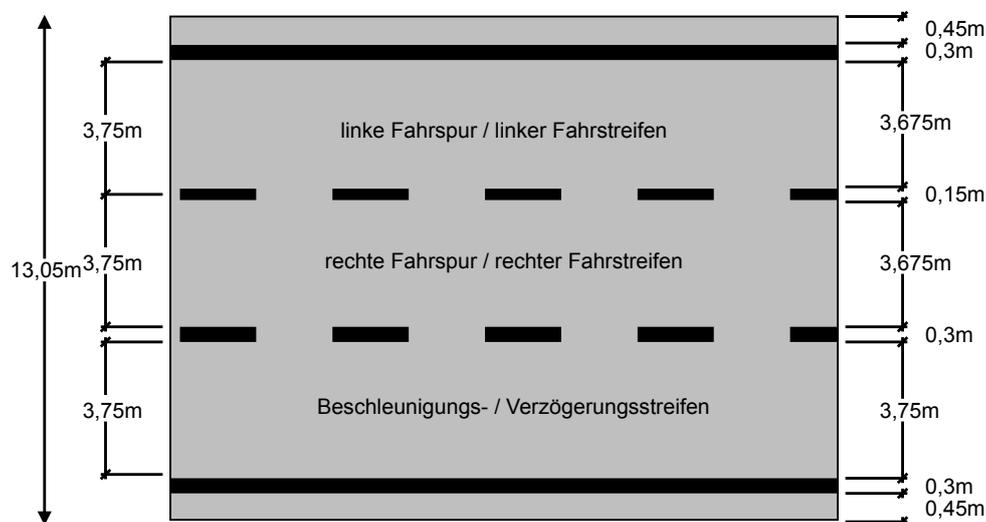


Abbildung 2.3.: Breitenangaben zur Autobahn mit Beschleunigungs- oder Verzögerungstreifen

Auf- und Abfahrten

Die Auffahrten haben eine Gesamtbreite von 6 m . Hiervon sind $4,50\text{ m}$ als Fahrstreifen durch zwei $0,30\text{ m}$ breite Markierungslinien, der rechten und linken Auffahrtsbegrenzungslinie, gekennzeichnet. Zu beachten ist, dass dieser Fahrstreifen im Bedarfsfall auch asymmetrisch markiert werden kann. Die Maße gelten analog für Abfahrten. Siehe Abbildung 2.4.

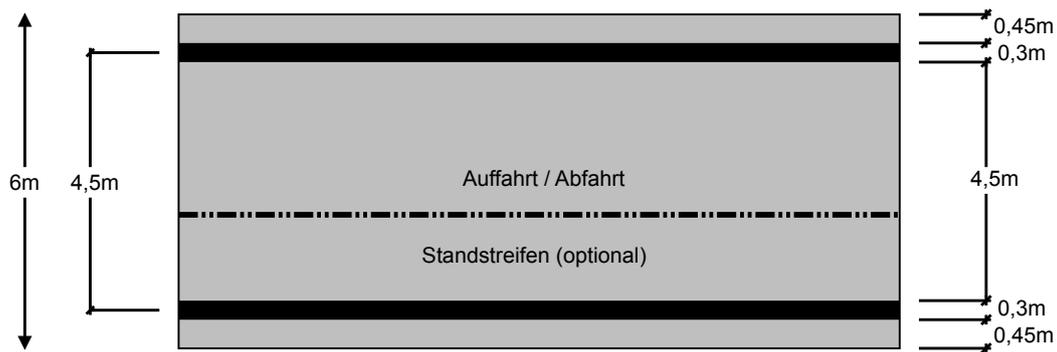


Abbildung 2.4.: Breitenangaben zur Auf- beziehungsweise Abfahrt einer Autobahn

Beschleunigungs- und Verzögerungsstreifen

Abbildung 2.5 zeigt die Länge des *Beschleunigungsstreifens* an Anschlussstellen. Die Maße sind [For08] entnommen. Der Beschleunigungsstreifen wird dort als Einfahrtstyp E1 (beziehungsweise Ausfahrtstyp A1) bezeichnet. Die Gesamtlänge beträgt mindestens 250 m, der Übergang in den Standstreifen beträgt 60 m. Die Länge des Beschleunigungsstreifens können variiert werden, sind aber stets mindestens 190 m lang. Die Maße gelten analog auch für die Verzögerungsspur.

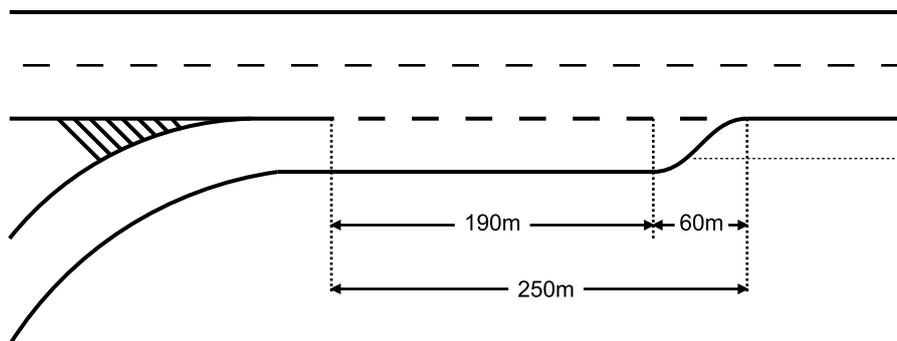


Abbildung 2.5.: Längenangaben zu Beschleunigungs- beziehungsweise Verzögerungsstreifen

Kurven

Auf der zuvor beschriebenen Autobahn kommen nur Kurven vor, die einen Radius von minimal 900 m aufweisen. Die Anwendung dieses Wertes kann Abbildung 2.6 entnommen werden. Dieser Wert entstammt [For08] für den verwendeten Autobahntyp RQ31 und der Entwurfsklasse EKA 1 A und ermöglicht Fahrer sowie Fahrerassistenzsystem noch eine ausreichende Sicht nach vorne und hinten, falls sich im Kurveninneren sichtbehindernde Gegenstände befinden.

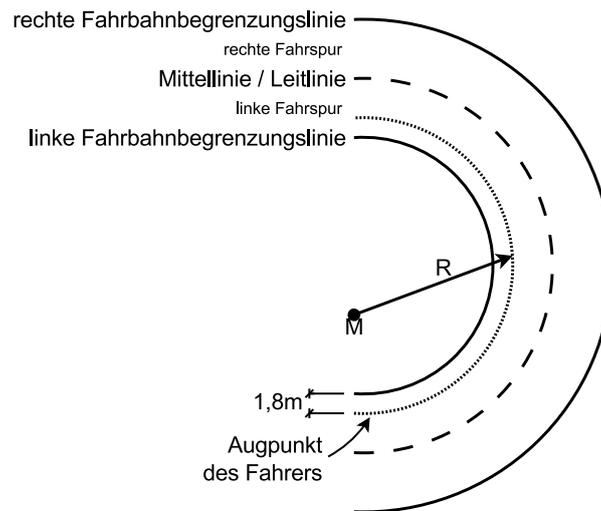


Abbildung 2.6.: Angaben zu Kurvenradien

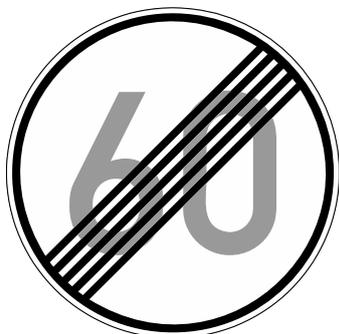
2.3.2. Relevante Schilder der Umwelt

In der betrachteten Umwelt kommen ausschließlich die im Folgenden vorgestellten Verkehrsschilder vor.

Schilderklassen



Das **Verkehrszeichen 274** erteilt ein Streckenverbot, das verbietet, schneller als mit einer bestimmten Geschwindigkeit zu fahren. Nach dem hier aufgezeigten Schild ist eine Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h zulässig. Mögliche Begrenzungen der Höchstgeschwindigkeit werden immer in vollen *Zehnern* angegeben.



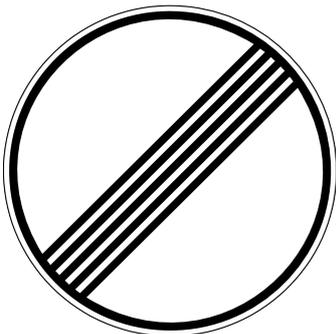
Das **Verkehrszeichen 278** hebt die Wirkung des, durch Zeichen 274 aufgestellten, Streckenverbots auf.



Das **Verkehrszeichen 276** kündigt ein Überholverbot für Kraftfahrzeuge aller Art an. Es verbietet, mehrspurige Kraftfahrzeuge und Krafträder mit Beiwagen zu überholen.



Das **Verkehrszeichen 280** hebt die Wirkung des, durch Zeichen 276 aufgestellten, Streckenverbots auf.



Das **Verkehrszeichen 282** hebt die Wirkung aller Streckenverbote auf.

Aufbau der Schilder

Nach [Gie90] und [Gie02] haben die Schilderklassen 274 und 276 auf Autobahnen einen Durchmesser von 90cm und sind mindestens voll rückstrahlend ausgeführt. Die Schilderklassen 278, 280 und 282 haben einen Durchmesser von 75cm .

Positionierung der Schilder

Die Verkehrsschilder können nach [Gie90] und [Gie02] seitlich der Fahrbahn und auch über der Fahrbahn angebracht werden. Seitlich angebrachte Schilder messen zwischen der Unterkante des Schildes und der Oberfläche der Fahrbahn $2,00\text{ m}$ und sind $1,50\text{ m}$ rechts neben dem Standstreifen beziehungsweise $1,50\text{ m}$ links neben der linken Fahrspur aufgestellt. Schilder, die über der Fahrbahn angebracht sind, messen zwischen Unterkante des Schildes und der Oberfläche der Fahrbahn $4,70\text{ m}$ und sind zentriert über einem Fahrstreifen angebracht. Zudem sind niemals Streckenverbot und Überholverbot an der selben Stelle angebracht. Zwischen ihnen ist ein Mindestabstand von 200 m .

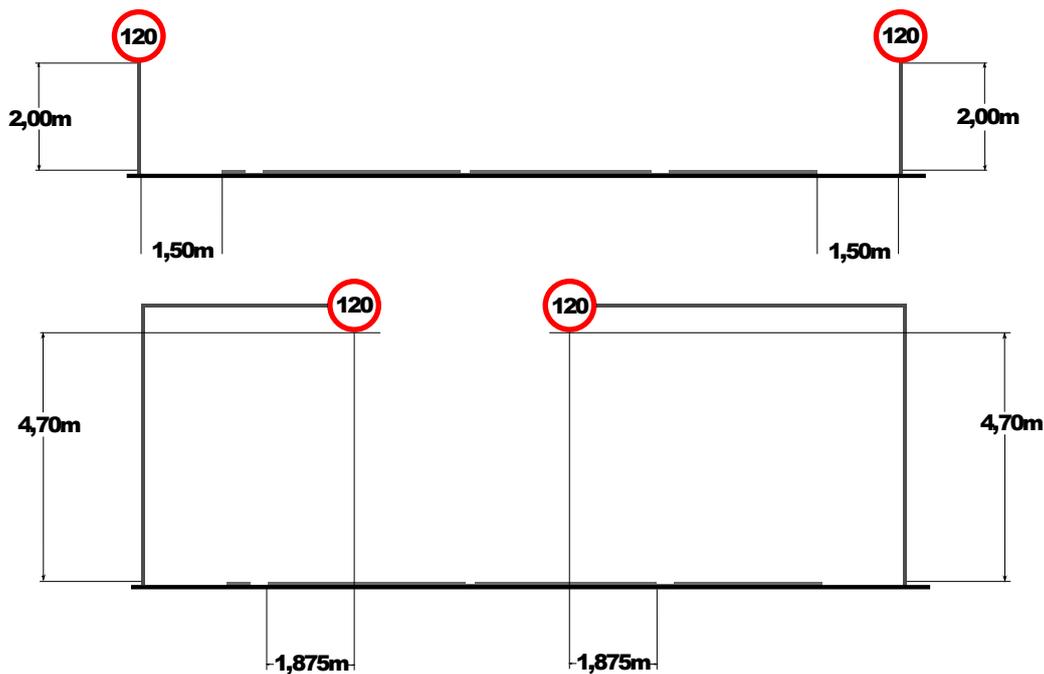


Abbildung 2.7.: Schilderpositionierung

Um die Geschwindigkeit auf der Autobahn herabzusetzen, werden sogenannte Geschwindigkeitsrichter verwendet. So wird die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit von „Keine Geschwindigkeitsbeschränkung“ zunächst mit einer Beschränkung der Geschwindigkeit auf 120 km/h eingeleitet. Anschließend erfolgt die weitere Abstufung auf die gewünschte Geschwindigkeit in 20 km/h-Stufen. Der Abstand zwischen den Schildern dieses Geschwindigkeitsrichters beträgt mindestens 200 m.

2.3.3. Annahmen

Folgende Annahmen werden für das System getroffen:

- Keine *Geisterfahrer*. Fahrzeuge, auch das Ego-Fahrzeug, folgen der *Linienführung* der Autobahn, d.h. Fahrzeuge fahren in der für die Fahrbahn vorgegebenen Fahrtrichtung.
- Keine Hindernisse mit einer geringeren Geschwindigkeit als 30 km/h befinden sich auf der Fahrbahn. Ebenfalls keine stehenden Fremdfahrzeuge, wie z.B. an einem Stauende, und auch keine fliegenden Hindernisse.
- Die Maximalgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beträgt 160 km/h, die Maximalgeschwindigkeit der Fremdfahrzeuge 200 km/h.
- Auf der Autobahn befindet sich keine Baustelle.
- Es wird nur bei Tageslicht gefahren.
- Auf der Autobahn gibt es weder Steigungen noch Gefälle im Strassenverlauf.

- Es herrschen klare Sichtverhältnisse und es wirken keine Wettereinflüsse auf das System.
- Verkehrsschilder werden nicht von anderen Objekten verdeckt.
- Markierungen auf und neben der Fahrbahn sind klar erkennbar und sind weder verschmutzt noch abgenutzt. Selbiges gilt auch für die Beschilderung.
- Auf der Fahrbahn befinden sich nur das zuvor spezifizierte Ego-Fahrzeug (siehe Abschnitt 2.2) sowie Motorräder, weitere PKW oder LKW.
- Die Fahrbahn ist mit den zuvor spezifizierten Markierungen (siehe Abschnitt 2.3.1) ausgestattet.
- Die Schilderklasse 274 tritt nur in folgenden Ausführungen auf: 80 *km/h*, 90 *km/h*, 100 *km/h*, 110 *km/h*, 120 *km/h* und 130 *km/h*.
- Die Beschilderung der Autobahn ist ortsfest und wie in Abbildung 2.7 spezifiziert angebracht.

3. Anforderungsspezifikation

3.1. Funktionale Anforderungen

3.1.1. Funktionen

3.1.1.1. Das System muss dem Fahrer beim Fahrspurwechsel assistieren (LCA)

Über ein Leuchtelement an den Außenspiegeln muss erkennbar sein, ob ein Fahrspurwechsel für den Fahrer derzeit möglich ist. Näheres dazu ist in den Anforderungen zur Nutzerinteraktion festgelegt (siehe Anforderung 3.1.2.3).

Das System selbst darf dabei nicht in den Fahrspurwechselfvorgang eingreifen, sondern muss ausdrücklich dem Fahrer nur als Assistent dienen und auf mögliche Gefahren hinweisen. Dabei muss beachtet werden, ob sich auf der Ziel-Fahrspur neben dem Ego-Fahrzeug bereits ein Fremdfahrzeug befindet (siehe Anforderung 3.1.3.7). Des Weiteren muss dafür gesorgt sein, dass auf der Ziel-Fahrspur sich derzeit von hinten kein Fremdfahrzeug so nähert, dass ein Einfahren in diese Fahrspur zu einer Verletzung des Sicherheitsabstandes dieses Fremdfahrzeugs führen würde. Dazu müssen Position und Geschwindigkeit des sich nähernden Fremdfahrzeugs beachtet werden (siehe Anforderung 3.1.3.8).

3.1.1.2. Das System muss dem Fahrer beim Einfädeln auf die Autobahn assistieren

Analog zum Fahrspurwechsel (siehe Anforderung 3.1.1.1) muss das System dem Fahrer beim Einfädeln auf die Autobahn assistieren. Daneben muss ebenfalls beachtet werden, ob von der linken auf die rechte Fahrspur neben dem Ego-Fahrzeug kein Fremdfahrzeug wechselt (siehe Anforderung 3.1.3.7).

3.1.1.3. Das System muss Funktionalitäten eines ACC enthalten

Beim Aktivieren des ACC muss das System die aktuell gefahrene Geschwindigkeit als Wunschgeschwindigkeit übernehmen. Dem Fahrer muss die Möglichkeit gegeben werden die Wunschgeschwindigkeit einzustellen, die das Ego-Fahrzeug beibehalten soll. Wenn ein Fremdfahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug mit einer geringere Geschwindigkeit als die des Ego-Fahrzeugs fährt, so muss das Ego-Fahrzeug bis zum minimalen Sicherheitsabstand von zwei Sekunden auffahren und diesen durch das Regeln der Geschwindigkeit beibehalten. Sobald die Fahrspur wieder frei ist, also das vorherfahrende Fremdfahrzeug die Fahrspur oder die Autobahn verlassen hat oder das Ego-Fahrzeug die Fahrspur gewechselt hat, muss die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs wieder auf die eingestellte Wunschgeschwindigkeit geregelt werden.

3.1.1.4. Der Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fremdfahrzeug muss bei aktiviertem ACC stets groß genug sein

Der Sicherheitsabstand muss zwei Sekunden betragen, damit eine Vollbremsung durch den Fahrer jederzeit ohne Kollision mit dem Vorderfahrzeug möglich ist. Ist beim Einschalten des ACC der Sicherheitsabstand zu gering, so muss dieser durch kurzzeitige Verminderung der Geschwindigkeit, innerhalb des Komfortbereichs, auf den korrekten Abstand gebracht werden. Ist der Abstand zum Vorderfahrzeug zu gering, um die Anpassung im Komfortbereich durchführen zu können, wird eine stärkere Bremsung mit einer Verzögerung von bis zu $a_{acc,mb}$ durchgeführt. Der Fahrer wird hierüber durch ein akustisches Signal informiert.

3.1.1.5. Das ACC muss erkannte Geschwindigkeitsbeschränkungen berücksichtigen

Das System muss die erkannten Geschwindigkeitsbeschränkungen beim Regeln der Geschwindigkeit einhalten. Der Fahrer kann aber das Gaspedal betätigen, ohne dass das ACC deaktiviert wird. Dies kann nützlich sein, wenn z.B. Geschwindigkeitsbegrenzungen (z.B. „8-20 h“, siehe 2.3.2) falsch erkannt wurden.

3.1.1.6. Das System muss stets die aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung kennen und wissen, ob es ein Überholverbot gibt

Die Kamera muss permanent Bilder von der Umgebung machen und Geschwindigkeitsbegrenzungen, Überholverbote und deren Aufhebungen (siehe Abschnitt 2.3.2) erkennen und interpretieren. Dies ist notwendig, damit ACC und LCA bereits beim Aktivieren die aktuelle Verkehrssituation kennt und diese dem Fahrer anzeigen kann.

3.1.1.7. Das ACC muss bis zu einer Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs von $v_{ego,max}$ funktionieren

Eine höhere Geschwindigkeit als $v_{ego,max}$ kann dazu führen, dass Schilder oder Hindernisse nicht mehr korrekt erkannt werden. Bei einer zu hohen Geschwindigkeit muss das System den Fahrer darauf aufmerksam machen, dass es nun nicht mehr funktioniert.

3.1.1.8. Das ACC muss ab einer Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs von $v_{acc,min}$ aktivierbar sein

Ab einer Geschwindigkeit von $v_{acc,min}$ muss das System aktivierbar sein. Sinkt die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs unter diesen Wert, so muss der Fahrer akustisch darauf aufmerksam gemacht werden, dass das ACC deaktiviert wird.

3.1.2. Nutzerinteraktion

3.1.2.1. Der Fahrer behält zu jeder Zeit die Kontrolle über das Ego-Fahrzeug

Das System bremst und beschleunigt nur im Rahmen des ACC. Sobald der Fahrer bremst, schaltet es sich aus. Bei Beschleunigung durch den Fahrer schaltet es sich nicht ab.

Ist die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs unter $v_{acc,min}$ gesunken oder tritt eine Situation auf, die ein stärkeres Bremsen, als für den Fahrkomfort vorgesehen, erfordert, so schaltet sich das System aus und alarmiert den Fahrer (siehe Anforderung 3.1.2.4).

Das LCA greift nicht in die Fahrt ein, sondern assistiert nur durch die Aussage, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist.

3.1.2.2. Das System teilt dem Fahrer über eine Anzeige die aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung mit

Da dem ACC jederzeit die aktuelle Geschwindigkeitsbegrenzung bekannt sein muss, kann sie dem Fahrer als zusätzliche Information verfügbar gemacht werden. So kann der Fahrer auch kontrollieren, ob die Geschwindigkeitsbegrenzungen korrekt erkannt wurden.

3.1.2.3. Das System weist den Fahrer darauf hin, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist

Bei aktiviertem LCA muss der Fahrer, über ein Leuchtelement am Außenspiegel, darauf hingewiesen werden, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist. Bei einem Fahrspurwechsel ist dieses Lichtsignal für ihn sichtbar, da ein Fahrer in diesem Fall nach links oder rechts schaut.

Die Farbwahl der Lichter und die Bedeutung der Farben sind wie folgt:

grün: Ein Fahrspurwechsel ist möglich

rot: Ein Fahrspurwechsel ist nicht möglich

3.1.2.4. Sobald eine starke Bremsung nötig ist, wird der Fahrer durch das ACC darauf hingewiesen

Das ACC darf nie selbstständig eine Vollbremsung ausführen, da es nur im Komfortbereich regeln soll. Ist eine stärkere Bremsung nötig, um eine Kollision mit dem Vorderfahrzeug zu vermeiden, so verzögert das System außerhalb des Komfortbereichs mit bis zu $a_{acc,mnb}$ und weist es den Fahrer akustisch darauf hin.

3.1.3. Sensorik

3.1.3.1. Benötigte Sensorik

- Geschwindigkeitssensor zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs
- Radarsensoren und Lidarsensoren zur Bestimmung des Abstands und der Relativgeschwindigkeit zu Fremdfahrzeugen *vor*, *hinten* und *neben* dem Ego-Fahrzeug (siehe Abbildung 3.1)
- Kamerasensorik zur Erkennung von Geschwindigkeitsbeschränkungen, Überholverböten, deren Aufhebungen, sowie der Lage des Ego-Fahrzeugs relativ zur Fahrbahn (Fahrstreifenerkennung) (siehe Abbildung 3.1)

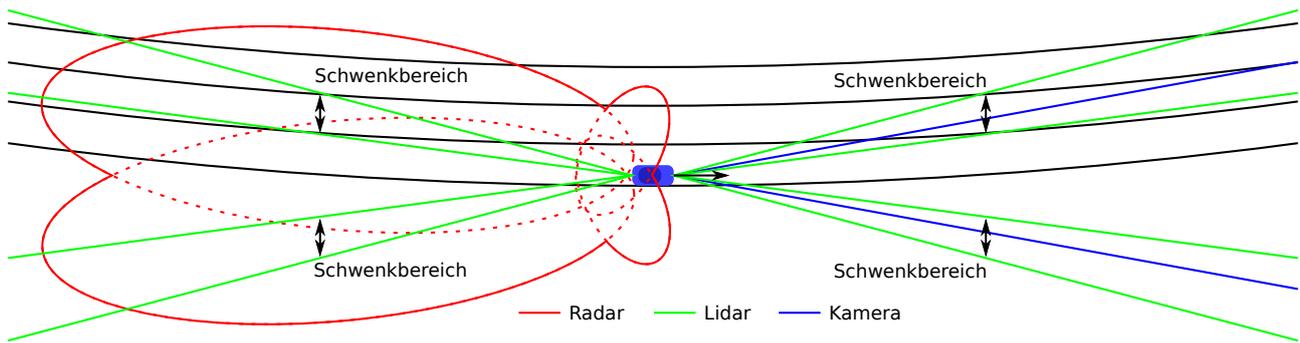


Abbildung 3.1.: Anordnung der Radar- Lidar- und Kamerasensoren

3.1.3.2. Die Sensorik muss Straßenschilder in einer Entfernung von bis zu 200 Metern vor und in einem Bereich von ± 32 m zur Seite erkennen

Es müssen Geschwindigkeitsbegrenzungen und Überholverbote, wie in Abschnitt 2.3.2, erkannt werden. Ebenso müssen Geschwindigkeitsbegrenzungen, die nur für eine Fahrspur gelten (d.h. oberhalb der Fahrspur angebracht sind), erkannt werden. Keine Beachtung finden Einschränkungsschilder wie „von 8-20 h“ oder „nur für LKW“.

Die maximale Entfernung, in der Geschwindigkeitsbegrenzungen erkannt werden müssen ergibt sich aus einem worst-case Szenario beim Erreichen von Geschwindigkeitsbeschränkungen. Im ungünstigsten Fall befindet sich das Ego-Fahrzeug in der Situation, dass es gerade mit Höchstgeschwindigkeit ($v_{ego,max}$) fährt und ein Schild mit der minimal möglichen, initialen Geschwindigkeitsbegrenzung (v_{lim,min_init}) erkennt. Nach der Erkennung beginnt das ACC die Verzögerung mit einem Ruck von $j_{acc,min}$. Die Beschleunigung sinkt bis zur minimal erlaubten Beschleunigung des ACC ($a_{acc,min}$). Vor Erreichen des Schildes steigt die Beschleunigung schliesslich wieder mit maximalem Ruck ($j_{acc,max}$). Bei Erreichen des Schildes beträgt die Beschleunigung 0 m/s^2 und die Geschwindigkeit v_{lim,min_init} . Die ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

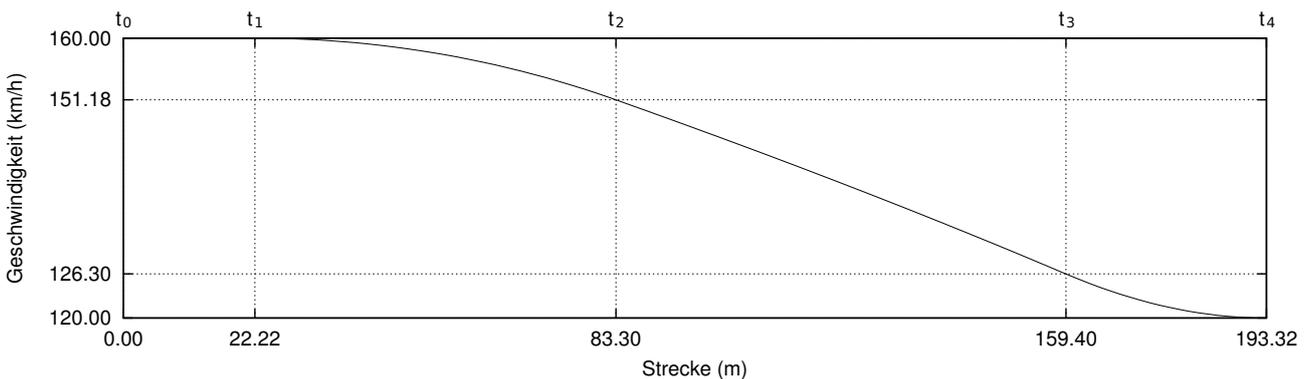


Abbildung 3.2.: Worst-case Szenario beim Erreichen von Geschwindigkeitsbegrenzungen

Die Berechnung der zurückgelegten Strecke wurde wie folgt unterteilt:

Phase	Von	Bis	Beschreibung
1	t_0	t_1	Erkennen der Geschwindigkeitsbeschränkung
2	t_1	t_2	Beginn der Verzögerung
3	t_2	t_3	Gleichmässige negative Beschleunigung
4	t_3	t_4	Ende der Verzögerung

Die maximal benötigte Zeit für Phase 1 entspricht der Reaktionszeit t_{reakt} , die Geschwindigkeit entspricht der Höchstgeschwindigkeit $v_{ego,max}$:

$$\begin{aligned}\Delta t_{0,1} &= t_{reakt} = 0,5s \\ v_0 &= v_1 = v_{ego,max} = 160 \frac{km}{h}\end{aligned}$$

Die Geschwindigkeit am Ende von Phase 2 berechnet sich aus der benötigten Zeit $\Delta t_{1,2}$ die Beschleunigung auf das Minimum zu verringern:

$$\begin{aligned}\Delta t_{1,2} &= \left| \frac{a_{acc,min}}{j_{acc,min}} \right| = 1,4s \\ v_2 &= v_0 + a_0 \Delta t_{0,2} + j_{acc,min} \Delta t_{0,2}^2 = 151,18 \frac{km}{h}\end{aligned}$$

Die Geschwindigkeit am Ende von Phase 3 berechnet sich aus der benötigten Zeit $\Delta t_{3,4}$ die Beschleunigung wieder auf $0 m/s^2$ zu erhöhen:

$$\begin{aligned}\Delta t_{3,4} &= \left| \frac{a_{acc,min}}{j_{acc,max}} \right| = 1s \\ v_3 &= v_{lim,min_init} + \frac{1}{2} j_{acc,max} \Delta t_{3,4}^2 = 126,3 \frac{km}{h}\end{aligned}$$

Die benötigte Reichweite der Sensorik zur Erkennung von Geschwindigkeitsbeschränkungen berechnet sich aus der Summe der zurückgelegten Strecken in den einzelnen Phasen des worst-case Szenarios.

In Phase 1 beträgt die zurückgelegte Strecke

$$s_1 = v_0 \Delta t_{0,1} = 22,22 m.$$

In Phase 2 beträgt die zurückgelegte Strecke

$$s_2 = v_1 \Delta t_{1,2} + \frac{1}{6} j_{acc,min} \Delta t_{1,2}^3 = 61,08 m.$$

In Phase 3 beträgt die zurückgelegte Strecke

$$s_3 = v_2 \Delta t_{2,3} + \frac{1}{2} a_{acc,min} \Delta t_{2,3}^2 = 76,1 m.$$

In Phase 4 beträgt die zurückgelegte Strecke

$$s_4 = v_3 \Delta t_{3,4} + \frac{1}{2} a_{acc,min} \Delta t_{3,4}^2 + \frac{1}{6} j_{acc,max} \Delta t_{3,4}^3 = 33,92 m.$$

Die insgesamt im worst-case Szenario zurückgelegte Strecke und somit die benötigte Reichweite der Sensorik zur Erkennung von Geschwindigkeitsbeschränkungen beträgt

$$s_{lim,max} = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 \approx 200 \text{ m (aufgerundet)}.$$

Der Abstand, in dem Schilder zur Seite erkannt werden können müssen, ergibt sich aus dem minimalen Kurvenradius (r_{min}), der Reichweite der Sensorik zur Erkennung von Geschwindigkeitsbegrenzungen ($s_{lim,max}$), der max. Breite der Fahrbahn incl. Beschleunigungsstreifen ($w_{fahrbahn,max}$), dem Abstand der Fahrbahnbegrenzungslinie vom Fahrbahnrand ($d_{linie_fb,fahrbahn}$), der Breite der Fahrbahnbegrenzungslinie (w_{linie_fb}), dem Abstand der Schilder von der Fahrbahnbegrenzungslinie ($d_{schild,linie_fb}$), der Schildgröße (w_{schild}) und der Breite des Ego-Fahrzeugs (w_{ego}):

In einer Entfernung $s_{spur,max}$ vor dem Ego Fahrzeug steht die Fahrspur in einer Kurve mit minimalem Radius in einem Winkel von

$$\alpha = s_{spur,max}/r_{min} = 12,73 \text{ deg}.$$

Daraus ergibt sich ein Versatz der Fahrbahn zur Seite von

$$o = r_{min} * (1 - \cos \alpha) = 22,1 \text{ m}.$$

Der Abstand in dem Schilder zur Seite erkannt werden können müssen beträgt

$$\begin{aligned} s_{lim,seite} &= o + w_{fahrbahn,max} - d_{linie_fb,fahrbahn} - w_{linie_fb} - d_{schild,linie_fb} + \frac{1}{2}w_{schild} - \frac{1}{2}w_{ego} \\ &\approx 32 \text{ m (aufgerundet, siehe auch 2.7)}. \end{aligned}$$

Schilder neben der Fahrbahn können unberücksichtigt bleiben, da diese jeweils auf beiden Seiten der Fahrbahn stehen und das gleiche Verkehrszeichen zeigen müssen. Das Kurvenäußere Schild neben der Fahrbahn befinden sich näher an der Mitte des Kamerabildes als das Kurveninnere Schild über der Fahrbahn.

Dieser Abstand stellt sicher, dass Schilder neben und über der Fahrbahn auch in Kurven rechtzeitig erkannt werden können (siehe Abb. 3.3).

3.1.3.3. Die Sensoren müssen Fahrbahnmarkierungen in einer Entfernung von 200 Metern vor und in einem Bereich von ± 30 Metern zur Seite erkennen können

Der Abstand in dem die Sensoren Fahrbahnmarkierungen vor dem Ego-Fahrzeug erkennen können müssen, ergibt sich aus dem selben worst-case Szenario wie in Abschnitt 3.1.3.2. Um Verkehrsschilder in einer Entfernung $s_{lim,max}$ der richtigen Fahrspur zuordnen zu können, müssen die Sensoren Fahrbahnmarkierungen in der gleichen Entfernung erkennen können:

$$s_{spur,max} = s_{lim,max} = 200 \text{ m}$$

Der Abstand, in dem Fahrbahnbegrenzungen zur Seite erkannt werden können müssen, berechnet sich aus dem minimalen Kurvenradius (r_{min}), der Reichweite der Sensorik zur Fahrstreifenenerkennung ($s_{spur,max}$), der Breite der Fahrbahnbegrenzungslinie (w_{linie_fb}), der Fahrstreifenbreite (w_{spur}) sowie der Breite des Ego-Fahrzeugs (w_{ego}). In einer Entfernung $s_{spur,max}$ vor dem Ego Fahrzeug steht die Fahrspur in einer Kurve mit minimalem Radius in einem Winkel von

$$\alpha = s_{spur,max}/r_{min} = 12,73 \text{ deg.}$$

Daraus ergibt sich ein Versatz der Fahrbahn zur Seite von

$$o = r_{min} * (1 - \cos \alpha) = 22,1 \text{ m.}$$

Der Abstand in dem Fahrbahnmarkierungen zur Seite erkannt werden können müssen beträgt

$$s_{spur,seite} = 2w_{linie_fb} + 2w_{spur} - \frac{1}{2}w_{ego} + o \approx 30 \text{ m (aufgerundet)}.$$

Dieser Abstand stellt sicher, dass stets drei Fahrspuren erkannt werden können (siehe Abb. 3.3).

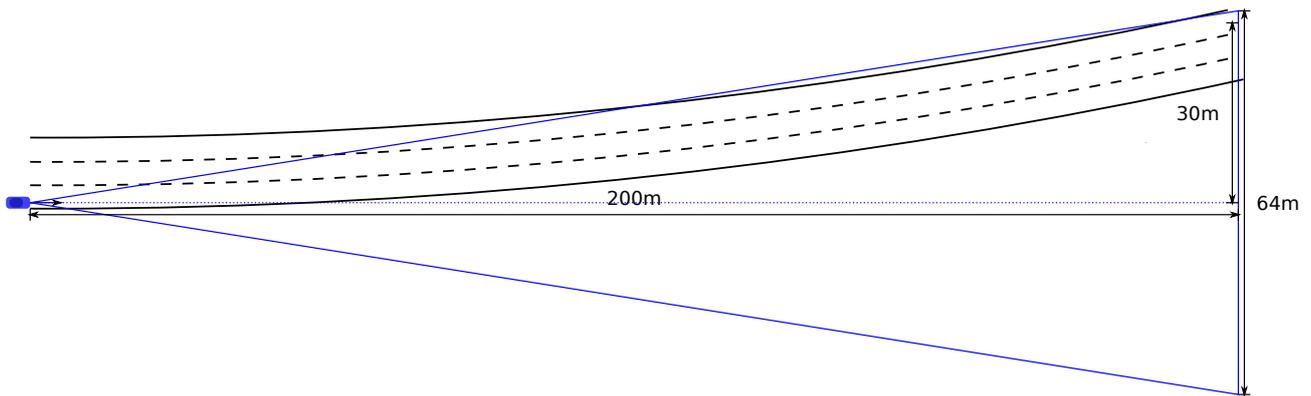


Abbildung 3.3.: Abdeckung der Kamerasensorik

3.1.3.4. Die Sensoren müssen den Abstand zu den vorherfahrenden Fremdfahrzeugen auf der gleichen Fahrspur in einer Entfernung von 15 bis 200 Metern bestimmen können

Die minimale Entfernung, in der Fremdfahrzeuge vor dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, berechnet sich aus dem einzuhaltenden *Zwei-Sekunden-Abstand* und der minimalen Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs bei Nutzung des ACC ($v_{acc,min}$). Die minimal in zwei Sekunden zurückgelegte Strecke beträgt

$$s_{vorne,min} = v_{acc,min} \cdot t_{luecke} \approx 15 \text{ m (abgerundet)}.$$

Die Maximale Entfernung in der Fremdfahrzeuge vor dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, ergibt sich durch die maximale Reichweite von auf dem Markt verfügbaren Lidar Sensoren. Ein

worst-case Szenario, in dem das Ego-Fahrzeug seine Geschwindigkeit von $v_{ego,max}$ an die Geschwindigkeit eines mit $v_{fremd,min}$ fahrenden Fremdfahrzeuges im Rahmen des Komfortbereiches anpasst, wurde betrachtet. Die Berechnung erfolgt analog zu Abschnitt 3.1.3.2. Dabei benötigte das Ego-Fahrzeug eine Strecke von 330 Metern um die Geschwindigkeit anzupassen (siehe Abb. 3.4). In dieser Zeit legt das Fremdfahrzeug eine Strecke von 100 Metern zurück. Mit dem einzuhaltenden Sicherheitsabstand von 17m bei 30 km/h ergibt sich eine Reichweite der Sensorik von 247 Metern. Da dies nicht zu realisieren ist, wurde entschieden, die Reichweite auf

$$s_{vorne,max} = 200 \text{ m}$$

festzusetzen und das Ego-Fahrzeug gegebenenfalls stärker, als durch den Komfortbereich vorgegeben, verzögern zu lassen.

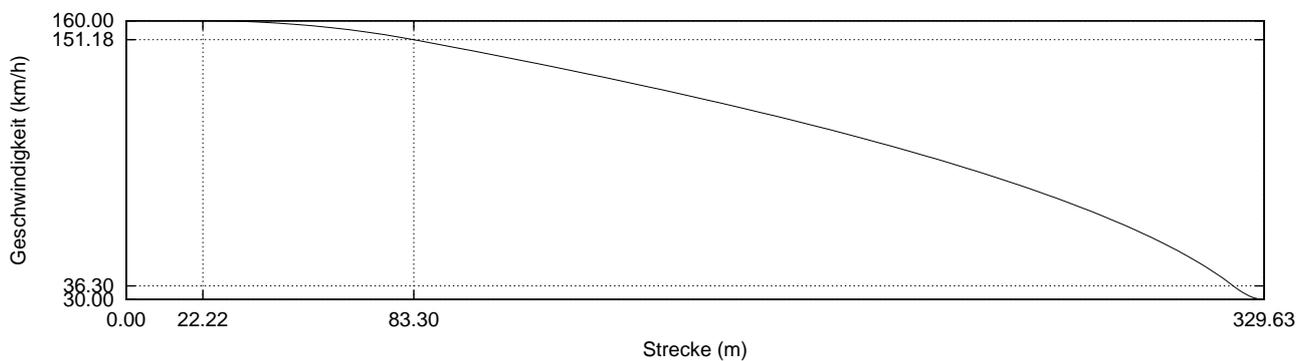


Abbildung 3.4.: Zurückgelegte Strecke des Ego-Fahrzeugs beim Anpassen der Geschwindigkeit innerhalb des Komfortbereiches von 160 km/h auf 30 km/h

3.1.3.5. Die Sensoren müssen die Geschwindigkeit, bzw. den Geschwindigkeitsunterschied zum vorherfahrenden Fremdfahrzeug bestimmen können.

Dies dient dem ACC für die Geschwindigkeitsberechnung für das Ego-Fahrzeug. Dadurch, dass bekannt ist, mit welcher Geschwindigkeit das vorherfahrende Fremdfahrzeug fährt, kann das ACC die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs festlegen.

3.1.3.6. Die Sensoren müssen die Geschwindigkeit, bzw. den Geschwindigkeitsunterschied zu den Fremdfahrzeugen auf der gleichen Fahrspur hinter dem Ego-Fahrzeug in einer Entfernung von 15 bis 120 Metern bestimmen können.

Dies kann der Voraussage, ob bald ein Überholmanöver durch ein Fremdfahrzeug hinter dem Ego-Fahrzeug gestartet wird, dienen. Ohne diese Information kann es sein, dass der Überholvorgang eines Fremdfahrzeugs hinter dem Ego-Fahrzeug nicht von den anderen Sensoren erfasst wird.

Die minimale Entfernung, in der Fremdfahrzeuge hinter dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, berechnet sich aus dem einzuhaltenden Zwei-Sekunden-Abstand und der minimalen

Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs ($v_{fremd,min}$). Die minimale, vom Fremdfahrzeug in zwei Sekunden zurückgelegte Strecke beträgt

$$s_{hinten,min} = v_{fremd,min} \cdot t_{luecke} \approx 15 \text{ m (abgerundet)}.$$

Die maximale Entfernung, in der Fremdfahrzeuge hinter dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, berechnet sich aus dem einzuhaltenden Zwei-Sekunden-Abstand und der maximalen Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs ($v_{fremd,max}$). Die maximale, vom Fremdfahrzeug in zwei Sekunden zurückgelegte Strecke beträgt

$$s_{hinten,max} = v_{fremd,max} \cdot t_{luecke} \approx 120 \text{ m (aufgerundet)}.$$

Die Sensoren müssen daher Abstand und relative Geschwindigkeit zu einem möglichen Fremdfahrzeug hinter dem Ego-Fahrzeug in einer Entfernung von 15 m bis 120 m bestimmen können (siehe Abb. 3.5).

3.1.3.7. Die Sensoren müssen erkennen können, ob sich ein Fremdfahrzeug in einer Entfernung von 1 bis 5,8 Meter neben und bis zu 15 Metern hinter dem Ego-Fahrzeug befindet

Dies dient der Voraussage, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist.

Die Entfernung, in der Fremdfahrzeuge seitlich des Ego-Fahrzeugs erkannt werden müssen, ergibt sich direkt aus dem minimalen seitlichen Abstand zwischen zwei Fahrzeugen laut *StVO* ($d_{seite,min}$)

$$s_{seite,min} = d_{seite,min} = 1,0 \text{ m}.$$

Die maximale Entfernung berechnet sich aus der Fahrspurweite (w_{spur}), der Breite der Auf- bzw. *Abfahrtslinie* (w_{linie_aa}) (Abbildung 2.3) und der Breite des Ego-Fahrzeugs (w_{ego}). Die Entfernung, in der Fremdfahrzeuge neben dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, beträgt

$$s_{seite,max} = 2 \cdot w_{spur} + w_{linie_aa} - w_{ego} = 5,8 \text{ m}.$$

Die maximale Entfernung ist dann nützlich, wenn das Ego-Fahrzeug gerade über den Beschleunigungsstreifen auf die Autobahn auffährt und erkannt werden muss, dass ein Fremdfahrzeug von der linken auf die rechte Fahrspur fahren möchte. Die Sensorik muss in der Lage sein, Fremdfahrzeuge in diesem Bereich bis zu einer Entfernung von $s_{hinten,min}$ hinter dem Ego-Fahrzeug zu erkennen (siehe Abb. 3.5).

3.1.3.8. Die Sensoren müssen erkennen, ob sich ein Fremdfahrzeug von hinten auf einer anderen Fahrspur in einer Entfernung von 15 bis 120 Metern nähert und wie groß der Geschwindigkeitsunterschied zu diesem ist

Dies dient der Voraussage, ob ein Fahrspurwechsel möglich ist.

Die minimale Entfernung, in der Fremdfahrzeuge auf einer anderen Fahrspur hinter dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, berechnet sich aus dem einzuhaltenden Zwei-Sekunden-Abstand und der minimalen Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs ($v_{fremd,min}$). Die minimale, vom Fremdfahrzeug in zwei Sekunden zurückgelegte Strecke beträgt

$$s_{hinten,min} = v_{fremd,min} \cdot t_{luecke} \approx 15 \text{ m (abgerundet)}.$$

Die maximale Entfernung, in der Fremdfahrzeuge auf einer anderen Fahrspur hinter dem Ego-Fahrzeug erkannt werden müssen, berechnet sich aus dem einzuhaltenden Zwei-Sekunden-Abstand und der maximalen Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs ($v_{fremd,max}$). Die maximale, vom Fremdfahrzeug in zwei Sekunden zurückgelegte Strecke beträgt

$$s_{hinten,max} = v_{fremd,max} \cdot t_{luecke} \approx 120 \text{ m (aufgerundet)}.$$

Die Sensoren müssen daher Abstand und relative Geschwindigkeit zu einem möglichen Fremdfahrzeug auf einer anderen Fahrspur hinter dem Ego-Fahrzeug bis zu einer Entfernung von 120 m bestimmen können.

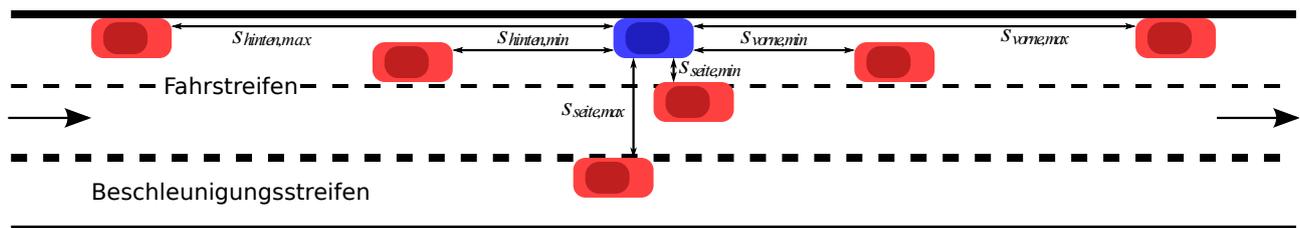


Abbildung 3.5.: Minimale und maximale Reichweiten der Abstandssensorik

3.1.4. Aktorik

3.1.4.1. Das System muss in der Lage sein, die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs zu beeinflussen

Das System muss in der Lage sein, das Ego-Fahrzeug zwischen $v_{acc,min}$ und $v_{acc,max}$ mit einem Ruck zwischen $j_{acc,min}$ und $j_{acc,max}$ und einer Beschleunigung zwischen $a_{acc,mnb}$ und $a_{acc,max}$ zu beschleunigen und abzubremesen. Dies dient dem ACC zur Geschwindigkeitsanpassung an eine neu erkannte Geschwindigkeitsbegrenzung, die Geschwindigkeit eines vorrausfahrenden Fremdfahrzeugs sowie die vom Fahrer eingestellte Wunschgeschwindigkeit. Die minimale Beschleunigung $a_{acc,mnb} < a_{acc,min}$ wird dabei für den Fall benötigt, dass das ACC aufgrund mangelnder Sensorreichweite ein Auffahren auf ein vorrausfahrendes Fremdfahrzeug nicht mehr durch Verzögerung innerhalb des Komfortbereichs verhindern kann. Siehe dazu auch 3.1.3.4 sowie die Anwendungsfälle 3.3.3.4 und 3.3.3.5.

3.2. Nichtfunktionale Anforderungen

3.2.1. System

3.2.1.1. Das System muss zuverlässig funktionieren

Eine zuverlässige Funktionsweise muss garantiert sein, damit der Fahrer sich auf das System verlassen kann. Dennoch muss der Fahrer stets in der Lage sein, die Kontrolle über das Ego-Fahrzeug zu erlangen und dieses selber führen zu können, wenn das System ausfällt. Das System

darf das Ego-Fahrzeug niemals in einen Zustand versetzen, in dem der Fahrer das Ego-Fahrzeug nicht mehr kontrollieren kann.

Es müssen ausführliche Tests durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass alle Randfälle abgedeckt sind und keine Probleme auftreten.

Außerhalb der in diesem Dokument genannten Umweltbedingungen kann eine zuverlässige Funktionsweise jedoch nicht garantiert werden.

Die Zuverlässigkeit des Systems ist definiert durch das erfolgreiche Absolvieren aller Testfälle und Testszenarien, d.h. wenn jeder einzelne Testfall und jedes Testszenario fehlerfrei durchlaufen wurde, funktioniert das System zuverlässig.

3.2.1.2. Die Erkennung von Fremdfahrzeugen, Verkehrsschildern und Fahrbahnmarkierungen muss zuverlässig funktionieren

Im Rahmen der in diesem Dokument definierten Umweltbedingungen muss die Erkennung zuverlässig funktionieren. Der Fahrer ist für die Einhaltung der Verkehrsregeln und somit auch für die Beachtung der Geschwindigkeitsbegrenzungen und Fahrspurabgrenzungen verantwortlich, dennoch darf der Fahrer nicht durch fehlerhafte Erkennung irritiert werden.

3.2.1.3. Das System muss benutzerfreundlich sein

Die Bedienung soll intuitiv erlernbar sein, sodass keine lange Eingewöhnung seitens des Benutzers nötig ist. Des Weiteren muss das System so einfach zu bedienen sein, dass die Nutzung nicht vom Straßenverkehr ablenkt.

3.2.1.4. Das System muss dokumentiert sein

Die Dokumentation für den Fahrer muss die Beschreibung aller Funktionen, Anzeigen und Knöpfe beinhalten. Es müssen in der Dokumentation Hinweise auf Grenzen und auf nötige Fahrer-Reaktionen, zum Beispiel bei einer Notbremsung, stehen. Dadurch ist der Fahrer mit diesen Ausnahmefällen vertraut und weiß, wie weit die Unterstützung des Systems reicht. Ebenso muss die Hard- und Software dokumentiert sein, damit eine Weiterentwicklung jederzeit möglich ist.

3.2.2. Rechtliches

3.2.2.1. Das System muss der aktuellen Gesetzgebung für den Straßenverkehr gerecht werden

Damit ein Fahrzeug mit dem entwickelten System später auch am Straßenverkehr teilnehmen darf, müssen alle rechtlichen Rahmenbedingungen eingehalten werden. Insbesondere darf das System nicht eigenständig fahren und muss dem Fahrer jederzeit die volle Kontrolle über sein Fahrzeug gewähren.

3.2.2.2. Es dürfen keine Urheberrechte verletzt werden

Sofern in Dokumenten oder Komponenten vorhandene Bestandteile genutzt werden, muss geklärt werden, ob und in welchem Umfang diese genutzt werden dürfen.

3.3. Anwendungsfälle

Die Anwendungsfälle sind der Übersicht halber tabellarisch dargestellt und in die drei Kategorien „Umwelt“, „LCA“ und „ACC“ unterteilt. Die Kategorie „Umwelt“ beinhaltet die Anwendungsfälle, die von Einflüssen aus der Umwelt abhängig sind, „LCA“ und „ACC“ beinhalten die Anwendungsfälle, die bei der Nutzung der jeweiligen Funktionalität auftreten können. Der Tabellaufbau gestaltet sich wie folgt:

- **ID:** Unter diesem Punkt ist die ID des betrachteten Anwendungsfalls angegeben. Sie setzt sich aus der Kategorie und dem Namen des Anwendungsfalls zusammen.
- **Ziel:** Dieser Punkt erläutert genau, zu welchem Zweck der Anwendungsfall ausgeführt wird.
- **Vorbedingungen:** An diesem Punkt kann der Tabelle entnommen werden, welche Bedingungen gelten müssen, damit der Anwendungsfall ausgeführt werden kann.
- **Auslösendes Ereignis:** Wenn Einflüsse von außen, bestimmte Ressourcen oder andere Anwendungsfälle zur Ausführung eines Anwendungsfalls nötig sind, sind sie in dieser Zeile der Tabelle aufgeführt.
- **Akteure:** An dieser Stelle werden die Ressourcen angegeben, die an der Ausführung des betreffenden Anwendungsfalls beteiligt sind (Ego-Fahrzeug, Fahrer, Sensorik, LCA, ACC).
- **Beschreibung:** In dieser Zeile befindet sich eine ausführliche Beschreibung dessen, was bei der Durchführung des Anwendungsfalls passiert.
- **Benötigte Funktionalitäten:** Aus diesem Eintrag in der Tabelle geht hervor, über welche Funktionalitäten das System für eine erfolgreiche Ausführung des Anwendungsfalls verfügen muss.
- **Anforderungen:** An dieser Stelle wird angegeben, welche Anforderungen an die Funktionalitäten gestellt werden, um den Anwendungsfall ausführen zu können.
- **Fehlerfälle:** Zum Abschluss sind hier die möglichen Fehler aufgelistet, die beim jeweiligen Anwendungsfall auftreten können, sowie eine Beschreibung ihrer Behandlung.

Sofern nicht anders angegeben, wird im Folgenden als Vorbedingung davon ausgegangen, dass sich das Ego-Fahrzeug auf der Fahrbahn, dem Beschleunigungs- oder Verzögerungstreifen befindet.

3.3.1. Umwelt

3.3.1.1. Anwendungsfall: Fremdfahrzeuge erkennen

ID	umwelt::fremdfahrzeuge
Ziel	Alle in Sensorreichweite liegenden Fremdfahrzeuge (siehe 3.1.3.4) sind korrekt erkannt worden.
Vorbedingungen	Keine
Auslösendes Ereignis	Ein Fremdfahrzeug dringt in den Sensorbereich ein.
Akteure	Sensorik
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug erkennt mit Hilfe der Sensoren alle sich in Sensorreichweite befindlichen Fremdfahrzeuge, die vor, neben oder hinter dem Ego-Fahrzeug auf dem selben oder einem benachbarten Fahrstreifen in der selben Fahrtrichtung fahren. Die von den Sensoren erfassten Daten werden an das System weitergegeben.
Benötigte Funktionalitäten	Auswertung der Sensordaten.
Anforderungen	Alle Fremdfahrzeuge müssen innerhalb von t_{reakt} (siehe Abschnitt A) erkannt und an das System weitergegeben werden. Die Auswertung der Sensordaten muss korrekt erfolgen. Die Kommunikation zwischen den Sensoren und dem Fahrerassistenzsystem muss funktionieren.

Fehlerfälle	<p>Arbeitet die Sensorik nicht korrekt, kann es bei der Erkennung von Fremdfahrzeugen vor dem Ego-Fahrzeug vorkommen, dass der Abstand zum vorfahrenden Fremdfahrzeug fehlerhaft gemessen wird, die Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs falsch erkannt wird oder Fremdfahrzeuge vor dem Ego-Fahrzeug nicht erkannt werden. In diesem Fall werden bei Benutzung des ACC aufgrund der falschen Sensordaten fehlerhafte Werte für den Sicherheitsabstand und somit auch die Geschwindigkeitsregelung des Ego-Fahrzeugs berechnet. Auch bei der Nutzung des LCA können falsche Sensordaten zur Folge haben, dass Fremdfahrzeuge nicht erkannt oder ihre Geschwindigkeit falsch bestimmt werden. In diesem Fall wird für die Lückengröße bei Überholvorgängen ein falsches Ergebnis berechnet. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können. Die Objektverfolgung liefert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, mit denen erkannt werden kann, ob sich ein Objekt an der ermittelten Position befinden kann. Durch diese Methode kann ein Teil der fehlerhaften Sensordaten ausgefiltert werden.</p>
-------------	---

3.3.1.2. Anwendungsfall: Fahrbahnmarkierung erkennen

ID	umwelt::fahrbahnmarkierung
Ziel	Die Markierungen der eigenen Fahrspur in Sensorreichweite sind korrekt erkannt worden (siehe Abschnitt 3.1.3.3).
Vorbedingungen	Keine.
Auslösendes Ereignis	Es liegen neue Sensordaten vor.
Akteure	Sensorik
Beschreibung	Die Sensorik erfasst die <i>Fahrspurmarkierungen</i> der eigenen Fahrspur. Daraufhin kann das System gemäß der Verkehrsregeln auf die verschiedenen Linientypen reagieren und den Fahrstreifen bestimmen auf dem sich das Ego-Fahrzeug befindet. Genaueres zu den relevanten Markierungen kann Abschnitt 2.3 entnommen werden. Das Ergebnis der Auswertung fließt in die Ergebnisberechnung für das LCA mit ein.
Benötigte Funktionalitäten	Mustererkennung für relevante Linientypen.
Anforderungen	Die Markierungen der eigenen Fahrspur müssen innerhalb von t_{reakt} (siehe Abschnitt A) bezüglich ihrer Art (durchgezogene Linie, Sperrfläche, Leitlinie, Auffahrtslinie) von der Mustererkennung unterschieden werden können und an das System weitergegeben werden.
Fehlerfälle	Wenn die Sensorik oder die Mustererkennung nicht korrekt arbeiten, kann es vorkommen, dass die Markierungen auf der Fahrbahn fehlerhaft oder überhaupt nicht erkannt werden. In diesem Fall wird für das LCA ein falsches Ergebnis berechnet. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können. Die Objektverfolgung liefert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, mit denen erkannt werden kann, ob sich eine Markierung an der ermittelten Position befinden kann. Durch diese Methode kann ein Teil der fehlerhaften Sensordaten ausgefiltert werden.

3.3.1.3. Anwendungsfall: Verkehrsschilder erkennen

ID	umwelt::verkehrsschilder
Ziel	Alle Verkehrsschilder (siehe Abschnitt 2.3) in Sensorreichweite sind erkannt und interpretiert worden (siehe Abschnitt 3.1.3.2).
Vorbedingungen	Keine.
Auslösendes Ereignis	Ein Verkehrsschild dringt in den Sensorbereich ein.
Akteure	Sensorik
Beschreibung	Das System erkennt alle Verkehrsschilder, die sich in Sensorreichweite vor dem Ego-Fahrzeug an den vorgeschriebenen Stellen befinden. Dabei werden alle Verkehrszeichen als relevant betrachtet, die in Abschnitt 2.3.2 spezifiziert wurden. Nicht relevante Verkehrsschilder werden ignoriert.
Benötigte Funktionalitäten	Mustererkennung für relevante Verkehrsschilder.
Anforderungen	Die Mustererkennung muss alle Verkehrsschilder in Sensorreichweite innerhalb von t_{reakt} (siehe Abschnitt A) erkennen und korrekt interpretieren.
Fehlerfälle	Arbeiten die Sensorik oder die Mustererkennung nicht korrekt, kann es sein, dass Verkehrsschilder nicht korrekt oder überhaupt nicht erkannt werden. In diesem Fall werden für die erlaubte Höchstgeschwindigkeit oder für die Möglichkeit einen Fahrstreifenwechsel durchzuführen falsche Werte bestimmt. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können. Die Objektverfolgung liefert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, mit denen erkannt werden kann, ob sich ein Verkehrsschild an der ermittelten Position befinden kann. Durch diese Methode kann ein Teil der fehlerhaften Sensordaten ausgefiltert werden.

3.3.2. LCA

3.3.2.1. Anwendungsfall: LCA aktivieren

ID	lca::aktivieren
Ziel	Aktiviertes LCA
Vorbedingungen	$v_{ego} \geq v_{lca,min}$ (siehe Abschnitt A). Das LCA ist deaktiviert. lca::deaktivieren
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs betätigt das LCA-Bedienelement.
Akteure	Fahrer, LCA
Beschreibung	Der Fahrer möchte das LCA aktivieren und betätigt das LCA-Bedienelement.
Benötigte Funktionalitäten	Bedienelement zum Aktivieren des LCA.
Anforderungen	Das Bedienelement ist gut sichtbar und leicht zugänglich angebracht. Das System reagiert auf die Aktivierung durch Einschalten der Kontrollleuchte und durch Anzeigen der Wechselemöglichkeit im Leuchtelement an den Außenspiegeln.
Fehlerfälle	Ist das Bedienelement defekt, kann das LCA nicht aktiviert werden. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.2.2. Anwendungsfall: LCA deaktivieren

ID	lca::deaktivieren
Ziel	Deaktiviertes LCA
Vorbedingungen	Das LCA ist aktiviert. lca::aktivieren.
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs betätigt das LCA-Bedienelement.
Akteure	Fahrer, LCA
Beschreibung	Der Fahrer möchte das LCA deaktivieren und betätigt das LCA-Bedienelement.
Benötigte Funktionalitäten	Bedienelement zum Deaktivieren des LCA.
Anforderungen	Das Bedienelement ist gut sichtbar und leicht zugänglich angebracht. Das System reagiert auf die Deaktivierung durch Ausschalten der Kontrollleuchte und des Leuchtelements am Außenspiegel. Die Sensorik und die Berechnung einer Fahrstreifenwechsellmöglichkeit bleiben weiterhin aktiv.
Fehlerfälle	Ist das Bedienelement defekt, kann das LCA nicht deaktiviert werden. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.2.3. Anwendungsfall: Fahrstreifenwechsellmöglichkeit berechnen

ID	lca::wechselberechnen
Ziel	Fahrstreifenwechsellmöglichkeit ist berechnet worden.
Vorbedingungen	Keine.
Auslösendes Ereignis	Es liegen neue Sensordaten für die Berechnung vor.
Akteure	LCA
Beschreibung	Sobald neue Sensordaten vorliegen, wertet das System die Sensordaten aus und berechnet daraufhin, ob eine ausreichend große Lücke vorhanden ist, um einen sicheren Fahrstreifenwechsel durchzuführen.
Benötigte Funktionalitäten	Abstandsbestimmung, Lückenbestimmung (siehe Abschnitt 3.1.3).
Anforderungen	Die Berechnung muss korrekt und innerhalb von t_{reakt} (siehe Abschnitt A) funktionieren, um geeignete Lücken gefahrenfrei ausnutzen zu können.
Fehlerfälle	Die Sensorik arbeitet nicht korrekt oder gar nicht oder liefert keine korrekten Daten. In diesem Falle kann es vorkommen, dass das System die Möglichkeit zum Fahrstreifenwechsel falsch berechnet. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können. Die Objektverfolgung liefert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, mit denen erkannt werden kann, ob sich ein Fremdfahrzeug an der ermittelten Position befinden kann. Durch diese Methode kann ein Teil der fehlerhaften Sensordaten ausgefiltert werden.

3.3.2.4. Anwendungsfall: Fahrstreifenwechsellmöglichkeit anzeigen

ID	lca::wechselanzeigen
Ziel	Fahrstreifenwechsellmöglichkeit wird angezeigt.
Vorbedingungen	Das LCA ist aktiviert. lca::aktivieren
Auslösendes Ereignis	Berechnung gibt ein Ergebnis aus. lca::wechselberechnen
Akteure	LCA
Beschreibung	Nachdem der Fahrer des Ego-Fahrzeugs das LCA aktiviert hat und das LCA mit Hilfe der Sensordaten die Berechnung über einen Fahrstreifenwechsel berechnet hat, zeigt das LCA dem Fahrer das Ergebnis der Berechnung via Leuchtelement am Außenspiegel an.
Benötigte Funktionalitäten	Ein Leuchtelement am jedem Außenspiegel.
Anforderungen	Das Ergebnis der vorausgegangen Berechnung muss korrekt und innerhalb von t_{reakt} (siehe Abschnitt A) angezeigt werden. Weiterhin muss der Fahrer des Ego-Fahrzeugs eindeutig zwischen der Anzeige eines möglichen und der Anzeige eines nicht möglichen Fahrstreifenwechsels unterscheiden können.
Fehlerfälle	Es kann vorkommen, dass die Anzeige vollständig oder teilweise ausfällt. Tritt einer dieser Fälle ein, muss der Fahrer bei einem Fahrstreifenwechselwunsch den Fahrstreifenwechsel ohne Assistenz des Systems durchführen. Desweiteren kann die Berechnung inkorrekt sein und so dem Fahrer ein falscher Vorschlag unterbreitet werden. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.3. ACC

3.3.3.1. Anwendungsfall: ACC aktivieren

ID	acc::aktivieren
Ziel	Das ACC ist aktiviert.
Vorbedingungen	$v_{ego} \geq v_{acc,min}$
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer betätigt eines der Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente.
Akteure	Fahrer, ACC.
Beschreibung	Das ACC übernimmt nach der Betätigung des jeweiligen Bedienelementes die aktuelle bzw. die für das jeweilige Geschwindigkeitswahl-Bedienelement gespeicherte Geschwindigkeit als Wunschgeschwindigkeit. Das System signalisiert die Aktivierung durch Einschalten einer grünen Kontrollleuchte am betätigten Geschwindigkeitswahl-Bedienelement. Beträgt die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs weniger als $v_{acc,min}$, so signalisiert das System durch dreimaliges, kurzes, rotes Blinken, dass das ACC momentan nicht aktiviert werden kann.
Benötigte Funktionalitäten	Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente, Display zur Anzeige der Wunschgeschwindigkeit
Anforderungen	Das ACC muss spätestens t_{reakt} Zeiteinheiten (siehe Abschnitt A) nach Betätigung des jeweiligen Bedienelementes aktiviert sein. Das Display muss jederzeit die aktuelle Wunschgeschwindigkeit anzeigen.
Fehlerfälle	Fällt ein Geschwindigkeitswahl-Bedienelement aus, so kann das ACC nur noch mit Hilfe der verbleibenden Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente aktiviert werden. Fallen alle Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente aus, so kann das ACC nicht mehr aktiviert werden. Fällt eine Kontrollleuchte aus, so kann das ACC die Aktivierung nicht mehr anzeigen. Fällt das Display aus, so kann das ACC die Wunschgeschwindigkeit nicht mehr anzeigen. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.3.2. Anwendungsfall: ACC deaktivieren

ID	acc::deaktivieren
Ziel	Das ACC ist deaktiviert.
Vorbedingungen	Das ACC ist aktiviert. acc::aktivieren
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer betätigt das aktivierte Geschwindigkeitswahl-Bedienelement oder das Bremspedal.
Akteure	Fahrer, ACC.
Beschreibung	Nach dem Betätigen des jeweiligen Bedienelements oder des Bremspedals wird das ACC deaktiviert. Die Deaktivierung des ACC wird durch Erlöschen der Kontrollleuchten an allen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementen angezeigt.
Benötigte Funktionalitäten	Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente, Sensor zur Erfassung der Betätigung des Bremspedals.
Anforderungen	Das ACC muss spätestens t_{reakt} Zeiteinheiten (siehe Abschnitt A) nach Betätigung des jeweiligen Bedienelementes bzw. des Bremspedals deaktiviert sein.
Fehlerfälle	Fällt das aktivierte Geschwindigkeitswahl-Bedienelement aus, so kann das ACC nur noch durch zweimaliges Betätigen eines anderen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementes (Änderung der Wunschgeschwindigkeit und danach Deaktivieren des ACC) oder durch Betätigung des Bremspedals deaktiviert werden. Fällt der Sensor für die Betätigung des Bremspedals aus, so kann das ACC nur noch über die Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente deaktiviert werden. Fallen sämtliche Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente und der Sensor für die Betätigung des Bremspedals aus, so kann das ACC nur noch durch Ausschalten der Zündung des Ego-Fahrzeugs deaktiviert werden. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.3.3. Anwendungsfall: Wunschgeschwindigkeit

ID	acc::wunschgeschwindigkeit
Ziel	Die eingestellte Wunschgeschwindigkeit hat sich geändert.
Vorbedingungen	Keine.
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer betätigt ein Geschwindigkeitswahl-Bedienelement oder betätigt eines der „+/-“-Bedienelemente.
Akteure	Fahrer, ACC

Beschreibung	<p>Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs hat mehrere Möglichkeiten, eine Wunschgeschwindigkeit einzustellen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der Fahrer aktiviert das ACC wie in acc::aktivieren beschrieben über das Geschwindigkeitswahl-Bedienelement zum Halten der Geschwindigkeit. Die momentan gefahrene Geschwindigkeit wird als Wunschgeschwindigkeit übernommen. Die Kontrollleuchte am entsprechenden Bedienelement leuchtet grün, an den anderen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementen werden die Kontrollleuchten deaktiviert.• Der Fahrer aktiviert das ACC wie in acc::aktivieren beschrieben über eines der individuellen Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente oder betätigt eines dieser Bedienelemente bei bereits aktiviertem ACC. Die dem jeweiligen Bedienelement zugeordnete Geschwindigkeit wird als Wunschgeschwindigkeit übernommen. Die Kontrollleuchte am entsprechenden Bedienelement leuchtet grün, an den anderen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementen werden die Kontrollleuchten deaktiviert.• Das ACC ist bereits aktiviert und der Fahrer betätigt ein „+/-“-Bedienelement. Die Wunschgeschwindigkeit wird daraufhin um $v_{acc,schrittweite}$ erhöht bzw. verringert. Die Kontrollleuchten an allen individuellen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementen werden deaktiviert, die Kontrollleuchte am Geschwindigkeitswahl-Bedienelement zum Halten der Geschwindigkeit leuchtet grün. Ist die eingestellte Wunschgeschwindigkeit bereits gleich der minimalen oder maximalen Geschwindigkeit des ACC, so signalisiert das System durch dreimaliges, kurzes, rotes Blinken, dass die Wunschgeschwindigkeit nicht weiter erhöht bzw. erniedrigt werden kann.
--------------	--

Benötigte Funktionalitäten	Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente, „+/-“-Bedienelemente.
Anforderungen	Das ACC muss spätestens t_{reakt} Zeiteinheiten (siehe Abschnitt A) nach Betätigung des jeweiligen Bedienelements die Wunschgeschwindigkeit übernehmen. Das Display muss jederzeit die aktuelle Wunschgeschwindigkeit anzeigen.
Fehlerfälle	Fällt ein Bedienelement aus, so kann die Wunschgeschwindigkeit nur noch durch Betätigen eines der verbleibenden Bedienelemente geändert werden. Fallen alle Bedienelemente aus, so kann die Wunschgeschwindigkeit nicht mehr geändert werden. Fällt eine Kontrollleuchte aus, so kann das ACC die Wunschgeschwindigkeit nur noch über das Display anzeigen. Fällt das Display aus, so kann das ACC die Wunschgeschwindigkeit nur noch über die Kontrollleuchte am jeweiligen, gewählten individuellen Geschwindigkeitswahl-Bedienelementes oder im Falle des Geschwindigkeit halten Bedienelementes gar nicht mehr anzeigen. Fallen sowohl das Display als auch sämtliche Kontrollleuchten aus, so kann das ACC die Wunschgeschwindigkeit nicht mehr anzeigen. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.

3.3.3.4. Anwendungsfall: Sollgeschwindigkeit erreichen

ID	acc::sollgeschwindigkeit_erreichen
Ziel	Das Ego-Fahrzeug hat die Sollgeschwindigkeit erreicht.
Vorbedingungen	Das ACC ist aktiviert. acc::aktivieren
Auslösendes Ereignis	Die <i>Istgeschwindigkeit</i> des Ego-Fahrzeugs weicht um mehr als 5% von der Sollgeschwindigkeit ab.
Akteure	ACC
Beschreibung	Das ACC passt die Istgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs, durch Beschleunigen bzw. Bremsen innerhalb des Komfortbereichs, der Sollgeschwindigkeit an. Für den Fall, dass die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen langsamem Vorderfahrzeug und schnellem Ego-Fahrzeug so groß ist, dass das Bremsen im Komfortbereich nicht ausreicht, um ein Auffahren auf das Vorderfahrzeug zu verhindern, verfügt das System über die Möglichkeit, den Komfortbereich beim Bremsen zu verlassen und stärker zu verzögern. So ist gewährleistet, dass die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs rechtzeitig niedrig genug ist, um einen Auffahrunfall zu verhindern und zusätzlich den benötigten Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug einzuhalten. Diese Funktion ist wichtig, da aufgrund der beschränkten Sensorreichweite ansonsten die verfügbare Strecke zu knapp bemessen wäre um durchgehend im Komfortbereich zu verzögern (siehe Abschnitt 3.1.3.4 und Abschnitt 3.1.3.5).
Benötigte Funktionalitäten	Einflussnahme auf den Beschleunigungs- und Bremsvorgang des Ego-Fahrzeugs sowie Zugriff auf den aktuellen Geschwindigkeitswert.
Anforderungen	Die Intensität der Beschleunigungsvorgänge darf den Komfortbereich nicht verlassen. Die Intensität der Verzögerungsvorgänge darf den Komfortbereich nur im beschriebenen Extremfall verlassen.
Fehlerfälle	Wenn die Kommunikation zwischen ACC und Motormanagement des Autos teilweise oder gar nicht mehr funktioniert und das ACC somit die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs nicht mehr beeinflussen kann, schaltet sich das ACC ab.

3.3.3.5. Anwendungsfall: Sollgeschwindigkeit halten

ID	acc::sollgeschwindigkeit_halten
Ziel	Das Ego-Fahrzeug hält die Sollgeschwindigkeit.
Vorbedingungen	Das ACC ist aktiviert. acc::aktivieren
Auslösendes Ereignis	Die Istgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs weicht um bis zu 5% von der Sollgeschwindigkeit ab.
Akteure	ACC
Beschreibung	Das ACC passt die Istgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs durch Beschleunigen im Komfortbereich bzw. Verzögern mit Hilfe der Motorbremse der Sollgeschwindigkeit an.
Benötigte Funktionalitäten	Einflussnahme auf den Beschleunigungsvorgang des Ego-Fahrzeugs sowie Zugriff auf den aktuellen Geschwindigkeitswert.
Anforderungen	Die Intensität der Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge darf den Komfortbereich nicht verlassen.
Fehlerfälle	Wenn die Kommunikation zwischen ACC und Motormanagement des Autos teilweise oder gar nicht mehr funktioniert und das ACC somit die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs nicht mehr beeinflussen kann, schaltet sich das ACC ab.

3.3.3.6. Anwendungsfall: Sicherheitsabstand einhalten

ID	acc::sicherheitsabstand
Ziel	Einhaltung des Sicherheitsabstands zum vorausfahrenden Fremdfahrzeug.
Vorbedingungen	Das ACC ist aktiviert. acc::aktivieren
Auslösendes Ereignis	Ein Fremdfahrzeug wurde als vorausfahrendes Fremdfahrzeug erkannt.
Akteure	ACC
Beschreibung	<p>Bei der Einhaltung des Sicherheitsabstand sind zwei Fälle zu unterscheiden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Sicherheitsabstand wurde unterschritten. Die Sollgeschwindigkeit wird an die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fremdfahrzeuges angepasst, das ACC verzögert mit Hilfe der Motorbremse und gegebenenfalls mit Hilfe der Bremse und beschleunigt danach wieder, so dass es beim Erreichen des Sicherheitsabstands wieder Sollgeschwindigkeit erreicht hat. Für den Fall, dass der Sicherheitsabstand bereits unterschritten wurde und sich das Ego-Fahrzeug dem Vorderfahrzeug wegen einer großen Geschwindigkeitsdifferenz weiterhin nähert, kann der Komfortbereich beim Bremsen verlassen und somit stark genug verzögert werden, um einen Auffahrunfall zu verhindern und den benötigten Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug wieder aufzubauen. Siehe auch Abschnitt 3.1.3.4. • Der Sicherheitsabstand wurde überschritten. Die Sollgeschwindigkeit wird soweit erhöht, so dass einerseits die eingestellte Wunschgeschwindigkeit nicht überschritten und andererseits bei Erreichen des Sicherheitsabstands die Verzögerung durch die Motorbremse ausreicht, um die Geschwindigkeit an die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zielfahrzeugs anzupassen.

Benötigte Funktionalitäten	Sensorik zur Abstandserkennung und Geschwindigkeitsmessung
Anforderungen	Die Intensität der Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge darf den Komfortbereich nicht verlassen.
Fehlerfälle	<p>Wenn die Sensorik ein vor dem Ego-Fahrzeug fahrendes Fremdfahrzeug nicht erkennt oder die Geschwindigkeit des betreffenden Fremdfahrzeugs nicht korrekt erkennt, wird der Sicherheitsabstand falsch berechnet. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Daten nicht als fehlerhaft erkannt werden können. Die Objektverfolgung liefert Aufenthaltswahrscheinlichkeiten, mit denen erkannt werden kann, ob sich ein Fremdfahrzeug an der ermittelten Position befinden kann. Durch diese Methode kann ein Teil der fehlerhaften Sensordaten ausgefiltert werden.</p> <p>Kann der Sicherheitsabstand nicht durch Verzögerungsvorgänge im Komfortbereich eingehalten werden, so ist der Fahrer durch ein akustisches Signal darauf aufmerksam zu machen, dass er selbst eingreifen muss.</p>

3.3.3.7. Anwendungsfall: Geschwindigkeitswahl-Bedienelement einstellen

ID	acc::geschwindigkeitswahl_einstellen
Ziel	Das Geschwindigkeitswahl-Bedienelement ist auf eine neue Wunschgeschwindigkeit eingestellt.
Vorbedingungen	Das Ego-Fahrzeug befindet sich im Stillstand. acc::deaktivieren
Auslösendes Ereignis	Der Fahrer betätigt ein individuelles Geschwindigkeitswahl-Bedienelement und hält es für mindestens drei Sekunden gedrückt.
Akteure	Fahrer, ACC
Beschreibung	Die für das gewählte Bedienelement eingestellte Wunschgeschwindigkeit wird auf dem Display dargestellt und die Geschwindigkeitswahlkontrollleuchte des betätigten Geschwindigkeitswahl-Bedienelementes blinkt grün. Der Fahrer hat nun die Möglichkeit, die Wunschgeschwindigkeit mit Hilfe der „+/-“-Bedienelemente zu verändern. Ist die eingestellte Wunschgeschwindigkeit bereits gleich der minimalen oder maximalen Geschwindigkeit des ACC, so signalisiert das System durch dreimaliges, kurzes, rotes Blinken, dass die Wunschgeschwindigkeit nicht weiter erhöht bzw. verringert werden kann. Durch erneutes Betätigen des gewählten Geschwindigkeitswahl-Bedienelementes bestätigt der Fahrer die neue Einstellung.
Benötigte Funktionalitäten	Zugriff auf die aktuelle Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs
Anforderungen	Die Einstellung darf nur während des Stillstands des Ego-Fahrzeugs möglich sein. Das gewählte Bedienelement muss während des Einstellvorgangs grün blinken.

Fehlerfälle	Fällt ein Geschwindigkeitswahl Bedienelement aus, so kann der Fahrer das entsprechende Bedienelement nicht mehr einstellen. Fällt ein „+/-“-Bedienelement aus, so kann der Fahrer die Geschwindigkeit nur noch erhöhen bzw. erniedrigen. Fallen beide „+/-“-Bedienelemente aus, so kann der Fahrer die Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente gar nicht mehr einstellen. Einen solchen Fehler wirksam durch das System behandeln zu lassen ist nicht möglich, da fehlerhafte Bauteile nicht als fehlerhaft erkannt werden können.
-------------	--

4. Entwicklungsprozess

4.1. Vorgehensmodell

Abbildung 4.1 stellt das verwendete Vorgehensmodell dar. Hierbei handelt es sich um das V-Modell, da sich dieses durch das strukturierte Vorgehen und die ausgedehnten Testphasen besonders gut für die Entwicklung komplexer Systeme mit hohen Anforderungen an die Sicherheit eignet. Zudem wird das V-Modell durch „Concurrent Engineering“ erweitert, sodass Aufgaben auch parallel über mehrere Phasen des V-Modells bearbeitet werden. Dieses Vorgehen birgt zwar das Risiko von Konflikten, die erst bei einer Überarbeitung behoben werden können, dafür werden Fehler früher entdeckt und die Auswirkungen sind geringer. So kann sich z.B. ein Team, parallel zu den Entwurfsphasen, bereits mit neuen Techniken vertraut machen und Erfahrungen mit deren Umgang sammeln.

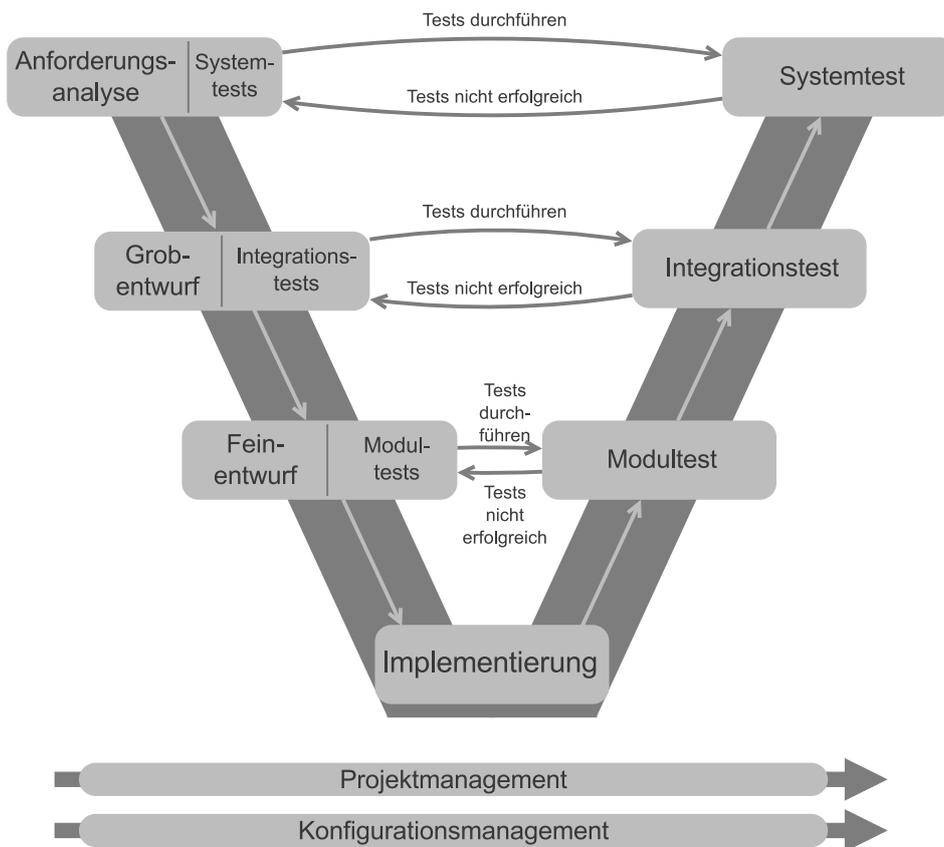


Abbildung 4.1.: Vorgehensmodell: V-Modell

Der linke, absteigende Ast des V-Modells dient der Beschreibung und Entwicklung des gewünschten Systems. Durch die unterschiedlichen Phasen gelingt es dem Entwickler, das zu entwickelnde System und dessen Umgebung zu verstehen und das Produkt daran optimal anzupassen. Gleichzeitig zur Entwicklung werden die Testsfälle für den Modultest, den Integrationstest und den abschliessenden Systemtest erstellt. Der rechte, aufsteigende Ast des V-Modells befasst sich nach der Implementierung mit der ausgiebigen Validierung des entwickelten Systems. Angefangen von Modultests, bei denen auf unterster Ebene auf Korrektheit geprüft wird, über Integrationstests bis hin zum Systemtest, werden alle Module nochmals getestet und ggf. korrigiert.

Projektbegleitend werden sogenannte „transversale Prozesse“, zum Teil über die gesamte Projektlaufzeit, durchgeführt. Hierbei handelt es sich um das Projektmanagement und das Konfigurationsmanagement. Die Erstellung der Testdatenbank sowie das Modellieren der Testumgebung im SILAB-Simulator sind weitere transversale Prozesse, die während der Grobentwurfsphase beginnen und bis zur Phase der Modultests abgeschlossen sein müssen.

Das Concurrent Engineering wird ab der Phase des Grobentwurfs eingesetzt. Während des Grobentwurfs wird das System in mehrere Module aufgeteilt, und deren Entwicklung dann von getrennten Teams über die Phasen Feinentwurf, Implementierung und Modultest fortgesetzt. Zur Phase der Integrationstests werden die Module miteinander zu einem Gesamtsystem verbunden und getestet. Sollten dabei Probleme, wie z.B. unterschiedlichen Schnittstellenimplementierungen, festgestellt werden, erfolgt ein Rücksprung an die entsprechende Stelle im V-Modell und es wird nachgebessert.

Im folgenden werden nun die einzelnen Phasen genauer erläutert.

Anforderungsanalyse

In der Phase der Anforderungsanalyse werden alle Anforderungen an das System zusammengetragen. Diese Phase dient der Findung aller Funktionen, die das System später erfüllen muss und des besseren Verständnisses der Entwickler für das Themenumfeld. Die Erkenntnisse werden in der „Anforderungsdefinition“ festgehalten.

In diesem Dokument stehen die Anforderungen an das Verhalten des Systems (Abschnitt 2.2), an das Ego-Fahrzeug (Abschnitt 2.2), an die Umgebung (Abschnitt 2.3), in der das System betrieben werden soll, und an die Nutzerinteraktion (Abschnitt 3.1.2), und zudem die funktionalen (Abschnitt 3.1) und nicht-funktionalen Anforderungen (Abschnitt 3.2). Daher wird dieses Dokument auch als Grundlage verwendet, um sowohl die zu erbringende Leistung festzuhalten, als auch als Kommunikationsmittel zwischen Entwicklern und Kunden. Alle weiteren Entwicklungsschritte bauen auf der Anforderungsdefinition auf.

Parallel zur Phase der Anforderungsanalyse werden die Tests für den Systemtest geschrieben.

Grobentwurf

Während des Grobentwurfs wird die Architektur des Systems entwickelt und so das System in mehrere Module aufgeteilt. Die einzelnen Module werden kurz beschrieben und ihre Funktionalität erläutert. Zudem werden Schnittstellen und Abhängigkeiten zwischen den Modulen

definiert und die Tests für den Integrationstest geschrieben.

Feinentwurf

In der Phase des Feinentwurfs werden die Module weiter unterteilt und die gewünschte Funktionalität detailliert beschrieben, damit der Entwickler das Verhalten des Fahrerassistenzsystems modellieren kann. In dieser Phase werden gleichzeitig die Tests für den Modultest geschrieben. Am Ende dieser Entwurfsphase liegt der „Architektur- und Schnittstellenbericht“ vor. In diesem Dokument sind die Architektur sowie die Schnittstellendefinitionen enthalten.

Implementierung

In dieser Phase wird das zuvor beschriebene Verhalten des Fahrerassistenzsystems in einem Modell spezifiziert und daraus Code generiert und die Funktionalität, falls nötig, von Hand angepasst bzw. erweitert. Zudem findet eine Portierung auf die Zielhardware statt.

Modultest

In der Phase der Modultests werden einfache Tests auf unterster Ebene durchgeführt und die Implementierung überprüft, um Fehler zu finden und zu beheben. Ebenso wird auf Effizienz der Implementierung und Einhaltung der Beschreibung geachtet.

Integrationstest

Für die Integrationstests werden die einzelnen Module miteinander verbunden. Es wird überprüft, ob sich die Module untereinander wie gewünscht verhalten, also die Schnittstellen korrekt implementiert wurden.

Systemtest

Beim Systemtest sind alle Komponenten des Systems zu einem Gesamtsystem integriert und es wird überprüft, ob das System fehlerfrei funktioniert und die, in der Anforderungsdefinition, beschriebenen Funktionalitäten erfüllt.

4.2. Werkzeuge

Matlab - Simulink - Stateflow

Matlab - Simulink bietet eine effiziente Möglichkeit, Systeme und deren Umwelteigenschaften zu modellieren. Mit Stateflow, einer Komponente von Matlab - Simulink ist es möglich, Systemverhalten in Form endlicher Automaten zu modellieren. Weitere Informationen sind unter www.mathworks.com zu finden.

Projektmanagement

Für die Projektplanung wird das plattformunabhängige Java-Tool „ganttproject“ (<http://www.ganttproject.biz/>) eingesetzt. Es bietet eine leichte Handhabung in der Planung verschiedener Aufgaben, sowie im Management von Projektabläufen. Des Weiteren besitzt es eine Reihe von Exportmöglichkeiten, um den erstellten Plan auf der Website zu veröffentlichen, oder auch zur Erstellung eines Projektberichtes.

Konfigurationsmanagementsystem

Als Konfigurationsmanagementsystem kommt „git“ zum Einsatz. Dabei handelt es sich um ein sehr effizientes, verteiltes Versionsmanagementsystem, das den Entwicklern eine nicht-lineare Entwicklung ermöglicht. Weitere Informationen sind unter <http://git-scm.com/> zu finden.

SILAB

Bei „SILAB“ (Simulation Laboratory) handelt es sich um ein Fahrsimulationssystem, das vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften, sowie einigen Partnern entwickelt wird. Das Simulationssystem ist sehr modular aufgebaut und vielfältig erweiterbar. Es bietet jedoch für Standardsituationen bereits vorgefertigte Module. Weitere Informationen sind unter <http://www.wivw.com/> zu finden.

Xilinx ISE

Die „Xilinx ISE Design Suite“ umfasst alle nötigen Programme, um automatisiert und unterstützt Hardware-Schaltungen in einer Hardware-Beschreibungssprache zu entwickeln und auf einen FPGA zu implementieren. Die ISE Design Suite unterstützt die Synthese, das Place-and-Route, die Verifikation, das Debugging und die Konfiguration eines FPGAs. Weitere Informationen sind unter <http://www.xilinx.com/ise> zu finden.

5. Testfälle und Testszenarien

5.1. Testfälle

Die folgenden tabellarisch aufgeführten Testfälle behandeln jeweils einen Anwendungsfall. Dieses Vorgehen dient dazu, die Tests der einzelnen Systemkomponenten so atomar wie möglich zu gestalten. Die Voraussetzungen zum Test der einzelnen Anwendungsfälle werden in der Spalte „Beschreibung“ erläutert. Das erwartete Testergebnis der einzelnen Testfälle befindet sich in der Spalte „Erwartetes Resultat“. Sofern nicht anders angegeben, fährt das Ego-Fahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen.

ID	1
Testfall	LCA aktivieren bei $v_{ego} < v_{lca,min}$
Anwendungsfall	lca::aktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt bei deaktiviertem LCA das Bedienelement, um das LCA zu aktivieren. Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beträgt weniger als $v_{lca,min}$.
Erwartetes Resultat	Das LCA bleibt deaktiviert. Die Kontrollleuchte am Bedienelement blinkt dreimal rot. Die Leuchtelemente an den Außenspiegeln bleiben inaktiv.

ID	2
Testfall	LCA aktivieren bei $v_{ego} \geq v_{lca,min}$
Anwendungsfall	lca::aktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt bei deaktiviertem LCA das Bedienelement, um das LCA zu aktivieren. Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs beträgt mindestens $v_{lca,min}$.
Erwartetes Resultat	Das LCA ist aktiviert. Die Kontrollleuchte am Bedienelement leuchtet grün. Die Leuchtelemente an den Außenspiegeln sind aktiv.

ID	3
Testfall	LCA manuell deaktivieren
Anwendungsfall	lca::deaktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt bei aktiviertem LCA das Bedienelement, um das LCA zu deaktivieren.
Erwartetes Resultat	Das LCA ist deaktiviert. Die Kontrollleuchte am Bedienelement ist erloschen. Die Leuchtelemente an den Außenspiegeln sind nicht mehr aktiv.

ID	4
Testfall	LCA automatisch deaktivieren
Anwendungsfall	lca::deaktivieren
Beschreibung	Das LCA ist aktiviert und die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs sinkt unter den Schwellwert $v_{lca,min}$.
Erwartetes Resultat	Das LCA ist deaktiviert. Die Kontrollleuchte am Bedienelement ist erloschen. Die Leuchtelemente an den Außenspiegeln sind nicht mehr aktiv.

ID	5
Testfall	ACC aktivieren bei $v_{ego} < v_{acc,min}$
Anwendungsfall	acc::aktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt eines der Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente des ACC.
Erwartetes Resultat	Das ACC ist nicht aktiviert. Die Kontrollleuchte am ausgewählten Bedienelement blinkt dreimal rot.

ID	6
Testfall	ACC aktivieren bei $v_{ego} \geq v_{acc,min}$
Anwendungsfall	acc::aktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt eines der Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente des ACC.
Erwartetes Resultat	Das ACC ist aktiviert. Die Kontrollleuchte am ausgewählten Bedienelement leuchtet grün.

ID	7
Testfall	ACC deaktivieren (Bedienelement)
Anwendungsfall	acc::deaktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt das aktivierte Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente des ACC.
Erwartetes Resultat	Das ACC ist deaktiviert. Alle Kontrollleuchten des ACC sind erloschen.

ID	8
Testfall	ACC deaktivieren (Bremspedal)
Anwendungsfall	acc::deaktivieren
Beschreibung	Der Fahrer betätigt das Bremspedal.
Erwartetes Resultat	Das ACC ist deaktiviert. Alle Kontrollleuchten des ACC sind erloschen.

ID	9
Testfall	Wunschgeschwindigkeit einstellen
Anwendungsfall	acc::wunschgeschwindigkeit
Beschreibung	Der Fahrer wählt eines der Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente.
Erwartetes Resultat	Die Wunschgeschwindigkeit v_{wunsch} wird gemäß des Fahrerwunsches vom System übernommen. Die Wunschgeschwindigkeit wird auf dem entsprechenden Display angezeigt.

ID	10
Testfall	Sollgeschwindigkeit regeln bei $v_{soll} > v_{ego}$
Anwendungsfall	acc::sollgeschwindigkeit_erreichen
Beschreibung	Die Geschwindigkeit v_{ego} des Ego-Fahrzeugs ist geringer als die vom System berechnete Geschwindigkeit v_{soll} . v_{ego} wird mit einer Beschleunigung von bis zu $a_{acc,max}$ an v_{soll} angepasst.
Erwartetes Resultat	Das System hat die Istgeschwindigkeit v_{ego} der Sollgeschwindigkeit v_{soll} angepasst.

ID	11
Testfall	Sollgeschwindigkeit regeln bei $v_{soll} < v_{ego}$
Anwendungsfall	acc::sollgeschwindigkeit_erreichen
Beschreibung	Die Geschwindigkeit v_{ego} des Ego-Fahrzeugs weicht von der vom System berechneten Geschwindigkeit v_{soll} ab. v_{ego} wird mit einer negativen Beschleunigung von bis zu $a_{acc,min}$ an v_{soll} angepasst.
Erwartetes Resultat	Das System hat die Istgeschwindigkeit v_{ego} der Sollgeschwindigkeit v_{soll} angepasst.

ID	12
Testfall	Sollgeschwindigkeit regeln bei $v_{soll} \ll v_{ego}$
Anwendungsfall	acc::sollgeschwindigkeit_erreichen
Beschreibung	Die Geschwindigkeit v_{ego} des Ego-Fahrzeugs ist viel größer als die vom System berechnete Geschwindigkeit v_{soll} . Das System stellt fest, dass $a_{acc,min}$ nicht ausreicht, um das Ego-Fahrzeug rechtzeitig auf die Geschwindigkeit v_{soll} zu verzögern und somit eine Kollision zu verhindern. Daraufhin bremst das System mit einer größeren negativen Beschleunigung von bis zu $a_{acc,mnb}$ und passt somit v_{ego} an v_{soll} an.
Erwartetes Resultat	Das System hat die Notwendigkeit einer Verzögerung außerhalb des Komfortbereichs festgestellt und durch eine größere negative Beschleunigung die Istgeschwindigkeit v_{ego} der Sollgeschwindigkeit v_{soll} angepasst. Der Fahrer wurde für den Zeitraum der Überschreitung der maximalen Verzögerung durch ein akustisches Signal gewarnt.

ID	13
Testfall	Verkehrsschild am rechten Fahrbahnrand erkennen
Anwendungsfall	umwelt::verkehrschilder
Beschreibung	Am rechten Fahrbahnrand befindet sich ein Verkehrsschild.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild am rechten Fahrbahnrand wurde mit Hilfe der Sensorik erfolgreich erkannt.

ID	14
Testfall	Verkehrsschild am linken Fahrbahnrand erkennen
Anwendungsfall	umwelt::verkehrsschilder
Beschreibung	Am linken Fahrbahnrand befindet sich ein Verkehrsschild.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild am linken Fahrbahnrand wurde mit Hilfe der Sensorik erfolgreich erkannt.

ID	15
Testfall	Verkehrsschild über der rechten Fahrspur erkennen
Anwendungsfall	umwelt::verkehrsschilder
Beschreibung	Über der rechten Fahrbahn befindet sich ein Verkehrsschild.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild über der rechten Fahrbahn wurde mit Hilfe der Sensorik erfolgreich erkannt.

ID	16
Testfall	Verkehrsschild über der linken Fahrspur erkennen
Anwendungsfall	umwelt::verkehrsschilder
Beschreibung	Über der linken Fahrbahn befindet sich ein Verkehrsschild.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild über der linken Fahrbahn wurde mit Hilfe der Sensorik erfolgreich erkannt.

ID	17
Testfall	Relevantes Verkehrsschild identifizieren
Anwendungsfall	umwelt::verkehrsschilder
Beschreibung	Ein für das System relevantes Verkehrsschild (siehe 2.3.2) wurde erkannt.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild wurde erfolgreich zugeordnet. Das Resultat wird an das System weitergeleitet.

ID	18
Testfall	Irrelevantes Verkehrsschild ignorieren
Anwendungsfall	umwelt::verkehrsschilder
Beschreibung	Ein für das System nicht relevantes Verkehrsschild 2.3.2 wurde erkannt.
Erwartetes Resultat	Das Verkehrsschild wurde nicht beachtet. Das System wurde nicht darüber informiert.

ID	19
Testfall	Fahrspurmarkierung rechts des Ego-Fahrzeugs erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fahrbahnmarkierung
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug fährt zwischen zwei Fahrspurmarkierungen und führt derzeit keinen Fahrspurwechsel aus. Rechts neben dem Ego-Fahrzeug befindet sich in einem Abstand zwischen null und zwei Metern eine Fahrbahnmarkierung.
Erwartetes Resultat	Fahrspurmarkierung rechts des Ego-Fahrzeugs wurde erfolgreich erkannt.

ID	20
Testfall	Fahrspurmarkierung links des Ego-Fahrzeugs erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fahrbahnmarkierung
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug fährt zwischen zwei Fahrspurmarkierungen und führt derzeit keinen Fahrspurwechsel aus. Links neben dem Ego-Fahrzeug befindet sich in einem Abstand zwischen null und zwei Metern eine Fahrbahnmarkierung.
Erwartetes Resultat	Fahrspurmarkierung links des Ego-Fahrzeugs wurde erfolgreich erkannt.

ID	21
Testfall	Fahrspurmarkierung während des Fahrspurwechsels des Ego-Fahrzeugs erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fahrbahnmarkierung
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug fährt auf einer Fahrspurmarkierung, da es einen Fahrspurwechsel ausführt.
Erwartetes Resultat	Fahrspurmarkierung, die vom Ego-Fahrzeug überfahren wird, wurde erfolgreich erkannt.

ID	22
Testfall	Fahrspurmarkierung identifizieren
Anwendungsfall	umwelt::fahrbahnmarkierung
Beschreibung	Eine Fahrspurmarkierung wurde erkannt. Es soll ihre Art identifiziert werden.
Erwartetes Resultat	Die Art der Fahrspurmarkierung wird erfolgreich identifiziert und die Information dem System zur Verfügung gestellt.

ID	23
Testfall	Fremdfahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fremdfahrzeuge
Beschreibung	In der Reichweite der Frontsensorik befindet sich ein Fremdfahrzeug.
Erwartetes Resultat	Das Fremdfahrzeug vor dem Ego-Fahrzeug wurde erfolgreich erkannt.

ID	24
Testfall	Fremdfahrzeug hinter dem Ego-Fahrzeug erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fremdfahrzeuge
Beschreibung	In der Reichweite der Hecksensorik befindet sich ein Fremdfahrzeug.
Erwartetes Resultat	Das Fremdfahrzeug hinter dem Ego-Fahrzeug wurde erfolgreich erkannt.

ID	25
Testfall	Fremdfahrzeug rechts neben dem Ego-Fahrzeug erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fremdfahrzeuge
Beschreibung	In der Reichweite der rechtsseitigen Sensorik befindet sich ein Fremdfahrzeug.
Erwartetes Resultat	Das Fremdfahrzeug rechts neben dem Ego-Fahrzeug wurde erfolgreich erkannt.

ID	26
Testfall	Fremdfahrzeug links neben dem Ego-Fahrzeug erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fremdfahrzeuge
Beschreibung	In der Reichweite der linksseitigen Sensorik befindet sich ein Fremdfahrzeug.
Erwartetes Resultat	Das Fremdfahrzeug links neben dem Ego-Fahrzeug wurde erfolgreich erkannt.

ID	27
Testfall	Position eines Fremdfahrzeugs erkennen
Anwendungsfall	umwelt::fremdfahrzeuge
Beschreibung	Ein Fremdfahrzeug wurde erkannt. Das System berechnet mit Hilfe der Sensorik die Position (Fahrspur und Entfernung) und Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs.
Erwartetes Resultat	Das System hat Position und Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs korrekt berechnet und gespeichert, so dass im Folgenden auf diese Daten zurückgegriffen werden kann.

ID	28
Testfall	Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels berechnen (Resultat: Möglich)
Anwendungsfall	lca::wechselberechnen
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug befindet sich auf einem Fahrstreifen und es herrscht kein Überholverbot. Der Zielfahrstreifen ist neben dem Ego-Fahrzeug nicht durch Fremdfahrzeuge belegt. Auf dem Zielfahrstreifen nähert sich kein Fremdfahrzeug von hinten, welches so schnell ist, dass der Fahrstreifenwechsel den Sicherheitsabstand zu diesem Fremdfahrzeug verletzen und es zum Bremsen zwingen würde.
Erwartetes Resultat	Das System hat berechnet, dass ein gefahrloser Fahrspurwechsel möglich ist.

ID	29
Testfall	Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels berechnen (Resultat: Nicht möglich)
Anwendungsfall	lca::wechselberechnen
Beschreibung	<p>Für das Ego-Fahrzeug gilt mindestens eine der folgenden Bedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> • es herrscht Überholverbot • der Zielfahrstreifen ist neben dem Ego-Fahrzeug durch ein Fremdfahrzeug belegt • auf dem Zielfahrstreifen nähert sich ein Fremdfahrzeug von hinten, welches so schnell ist, dass der Fahrstreifenwechsel den Sicherheitsabstand zu diesem Fremdfahrzeug verletzen und es zum Bremsen zwingen würde
Erwartetes Resultat	Das System hat berechnet, dass ein Fahrspurwechsel nicht möglich ist.

ID	30
Testfall	Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels anzeigen
Anwendungsfall	lca::wechselanzeigen
Beschreibung	Das System hat berechnet, ob ein Fahrstreifenwechsel möglich ist.
Erwartetes Resultat	Das Resultat der Systemberechnung wurde korrekt vom entsprechenden Leuchtelement angezeigt.

ID	31
Testfall	Sicherheitsabstand regeln
Anwendungsfall	acc::sicherheitsabstand
Beschreibung	Vor dem Ego-Fahrzeug befindet sich auf der selben Fahrspur ein Fremdfahrzeug mit geringerer Geschwindigkeit als v_{ego} .
Erwartetes Resultat	Das Ego-Fahrzeug folgt mit einem, der Geschwindigkeit angemessenen, Sicherheitsabstand dem vorherfahrenden Fremdfahrzeug.

ID	32
Testfall	Sicherheitsabstand regeln (Bremsen)
Anwendungsfall	acc::sicherheitsabstand
Beschreibung	Vor dem Ego-Fahrzeug befindet sich ein Fremdfahrzeug mit gleicher oder höherer Geschwindigkeit, aber der Sicherheitsabstand ist nicht der aktuellen Geschwindigkeit angemessen (siehe 3.1.1.4).
Erwartetes Resultat	Das Ego-Fahrzeug folgt mit einem, der Geschwindigkeit angemessenen, Sicherheitsabstand dem vorherfahrenden Fremdfahrzeug.

ID	33
Testfall	Einstellen der individuellen Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente
Anwendungsfall	acc::geschwindigkeitswahl_einstellen
Beschreibung	Das Ego-Fahrzeug steht. Der Fahrer betätigt ein individuelles Geschwindigkeitswahl-Bedienelement für mehr als drei Sekunden und ändert die voreingestellte Geschwindigkeit mittels der „+/-“-Bedienelemente.
Erwartetes Resultat	Während der Einstellung blinkte die Kontrollleucht des Bedienelements grün. Das Bedienelement ist mit der neuen Geschwindigkeit verknüpft.

ID	34
Testfall	Sollgeschwindigkeit halten
Anwendungsfall	acc::sollgeschwindigkeit_halten
Beschreibung	Die Geschwindigkeit v_{ego} des Ego-Fahrzeugs unterscheidet sich um bis zu 5% von der vom System berechneten Sollgeschwindigkeit v_{soll} . v_{ego} wird mit einer Beschleunigung von bis zu $a_{acc,max}$ und mit Hilfe der Motorbremse beibehalten.
Erwartetes Resultat	Das System hat die Istgeschwindigkeit v_{ego} der Sollgeschwindigkeit v_{soll} angepasst und behält diese bei.

ID	35
Testfall	Wunschgeschwindigkeit manuell anpassen
Anwendungsfall	acc::wunschgeschwindigkeit
Beschreibung	Bei aktiviertem ACC betätigt der Fahrer eines der „+/-“-Bedienelemente.
Erwartetes Resultat	Die Wunschgeschwindigkeit wurde entsprechend des verwendeten Bedienelements um $v_{acc,schrittweite}$ erhöht bzw. verringert.

5.2. Testszenarien

Ziel der einzelnen Testszenarien ist es, jeweils möglichst viele Anwendungsfälle abzudecken. Voraussetzungen sind wiederum die fehlerfreie Funktionsweise des Systems und die in Spalte *Beschreibung* erläuterten Vorgaben und Einschränkungen. Das erwartete Ergebnis der Testszenarien wird in der Spalte *Erwartetes Resultat* beschrieben.

ID	1
Testszenario	Fremdfahrzeuge erkennen
Enthaltene Testfälle	23, 24, 25, 26, 27
Beschreibung	Das LCA und das ACC sind deaktiviert. Der Fahrer fährt auf dem Beschleunigungstreifen und neben dem Ego-Fahrzeug fährt ein Fremdfahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen. Dieses Fremdfahrzeug dringt von der linken Seite in den Sensorbereich des Ego-Fahrzeugs ein. Nachdem der Fahrer den Einfädeltvorgang abgeschlossen hat, fährt er auf dem rechten Fahrstreifen weiter. In einer Entfernung von 500 m befindet sich ein Fremdfahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen. Das Ego-Fahrzeug fährt mit einer höheren Geschwindigkeit als das Fremdfahrzeug, welches sich somit nähert und von vorne in den Sensorbereich des Ego-Fahrzeugs eindringt. Nachdem der Fahrer das Fremdfahrzeug überholt hat, fährt er auf dem rechten Fahrstreifen auf Höhe des Beschleunigungstreifens. In diesem Moment fährt ein Fremdfahrzeug auf den Beschleunigungstreifen und dringt somit von rechts in den Sensorbereich des Ego-Fahrzeugs ein. Der Fahrer setzt die Fahrt auf dem rechten Fahrstreifen fort. In einer Entfernung von 500 m fährt hinter dem Ego-Fahrzeug auf dem linken Fahrstreifen ein Fremdfahrzeug mit einer höheren Geschwindigkeit als der des Ego-Fahrzeugs. Das Fremdfahrzeug nähert sich und dringt somit von hinten in den Sensorbereich des Ego-Fahrzeugs ein.
Erwartetes Resultat	Alle Fremdfahrzeuge wurden erfolgreich erkannt und deren Position und Geschwindigkeit berechnet.

ID	2
Testszenario	Erfolgreicher Fahrspurwechsel
Enthaltene Testfälle	2, 3, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30
Beschreibung	Das ACC ist deaktiviert. Das LCA ist deaktiviert. Der Fahrer fährt auf dem rechten Fahrstreifen. In einer Entfernung von 500 m befindet sich ein Fremdfahrzeug auf dem rechten Fahrstreifen. Das Ego-Fahrzeug hat eine höhere Geschwindigkeit als das Fremdfahrzeug und nähert sich somit dem Fremdfahrzeug. Der Fahrer hat die Absicht, das vorausfahrende Fremdfahrzeug zu überholen und aktiviert das LCA. Nachdem der Fahrer durch das LCA über die Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels informiert wurde, wechselt dieser auf den linken Fahrstreifen und überholt das Fremdfahrzeug. Der Fahrer plant auf den rechten Fahrstreifen zurückzuwechseln und fährt, nachdem das LCA ihn wiederum über die Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels informiert hat, zurück auf den rechten Fahrstreifen. Der Überholvorgang ist somit abgeschlossen und der Fahrer deaktiviert das LCA.
Erwartetes Resultat	Das LCA ist aktivierbar. Es hat den Fahrer nach Auswertung der Sensordaten via Anzeige über die Möglichkeit eines Fahrstreifenwechsels informiert. Das LCA ist deaktivierbar.

ID	3
Testszenario	Nicht erfolgreicher Fahrspurwechsel
Enthaltene Testfälle	1, 2, 4, 19, 20, 22, 23, 24, 27, 29, 30
Beschreibung	Das ACC ist deaktiviert. Das LCA ist deaktiviert und der Fahrer des Ego-Fahrzeugs fährt mit einer Geschwindigkeit $v_{ego} < v_{lca,min}$ auf dem rechten Fahrstreifen. In einer Entfernung von 250 m vor dem Ego-Fahrzeug fährt ein Fremdfahrzeug mit der selben Geschwindigkeit auf dem rechten Fahrstreifen. Von hinten nähert sich auf der rechten Fahrspur ein weiteres Fremdfahrzeug. Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs versucht das LCA zu aktivieren und beschleunigt anschliessend auf eine Geschwindigkeit $v_{ego} \geq v_{lca,min}$ und versucht erneut das LCA zu aktivieren. Das hintere Fremdfahrzeug nähert sich bis auf den Sicherheitsabstand, wechselt anschliessend auf den linken Fahrstreifen und fährt neben das Ego-Fahrzeug. Das Ego-Fahrzeug nähert sich dem vor dem Ego-Fahrzeug fahrendem Fremdfahrzeug bis auf den Sicherheitsabstand und gleicht die Geschwindigkeit an die Geschwindigkeit des vor dem Ego-Fahrzeug fahrenden Fremdfahrzeug an. Das Ego-Fahrzeug verringert seine Geschwindigkeit bis $v_{ego} < v_{lca,min}$ erfüllt ist.
Erwartetes Resultat	Der erste Versuch das LCA zu aktivieren ist fehlgeschlagen und die Kontrollleuchte am Bedienelement hat dreimal rot aufgeblinkt. Der zweite Versuch bei einer Geschwindigkeit $v_{ego} \geq v_{lca,min}$ hat das LCA aktiviert. Das Leuchtelement am linken Außenspiegel leuchtet rot. Als das Ego-Fahrzeug die Geschwindigkeit auf eine Geschwindigkeit $v_{ego} < v_{lca,min}$ gesenkt hat, hat sich das LCA deaktiviert. Die Leuchtelemente an den Außenspiegeln sind deaktiviert und die Kontrollleuchte des LCA ist erloschen.

ID	4
Testszenario	Verkehrsschilder erkennen
Enthaltene Testfälle	13, 14, 15, 16, 17, 18
Beschreibung	<p>Der Fahrer fährt auf der Autobahn, abwechselnd auf der linken und der rechten Fahrspur. Das LCA sowie das ACC sind deaktiviert. Es befinden sich am linken und rechten Rand der Fahrbahn Geschwindigkeitsbegrenzungen, die jeweils auf beiden Seiten identisch sind. Zunächst herrscht keine Geschwindigkeitsbegrenzung, worauf eine Beschränkung auf 120 km/h folgt. Nach 200 m folgt eine Begrenzung auf 100 km/h und nach weiteren 200 m wird die Geschwindigkeit auf 80 km/h herunter gesetzt. Nach 400 m folgt ein Verkehrszeichen zur Aufhebung der letzten Geschwindigkeitsbegrenzung. 500 m nach diesem Schild folgen die Schilder zur Begrenzung der Geschwindigkeit auf 90 km/h sowie direkt danach ein Überholverbotsschild, wobei das Überholverbotsschild nach 500 m wieder aufgehoben wird. Anschließend steht an beiden Straßenrändern ein Überholverbotsschild für LKW, welches in diesem Dokument nicht genauer spezifiziert wird. Die noch herrschende Geschwindigkeitsbegrenzung wird nach weiteren 500 m mit dem Schild zum Aufheben aller Streckenverbote aufgehoben. Anschließend folgen über der Fahrbahn zwei Geschwindigkeitsbegrenzungen. Für die linke Fahrspur wird eine Begrenzung von 130 km/h festgelegt und für die rechte Fahrspur eine Begrenzung von 110 km/h.</p>
Erwartetes Resultat	<p>Alle Geschwindigkeitsbeschränkungen wurden erfolgreich erkannt und interpretiert. Ebenso wurde das Überholverbot für PKW korrekt interpretiert, während das Überholverbot für LKW ignoriert wurde. Die Geschwindigkeitsbegrenzungen über den Fahrspuren wurden korrekt der richtigen Fahrspur zugeordnet.</p>

ID	5
Testszenario	Sollgeschwindigkeit aufbauen, Sicherheitsabstand halten
Enthaltene Testfälle	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 23, 27, 31, 34
Beschreibung	<p>Der Fahrer aktiviert das ACC bei einer Geschwindigkeit von 20 km/h mit einem beliebigen Bedienelement zur Geschwindigkeitswahl. Als nächstes aktiviert der Fahrer bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h das ACC, indem er das Bedienelement für 120 km/h Wunschgeschwindigkeit betätigt. Nachdem die Wunschgeschwindigkeit erreicht wurde, wechselt der Fahrer, mit dem entsprechenden Bedienelement, die Wunschgeschwindigkeit auf 140 km/h. Nachdem die neue Wunschgeschwindigkeit erreicht wurde, nähert sich das Ego-Fahrzeug mit Wunschgeschwindigkeit einem vorausfahrenden Fremdfahrzeug, das die gleiche Fahrspur mit 100 km/h befährt. Das Ego-Fahrzeug folgt dem vorausfahrenden Fremdfahrzeug für 1 Minute, danach verringert das Fremdfahrzeug seine Geschwindigkeit auf 90 km/h. Nachdem das Ego-Fahrzeug dem vorausfahrenden Fremdfahrzeug erneut für 1 Minute gefolgt ist, beschleunigt dies auf eine Geschwindigkeit von 110 km/h. Nachdem das Ego-Fahrzeug dem Fremdfahrzeug für 1 Minute mit 110 km/h gefolgt ist, bremst der Fahrer auf 80 km/h ab. Nach 2 Minuten aktiviert der Fahrer erneut das ACC, indem er das Bedienelement für 160 km/h Wunschgeschwindigkeit betätigt. Zu dem Zeitpunkt als das Ego-Fahrzeug 160 km/h erreicht hat, befindet sich in 1000 m Entfernung ein Fremdfahrzeug auf derselben Fahrspur mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h. Das Ego-Fahrzeug nähert sich dem vorausfahrenden Fremdfahrzeug und passt v_{ego} der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fremdfahrzeugs an. Der Fahrer folgt dem Fremdfahrzeug 1 Minute und betätigt dann das Bedienelement für 160 km/h Wunschgeschwindigkeit.</p>

Erwartetes Resultat	<p>Das ACC ließ sich zunächst nicht aktivieren, da die Istgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs unter dem Schwellwert für die Aktivierung des ACC lag. Bei 80 km/h wurde das ACC entsprechend dem Fahrerwunsch aktiviert und auf die gewählte Wunschgeschwindigkeit eingestellt. Die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs wurde zunächst an die Wunschgeschwindigkeit angepasst. Nach dem Wechsel der Wunschgeschwindigkeit wurde die Istgeschwindigkeit erneut angepasst. Nachdem sich das Ego-Fahrzeug an das vorausfahrende Fremdfahrzeug annähert, wird die Geschwindigkeit dem vorausfahrenden Fremdfahrzeug angepasst und unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstands gehalten, auch nachdem das Fremdfahrzeug seine Geschwindigkeit zunächst verringert und später erhöht. Nachdem der Fahrer das Ego-Fahrzeug manuell abgebremst hat, ist das ACC wieder deaktiviert. Das ACC wurde durch das Betätigen des Geschwindigkeitswahlbedienelements wieder aktiviert. Das ACC hat beim Erkennen des vorausfahrenden Fremdfahrzeugs festgestellt, dass eine größere Verzögerung benötigt wird als $a_{acc,min}$ und hat unter Verwendung einer negativen Beschleunigung von bis zu $a_{acc,mnb}$ die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs verringert und dabei den Sicherheitsabstand eingehalten. Der Fahrer wurde für den Zeitraum, in dem die Verzögerung den Komfortbereich überschritt, durch ein akustischen Signal gewarnt. Nach Betätigen des Bedienelements für 160 km/h Wunschgeschwindigkeit wurde das ACC wieder deaktiviert.</p>
----------------------------	--

ID	6
Testszenario	Erfolgreicher Fahrspurwechsel mit aktiviertem LCA und ACC
Enthaltene Testfälle	2, 10, 11, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34
Beschreibung	<p>Das Ego-Fahrzeug fährt mit aktiviertem ACC auf der rechten Fahrspur mit der Sollgeschwindigkeit v_{soll}. Auf der Fahrbahn befindet sich lediglich ein einziges Fremdfahrzeug, das vor dem Ego-Fahrzeug fährt. Da die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs v_{ego} höher ist als die Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs, nähert sich das Ego-Fahrzeug dem vorausfahrenden Fremdfahrzeug bis auf den Sicherheitsabstand. Um das Fremdzeug zu überholen, aktiviert der Fahrer zusätzlich zum ACC das LCA. Das LCA teilt dem Fahrer daraufhin mit, dass ein Fahrspurwechsel möglich ist. Daraufhin wechselt der Fahrer mit dem Ego-Fahrzeug auf die linke Fahrspur, wobei die Sollgeschwindigkeit beibehalten wird. Nachdem der Fahrer das Fremdfahrzeug überholt hat, zeigt das LCA an, dass er wieder auf die rechte Fahrspur wechseln kann. Nach dem erfolgten Wechsel zurück auf die rechte Fahrspur ist der Überholvorgang abgeschlossen und der Fahrer deaktiviert das LCA wieder. Das ACC ist während des gesamten Vorgangs aktiviert.</p>
Erwartetes Resultat	<p>Das LCA und das ACC sind gleichzeitig aktiviert. Zu Beginn des Überholvorgangs leuchtet das Leuchtelement am linken Außenspiegel des LCA grün, um anzuzeigen, dass der Fahrspurwechsel möglich ist. Während sich die Fahrzeuge nebeneinander befinden, leuchtet das Leuchtelement am rechten Außenspiegel rot, um anzuzeigen, dass der Fahrspurwechsel in diesem Moment nicht möglich ist und sobald das Ego-Fahrzeug am Fremdfahrzeug vorbeigefahren ist und erneut den benötigten Sicherheitsabstand erreicht hat, leuchtet das Leuchtelement am rechten Außenspiegel grün, um anzuzeigen, dass ein Fahrspurwechsel nun wieder möglich ist. Nach Abschluss des Überholvorgangs kann das LCA deaktiviert werden. Das ACC bleibt während des gesamten Vorgangs aktiv. Es behält die Sollgeschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs bei und verletzt den Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fremdfahrzeug nicht.</p>

ID	7
Testszzenario	Das Zusammenspiel von LCA und Schilderkennung, ACC und Schilderkennung sowie LCA und Linienerkennung.
Enthaltene Testfälle	2, 3, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33, 34
Beschreibung	<p>Das Ego-Fahrzeug fährt mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h auf der Auffahrt der Autobahn. Das ACC und LCA sind deaktiviert. Der Fahrer des Ego-Fahrzeugs aktiviert das ACC mit einer Wunschgeschwindigkeit von 150 km/h und ebenfalls das LCA. Auf der rechten Fahrspur befindet sich ein Fremdfahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 110 km/h in einer Entfernung von 100 m vor dem Ego-Fahrzeug. Das Ego-Fahrzeug fährt bis zum Ende des Beschleunigungsstreifens und wechselt auf die rechte Fahrspur. Nach 200 m Fahrt auf der rechten Fahrspur steht am Fahrbahnrand ein Überholverbotsschild, das nach 1500 m wieder aufgehoben wird. 200 m nach dem Ende des Überholverbots wechselt der Fahrer mit dem Ego-Fahrzeug auf die linke Fahrspur und überholt das Fremdfahrzeug. Nach 1500 m weiterer Fahrt steht am Fahrbahnrand eine Geschwindigkeitsbegrenzung auf 120 km/h. Nach 300 m folgt eine weitere Geschwindigkeitsbegrenzung am Fahrbahnrand auf 100 km/h und 200 m danach eine Begrenzung am Fahrbahnrand auf 80 km/h. Nach 400 m steht erneut am Fahrbahnrand eine Begrenzung auf 120 km/h. Nachdem der Fahrer dieses passiert hat, betätigt dieser zweimal das „+“-Bedienelement des ACC. In einem Abstand von 200 m nach dem letzten Schild, folgt ein Verkehrszeichen zur Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung.</p>

Erwartetes Resultat	<p>Das LCA und das ACC sind gleichzeitig aktiviert. Die Verkehrsschilder für Überholverbote und Geschwindigkeitsbegrenzungen, sowie deren Aufhebungen werden erfolgreich erkannt und interpretiert. Ebenso wird das Fremdfahrzeug erfolgreich erkannt. Nach Aktivierung des LCA leuchtet das Leuchtelement des LCA an beiden Außenspiegeln rot. Sobald sich das Ego-Fahrzeug auf Höhe der Auffahrtslinie befindet, leuchtet das Leuchtelement des LCA am linken Außenspiegel grün. Bis zur Einfahrt des Ego-Fahrzeugs in die Überholverbotszone leuchtet das Leuchtelement am linken Außenspiegel grün und das Leuchtelement am rechten Außenspiegel rot. Innerhalb der Überholverbotszone leuchten beide Leuchtelemente rot und nach Aufhebung des Überholverbotes leuchtet das linke Leuchtelement wieder grün. Während des Überholvorgangs leuchten beide Leuchtelemente des LCA rot, bis das Ego-Fahrzeug an dem Fremdfahrzeug vorbeigefahren ist und den nötigen Sicherheitsabstand erreicht hat. Anschließend leuchtet das rechte Leuchtelement grün. Das ACC bleibt während des gesamten Vorgangs aktiviert und regelt durchgehend die Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs. Dabei richtet sich das System nach der eingestellten Wunschgeschwindigkeit des Fahrers oder nach der aktuell erlaubten Höchstgeschwindigkeit, falls diese geringer ist, oder nach der Geschwindigkeit des vorausfahrenden, langsameren Fremdfahrzeugs auf der eigenen Fahrspur, zur Einhaltung des Sicherheitsabstandes. Bei zweimaliger Betätigung des „+“-Bedienelementes wird die ursprünglich gewählte Sollgeschwindigkeit zweimal um 5 km/h erhöht auf 160 km/h. Nach Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung wird auf diese Geschwindigkeit von 160 km/h beschleunigt.</p>
----------------------------	--

Die folgende Matrix veranschaulicht, welche Testfälle von welchem Testszenario abgedeckt werden. Die Spalten geben dabei die Testszenarien und die Zeilen die Testfälle an.

Testfall \ Testszenario	1	2	3	4	5	6	7
1			X				
2		X	X			X	X
3		X					X
4			X				
5					X		
6					X		
7					X		
8					X		
9					X		
10					X	X	X
11					X	X	X
12					X		
13				X			X
14				X			X
15				X			X
16				X			X
17				X			X
18				X			X
19		X	X			X	X
20		X	X			X	X
21		X				X	X
22		X	X			X	X
23	X	X	X		X	X	X
24	X	X	X			X	X
25	X	X				X	X
26	X	X				X	X
27	X	X	X		X	X	X
28		X				X	X
29			X			X	X
30		X	X			X	X
31					X	X	X
32						X	
33							
34					X	X	X
35							X

A. Konstanten

Dieser Abschnitt enthält eine Übersicht über die im Dokument verwendeten Konstanten.

Konstante	Beschreibung	Wert
$a_{acc,max}$	Maximale Beschleunigung des ACC innerhalb des Komfortbereichs	$2,5 \frac{m}{s^2}$
$a_{acc,mnb}$	Maximale, negative Beschleunigung des ACC ausserhalb des Komfortbereichs	$5 \frac{m}{s^2}$
a_{acc,max_lat}	Maximale laterale Beschleunigung des ACC	$2,0 \frac{m}{s^2}$
$a_{acc,min}$	Minimale Beschleunigung des ACC	$-3,5 \frac{m}{s^2}$
$d_{linie_fb,fahrbahn}$	Abstand der Fahrbahnbegrenzungslinie vom Fahrbahnrand	$0,45m$
$d_{schild,linie_fb}$	Abstand der Schilder über der Fahrbahn von der Fahrbahnbegrenzungslinie	$1,875m$
$d_{schild,seite}$	Abstand der seitlichen Schilder vom Fahrbahnrand	$1,5m$
$d_{seite,min}$	Minimaler, seitlicher Abstand zwischen Fahrzeugen	$1,0m$
$j_{acc,max}$	Maximaler Ruck des ACC	$3,5 \frac{m}{s^3}$
$j_{acc,min}$	Minimaler Ruck des ACC	$-2,5 \frac{m}{s^3}$
r_{min}	Minimaler Kurvenradius	$900m$
$s_{hinten,max}$	Maximale Reichweite der Abstandssensorik nach hinten	$120m$
$s_{hinten,min}$	Minimale Reichweite der Abstandssensorik nach hinten	$15m$
$s_{lim,max}$	Maximale Reichweite der Sensorik zur Verkehrsschilderkennung	$200m$
$s_{lim,seite}$	Maximale Reichweite der Sensorik zur Verkehrsschilderkennung zur Seite	$32m$
$s_{seite,max}$	Maximale Reichweite der Abstandssensorik zur Seite	$5,8m$
$s_{seite,min}$	Minimale Reichweite der Abstandssensorik zur Seite	$1,0m$
$s_{spur,max}$	Maximale Reichweite der Sensorik zur Fahrspurerkennung nach vorne	$200m$
$s_{spur,seite}$	Maximale Reichweite der Sensorik zur Fahrspurerkennung zur Seite	$30m$
$s_{vorne,max}$	Maximale Reichweite der Abstandssensorik nach vorne	$200m$
$s_{vorne,min}$	Minimale Reichweite der Abstandssensorik nach vorne	$15m$
t_{reakt}	Obere Schranke für Reaktionszeit des Systems auf Sensordaten	$0,5s$
t_{luecke}	Einzuhaltende Zeitlücke zwischen zwei Fahrzeugen (Zwei-Sekunden-Abstand)	$2s$
v_{acc,max_kurve}	Maximale Geschwindigkeit des ACC in Kurven	$152,74 \frac{km}{h}$
$v_{acc,min}$	Minimale Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs (ACC)	$30 \frac{km}{h}$
$v_{acc,schrittweite}$	Schrittweite der Einstellungen beim Programmieren der individuellen Geschwindigkeitswahl-Bedienelemente	$5 \frac{km}{h}$
$v_{ego,max}$	Maximale Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs	$160 \frac{km}{h}$
$v_{fremd,max}$	Maximale Geschwindigkeit von Fremdfahrzeugen	$200 \frac{km}{h}$
$v_{fremd,min}$	Minimale Geschwindigkeit von Fremdfahrzeugen	$30 \frac{km}{h}$
$v_{lca,min}$	Minimale Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs (LCA)	$60 \frac{km}{h}$
v_{lim,min_init}	Minimale, initiale Geschwindigkeitsbegrenzung	$120 \frac{km}{h}$
$w_{fahrbahn,max}$	Maximale Breite der Fahrbahn (incl. Beschleunigungsstreifen)	$13,05m$
w_{ego}	Breite des Ego-Fahrzeugs	$2m$
w_{linie_aa}	Breite der Auf- und Abfahrtslinie	$0,3m$
w_{linie_fb}	Breite der Fahrbahnbegrenzungslinie	$0,3m$
w_{linie_l}	Breite der Leitlinie	$0,15m$
w_{schild}	Höhe und Breite der Verkehrsschilder	$0,9m$
w_{spur}	Breite einer Fahrspur	$3,75m$

B. Glossar

Abfahrtsbegrenzungslinie

Linke oder rechte, breite, durchgezogene Markierung der Abfahrt. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Abfahrtslinie

Breite, unterbrochene Markierung zwischen rechter Fahrspur und Verzögerungstreifen. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

ACC

Adaptive Cruise Control. Auch: Abstandsregeltempomat, Distronic (Mercedes-Benz). Bietet die Funktionalität eines gewöhnlichen Tempomats und hält zusätzlich den Sicherheitsabstand zum Vorderfahrzeug ein.

Auffahrtsbegrenzungslinie

Linke oder rechte, breite, durchgezogene Markierung der Auffahrt. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Auffahrtslinie

Breite, unterbrochene Markierung zwischen rechter Fahrspur und Beschleunigungstreifen. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Beschleunigungstreifen

Auch: Beschleunigungsspur. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

CAN

Controller Area Network, ein asynchrones, serielles Bussystem, das häufig im Automobilbereich zur Vernetzung von Steuergeräten eingesetzt wird.

Ego-Fahrzeug

Bezeichnet das Fahrzeug, in dem sich das Fahrerassistenzsystem befindet bzw. das Fahrzeug, das vom Benutzer gesteuert wird. Gegensatz: Fremdfahrzeug.

Fahrbahn

Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Fahrbahnbegrenzungslinie

Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Fahrer

Als Fahrer wird im Allgemeinen die Person bezeichnet, die ein Fahrzeug führt. Innerhalb dieses Dokuments bezieht sich die Bezeichnung Fahrer jedoch im Speziellen auf die Person, die das Ego-Fahrzeugs führt.

Fahrerassistenzsystem

Ein Fahrerassistenzsystem ist eine elektronische Zusatzkomponente in einem modernen Fahrzeug (hier im speziellen in einem PKW), die den Fahrer in bestimmten Situationen unterstützt. Die Unterstützung zielt hauptsächlich auf einen Zugewinn an Sicherheit und Fahrkomfort.

Fahrphysik

Als Fahrphysik, oder auch Fahrdynamik, werden die Einflüsse von statischer und dynamischer Natur bezeichnet, die während des Fahrens auf ein Fahrzeug und seine Komponenten wirken.

Fahrspurmarkierung

Als Fahrspurmarkierung werden die beiden Linien bezeichnet, welche eine Fahrspur nach links und rechts begrenzen. Sowohl Fahrbahnbegrenzungslinie, Mittellinie als auch Auf-/Abfahrtslinie (siehe Abbildung B.1 oder B.2) kommen als Fahrspurmarkierung in Frage, je nachdem auf welcher Fahrspur sich das Fahrzeug gerade befindet und ob es im Bereich einer Auf/Abfahrt ist.

FPGA

Field Programmable Gate Array. Ein FPGA ist ein reprogrammierbarer Logikbaustein, in dem sich digitale Schaltungen realisieren lassen. Bei FPGAs wird die Funktionalität, im Gegensatz zu anderen programmierbaren Logikbausteinen, hauptsächlich durch das Verbinden von Basisblöcken erreicht.

Fremdfahrzeug

Ein Fremdfahrzeug ist ein weiterer PKW, LKW oder ein Motorrad auf der Autobahn, dass nicht dem Ego-Fahrzeug entspricht, also von der Simulationsumgebung gesteuert wird. Gegensatz: Ego-Fahrzeug.

Geisterfahrer

Als Geisterfahrer bzw. Falschfahrer wird im Straßenverkehr einen Fahrer bezeichnet, der eine Autobahn oder sonstige Straße mit getrennten Richtungsfahrbahnen entgegen der vorgeschriebenen Fahrtrichtung befährt.

hinter

Siehe Abbildung B.3.

Istgeschwindigkeit

Geschwindigkeit, die das Ego-Fahrzeug momentan hat.

Komfortbereich

Der Komfortbereich bezieht sich auf die maximale Beschleunigung $a_{acc,max}$ und die maximale Verzögerung $a_{acc,min}$ sowie auf die maximale Änderung der Beschleunigung bzw. Verzögerung $j_{acc,max}$, die das ACC hervorrufen darf (siehe Abschnitt A). Durch die getroffene Einschränkungen für diese Werte soll sichergestellt werden, dass der Eingriff des ACC in die Fahrdynamik von den Fahrzeuginsassen nicht als unangenehm oder gar störend empfunden wird.

LCA

Lane Change Assistant. Auch: Fahrspurwechselassistent, SideAssist (Audi, VW). Warnt bei einem Überholmanöver vor herrannahenden oder im toten Winkel befindlichen Fremdfahrzeugen.

Leitlinie

Auch: Mittellinie. Trennlinie zwischen der linken und der rechten Fahrspur. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

Linienführung

Verlauf einer Straße durch die Landschaft. Von konkreten Maßen der Straße wird abstrahiert.

neben

Siehe Abbildung B.3.

Sicherheitsabstand

Sicherheitsabstand bezeichnet im Straßenverkehr den Abstand, den Verkehrsteilnehmer seitlich und nach vorne zu anderen Verkehrsteilnehmern einhalten sollten um Gefahrensituationen zu vermeiden. Der Sicherheitsabstand nach vorne zum Beispiel, muss so groß sein, dass bei einem plötzlichen Abbremsen des Vorderfahrzeugs noch ein rechtzeitiges Bremsen des eigenen Fahrzeugs möglich ist, ohne dass es zu einem Auffahren kommt.

SILAB

Simulation Laboratory. Ein Fahrsimulationssystem vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften.

Standstreifen

Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

StVO

Straßenverkehrs-Ordnung, eine Rechtsverordnung in der Bundesrepublik Deutschland, die Regeln für sämtliche Teilnehmer am Straßenverkehr festlegt.

Verzögerungstreifen

Auch: Verzögerungsspur. Siehe Abbildung B.1 oder B.2.

ViDAs

Virtual Driver Assistant

vor

Siehe Abbildung B.3.

Wunschgeschwindigkeit

Geschwindigkeit, die der Fahrer mit dem Ego-Fahrzeug fahren möchte.

Zwei-Sekunden-Abstand

Der Zwei-Sekunden-Abstand bezeichnet den notwendigen Sicherheitsabstand zwischen zwei Fahrzeugen. Der Abstand in Metern ist von der Geschwindigkeit des Ego-Fahrzeugs abhängig und berechnet sich wie folgt:

Zwei-Sekunden-Abstand = Momentangeschwindigkeit $\cdot t_{luecke}$

Abbildungen zu Begriffskonventionen

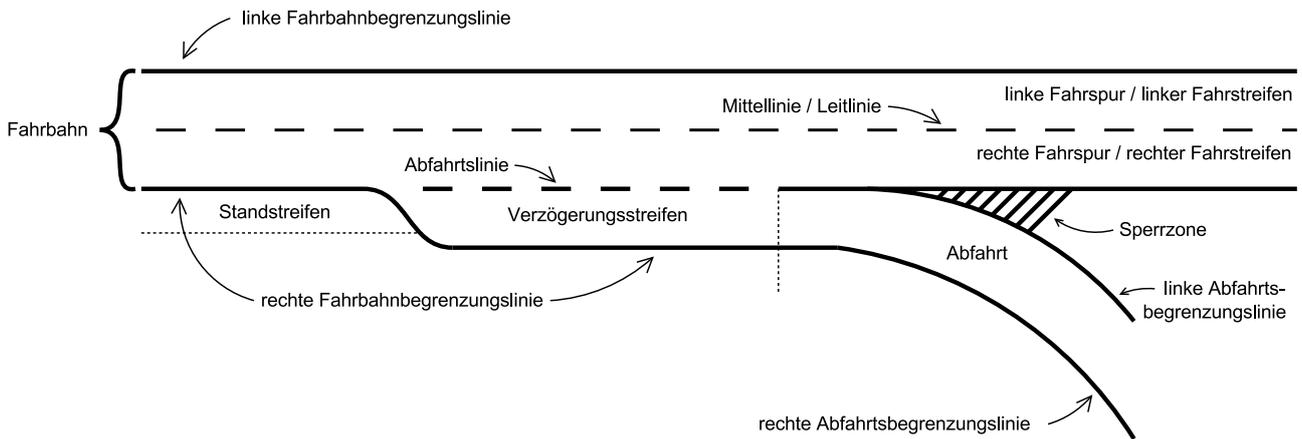


Abbildung B.1.: Begriffskonvention: Autobahn mit Abfahrt

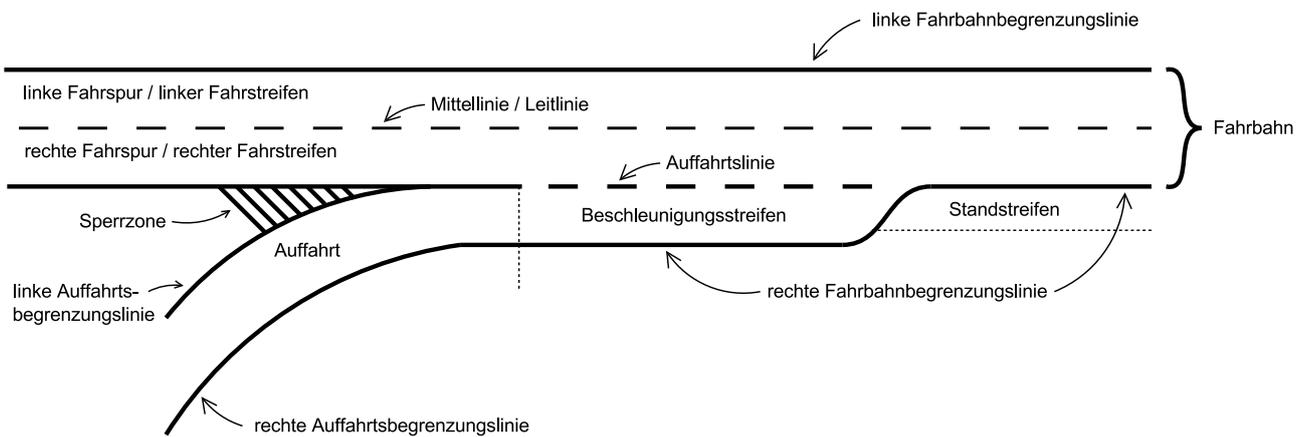


Abbildung B.2.: Begriffskonvention: Autobahn mit Auffahrt

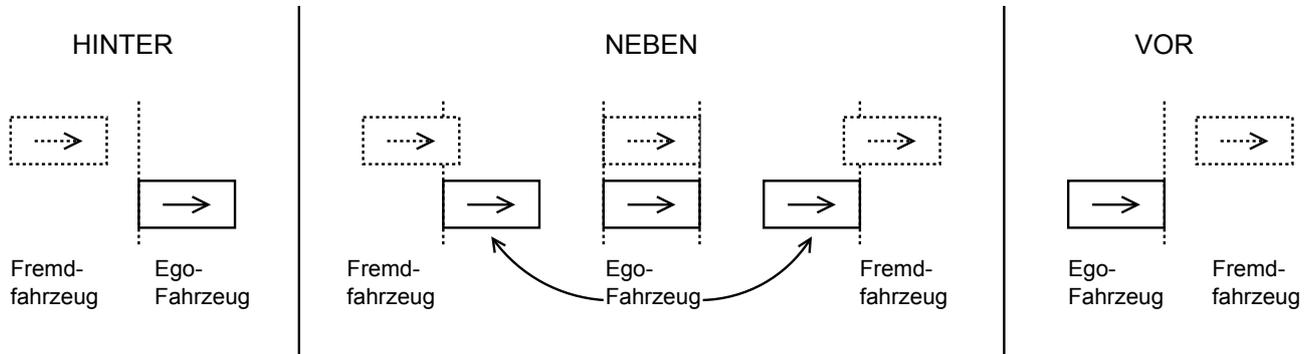


Abbildung B.3.: Begriffskonvention: hinter, neben, vor

C. Literaturverzeichnis

- [ANS] ANSI American National Standards Institute: *ISO 15622 Transport information and control systems - Adaptive Cruise Control Systems - Performance requirements and test procedures*. 2002
- [For08] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf: *Richtlinien für die Anlage von Autobahnen*. Ausgabe 2008. Juni 2008
- [Gie90] GIESA, Siegfried: *Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen*. 8. Auflage. Kirschbaum Verlag, 1990
- [Gie02] GIESA, Siegfried: *Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen*. 12. Auflage. Kirschbaum Verlag, 2002
- [WHW09] WINNER, Hermann ; HAKULI, Stephan ; WOLF, Gabriele: *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*. Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden <http://ebooks.ub.uni-muenchen.de/17963/>