



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Seminararbeit**

Andreas Pröhl

Entscheidungsstrategien und Steuerungskonzepte eines  
Kollisionsvermeidungssystems

*Studiendepartment Informatik*

*Betreuer: Prof. Dr. -Ing. Bernd Schwarz  
Abgegeben am 21. Dezember 2005*

**Andreas Pröhl**

## **Thema der Seminararbeit**

Entscheidungsstrategien und Steuerungskonzepte eines Kollisionsvermeidungssystems

## **Stichworte**

Fahrerassistenzsystem, Kollisionsvermeidungssystem, Steuerungskonzepte, kinematisches Fahrzeugmodell, virtuelle Deichsel, Entscheidungsautomat

## **Kurzzusammenfassung**

Die Seminararbeit gibt einen kurzen Überblick zu verschiedenen Arten von Fahrerassistenzsystemen. Des Weiteren wird auf Forschungsaktivitäten im Bereich Fahrerassistenz und „Autonomes Fahren“ eingegangen. Eine Übersicht eines generellen Konzepts der Systemstruktur eines Fahrerassistenzsystems ist enthalten. Es wird ein Kollisionsvermeidungssystem als konkretes Beispiel für ein Assistenzsystem vorgestellt. Die verschiedenen Ebenen der Systemstruktur werden erklärt und mit dem generellen Konzept in Beziehung gesetzt. Im Speziellen zeigt die Arbeit eine Strategie auf, mit der eine Manöverauswahl in einer Gefahrensituation getroffen werden kann. Dazu wird ein ereignisgesteuerter Entscheidungsautomat zur Umsetzung der Strategie erläutert. Die Arbeitsweise dieses Automaten wird an verschiedenen Gefahrensituationen verdeutlicht. Ein Konzept zur Ausführung eines Ausweichmanövers ist außerdem in der Arbeit dokumentiert. Hierzu wird mit einer „virtuellen Deichsel“ eine Möglichkeit gezeigt, den Lenkwinkel ausschließlich aufgrund von Abstandsmessung zum Hindernis zu bestimmen. Ein kinematisches Einspurfahrzeugmodell wird erläutert, um anschließend einen simulierten Ausweichvorgang, auf Basis des Deichselmodells, zu dokumentieren.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	II
1. Einleitung .....	1
2. Klassifizierung von Assistenzsystemen .....	2
2.1. Informierende Systeme .....	2
2.2. Fahrdynamik - Regelsysteme .....	2
2.3. Komfortsysteme .....	2
2.4. Forschungsaktivitäten .....	3
3. Konkretes Kollisionsvermeidungssystem .....	3
3.1. Prinzipielle Struktur eines Fahrerassistenzsystems .....	3
3.2. Systemstruktur .....	4
3.2.1. Situationserfassung .....	4
3.2.2. Situationsanalyse .....	5
3.2.3. Strategie zur Auswahl eines Kollisionsvermeidungsmanövers .....	5
3.2.4. Ansatz zum Ausführen eines Ausweichmanövers .....	7
3.2.4.1. Kinematisches Einspurfahrzeugmodell .....	8
3.2.4.2. Simulation des Ausweichmanövers .....	10
4. Ausblick .....	10
5. Anhang .....	11
6. Literaturverzeichnis .....	17

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unfallstatistik 1947 – 1998 [2].....	1
Abbildung 2: Systemstruktur eines Kollisionsvermeidungssystems [4].....	4
Abbildung 3: Beispiele für Gefahrensituation 1 (links) und 2 (rechts).....	5
Abbildung 4: Sequenzdiagramm Gefahrensituation 1 .....	6
Abbildung 5: Ansatz „virtuelle Deichsel“ vor Manöverstart .....	7
Abbildung 6: Ansatz "virtuelle Deichsel" nach Manöverstart .....	8
Abbildung 7: Kinematisches Fahrzeugmodell .....	9
Abbildung 8: Simulationsergebnisse .....	10

## 1. Einleitung

Der Masterstudiengang Informatik an der HAW Hamburg hat sich als Schwerpunkt das Thema „verteilte Systeme“ gesetzt. Um sich in einem praxisrelevanten Umfeld mit diesem Thema auseinandersetzen zu können, steht ein elektrisch gelenktes und angetriebenes Laborfahrzeug zur Verfügung, welches im Rahmen eines Projektkurses von einem entfernten Leitstand gesteuert werden soll.

Laut Definition aus [14], ist ein verteiltes System eine Menge voneinander unabhängiger Computer, die dem Benutzer wie ein einzelnes kohärentes System erscheinen.

Auch dieses Laborfahrzeug besteht aus mehreren Rechnern. Die Leitstandssoftware läuft auf einem Windows PC und sendet die Fahrbefehle über WLAN an einen Kommunikationsrechner, welcher über den CAN-Bus mit einem Koordinierungsrechner kommuniziert. Von diesem Rechner mit QNX-Echtzeitbetriebssystem werden die Geschwindigkeits- und Lenkvorgaben in CAN Nachrichten umgesetzt, die dann von ARM Mikrocontrollern zur Regelung der Lenk- und Antriebsmotoren verarbeitet werden.

Als nächster Entwicklungsschritt für dieses Fahrzeug ist ein Fahrerassistenzsystem geplant, welches den Leitstandsoperator beim Führen des Fahrzeugs in Gefahrensituationen unterstützt. Eventuelle Kollisionen sollen von diesem FA – System erkannt werden und

das Fahrzeug soll dem Hindernis selbstständig ausweichen.

Die Statistik in Abbildung 1 zeigt, in welchen Maße Fahrerassistenzsysteme zur Erhöhung der Fahrsicherheit beitragen. Trotz stetigem Anstieg des Verkehrsaufkommens ist die Zahl der verletzten Personen im Verhältnis nur leicht gestiegen und seit den 90er Jahren sogar wieder gesunken. Dennoch sind im Jahr 2004 5361 Menschen bei Verkehrsunfällen ums Leben gekommen. Da in ca. 99% der Unfälle die Ursache im Fehlverhalten des Fahrers lag werden Assistenzsysteme benötigt, die den Fahrzeugführer bei seiner Primäraufgabe unterstützen und in Notsituationen eingreifen.

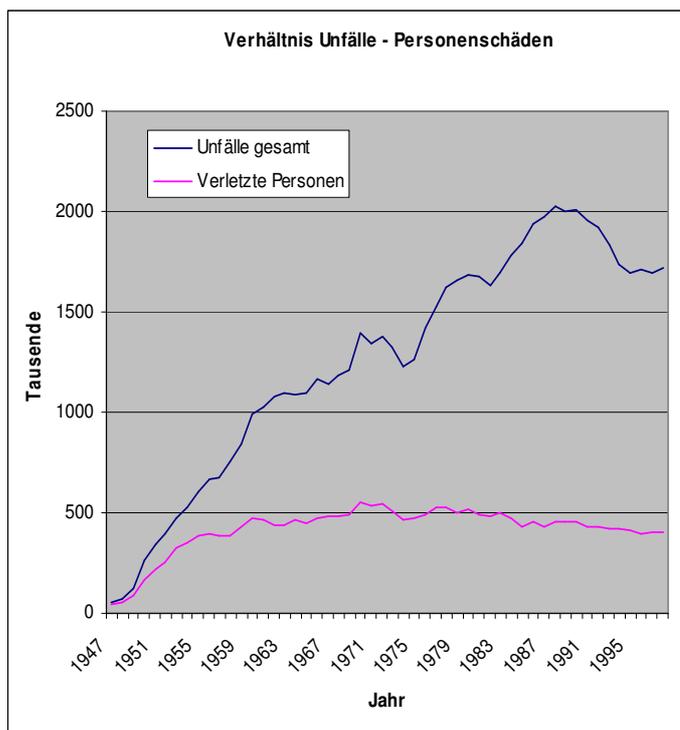


Abbildung 1: Unfallstatistik 1947 – 1998 [2]

Das Ziel dieser Seminararbeit ist es, einen Zugang zum Thema der Fahrerassistenzsysteme zu erarbeiten und einige Details exemplarisch zu durchdringen. Die Dokumentation beginnt mit einem Überblick zu den verschiedenen Arten von Fahrerassistenzsystemen. Im Anschluss daran wird ein Kollisionsvermeidungssystem als konkretes Beispiel eines Assistenzsystems erläutert. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt auf den Entscheidungsstrategien und den Steuerungskonzepten. Es wird ein Konzept zur Berechnung des Lenkwinkels, aufgrund von Abstandsmessung während eines Ausweichmanövers, vorgestellt. Die Simulation des Ausweichmanövers auf Basis eines kinematischen Einspurfahrzeugmodells, folgt im Anschluss. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf eine thematisch aufbauende Tätigkeit im Rahmen einer Masterarbeit.

## 2. Klassifizierung von Assistenzsystemen

Bei den verschiedenen Ansätzen, die Fahrsicherheit mit Assistenzsystemen zu erhöhen, unterscheidet man diese Systeme aufgrund der Art und des Zeitpunktes des Eingriffs. Hier reicht die Bandbreite von Systemen, die den Fahrer lediglich informieren, bis hin zu vollständig autonomen Systemen, bei denen kein Fahrer mehr notwendig ist. Der nun folgende Überblick über Assistenzsysteme beginnt im ersten Teil mit dem Stand der Technik und geht im zweiten Teil auf Forschungsaktivitäten in dem Bereich ein.

### 2.1. Informierende Systeme

Ziel der informierenden Systeme ist es u.a., den Fahrer von ablenkenden Nebentätigkeiten zu befreien, damit er sich voll auf die sichere Führung des Fahrzeugs konzentrieren kann [1]. Navigationssysteme die auf dem Global Positioning System (GPS) basieren sind in diese Klasse einzuordnen, da hier der Fahrer nicht durch das Blättern in einem Stadtplan abgelenkt wird. Auch das Informieren in bestimmten Gefahrensituationen gehört zu den Zielen dieser Systeme. Ein Beispiel ist ein von Audi auf der Internationalen Automobil Ausstellung 2005 vorgestelltes System, welches den Fahrer beim Spurwechsel warnt, wenn sich ein Fahrzeug im toten Winkel befindet. Ein bereits in der S-Klasse von Mercedes verfügbares Night Vision System unterstützt den Fahrer bei schlechter Sicht. Mittels Infrarot-Scheinwerfern wird die Sichtweite erhöht, ohne den Gegenverkehr zu blenden und über einen Monitor im Armaturenbrett wird das Straßenbild visualisiert. [6]

### 2.2. Fahrdynamik - Regelsysteme

Ziel der Fahrdynamik – Regelsysteme ist es, durch den kontrollierten Eingriff in die Motorsteuerung und das Bremssystem im Grenzbereich die Fahrsicherheit zu erhöhen. Das von Bosch 1978 in der S-Klasse vorgestellte großserientaugliche Antiblockiersystem (ABS), ist in die Kategorie der „Fahrdynamik-Regelsysteme“ einzuordnen. Im Laufe der Jahre wurde das ABS immer weiter verbessert und wird heute in der Version 8 in nahezu allen PKW-Klassen eingesetzt. Die auf Basis des ABS arbeitende Antriebsschlupfregelung (ASR) wurde erstmals 1986 in Serienfahrzeugen eingesetzt. Diese verhindert das Durchdrehen der Räder auf glattem Untergrund und verbessert somit die Bodenhaftung. Auch das 1995 eingeführte Elektronische Stabilitäts-Programm (ESP) benutzt das ABS, um einzelne Räder kontrolliert abzubremsen, wenn das Fahrzeug ins Schleudern zu geraten droht. Gleichzeitig wird auch die Motorleistung reduziert [8] [12].

### 2.3. Komfortsysteme

Komfortsysteme zeichnen sich dadurch aus, dass sie kontinuierlich die Umgebung des Fahrzeugs analysieren und gegebenenfalls präventiv eingreifen, um schon das Eintreten einer Gefahrensituation zu verhindern. Der Bremsassistent PLUS von Mercedes ist ein Beispiel für ein solches Komfortsystem. Verringert sich der Sicherheitsabstand auf ein vorausfahrendes Fahrzeug, wird anhand von Radardaten die entsprechende Unterstützung berechnet, die der Bremskraftverstärker liefern muss, um einen drohenden Auffahrunfall zu vermeiden. Sobald der Fahrer auf das Pedal tritt, steht die jeweils optimale Bremskraft zur Verfügung. Hier entscheidet das System nicht selbstständig, sondern wartet auf die Reaktion des Fahrers und unterstützt ihn dann bei der Ausführung des Fahrmanövers. Ein weiterer Sicherheitsansatz besteht darin, dass der PKW nicht in eine Gefahrensituation gelangt. Dazu wird die Umgebung des Fahrzeugs analysiert und wenn nötig regelnd

eingegriffen. Beim Adaptive Cruise Control (ACC) wird der Sicherheitsabstand zum vorausfahrendem automatisch geregelt. Hier erfolgt also ein selbständiger, kontinuierlicher Eingriff in die Fahrzeugführung. [6]

### **2.4. Forschungsaktivitäten**

Systeme, die selbstständig den Lenkungsstrang kontrollieren, gehören zurzeit noch nicht zum Stand der Technik. Obwohl es schon seit Jahren Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet gibt, findet man solche Systeme bisher nur in industriellen Anwendungen. Da die Lenkung bei Pkws noch mechanisch gekoppelt ist, sind für den Eingriff Roboter nötig, welche die Winkelvorgaben auf die Lenkung umsetzen. Es gibt Ansätze und auch Prototypen für Kollisionsvermeidungssysteme, die eine drohende Kollision erkennen und durch kontrollierten Eingriff in Bremssystem, Motorsteuerung und Lenkung die Kollision vermeiden. Da die meisten Unfälle auf Fehler im Fahrverhalten zurückzuführen sind, würden Kollisionsvermeidungssysteme einen großen Beitrag zur Erhöhung der Fahrsicherheit beitragen. Eine weitere Zukunftsvision stellen Fahrzeuge dar, die sich ohne Fahrerbeteiligung im Straßenverkehr bewegen. Ein vollständiges, autonomes Navigieren und Fahren erfordert ein System, indem alle Technologien, vom GPS bis zur Kollisionserkennung/vermeidung, zusammenfließen. Außerhalb der industriellen Nutzung wurde ein Wettbewerb von der „Defense Advanced Research Projects Agency“ (DARPA) ausgeschrieben, bei dem autonome Fahrzeuge eine Strecke von 208 Kilometern durch die Mojave-Wüste zurücklegen mussten. Die exakte Route wurde erst 2 Stunden vor dem Start bekannt gegeben [7]. Von 23 Teilnehmern erreichten nur 5 Fahrzeuge das Ziel. Gewinner der „Grand Challenge“ wurde ein von der Stanford University modifizierter VW Touareg.

## **3. Konkretes Kollisionsvermeidungssystem**

Es soll nun ein Assistenzsystem vorgestellt werden, welches durch den gezielten Eingriff in die Längs- und Querführung des Fahrzeugs, eine bevorstehende Kollision vermeiden kann. Nach einem Überblick über die Systemstruktur wird auf eine konkrete Strategie zur Entscheidungsfindung eingegangen. Anschließend folgt ein Ansatz zur Durchführung eines Ausweichmanövers. Mit den Simulationsergebnissen dieses Manövers schließt das Kapitel.

### **3.1. Prinzipielle Struktur eines Fahrerassistenzsystems**

Nach dem im INVENT Projekt [3] entwickelten Konzepten besteht ein Fahrerassistenzsystem aus den folgenden drei Ebenen:

1. Situationserfassung: Erkennen von Verkehrsteilnehmern, Verkehrszustand, Infrastruktur, Verkehrszeichen, Fahrzeugzustand, Fahrerabsicht
2. Situationsanalyse und Aktionsentscheidung: Informationsvernetzung und -auswertung, Aktionsentscheidung und -planung unter Berücksichtigung der Handlungsoptionen
3. Aktionsausführung: Schnittstellen zum Fahrer mit optischer, akustischer und haptischer Information und Warnung, sowie zum Fahrzeug mit aktivem Eingriff in Bremse, Motormanagement und gegebenenfalls Lenkung

### 3.2. Systemstruktur

Das in [4] vorgestellte Kollisionsvermeidungssystem deckt sich mit der von INVENT definierten Struktur eines solchen Systems (vgl. Abbildung 2). In der Ebene 1 werden Laserscanner genutzt, um die Koordinaten von Objekten zu erfassen.

Die von der Ebene 1 erfassten Koordinaten werden von den Modulen in Ebene 2 zur Situationsanalyse und Aktionsentscheidung verwendet. Für die Aktionsentscheidung wird ein Entscheidungsautomat benutzt, der seine Entscheidungen aufgrund der Signale trifft, die von den einzelnen Modulen der Ebene 2 geliefert werden. In der Ebene 3 werden die Kollisionsvermeidungsmanöver zur Ausführung gebracht.

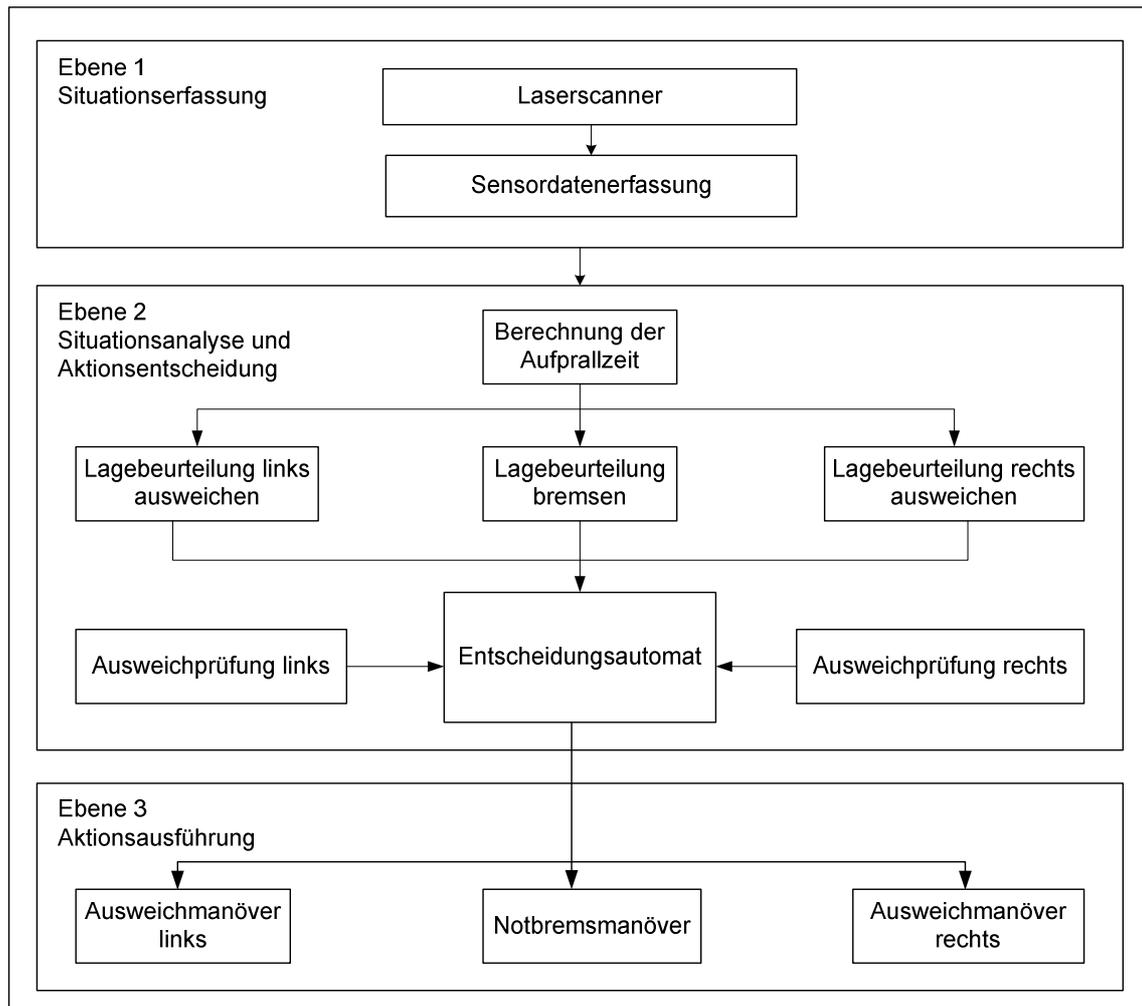


Abbildung 2: Systemstruktur eines Kollisionsvermeidungssystems [4]

#### 3.2.1. Situationserfassung

Zur Situationserfassung in der Ebene 1 steht in diesem System ein Laserscanner zur Verfügung, welcher durch zyklische Scans der Fahrzeugumgebung, Kollisionsobjekte detektiert und die Daten den Modulen der Ebene 2 zur Situationsanalyse zur Verfügung stellt. Wird ein Objekt erfasst, liefert die Ebene 1 die Koordinate der linken, der rechten und der dichtesten Begrenzung des detektierten Objektes, bezogen auf das eigene Fahrzeug. Der Koordinatenursprung befindet sich in der Mitte der Hinterachse des eigenen Fahrzeugs.

### 3.2.2. Situationsanalyse

In einem Modul wird die Aufprallzeit, wie in [4] beschrieben, berechnet. Dies ist ein zentrales Modul, da die Aufprallzeit von allen anderen Modulen der Ebene 2 benötigt wird. In den Lagebeurteilungsmodulen „links/rechts ausweichen“ wird per Approximation durch Aneinanderreihen von Klothoidenabschnitten die Ausweichzeit berechnet [4]. Ist die Aufprallzeit kleiner als die Zeit die für den Ausweichvorgang benötigt wird, melden diese Module ein Auslösesignal an den Entscheidungsautomaten.

Die berechnete Zeit, die benötigt wird, um vor dem Hindernis zum Stillstand zu kommen, wird im Lagebeurteilungsmodul „bremsen“ mit der Aufprallzeit verglichen. Ist diese Zeit größer, meldet das Modul ein Auslösesignal an den Entscheidungsautomaten. In den Ausweichprüfungsmodulen wird geprüft, ob der Verkehrsraum neben dem Fahrzeug frei ist. Diese Prüfung erfolgt aufgrund der Daten die vom Laserscanner geliefert werden. Ist der Verkehrsraum nicht frei, wird dies dem Entscheidungsautomaten signalisiert.

### 3.2.3. Strategie zur Auswahl eines Kollisionsvermeidungsmanövers

Über die Art und Weise und den Zeitpunkt des Eingriffs entscheidet ein zentrales Modul der Ebene 2 (vgl. Abbildung 2). Je nachdem, wie und wann sich dieses Modul für welchen Eingriff entscheidet, definiert den Charakter des Gesamtsystems. Es muss überlegt werden, in welchem Umfeld ein solches System eingesetzt werden soll. Das Assistenzsystem in einem Transportfahrzeug, welches autonom in einer Lagerhalle navigieren soll, wird andere Entscheidungsstrategien verwenden, als das in einem PKW. Auch rechtliche und versicherungstechnische Fragen beeinflussen in diesem Fall das Design des Entscheiders.

In [13] wird ein Controller beschrieben, an den die Anforderung gestellt wird, den Fahrer in keiner Weise zu bevormunden. Der Eingriff soll erst erfolgen, wenn dem Fahrer keine Möglichkeit mehr bleibt, die Kollision selber noch zu verhindern. Dieser Controller trifft mit Hilfe von Fuzzy-Logik seine Entscheidung.

Auch die Entscheider in [4] und [5] wählen das letztmögliche Manöver aus, um eine Kollision noch zu verhindern. In [5] wird mit Hilfe einer Matrix und Prioritäten für die verschiedenen Manöver eine Entscheidung getroffen. Die Arbeitsweise des in [4] vorgestellten Entscheidungsautomaten soll im folgenden Abschnitt näher erläutert werden.

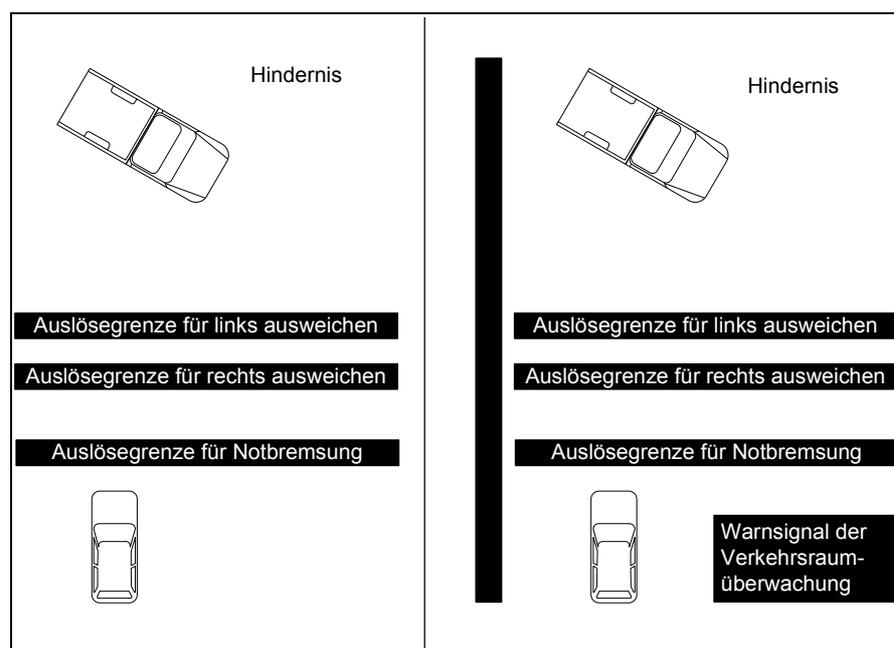


Abbildung 3: Beispiele für Gefahrensituation 1 (links) und 2 (rechts)

In dem Fall, der in Abbildung 3 (links) dargestellten Situation, soll das Fahrzeug links ausweichen, sobald das Auslösesignal vom „Lagebeurteilungsmodul links ausweichen“ empfangen wird. Das Auslösesignal des „Lagebeurteilungsmodul bremsen“ wird als erstes registriert. Der Automat gibt der Ebene 3 noch keine Freigabe, da dem Fahrer noch zwei Optionen bleiben. Er kann sowohl noch links, als auch rechts ausweichen. Nachdem das „Lagebeurteilungsmodul rechts ausweichen“ auslöst, wird weiterhin abgewartet, da noch links ausgewichen werden kann. Erst wenn das dritte Lagebeurteilungsmodul signalisiert, dass nun der letzte Zeitpunkt gekommen ist, um ohne zu kollidieren, links auszuweichen, wird dem entsprechenden Modul der Ebene 3 die Freigabe erteilt und der Ausweichvorgang eingeleitet. Die Systemstrukturübersicht in Abbildung 2 zeigt, dass der Entscheidungsautomat die Daten der drei Lagebeurteilungsmodule und der zwei Ausweichprüfungsmodule auswertet. Diese Information fließt ebenfalls in den Entscheidungsprozess mit ein. Eine Situation, in der diese Information entscheidend wird, ist in Abbildung 3 (rechts) dargestellt. Die Situation ist die gleiche wie zuvor, nur dass der Verkehrsraum links neben dem Fahrzeug nicht frei ist. Nachdem das „Lagebeurteilungsmodul rechts ausweichen“ das Auslösesignal sendet, wird der Ausweichvorgang eingeleitet, da nicht mehr auf das dritte Lagebeurteilungsmodul gewartet werden muss, weil ein Ausweichmanöver nach links wegen der Verkehrslage nicht möglich ist. Das folgende Sequenzdiagramm verdeutlicht die Arbeitsweise des Zustandautomaten in der ersten Gefahrensituation (Abbildung 3 links).

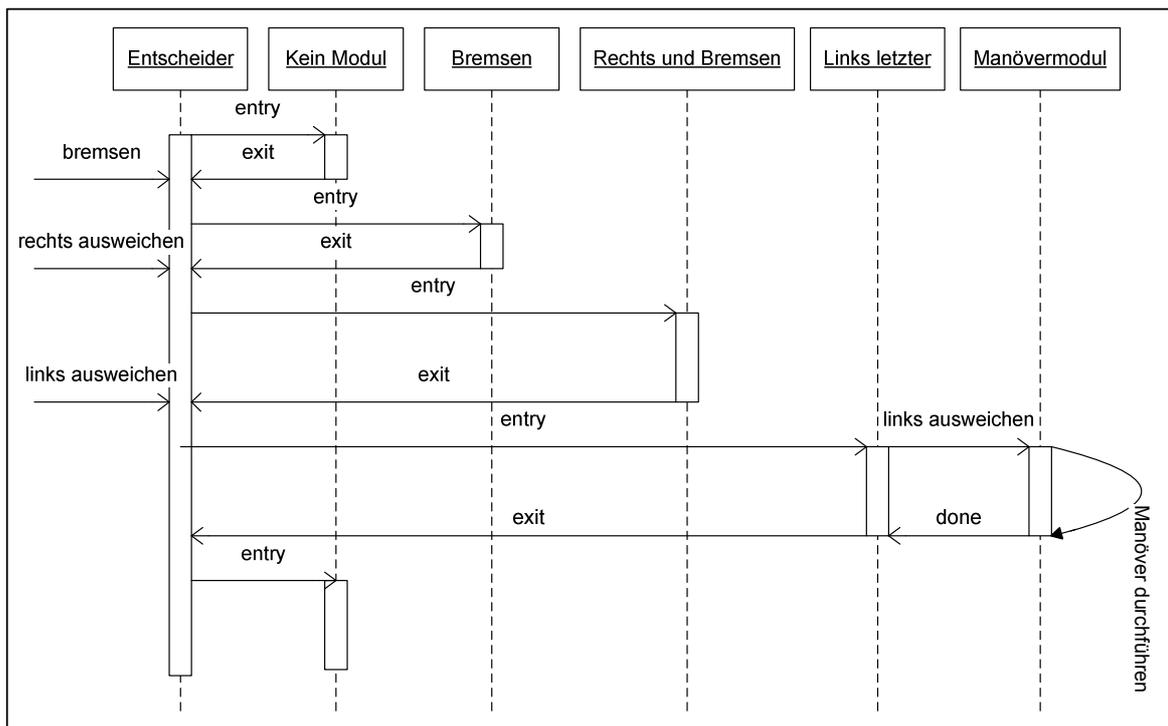


Abbildung 4: Sequenzdiagramm Gefahrsituation 1

Der Zustand „Rechts und Bremsen“ trifft keine Aussage darüber, welches Modul zuletzt ausgelöst hat. Löst zuerst das Ausweichmodul aus und danach das Bremsmodul, geht das System auch in den Zustand „Rechts und Bremsen“. Würde erst in diesem Zustand das „Ausweichprüfungsmodul links“ melden, dass der Verkehrsraum nicht frei ist, muss sich das System für ein Manöver entscheiden. Der in [4] verwendete Entscheidungsautomat priorisiert das Ausweichmanöver gegenüber dem Bremsmanöver. Der Übergang in den Zustand „Bremsen“ erfolgt nur, wenn sowohl der Verkehrsraum links als auch rechts nicht frei ist. Soll dem Bremsmanöver eine höhere Priorität zugedacht werden, muss der

Entscheidungsautomat an dieser Stelle modifiziert werden. Um ohne Priorisierung zu entscheiden, sind zusätzliche Zustände erforderlich, welche Aussage über die Auslöserihenfolge treffen. Das komplette Zustandsdiagramm von [4] und das Sequenzdiagramm der Gefahrensituation 2 (Abbildung 3 rechts) sind dem Anhang beigefügt.

### 3.2.4. Ansatz zum Ausführen eines Ausweichmanövers

Dieses Modul der Ebene 3 (vgl. Abbildung 2) wird vom Entscheider aktiviert, wenn der letzte Zeitpunkt zum Ausweichen gekommen ist. Vom Laserscanner wird die Koordinate des linken Objektpunktes des Hindernisses geliefert. Ziel des Manövers soll es sein, das Fahrzeug links neben dem Hindernis vorbei zu führen. Die physikalische Realisierbarkeit der Ausweichkurve, die zwischen Startpunkt und Zielpunkt gefahren werden soll, wurde bereits vom „Lagebeurteilungsmodul links ausweichen“ geprüft. Dieses Lagebeurteilungsmodul lässt in seine Berechnung u.a. die maximale Querbeschleunigung einfließen (vgl. Beschreibung [4][10]).

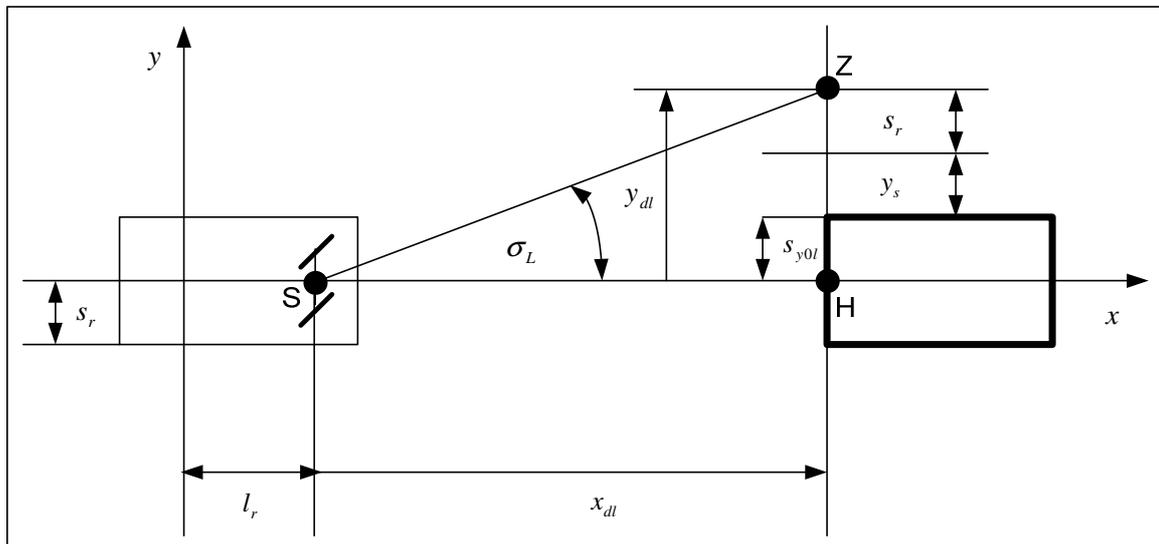


Abbildung 5: Ansatz „virtuelle Deichsel“ vor Manöverstart

Wenn der Punkt H das Hindernis darstellt, Z den Zielpunkt und S den Startpunkt, dann ist  $\sigma_L$  der Lenkwinkel, der eingestellt werden muss.

$$\sigma_L = \arctan\left(\frac{y_{dl}}{x_{dl}}\right)$$

Die Koordinaten des Punktes H werden zyklisch durch den Laserscanner neu erfasst und nähern sich dem Punkt S an. Somit ändern sich auch die x- und y- Abstände. Das Fahrzeug wird nach dem Konzept einer „virtuellen Deichsel“ am Hindernis vorbei geführt [4].

Zur Berechnung der y- Koordinate des Zielpunktes ( $y_{dl}$ ) wird der Sicherheitsabstand  $y_s$ , die halbe Fahrzeugbreite und die Lage des linken Objektpunktes  $s_{y0l}$ , benötigt:

$$y_{dl} = s_{y0l} + y_s + s_r$$

Die x- Koordinate des Zielpunktes errechnet sich im Falle, dass sich das Objekt vor dem Fahrzeug befindet, nur aus der Lage des linken Objektpunktes und dem Radstand  $l_r$ .

$$x_{dl} = s_{x0l} - l_r \quad \text{für } s_{x0l} > l_r$$

Hat die Fahrzeugvorderachse die Höhe des Objektes erreicht und das Objekt befindet sich zwischen Vorderachse ( $x = l_r$ ) und Hinterachse ( $x = 0$ ) des Fahrzeugs, liegt der Zielpunkt links vom Fahrzeug und  $y_{dl}$  wird negativ. Daraus ergibt sich ein negativer Lenkwinkel  $\sigma_L$ . In diesem Fall gilt für:

$$x_{dl} = l_r \quad \text{für } 0 \leq s_{x0l} \leq l_r$$

Befindet sich das Objekt hinter dem Fahrzeug wird die x- Koordinate des linken Objektpunktes negativ und für  $x_{dl}$  gilt:

$$x_{dl} = |s_{x0l}| + l_r \quad \text{für } s_{x0l} < 0$$

Außerdem darf  $x_{dl}$  nie kleiner werden als das Produkt aus Eigengeschwindigkeit und der Zeitkonstanten für die Fahrzeugdynamik, die für jedes Fahrzeug extra bestimmt werden muss. Daraus ergibt sich für  $x_{dl}$ :

$$x_{dl} = \begin{cases} s_{x0l} - l_r & \text{für } (s_{x0l} > l_r) \quad \wedge \quad (s_{x0l} - l_r \geq t_d \cdot v_e) \\ l_r & \text{für } (0 \leq s_{x0l} \leq l_r) \quad \wedge \quad (l_r \geq t_d \cdot v_e) \\ |s_{x0l}| + l_r & \text{für } (s_{x0l} < 0) \quad \wedge \quad (|s_{x0l}| + l_r \geq t_d \cdot v_e) \\ t_d \cdot v_e & \text{sonst} \end{cases}$$

Der Winkel  $\Psi$  der Fahrzeuglängsachse zur Zugrichtung der Deichsel muss vom errechneten Winkel  $\sigma_L$  subtrahiert werden, um den einzustellenden Lenkwinkel  $\Phi$  des Fahrzeugs zu bestimmen. Vor dem Start des Manövers ist dieser Winkel  $\Psi = 0$ .

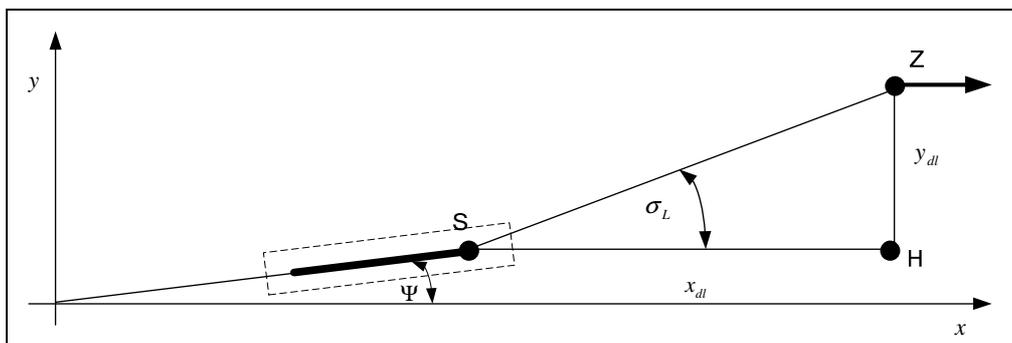


Abbildung 6: Ansatz "virtuelle Deichsel" nach Manöverstart

Damit ergibt sich für den Lenkwinkel nach Manöverstart:  $\Phi = \sigma_L - \Psi$

Die Lenkwinkelberechnung erfolgt aufgrund der aktuellen Koordinaten des detektierten Hindernisses. Das Konzept ist auch bei sich bewegenden Hindernissen anwendbar.

### 3.2.4.1. Kinematisches Einspurfahrzeugmodell

Die vorgestellte Berechnung des Lenkwinkels wird zyklisch mit einem Laserscan durchgeführt. Jeder Scan liefert die aktuellen Koordinaten des Hindernisses. Für die Simulation eines Ausweichmanövers ist ein Fahrzeugmodell erforderlich, mit dem der Bewegungsvektor des eigenen Fahrzeugs bestimmt werden kann. Das vorgestellte Konzept

einer „virtuellen Deichsel“ verwendet ein fahrzeugfestes Koordinatensystem. Ein ruhendes Hindernis, verändert aufgrund der Bewegung des Fahrzeugs, die Position im Koordinatensystem. Die Berechnung des Bewegungsvektors erfolgt aufgrund von Fahrzeuggeometrie und Eigengeschwindigkeit. Das folgende kinematische Einspurfahrzeugmodell wird verwendet:

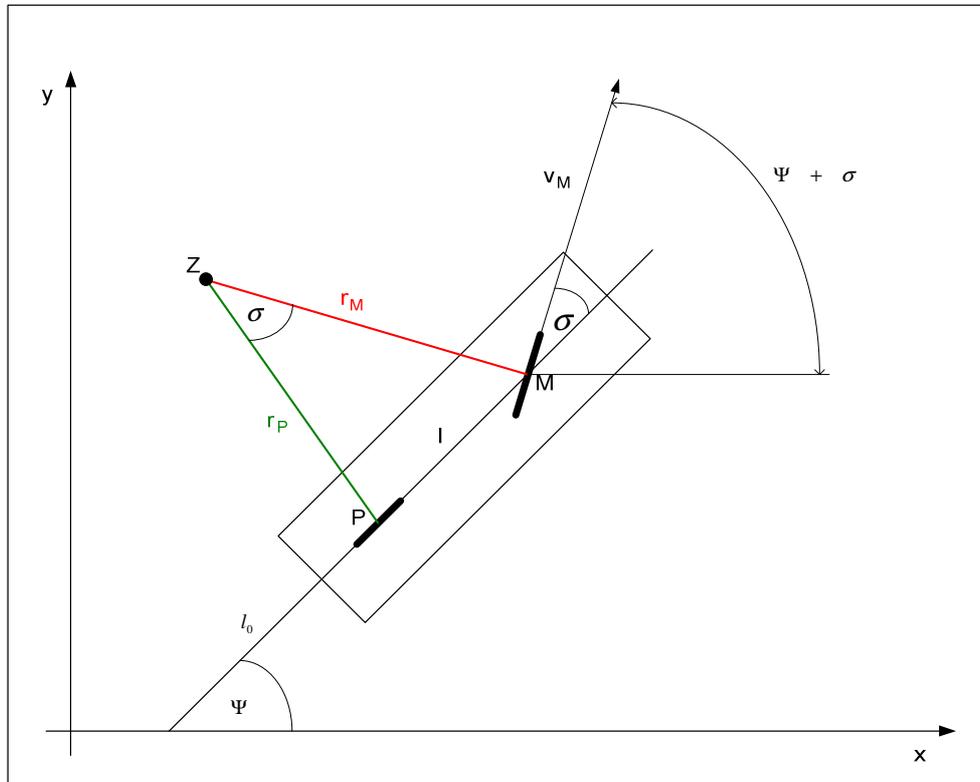


Abbildung 7: Kinematisches Fahrzeugmodell

Da sich der Koordinatenursprung im Konzept mit der „virtuellen Deichsel“ in der Mitte der Hinterachse des Fahrzeugs befindet, wird der Bewegungsvektor des Hinterrades benötigt, um die neue Position des Hindernisses zu bestimmen.

Das lenkbare Vorderrad bewegt sich mit der Geschwindigkeit  $v_M(t)$  und dem Winkel  $(\Psi + \sigma)$ . Die Tangente steht immer senkrecht auf dem Berührungsradius ( $r_M$ ). Die Tangente im Punkt P des Hinterrades hat demzufolge den Winkel  $\Psi$ . Da sich beide Fahrzeugpunkte P und M mit der gleichen Winkelgeschwindigkeit auf einem Kreis um Z bewegen, gilt:

$$\begin{aligned} \omega_0 \cdot r_M &= v_M & \text{und} & & \omega_0 \cdot r_P &= v_P \\ \Rightarrow v_P &= v_M \cdot \frac{r_P}{r_M} & \text{und} & & \cos(\sigma) &= \frac{r_P}{r_M} \\ \Rightarrow v_P &= v_M \cdot \cos(\sigma) \end{aligned}$$

Für die Berechnung des Winkels der Fahrzeuglängsachse gilt:  $\Psi = \int \sigma d(t)$

Aus dem Bewegungsvektor für das Hinterrad folgt für  $X_P$  und  $Y_P$  bei  $v_M \neq 0$ :

$$\begin{aligned} \frac{d\overline{X}_P}{dt} &= v_P(t) \cdot \cos(\sigma) \cdot \cos(\Psi) \Rightarrow \overline{X}_P = \int v_P(t) \cdot \cos(\sigma) \cdot \cos(\Psi) d(t) \\ \frac{d\overline{Y}_P}{dt} &= v_P(t) \cdot \cos(\sigma) \cdot \sin(\Psi) \Rightarrow \overline{Y}_P = \int v_P(t) \cdot \cos(\sigma) \cdot \sin(\Psi) d(t) \end{aligned}$$

## 3.2.4.2. Simulation des Ausweichmanövers

Das vorgestellte Fahrzeugmodell wird in der Simulation genutzt, um die Koordinaten des Hindernisses zu berechnen. In der Simulation ergeben sich für den Lenkwinkel und den Winkel der Fahrzeuglängsachse folgende Ergebnisse:

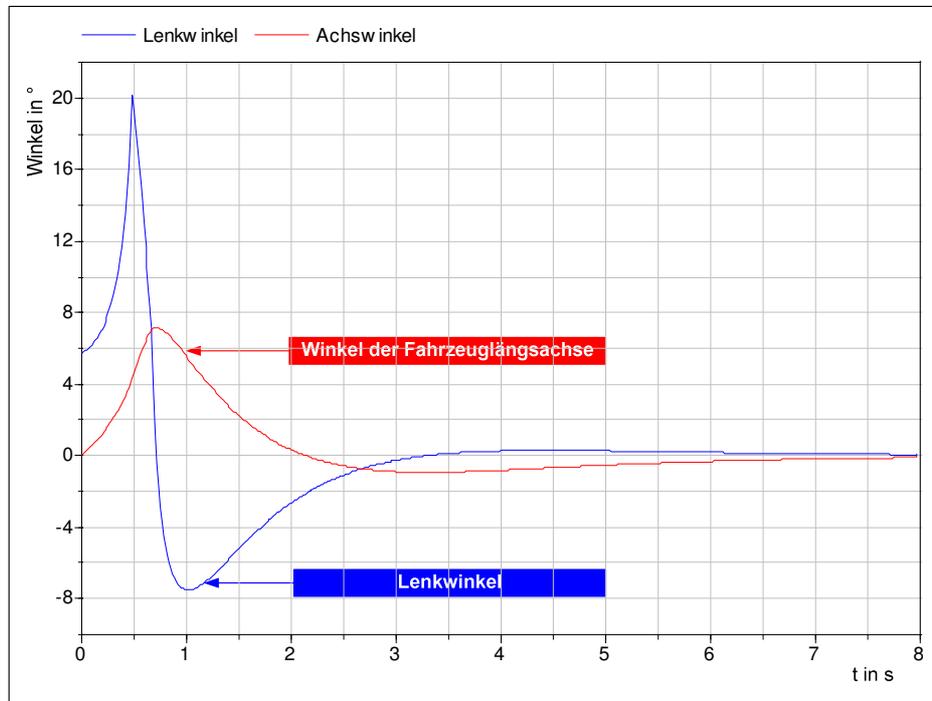


Abbildung 8: Simulationsergebnisse

Szenariobeschreibung: Ein Fahrzeug fährt mit einer Geschwindigkeit von 36 m/s auf ein stehendes Hindernis zu. Bei  $t=0$ s beginnt der Ausweichvorgang und der Lenkwinkel wird solange erhöht, bis der Y – Wert des Zielpunktes auf gleicher Höhe ist wie das Fahrzeug. Das geschieht bei  $t=0.5$ s. Danach muss das Fahrzeug wieder in die entgegengesetzte Richtung gelenkt werden, um in die gleiche Richtung wie vor dem Start des Manövers zu fahren.

## 4. Ausblick

Als nächster Schritt ist eine Recherche zu ausgewählten Beiträgen der „Darpa Grand Challenge“ [7] Teilnehmer geplant. Im Speziellen interessieren hier die verwendeten Strategien zur Entscheidungsfindung und die Steuerungskonzepte. Im Projekt „FAUST“ (Fahrerloses AUTonomeS Transportsystem) steht ein Fahrzeug zu Verfügung, welches über zwei Mikrocontroller elektrisch beschleunigt, gebremst und auch gelenkt werden kann. Zusätzlich fungiert eine GEME Rechner mit QNX Betriebssystem als Koordinierungsrechner. Als erstes Ziel, wäre eine Umsetzung des vorgestellten Kollisionsvermeidungssystems auf dieser Hardware/Software Plattform anzustreben. Der Fokus soll hierbei speziell auf Aktionsentscheidung und –ausführung liegen. Mit steigender Signalverarbeitung, wäre eine Portierung des Systems auf „System on Chip“ Komponenten zu überlegen. In der Ebene 2 des Kollisionsvermeidungssystems ist dann die parallele Realisierung der Lagebeurteilungsmodule und der Verkehrsraumüberwachungsmodule möglich. Dies ermöglicht schnellere Abstraten im Vergleich zur sequentiellen Implementierung.

## 5. Anhang

1. Modellica – Code der Ausweichsimulation.....	12
2. Historie von Assistenzsystemen .....	13
3. Sequenzdiagramm Ausweichszenario 2 .....	14
4. Systemarchitektur FAUST .....	15
5. Entscheidungsautomat .....	16

## 1. Modellica – Code der Ausweichsimulation

```

model Ausweichen
#####
constant Real S_r = 1;           //Halbe Fahrzeugbreite
constant Real L_r = 3;           //Radstand in m
constant Real T_d = 0.1;        //Zeitkonstante für die Fahrzeugdynamik
constant Real Y_s = 1;           //Sicherheitsabstand in m
constant Real H_y_start= 0.2;    //Start y-Koordinate des detektierten Hindernisses
constant Real H_x_start= 25;    //Start x-Koordinate des detektierten Hindernisses
constant Real V_m = 36;         //Geschwindigkeit des lenkbaren Vorderrades in m/s
Real V_p(start=0);              //Geschwindigkeit des starren Hinterrades in m/s
Real M_y(start=0);              //y-Koordinate des lenkbaren Vorderrades
Real M_x(start=3);              //x-Koordinate des lenkbaren Vorderrades
Real P_x(start=0);              //y-Koordinate des starren Hinterrades
Real P_y(start=0);              //x-Koordinate des starren Hinterrades
Real H_y(start=0);              //y-Koordinate des detektierten Hindernisses
Real H_x(start=0);              //x-Koordinate des detektierten Hindernisses
Real Phi_L(start=0);            //Lenkwinkel in RAD
Real Psi_L(start=0);            //Achswinkel zum Deichselzugpunkt in RAD
Real Y_dl(start=0);             //y-Koordinate des Zugpunktes der Deichsel
Real X_dl(start=0);             //x-Koordinate des Zugpunktes der Deichsel
Real Lenkwinkel(start=0);       //Lenkwinkel in Grad
Real Achswinkel(start=0);       //Achswinkel in Grad
#####
algorithm
equation
#####
//Einspurfahrzeugmodell
V_p = V_m * cos(Phi_L);
der(Psi_L) = Phi_L;
der(M_x) = V_m * cos(Psi_L + Phi_L);
der(M_y) = V_m * sin(Psi_L + Phi_L);
der(P_x) - (L_r * cos(Psi_L)) = V_p * cos(Psi_L);
der(P_y) - (L_r * sin(Psi_L)) = V_p * sin(Psi_L);

#####
//Bestimmung des neuen Hindernisspunktes
H_x = H_x_start - P_x;
H_y = H_y_start - P_y;

#####
//Konzept der "virtuellen Deichsel"
Y_dl = H_y + Y_s + S_r;
if ((H_x > L_r) and ((H_x - L_r) >= (T_d * V_m))) then
  X_dl = H_x - L_r;
elseif ((0 <= H_x) and (H_x <= L_r) and (L_r >= (T_d * V_m))) then
  X_dl = L_r;
elseif ((H_x < 0) and ((abs(H_x) + L_r) >= (T_d * V_m))) then
  X_dl = abs(H_x) + L_r;
else
  X_dl = T_d * V_m;
end if;
Phi_L = arctan(Y_dl / X_dl) - Psi_L;

#####
//Umrechnung der RAD Werte in Grad
Lenkwinkel = Phi_L * 180 / Modelica.Constants.PI;
Achswinkel = Psi_L * 180 / Modelica.Constants.PI;

end Ausweichen;

```

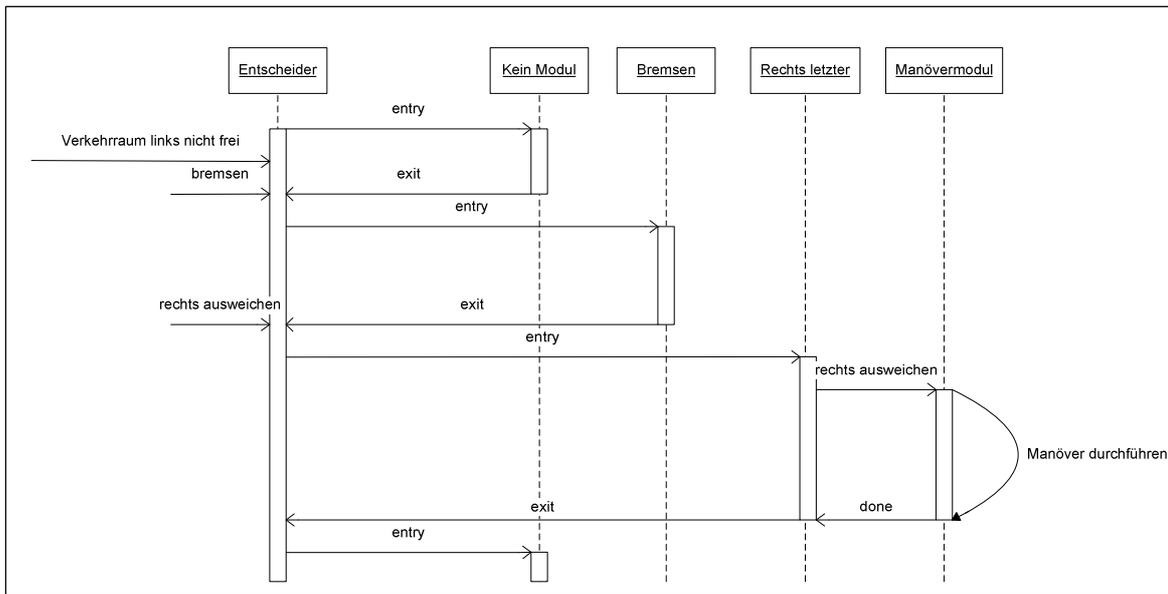
## 2. Historie von Assistenzsystemen

1899	Außenhandbremse (mit Bremswirkung auf Trommeln)
1902	Innebacken-Trommelbremse
1919	Hydraulische Bremsbetätigung mit Bremskraftverstärker
1955	Scheibenbremse
1968	Dreipunkt-Sicherheitsgurt
1978	Antiblockiersystem ABS
1979	Fahrer-Airbag
1979	Pyrotechnische Gurtstraffer
1987	Antriebsschlupfregelung ASR
1989	Automatisch ausfahrbarer Überrollbügel für Kabriolett
1995	Elektronisches Stabilitäts-Programm ESP
1995	Gurtkraftbegrenzer
1995	Seitenairbag
2001	Adaptive Cruise Control ACC
2001	Sensotronic Brake Control SBC (Elektrohydraulische Bremse)

**Tabelle 1:** Geschichtlicher Überblick über Sicherheitssysteme (Beispiele) [12]

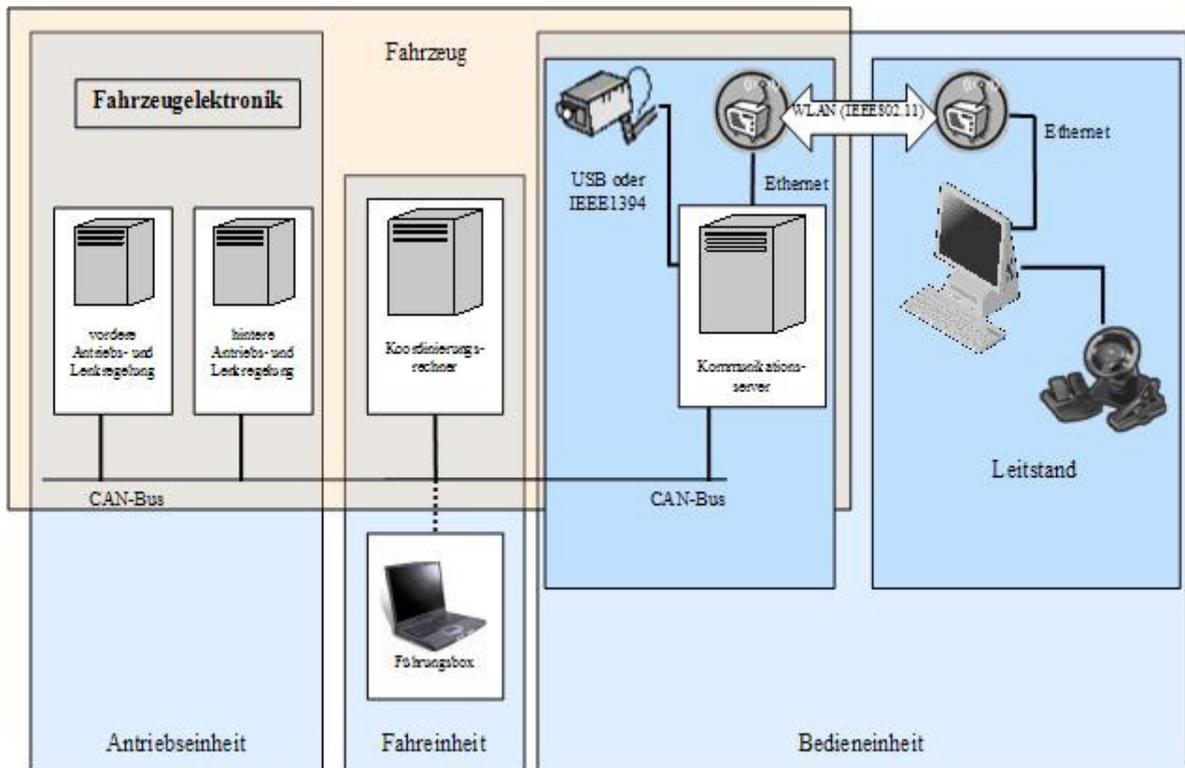
In den Statistiken wird deutlich, wie wichtig Fahrerassistenzsysteme für die aktive Sicherheit in Fahrzeugen, sind. Und doch dauerte es meist Jahre, bis ein neue Entwicklung auch in der „Golf-Klasse“ serienmäßig Einzug hält.

### 3. Sequenzdiagramm Ausweichszenario 2



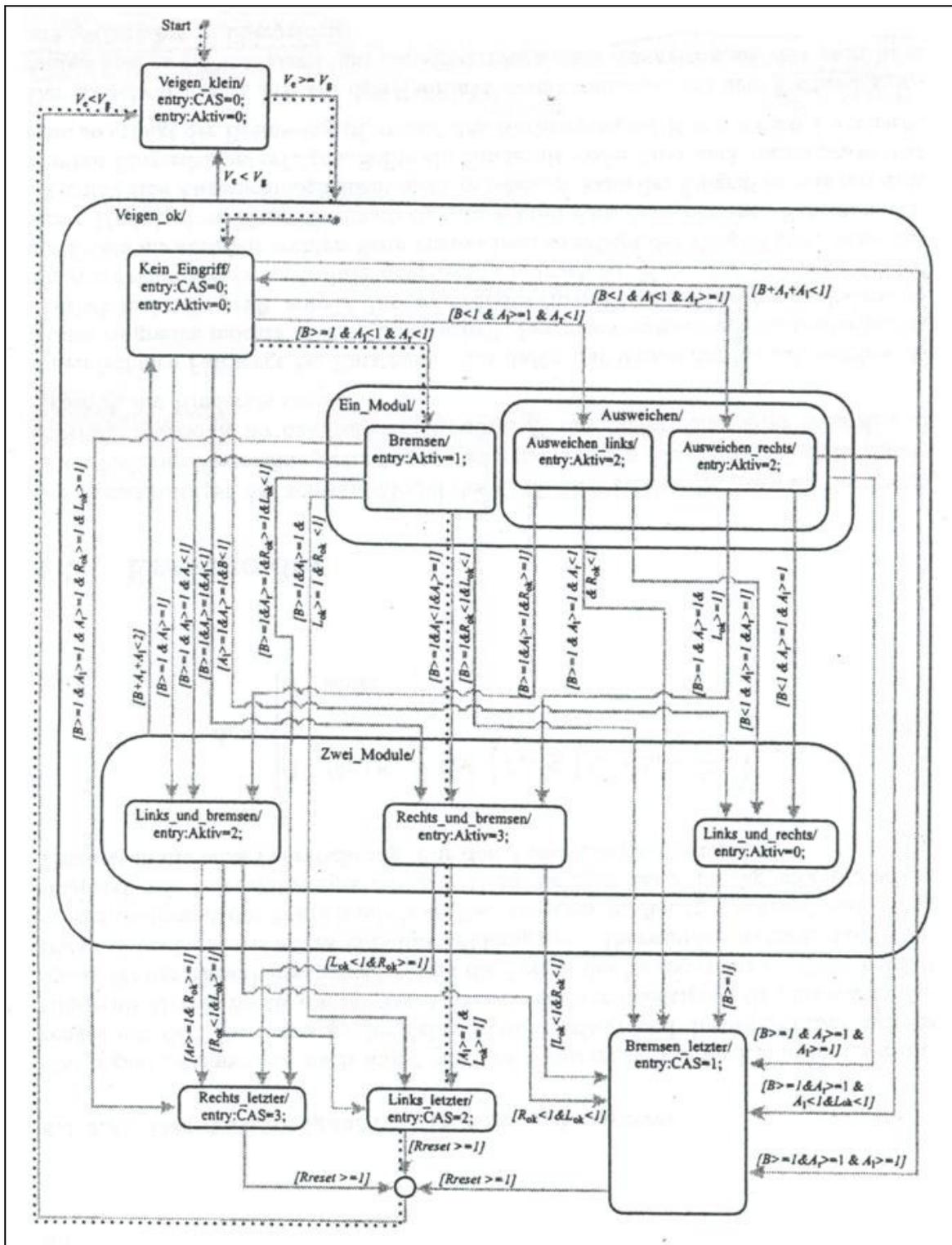
Dem Entscheider wird signalisiert, dass der Verkehrsraum links neben dem Fahrzeug nicht frei ist. Aus diesem Grund braucht nicht auf das Auslösesignal des Lagebeurteilungsmoduls „Ausweichen links“ gewartet werden. Als erstes Modul löst das Lagebeurteilungsmodul „Bremsen“ aus. Es bleibt dem Fahrer noch die Möglichkeit, nach rechts auszuweichen. Das Auslösesignal des Lagebeurteilungsmoduls „Ausweichen rechts“ führt den Entscheidungsautomaten in den Zustand „Rechts letzter“ und initiiert das Ausweichmanöver.

#### 4. Systemarchitektur FAUST



Die Leitstandssoftware läuft auf einem Windows PC und sendet die Fahrbefehle über WLAN an einen Kommunikationsrechner, welcher über den CAN-Bus mit einem Koordinierungsrechner kommuniziert. Von diesem Rechner mit QNX-Echtzeitbetriebssystem werden die Geschwindigkeits- und Lenkvorgaben in CAN Nachrichten umgesetzt, die dann von ARM Mikrocontrollern zur Regelung der Lenk- und Antriebsmotoren verarbeitet werden. Eine Führungsbox kann direkt am CAN – Bus betrieben werden, um das Fahrzeug auch ohne Leitstand führen zu können.

5. Entscheidungsautomat



- B: Auslösesignal des Lagebeurteilungsmoduls „Bremsen“
- A<sub>l</sub>: Auslösesignal des Lagebeurteilungsmoduls „Ausweichen links“
- A<sub>r</sub>: Auslösesignal des Lagebeurteilungsmoduls „Ausweichen rechts“
- L<sub>OK</sub>: Auslösesignal des Verkehrsraumüberwachungsmoduls „links“
- R<sub>OK</sub>: Auslösesignal des Verkehrsraumüberwachungsmoduls „rechts“

## 6. Literaturverzeichnis

- [1] Raymond Freymann: Möglichkeiten und Grenzen von Fahrerassistenz- und Aktiven Sicherheitssystemen. BMW Group Forschung und Technik, März 2004
- [2] Statistisches Bundesamt :Verkehrsunfälle - Fachserie 8 Reihe 7. 2004
- [3] INVENT - Intelligenter Verkehr und nutzgerichtete Technik - <http://www.invent-online.de/>, Zusammenschluss von 23 Unternehmen aus der Automobil-, Zuliefer-, Elektronik-, Telekommunikations- und IT-Industrie, Logistikdienstleister, Softwarehäuser sowie Forschungsinstitute
- [4] Christian Ameling: Steigerung der aktiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen durch ein Kollisionsvermeidungssystem. Dissertation, Universität der Bundeswehr Hamburg, 2002
- [5] Frank Mildner: Untersuchungen zur Erkennung und Vermeidung von Unfällen für Kraftfahrzeuge. Dissertation, Universität der Bundeswehr Hamburg, 2004
- [6] <http://www.spiegel.de/auto/werkstatt/0,1518,370032,00.html> , Nov 2005
- [7] <http://www.darpa.mil/grandchallenge/> , Nov 2005
- [8] [http://www.bosch.de/start/content/language1/html/734\\_2880.htm](http://www.bosch.de/start/content/language1/html/734_2880.htm) , Nov 2005
- [9] Olaf Tetzlaff: Sensordatenverarbeitung und -fusion. Seminararbeit, HAW Hamburg, 2005
- [10] Stefan Cordes: Fahrzeugumgebungsanalyse, Seminararbeit, HAW Hamburg, 2005
- [11] 21. Internationale VDI/VW – Gemeinschaftstagung: Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme
- [12] Bosch, Kraftfahrzeugtechnik: Konventionelle und elektrische Bremssysteme. Gelbe Reihe, Ausgabe 2002, ISBN-3-7782-2023-3
- [13] Ulrich S. Lages: Untersuchungen zur aktiven Unfallvermeidung von Kraftfahrzeugen. Dissertation, Universität der Bundeswehr Hamburg, 2000
- [14] Andrew S. Tanenbaum, Marten van Steen: Verteile Systeme Grundlagen und Paradigmen. Pearson Studium, 2003, ISBN 3-8273-7057-4