



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Ausarbeitung Seminar

Stefan Cordes

Situationserkennung
auf Basis eines Fahrzeugumgebungsmodells
in Fahrerassistenzsystemen

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. -Ing. Bernd Schwarz

Stefan Cordes

**Thema der Ausarbeitung
Seminar**

Situationserkennung auf Basis eines Fahrzeugumgebungsmodells in Fahrerassistenzsystemen

Stichworte

Fahrerassistenzsystem, Kollisionsvermeidungssystem, Situationserkennung, Umgebungsmodell

Kurzzusammenfassung

In dieser Seminararbeit wird der strukturelle Aufbau eines Fahrerassistenzsystems dargestellt. Nach einer kurzen Einleitung über die geschichtliche Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wird ein Softwarekonzept für ein solches verkehrssituationsabhängiges Assistenzsystem vorgestellt. Die Softwarearchitektur ist in drei Ebenen, der Datenerfassung, der Situationserkennung und der Reaktionsentscheidung mit anschließender Aktionsausführung unterteilt. In der Darstellung der Datenerfassung werden die verschiedenen Sensortypen mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen, sowie das resultierende Umgebungsmodell vorgestellt. Die Situationserkennung, die Schwerpunkt dieser Arbeit ist, besteht aus mehreren Erkennungsmodulen. Die Berechnung in diesen Modulen erfolgt mit kinematischen Gleichungen in einem geometrischen Umgebungsmodell. Für die Implementierung des Systems wird ein zeitgesteuertes Betriebssystem vorgestellt, mit dem die einzuhaltenden Ausführungszyklen der verschiedenen Berechnungsmodule garantiert werden können. Es werden Abarbeitungskonzepte der möglichen Module des Systems dargestellt, die in Abhängigkeit vom System, einen effizienten Ablauf garantieren sollen. Das abschließende Kapitel beinhaltet das Ziel der Masterarbeit, welches auf Basis der Ergebnisse dieser Arbeit definiert wurde.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Struktur eines Fahrerassistenzsystems	5
2.1.	Situationserfassung.....	5
2.1.1.	Darstellung von erkannten Objekten im Umgebungsmodell	6
2.2.	Situationserkennung	7
2.2.1.	Berechnung von Kollisionsdaten	7
2.2.2.	Ermittlung des spätesten Ausweichzeitpunktes	9
2.3.	Aktionsentscheider und Ausführung.....	12
2.4.	Wahl des Betriebssystems	12
3.	Zusammenfassung und Ausblick für die Masterarbeit.....	13
4.	Literaturverzeichnis.....	14
5.	Abbildungsverzeichnis	16
6.	Anhang	17
6.1.	Ermittlung des spätesten Bremszeitpunktes	17
6.2.	Klothoidengleichung	20
6.3.	Berechnung der Ausweichstrecke	20

1. Einleitung

Die Fahrerassistenz hat in der Automobilbranche schon eine lange Tradition. Zu den ersten Assistenzsystemen gehören Scheibenwischer oder Bremskraftverstärker, die dem Fahrer bei der Fahrt assistieren sollen, damit dieser sich besser auf den Verkehr konzentrieren kann. Aufgrund der rasanten Entwicklung in den Bereichen der Rechenleistung von Fahrzeugsteuerungen und der Kommunikation zwischen verschiedenen Fahrzeugkomponenten, ist es möglich, verschiedenste komplexe Assistenzsysteme mit geringem Energie- und Platzbedarf zu realisieren [5]. Als zweite Generation der Assistenzsysteme können die Systeme gezählt werden, die der Stabilisierung des Fahrzeugs in Grenzbereichen dienen. Hierzu gehört das seit Ende der 70er Jahre eingeführte Antiblockiersystem (ABS), welches bei Vollbremsungen durch Regelung des Bremsdruckes in kurzen Intervallen den Bremsweg verkürzt.

Dass solche Systeme nicht nur in den Fahrversuchen von Forschungsprojekten die Sicherheit des Fahrers erhöhen, wird an Unfallstatistiken der vergangenen Jahre deutlich (vgl. Abb.1). Die Unfallstatistik der Bundesrepublik Deutschland von 1954 bis 2002 [5] gibt an, dass bei einer Zunahme der Verkehrsleistung um 1280 % die Anzahl der Unfälle „nur“ um 480% angestiegen sind und die Zahl der tödlich Verunglückten sogar um 55% gesunken ist.

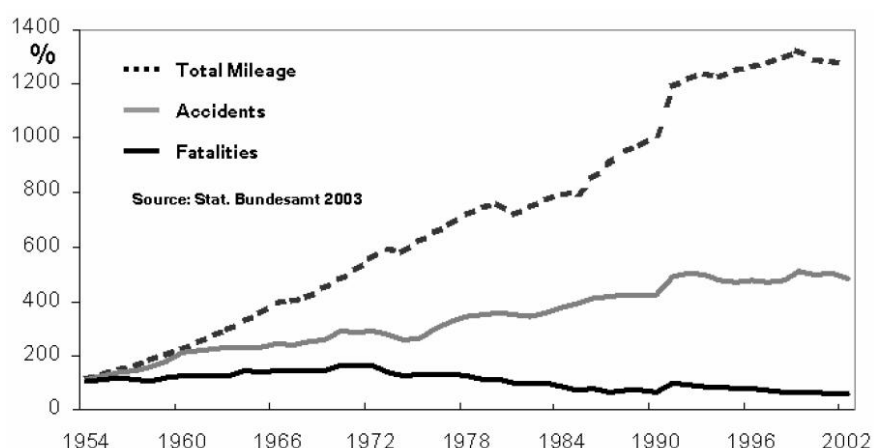


Abbildung 1: Entwicklung der Verkehrsleistung und Unfallzahlen in der Bundesrepublik Deutschland[5]

Die Assistenzsysteme der nächsten Generation analysieren den eigenen Fahrzeugzustand und die Umgebung des Fahrzeuges, und sollen damit für den Fahrer Verkehrssituationen erkennen und daraus Reaktionen ableiten. Für eine solche Fahrumgebungserfassung bedarf es hochgenauer Sensoren, die relevante Merkmale der Umgebung möglichst schnell erfassen. Ebenso wird eine Steuerung mit ausreichender Rechenleistung benötigt, um die Umgebungsinformationen in Echtzeit zu verarbeiten.

Der Einsatz solcher Systeme wird sich, auf mittelfristige Sicht, erst auf den Komfortbereich wie Warnsysteme oder Navigationshilfen beschränken [5]. Ein solches System zur Erhöhung der aktiven Sicherheit einzusetzen würde heißen, den Fahrer in Gefahrensituationen zu übersteuern, was zum einen rechtliche Fragen mit sich bringt, zum anderen auch einer Akzeptanz des Kunden bedarf [5]. Die Fahrumgebungserkennung ermöglicht es eine große Bandbreite an Assistenzsystemen zu realisieren, mit denen das Fahren im Straßenverkehr trotz immer komplexer werdenden Anforderungen an den Fahrer sicherer und komfortabler wird. Die Architektur eines solchen Assistenzsystems wird in den folgenden Kapiteln erläutert.

2. Struktur eines Fahrerassistenzsystems

Im folgenden Kapitel wird der strukturelle Aufbau eines Fahrerassistenzsystems anhand des Kollisionsvermeidungssystems aus [1] dargestellt. Der Schwerpunkt wird in dieser Arbeit auf die Situationserkennung gelegt, dabei werden aus den Daten mehrerer Umgebungssensoren verschiedene Fahrsituationen erkannt, damit in der im System folgenden Logik entsprechend reagiert werden kann.

Für den strukturellen Aufbau eines solchen Systems schlägt die Forschungsinitiative INVENT [6] die Unterteilung in drei Ebenen vor. INVENT ist ein Konsortium aus 23 Unternehmen aus der Automobilbranche, die sich in mehreren Projekten mit Themen von Sensordatenerfassung bis hin zu Verkehrsregelungssystemen befassen.

In der ersten Ebene des Assistenzsystems, der Situationserfassung, werden durch verschiedene Umgebungssensoren und einer Datenfusion sämtliche, für das System relevanten Merkmale der Fahrumgebung erfasst. Hierzu gehören das Erkennen von anderen Verkehrsteilnehmern, Verkehrsschildern sowie der Bewegungszustand des eigenen Fahrzeugs. Die Situationserkennung und -analyse, die als zweite Ebene bezeichnet wird, wertet diese Informationen in Bezug auf typische Fahrsituationen aus und komprimiert die Informationen für die in der aufbauenden Applikation enthaltenden Logik. Diese Aktionsentscheidung stößt die gewünschte Reaktion an, die in der dritten Ebene, der Aktionsausführung, ausgeführt wird.

2.1. Situationserfassung

In der Automobilbranche haben sich seit einigen Jahren verschiedene Sensoren für die Umgebungserkennung durchgesetzt. Aufgrund der Tatsache, dass es bisher noch keinen Sensor gibt, der sämtliche erforderlichen Eigenschaften, wie hohe Reichweite, Auflösung oder Wetterunabhängigkeit erfüllt, muss auf verschiedene Sensoren zurückgegriffen werden [2].

Die Daten der Videokamera sind der menschlichen Wahrnehmung sehr ähnlich. Mit relativ hohem Aufwand kann mit so genannten Stereokameras, die mit mehreren Sensoren arbeiten, neben dem Bild auch die Entfernung zur Umgebung ermittelt werden. Die Einschränkungen dieser Sensoren bestehen darin, dass dessen Messergebnisse sehr vom Wetter- und einer externen Lichtquelle abhängig sind. Bei starkem Regen, Nebel oder Dunkelheit können nur sehr ungenaue Werte erfasst werden. Hinzu kommt, dass die Verarbeitung von Bilddaten zur Ermittlung von geometrischen Objektdaten sehr aufwendig ist, und damit eine hohe Rechenleistung benötigt wird. Der ausschlaggebende Grund, warum trotzdem ein Videosensor verwendet wird ist, dass mit diesem die Fahrbahnmarkierung erkannt werden kann [2].

Die Radarsensoren sind Wetterunabhängiger, da sie mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen Entfernungen zu Objekten messen. Durch die Messung der Zeitdifferenz zwischen der ausgesandten Welle und dem Empfangszeitpunkt der, an einem Objekt reflektierte Welle, wird der Abstand zu dem Objekt ermittelt. Diese Sensoren zeichnen sich im Vergleich zu den Videosensoren durch die höhere Reichweite aus (bis ca. 150 m) [15,16]. Der Nachteil dieser Sensoren ist der geringe Öffnungswinkel der bei 5-15° liegt. Damit wird eine Erkennung von

großen Objekten mit geringer Entfernung unmöglich. Aus diesem Grund werden diese Sensoren zur Erkennung von Objekten mit großem Abstand zum eigenen Fahrzeug verwendet. Eine dritte Kategorie der Umgebungssensoren sind die Laserscanner. Diese arbeiten mit Wellen im sichtbaren Wellenlängenbereich. Auch hiermit lässt sich anhand der konstanten Lichtgeschwindigkeit durch Messung der Laufzeit eines gesendeten Lichtimpulses bis zum Eintreffen dessen Reflektion die Entfernung zu Objekten ermitteln. Diese Art von Sensoren zeichnet sich durch ihren hohen Öffnungswinkel von bis zu 360° sowie eine hohe Messgenauigkeit von bis zu $0,07^\circ$ aus [3]. Diese Sensoren eignen sich bei einer Reichweite von ca. 100 m sehr gut zur Umgebungserfassung rund um das Fahrzeug.

2.1.1. Darstellung von erkannten Objekten im Umgebungsmodell

Aufgrund der Tatsache, dass eine vollständige Erfassung der Umgebung nur mit Hilfe mehrerer verschiedener Sensoren möglich ist, müssen deren Daten mit einer so genannten Datenfusion aufbereitet werden, um ein einheitliches Umgebungsmodell zu erstellen. Mit dieser Datenfusion wird die hohe Informationsdichte, die vor allem durch die hochauflösenden Lasersensoren bedingt ist [1], in komprimierter Form der nachfolgenden Applikation zur Verfügung gestellt. Die im Folgenden verwendete komprimierte Objektdarstellung reduziert die Information zum Objekt auf drei Abstandsmesswerte, die charakteristische Objektpunkte kennzeichnen, und auf die Relativgeschwindigkeit zum eigenen Fahrzeug. Die Punkte beschreiben die linke (L), sowie rechte Begrenzung (R) des Objektes, sowie den Punkt (K) mit dem kürzesten Abstand zum eigenen Fahrzeug (vgl. Abb. 2).

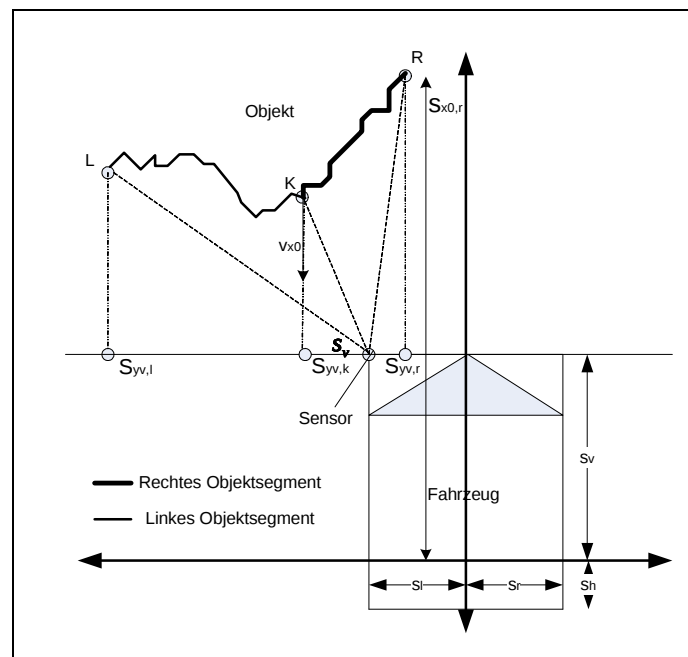


Abbildung 2: Objektdarstellung im Umgebungsmodell

Diese Art der Objektdarstellung ist für verhältnismäßig kleine Objekte wie Verkehrsschilder, Autos, Fußgänger gut geeignet. Bei länglichen Objekten, die nicht gerade oder leicht gekrümmt sind wie z.B. bei Leitplanken in engen Kurven, ist diese Approximation zu ungenau [1].

2.2. Situationserkennung

Das Umgebungsmodell aus der Datenfusion gibt Information über die Positionen und Geschwindigkeiten der Objekte im Umfeld. Aufbauend auf diesem Modell müssen verschiedene Verkehrssituationen erkannt werden, damit die nachfolgende Applikation, in der das Verhalten des Assistenzsystems definiert ist, direkt die komprimierten Informationen erhält.

Das Objektmodell stellt eine Momentaufnahme der Fahrzeugumgebung dar, die mit jedem Erfassungszyklus der Sensormesswerte aktualisiert wird. Die Geschwindigkeit der Objekte wird durch die zurückgelegte Strecke der einzelnen Punkte in der Zeit zwischen zwei Scans ermittelt. Um die Änderung in dem Objektmodell in der Berechnung der Situationen berücksichtigen zu können, muss diese zyklisch durchgeführt werden. Das Intervall, in dem diese Berechnung erfolgt, ist durch die Abtastrate der Sensoren und der fahrzeugabhängigen Zeitkonstanten begrenzt [12].

In dem folgenden Kapitel wird die Erkennungsstrategie von Verkehrssituationen näher erläutert, die häufig in Assistenzsystemen implementiert werden.

2.2.1. Berechnung von Kollisionsdaten

Die Kollision des eigenen Fahrzeuges mit einem anderen Verkehrsteilnehmer ist eine Situation, die es in den verschiedenen Fahrerassistenzsystemen zu erkennen bzw. zu vermeiden gilt. Zu den relevanten Informationen einer Kollision gehören zum einen der Punkt am eigenen Fahrzeug, an dem der Aufprall stattfindet und zum anderen der Zeitpunkt des Aufpralls. Der Kollisionspunkt wird benötigt, da hiermit berechnet wird, ob das eigene Fahrzeug in das fremde Objekt gefahren ist oder umgekehrt. Kollidiert das Objekt mit einer der Längsseiten des Fahrzeuges, so hat es voraussichtlich selbst die Kollision verursacht. In Abhängigkeit von diesem Wissen wird ein unterschiedliches Reaktionsverhalten des eigenen Fahrzeuges gewünscht. Der Zeitpunkt der Kollision gibt Information darüber, in wie weit vor dem Aufprall noch reagiert werden kann. Es gilt zu differenzieren, ob die Möglichkeit besteht, dass der Fahrer selbst noch eingreifen kann, so dass er innerhalb der definierten Aufprallzeit auf die Kollision aufmerksam gemacht werden muss, oder ein Kollisionsvermeidungssystem eingreifen muss. Das Kollisionsvermeidungssystem kann anhand der Aufprallzeit ermitteln, welche der möglichen Reaktionen wie Bremsen oder Ausweichen angestoßen werden muss.

Die nun folgenden Berechnungen beziehen sich alle auf die Kollision mit der Frontseite des Fahrzeuges.

Die Zeit bis zur Kollision t_{xv} mit einem Punkt eines Objektes lässt sich mit der Differenzgeschwindigkeit des eigenen Fahrzeugs zu der Geschwindigkeit des Objektes v_{x0} sowie dem aktuellen Abstand zum Objektpunkt $s_v - s_{x0}$ ermitteln. Hierbei ist s_v die x-Koordinate der vorderen Begrenzung des Fahrzeuges, und s_{x0} die x-Koordinate des Objektpunktes (vgl. Abb.2).

$$t_{xv} = \frac{s_v - s_{x0}}{v_{x0}} \quad (2.1)$$

Die y-Koordinate des Aufprallpunktes s_{yv} ist die Koordinate, die der Objektpunkt mit der Relativgeschwindigkeit in y-Richtung v_y von der aktuellen y-Position s_{y0} in der Zeit bis zum Aufprall t_{xv} zurückgelegt hat.

$$s_{yv} = v_y * t_{xv} + s_{y0} \quad (2.2)$$

Um die Kollision mit einem Objekt zu ermitteln, müssen die verschiedenen Fälle definiert werden, in denen eine Kollision erfolgt. Es gibt zehn verschiedene Möglichkeiten, wie ein Objekt mit dem Fahrzeugfront kollidieren kann (vgl. Abb. 3).

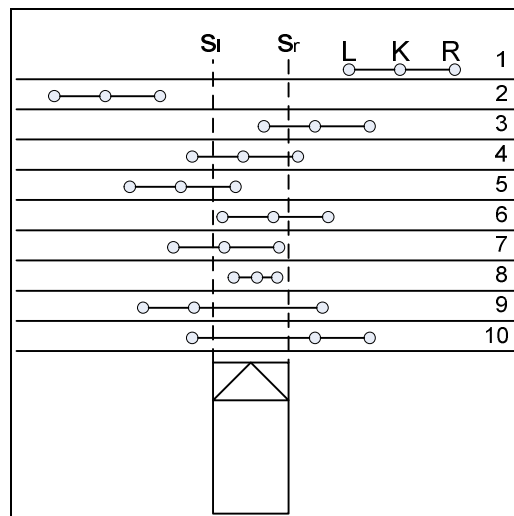


Abbildung 3: Kollisionsmöglichkeiten der Fahrzeugfront mit einem Objekt

Diese zehn Möglichkeiten können auf fünf verschiedene Situationen reduziert werden. Eine Kollision steht bevor, wenn:

1. Der Schnittpunkt der Punkte (L, K, R) zwischen den Seitenbegrenzungen des Fahrzeugs liegt (Fall 8).
2. Die linke Fahrzeugbegrenzung das linke Objektsegment durchstößt (Fall 4,7,10)
3. Die linke Fahrzeugbegrenzung das rechte Objektsegment durchstößt (Fall 5,9)
4. Die rechte Fahrzeugbegrenzung das linke Objektsegment durchstößt (Fall 3,10)
5. Die rechte Fahrzeugbegrenzung das rechte Objektsegment durchstößt (Fall 4,6,10)

Im ersten Fall ist die Objektaufprallzeit die geringste Aufprallzeit der drei Punkte.

$$T_z = \min(t_{xv,l}, t_{xv,k}, t_{xv,r}) \quad (2.3)$$

In den anderen Fällen muss nicht einer der bekannten Punkte des Objektes der Punkt mit der geringsten Aufprallzeit sein. In jedem dieser Fälle liegt der Punkt in einem Objektsegment, und damit zwischen zwei Objektpunkten. Um den Punkt zu erhalten, wird davon ausgegangen, dass das Objekt zwischen den Punkten geradlinig verläuft (vgl. Abb. 4).

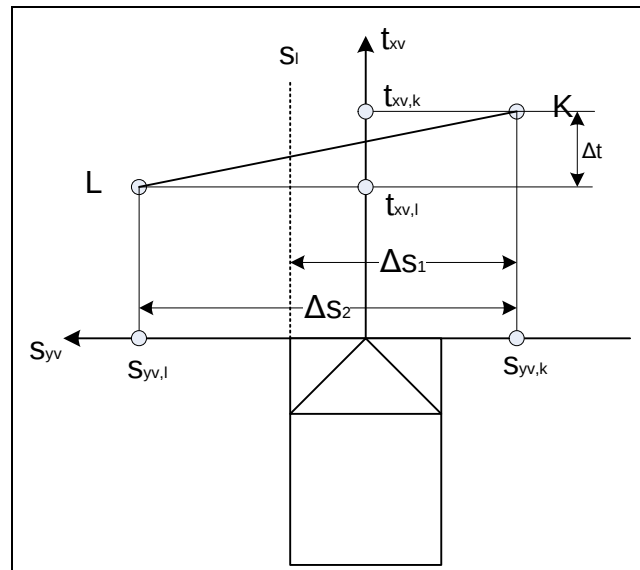


Abbildung 4: Kollision mit einem Objekt

Aufgrund dieser Annahme kann der Auftrittszeitpunkt mit Hilfe des Strahlensatzes errechnet werden.

$$T = t_{\min} + \Delta t * \frac{\Delta s_1}{\Delta s_2} \quad (2.4)$$

Aufgrund der Tatsache, dass mehrere der fünf Fälle gleichzeitig eintreffen können, muss anschließend die minimale Aufprallzeit der fünf Fälle ermittelt werden. Dieser Wert ist die endgültige Aufprallzeit für das Objekt mit der vorderen Begrenzung des Fahrzeuges. Diese Berechnung wird ebenso für die linke, rechte und hintere Begrenzung des Fahrzeuges durchgeführt.

Die Information über den Aufprall für nachfolgende Applikationen wird weiter komprimiert, indem es für jede Fahrzeugseite ein Statusflag (K_v, K_h, K_l, K_r) gibt. Dieses wird gesetzt, wenn alle Aufprallzeiten der anderen Seiten größer sind.

2.2.2. Ermittlung des spätesten Ausweichzeitpunktes

Für ein Kollisionsvermeidungssystem ist neben dem letzten Zeitpunkt, an dem durch das betätigen der Bremse eine Kollision vermieden werden kann, der Zeitpunkt relevant, in dem durch Ausweichen der Unfall vermieden werden kann.

Um diesen Zeitpunkt ermitteln zu können, muss zuvor der Kollisionszeitpunkt und die Zeit ermittelt werden, die für das Ausweichen benötigt wird. Die Ausweichzeit hängt im Wesentlichen von der maximal möglichen Querschleunigung des Fahrzeuges und der Ausweichbreite ab. Die Querschleunigung ist im Rahmen der Fahrphysik von der Geschwindigkeit abhängig und soll durch folgende Kennlinie dargestellt werden, die [1] für das Versuchsfahrzeug, einen VW-Passat, angenommen hat.

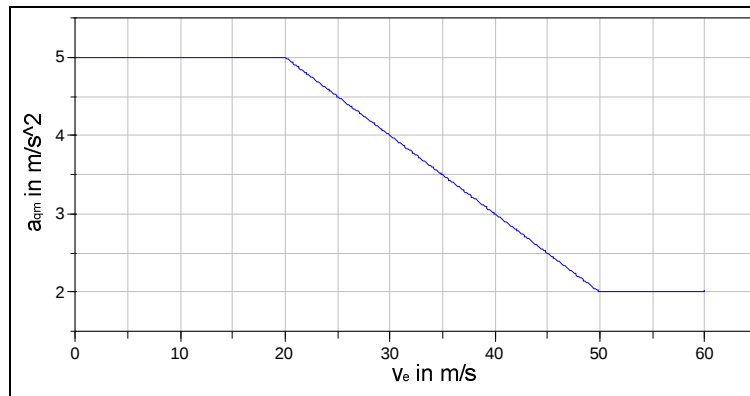


Abbildung 5: Maximalen Querbeschleunigung eines Pkws in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit [1]

Die Ausweichbreite y_{al} ergibt sich bei einem Ausweichmanöver nach links aus dem Sicherheitsabstand y_s , der zu dem auszuweichenden Objekt gehalten werden muss, der rechten Fahrzeugbegrenzung s_r , sowie dem linken Begrenzungspunkt des Objektes s_{yvl} (vgl. Abbildung 6).

$$y_{al} = s_{yvl} + y_s + s_r \quad (2.5)$$

Der Weg auf dem das Fahrzeug diese Ausweichbreite erreicht, soll durch eine Aneinanderkettung von Klothoidenkurven dargestellt werden. Diese Kurven zeichnen sich dadurch aus, dass die Krümmungsänderung konstant ist und damit die Krümmung stetig verläuft. Dadurch entstehen keine Sprünge in der Drehgeschwindigkeit (Gierrate) beim Ein- und Austreten der Kurve, was zu einem ruckfreien Fahrverhalten führt. Da die Lösung einer Klothoidengleichung (vgl. Kap. 7.2) mathematisch sehr aufwendig ist, soll diese durch ein Polynom 3. Graden angenähert werden [1].

$$y(x) = c_0 + c_1 x + c_2 \frac{x^2}{2} + c_3 \frac{x^3}{6} \quad (2.6)$$

Hierbei entspricht die Konstante c_0 der Anfangsabweichung von der Fahrzeugmitte. Die Anfangssteigung c_1 entspricht dem Tangens des Drehwinkels (Gierwinkel), und c_2 und c_3 geben die Krümmung und die Krümmungsänderung an. Der Ausweichweg soll durch vier aufeinander folgende Klothoidenkurven beschrieben werden (vgl. Abb. 6).

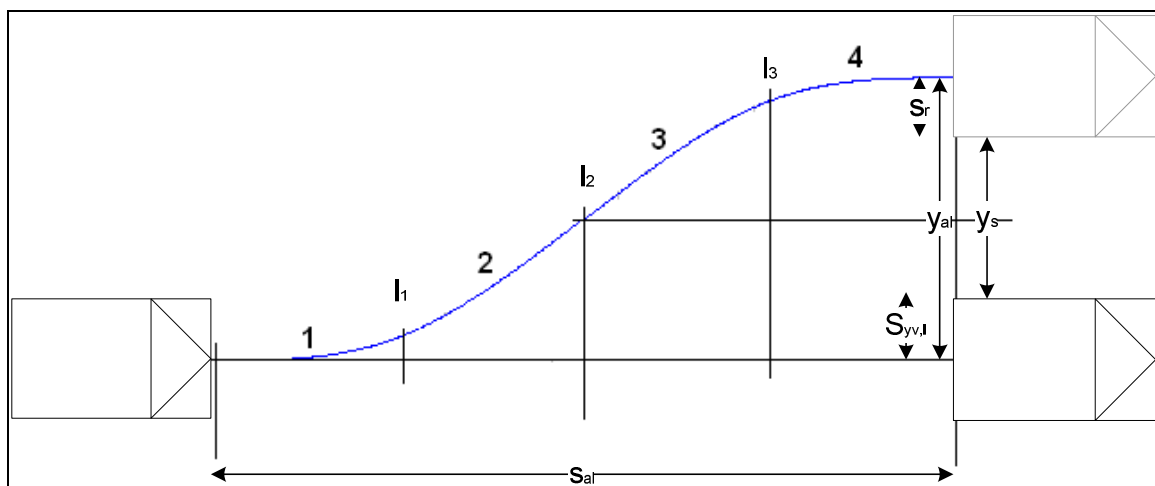


Abbildung 6: Durch vier Klothoidenkurven erzeugter Ausweichweg

Die vier Kurven werden aneinandergereiht, indem die jeweiligen Konstanten der Position, Steigung und Krümmung an den Übergängen berechnet werden.

In der Ausgangssituation sind die Positions-, Steigungs- und Krümmungskonstanten Null. Demnach ergibt sich die Position an dem ersten Übergang l_1 aus:

$$y_1(l_1) = c_{31} \frac{l_1^3}{6} \quad (2.7)$$

Die Steigung und Krümmung an dieser Stelle ergeben sich aus der ersten und zweiten Ableitung :

$$y_1'(l_1) = c_{31} \frac{l_1^2}{2} \quad (2.8)$$

$$y_1''(l_1) = c_{31} * l_1 \quad (2.9)$$

Am Ende der ersten Klothoide ist die Krümmung am größten und damit die maximale Querbeschleunigung erreicht. Demnach gilt:

$$c_{31} = \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} \quad (2.10)$$

Durch Einsetzen von (2.7, 2.8, 2.9) in (2.6) erhält man die Gleichung des zweiten Klothoidenabschnittes woraus die Gleichung für die Ausweichstrecke s_{al} gefolgert wird (Rechnung s. Kap. 7.3). Mit der Annahme, dass die Geschwindigkeit während des Ausweichmanövers konstant bleibt ergibt sich daraus die Ausweichzeit.

$$s_{al} = 4 * \sqrt{\frac{y_{al}}{2a_{qm}}} * v_e \quad (2.11)$$

$$t_{al} = 4 * \sqrt{\frac{y_{al}}{2a_{qm}}} \text{ für } y_{al} > 0 \quad (2.12)$$

Da das Ausweichmanöver so spät wie möglich ausgeführt werden soll, und die Ausweichbreite nahezu schon nach dem dritten Klothoidenabschnitt erreicht ist, wird die für den letzten Klothoidenabschnitt benötigte Zeit nicht eingerechnet. Damit ergibt sich:

$$t_{al} = 3 * \sqrt{\frac{y_{al}}{2a_{qm}}} \text{ für } y_{al} > 0 \quad (2.13)$$

Mittels dieser Ausweichzeit kann im Anschluss ein Auslösesignal für ein Ausweichmanöver generiert werden, welches dem Aktionsentscheider als Eingangssignal dient.

Äquivalent zu der Berechnung des Ausweichstatus kann der Bremsstatus berechnet werden, der Information darüber gibt, ob der Zeitpunkt in der Vergangenheit liegt, in dem durch eine Vollbremsung die Kollision mit einem Objekt noch vermieden werden kann (vgl. Kap. 7.1).

2.3. Aktionsentscheider und Ausführung

Die Auswertung der Informationen, die aus der Situationsanalyse gewonnen werden, kann mit verschiedenen Methoden erfolgen. Eine mögliche Methode für die Realisierung eines solchen reaktiven Systems ist die Auswertung durch einen Automaten. Dieser Automat wird durch die gewonnenen Statusinformationen der Situationserkennung getriggert. Er entscheidet in Abhängigkeit von dem aktuellen Zustand über die anzusteuernde Reaktion. Eine Mögliche Umsetzung eines solchen Automaten für ein Kollisionsvermeidungssystem ist in [1] dargestellt.

Die Fuzzy-Logik ist eine weitere Methode der Auswertung, die in [4] beschrieben ist. Hierfür werden in Fahrversuchen Messdaten erfasst, die in Kennfeldern dargestellt werden. Aus diesen Kennfeldern werden anschließend Regeln generiert, die entscheiden, wie sich das Fahrzeug in der jeweiligen Situation zu verhalten hat. Aufgrund der unscharfen Logik dieses Verfahrens, ist es sehr unwahrscheinlich, dass dieser Ansatz in der Automobilindustrie realisiert wird [1].

Hat der Entscheider die gewünschte Reaktion ausgewählt, so muss diese in einem Aktionsausführungsmodul umgesetzt werden. Hierbei ist zu beachten, dass die in dem Eingriff angewandten Regelungsalgorithmen ein Fahrverhalten herbeiführen, welches den Annahmen in der Situationserkennung entspricht.

2.4. Wahl des Betriebssystems

Die Berechnung der Fahrzeugsituationen soll, wie in Kap. 2.2 dargestellt, zyklisch erfolgen. Die Einhaltung dieses, durch den von den Erfassungszeiten der Sensoren und der fahrzeugspezifischen Zeitkonstanten beschränkten Zyklus, soll mit einem zeitgesteuerten Echtzeitbetriebssystem realisiert werden [10]. In diesem System werden im Gegensatz zu einem eventgesteuerten System die verschiedenen Tasks in fest definierten Zyklen gestartet und nicht durch ein Event angestoßen. Da die Tasks nicht preemptiv sind, kann die komplette Abarbeitung eines Tasks bei jedem Aufruf garantiert werden. Damit wird der Ablauf des Systems vorhersagbar. Die Notwendigkeit für ein solches Betriebssystem ist zu dem durch den gewünschten aktiven, geregelten Eingriff in das Fahrverhalten des Fahrzeuges bedingt. Hierfür muss ebenfalls die Einhaltung fester Zyklen garantiert werden können. Aufgrund dieser Tatsache setzten sich zeitgesteuerte Betriebssysteme in der Automobilindustrie immer mehr durch [11].

In Abhängigkeit von den fahrzeugspezifischen Zeitkonstanten und der benötigten Rechenzeit für den Status gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie die Abarbeitung in einem solchen zeitgesteuerten System erfolgen kann. Im ersten Ansatz könnte mit jedem Systemtakt ein Erkennungsmodul ablaufen und anschließend der Entscheider ausgeführt werden (vgl. a in Abb. 7). Wenn die Berechnungszeit zur Erkennung des Situationsstatus geringer ist, könnten diese (b), oder auch der Entscheider (c) innerhalb eines Systemtaktes ausgeführt werden.

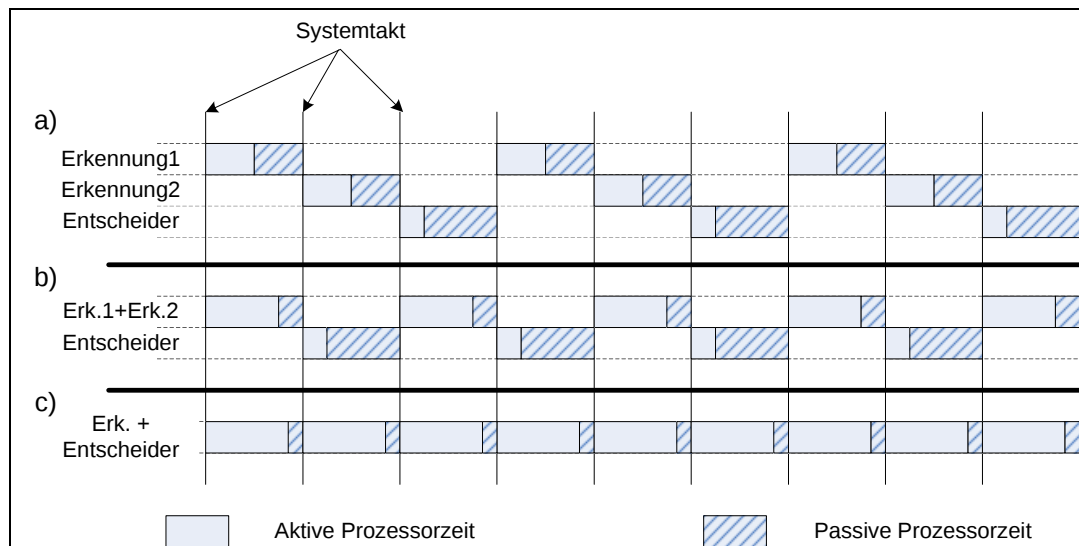


Abbildung 7: Entwürfe zur Aufteilung der Tasks im zeitgesteuerten Betriebssystem

3. Ausblick für die Masterarbeit

Im Rahmen der Masterarbeit soll ein Fahrerassistenzsystem nach der vorgestellten Drei-Ebenen-Architektur entwickelt werden. Nach einer Recherche nach weiteren Softwarekonzepten, soll das vorgestellte System erweitert und an eine Versuchsumgebung angepasst werden. Hierfür sollen Konzepte von Teilnehmern der DARPA Grand Challenge zur Hilfe genommen werden [17]. Bei dem Rennen muss ein Automobil völlig autonom innerhalb von zehn Stunden eine vorgegebene Strecke von 131,6 Meilen abfahren. Die Anforderungen an die dort verwendeten Systeme entsprechen abgesehen von der Lokalisierung und der Komplexität der Sensoren für die Umgebungserkennung dem des zu entwickelnden Assistenzsystems. Für die Anpassung der bestehenden Architektur müssen die fahrzeugspezifischen Erkennungsmodule, der Entscheider, sowie die Ausführungsmodule entwickelt werden. Das System soll auf Basis eines zeitgesteuerten Betriebssystems implementiert werden, welches im Projekt AW2 des Masterstudienganges schon erarbeitet wurde [14]. Hiefür muss unter Berücksichtigung der Rechenzeiten, ein Konzept für den Ablauf der verschiedenen Tasks in dem System erstellt werden. Die Software soll so ausgelegt sein, dass sie nicht wie bei den meisten Forschungsprojekten auf einer Echtzeitsimulationsumgebung wie MATLAB, sondern direkt auf einer praxisnahen Steuerung implementiert werden kann.

Im ersten Ansatz soll die Realisierung auf GEME-Rechnern erfolgen, die schon im FAUST-Projekt als Hardware der Koordinierungsrechner dienten. Diese sind mit einem 650 MHz Celeron Prozessor ausgestattet. Eine weitere mögliche Plattform für das Assistenzsystem ist der Flexray-Knoten mit einem 32 Bit Prozessor mit 24 MHz, auf dem das System anschließend umgesetzt werden soll.

Als Grundlage für die Fahrzeug- und Steuerungshardware soll das, in dem Projekt dieses Semesters funktionstauglich gemachte Fahrzeug FAUST dienen. Die Umgebungserfassung soll nur mit einem Sensor, bzw. mit wenigen Sensoren erfasst werden, damit eine rechenaufwendige Sensordatenfusion nicht notwendig wird. Der Vorteil dieses Fahrzeuges liegt darin, dass die Lenk- und Fahrmotoren direkt elektronisch angesteuert werden können. Damit besteht eine direkte Schnittstelle für die Reaktion des Systems.

4. Literaturverzeichnis

- [1] Ameling Christian: *Steigerung der aktiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen durch ein Kollisionsvermeidungssystem*, Dissertation, VDI Verlag, 2002
- [2] Mildner Frank: *Untersuchung zur Erkennung und Vermeidung von Unfällen für Kraftfahrzeuge*, Dissertation, VDI Verlag, 2004
- [3] Kirchner Alexander: *Sensordatenverarbeitung eines Laserscanners für autonome Fahrfunktionen von Kraftfahrzeugen*, Dissertation, VDI Verlag, 2000
- [4] Lages, Ulrich S.: *Untersuchung zur aktiven Unfallvermeidung von Kraftfahrzeugen*, Dissertation, VDI Verlag, 2000
- [5] Freymann, Raymond: *Möglichkeiten und Grenzen von Fahrerassistenz- und Aktiven Sicherheitssystemen*, Tagungsbericht, 2004
- [6] www.invent-online.de, 2005, Forschungsinitiative deutscher Unternehmen
- [7] Girard, Anouck R., Spry, Stephan, Hedrick, J. Karl: *Real-Time, Embedded Hybrid Control Software*, IEEE Robotics & Automation Magazine, March 2005
- [8] Barber, Jonathan, Kolodko, Julian, Noel, Tony, Parent, Michael, Vlacic, Ljubo: *Intelligent Vehicles Sharing City Roads*, IEEE Robotics & Automation Magazine, March 2005
- [9] Maurin, Benjamin, Masoud, Osama, Papanikolopoulos, Nikolaus P.: *Computer Vision Algorithms for Monitoring Vehicles, Individuals, and Crowds*, IEEE Robotics & Automation Magazine, March 2005
- [10] Kopetz, Herman, *Real-Time Systems. Design Principles for Distributed Embedded Applications*. Kluwer Academic Publishers, 8th printing 2004.
- [11] Homann Matthias, OSEK. Betriebssystem-Standard für Automotive und Embedded Systems. Mitp-Verlag, 2004
- [12] Tetzlaff, Olaf, Sellentin, Jörn, Cordes, Stefan, *Embedded System Plattform für ein autonomes Fahrzeug, AW1- Abschlussdokument*, 2005
- [13] Zomotor, Adam. *Fahrwerktechnik: Fahrverhalten*. Vogel-Fachbuch. Reimpell, Jörn, Vogel Buchverlag Würzburg, 1987.
- [14] Pont, Michael J., *Patterns for Time-Triggered Embedded Systems*, Addison-Weasley Longman, Amsterdam, 2001
- [15] http://www.smartmicro.de/html/automotive_radar.html, Smart Microwave Sensors GmbH, Dez. 2005
- [16] Rickett Bryan, *A Vision Of Future Applications For An Automotive Radar Network*, 1st International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2004), 23-24 March 2004, Hamburg, Germany
- [17] <http://www.grandchallenge.org/>, Defense Advanced Research Projects Agency Grand Challenge, Dez. 2005.

5. Symbolverzeichnis

a_{qm}	Maximale Querschleunigung
c_0	Anfangsablage (Parameter im Näherungspolynom der Klothoidenkurve)
c_1	Tangens des Gierwinkels (Parameter im Näherungspolynom der Klothoidenkurve)
c_2	Anfangskrümmung (Parameter im Näherungspolynom der Klothoidenkurve)
c_3	Krümmungsänderung (Parameter im Näherungspolynom der Klothoidenkurve)
c_{31}	Krümmungsänderung der ersten Klothoidenkurve
K	Objektpunkt mit dem kürzesten radialen Abstand zum Sensor
K_h	Logische Variable für den Aufprall hinten
K_l	Logische Variable für den Aufprall links
K_r	Logische Variable für den Aufprall rechts
K_v	Logische Variable für den Aufprall vorne
L	Linker Begrenzungspunkt des Objektes
l_1	Länge der ersten Klothoidenkurve
R	Rechter Begrenzungspunkt des Objektes
s_{al}	Länge des Ausweichmanövers
s_h	Koordinate der hinteren Fahrzeugbegrenzung
s_l	Koordinate der linken Fahrzeugbegrenzung
s_r	Koordinate der rechten Fahrzeugbegrenzung
s_v	Koordinate der vorderen Fahrzeugbegrenzung
s_{x0}	Anfangs-Koordinate in x-Richtung
$s_{x0,r}$	x-Koordinate des rechten Objektpunktes
s_{y0}	Anfangsabstand in y-Richtung
s_{yv}	y-Abstand des Schnittpunktes mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung
$s_{yv,k}$	y-Abstand des Schnittpunktes mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, Objektpunkt mit dem kürzesten radialen Abstand zum Sensor
$s_{yv,l}$	y-Abstand des Schnittpunktes mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, linker Objektbegrenzungspunkt
$s_{yv,r}$	y-Abstand des Schnittpunktes mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, rechter Objektbegrenzungspunkt
t_{al}	Ausweichzeit
t_{xv}	Zeit bis zum Aufprall mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung
$t_{xv,k}$	Zeit bis zum Aufprall mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, Objektpunkt mit dem kürzesten radialen Abstand zum Sensor
$t_{xv,l}$	Zeit bis zum Aufprall mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, linker Objektbegrenzungspunkt

$t_{xv,r}$	Zeit bis zum Aufprall mit der vorderen Fahrzeugbegrenzung, rechter Objektbegrenzungspunkt
T_z	Aufprallzeit, wenn alle Objektpunkte zwischen den Fahrzeugbegrenzungen liegen
v_e	Geschwindigkeit des eigenen Fahrzeuges
v_{x0}	Relativgeschwindigkeit des Objektes zum eigenen Fahrzeug
v_y	Relativgeschwindigkeit des Objektes in y-Richtung
y_{al}	Ausweichbreite
Δs_1	Abstand
Δs_2	Abstand
Δt	Zeitintervall

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Verkehrsleistung und Unfallzahlen in der Bundesrepublik Deutschland[5]	4
Abbildung 2: Objektdarstellung im Umgebungsmodell	6
Abbildung 3: Kollisionsmöglichkeiten der Fahrzeugfront mit einem Objekt.....	8
Abbildung 4: Kollision mit einem Objekt.....	9
Abbildung 5: Maximalen Querschleunigung eines Pkws in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit [1]	10
Abbildung 6: Durch vier Klothoidenkurven erzeugter Ausweichweg.....	10
Abbildung 7:Entwürfe zur Aufteilung der Tasks im zeitgesteuerten Betriebssystem	13
Abbildung 8: Kollision mit einem längsbewegten Hindernis	17
Abbildung 9: Verhinderung der Kollision mit einem querbewegten Hindernis durch Geschwindigkeitsreduktion.....	18
Abbildung 10: Zeitverlauf für Geschwindigkeit (oben) und Weg (unten) während eines Bremsmanövers für ein querbewegtes Hindernis.....	19
Abbildung 11: Ablauf eines Bremsmanövers nach [13]	20

7. Anhang

7.1. Ermittlung des spätesten Bremszeitpunktes

Für die Berechnung des Bremsstatus muss jedes Objekt als querbewegtes und längsbewegtes Objekt betrachtet werden.

Eine Interpretation als längsbewegtes Objekt ist in Abb.8 dargestellt.

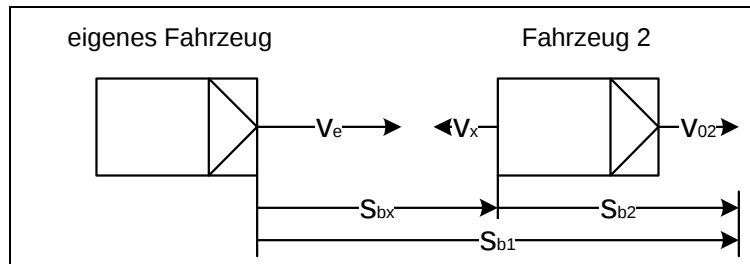


Abbildung 8: Kollision mit einem längsbewegten Hindernis

Es kommt zur Kollision, da die Eigengeschwindigkeit v_e größer als die Geschwindigkeit des fremden Fahrzeuges v_{02} ist. Damit ist der eigene Bremsweg s_{b1} entsprechend länger als der Bremsweg von Fahrzeug 2 ist. Es gilt demnach die Differenz der Bremswege s_{bx} zu ermitteln.

$$s_{bx} = s_{b1} - s_{b2} \quad (4.1)$$

Für die zurückgelegte Strecke eines beschleunigten Körpers gilt:

$$s(t) = \frac{1}{2} a * t^2 + v_0 * t \quad (4.2)$$

Wobei t die Zeit bis zum Stillstand des jeweiligen Fahrzeuges ist:

$$t = \frac{v_{soll} - v_0}{a} = \frac{-v_0}{a} \quad (4.3)$$

Setzt man nun die Anfangsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge in die Gleichungen zur Berechnung der Bremswege ein und setzt sie mit der Annahme gleicher Bremsbeschleunigung in (4.1) ein, so erhält man:

$$s_{bx} = \frac{(v_e + v_x)^2 - v_e^2}{2 * a} = \frac{v_x}{a} \left(\frac{1}{2} v_x + v_e \right) \quad (4.4)$$

Die Berechnung des Bremsweges allein reicht nicht zur eindeutigen Identifizierung des letzten möglichen Bremszeitpunktes. Dies ist dadurch bedingt, dass wenn der Bremsweg größer dem Abstand zu dem Fahrzeug, bzw. Objekt ist, möglicherweise noch ausreichend Zeit zur Verfügung steht, um die Kollision zu vermeiden. Aus diesem Grund wird zusätzlich die Bremszeit berechnet. Für die Bremszeit gilt:

$$t_{bx} = \frac{v_x}{a} \quad (4.5)$$

Betrachtet man das Objekt als querbewegtes Objekt, so ist es nicht notwendig das Fahrzeug vor dem Erreichen der x-Koordinate des Objektes zum Stillstand abzubremesen. Es reicht aus, wie in Abb. 9 dargestellt, die Geschwindigkeit soweit zu reduzieren, dass das Objekt bei Erreichen der x-Koordinate den eigenen Pfad schon passiert hat.

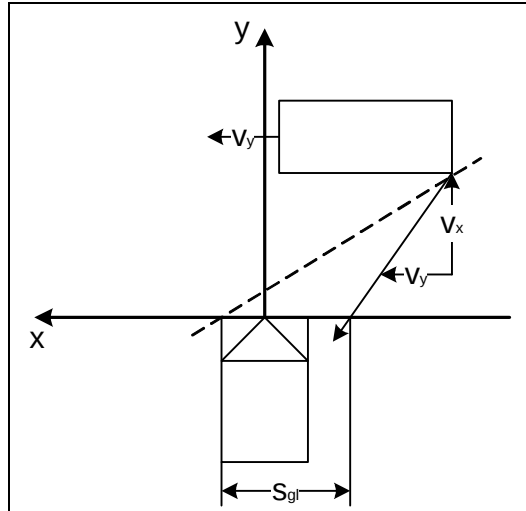


Abbildung 9: Verhinderung der Kollision mit einem querbewegten Hindernis durch Geschwindigkeitsreduktion

Die Zeit, die das eigene Fahrzeug später an der vermeidlichen Kollisionskoordinate ankommen soll ergibt sich aus:

$$\Delta t = \frac{S_{gl}}{v_y} \quad (4.6)$$

Da die Verzögerung nur durch eine Vollbremsung erfolgen darf, ergibt sich der Weg wie in Abb. 10 Dargestellt aus der Strecke bis zum aktivieren der Vollbremsung:

$$s_0 = v_0 * t_{bq} \quad (4.7)$$

und dem Weg des Bremsmanövers:

$$s_{by} = v_0 * \Delta t_b + \frac{1}{2} a * \Delta t_b^2 \quad (4.8)$$

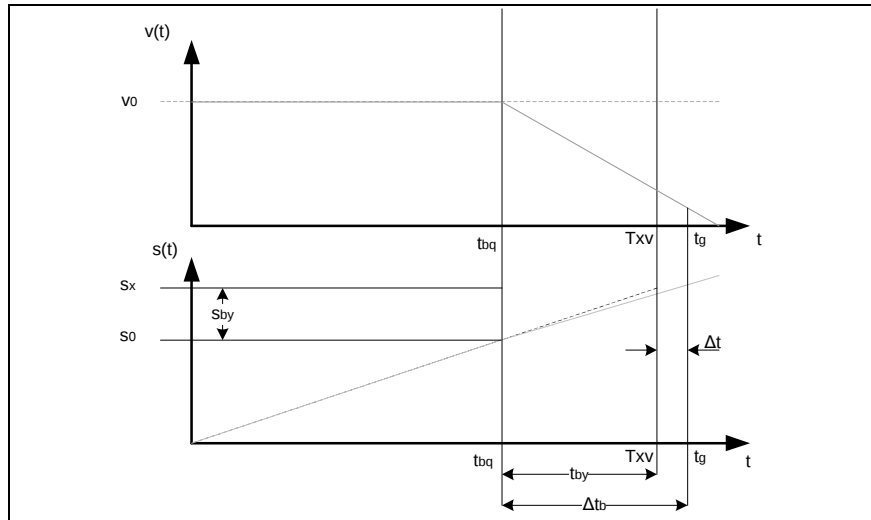


Abbildung 10: Zeitverlauf für Geschwindigkeit (oben) und Weg (unten) während eines Bremsmanövers für ein querbewegtes Hindernis

Mit :

$$\Delta t_b = T_{vx} + \Delta t - t_{bq} \quad (4.9)$$

und

$$t_{by} = T_{xv} - t_{bq} \quad (4.10)$$

lässt sich die Gleichung nach der gesuchten Eingriffszeit t_{bq} umformen:

$$t_{bq} = \sqrt{\frac{2(s_x - v_0 \cdot (T_{xv} + \Delta t))}{a}} - \Delta t \quad (4.11)$$

Nun muss nur noch berücksichtigt werden, dass von der Strecke noch die vordere Fahrzeugbegrenzung s_v abgezogen wird. Da der Koordinatenursprung auf der Hinterachse des Fahrzeuges liegt, erhält man den letzten Zeitpunkt, in dem durch eine Vollbremsung die Kollision vermieden werden kann.

Der Bremsweg ergibt sich aus der Beschleunigungsgleichung, in der für die Zeit die Bremszeit t_{bq} eingesetzt wird.

$$s_{by} = \frac{1}{2} a \cdot t_{by}^2 + v_0 \cdot t_{by} \quad (4.12)$$

Um den Status über die Möglichkeit der Kollisionsvermeidung durch eine Vollbremsung zu erhalten, wird nun das Minimum aus den Bremswegen der beiden Interpretationen mit der zugehörigen Bremszeit ausgewählt und mit dem Kollisionsweg und -zeit verglichen. Sind Bremszeit und Bremsweg größer der Kollisionsdaten, so wird das Statusflag auf eins gesetzt. Ist dem nicht der Fall, so ist es Null.

Damit das Flag nicht erst gesetzt wird, wenn die Kollision nicht mehr vermieden werden kann, muss auf die berechnete Bremszeit eine Konstante aufaddiert werden. Für die Auswahl

der Größe dieser Konstante kann der Ablauf eines Bremsvorganges nach [13] zur Hilfe genommen werden.

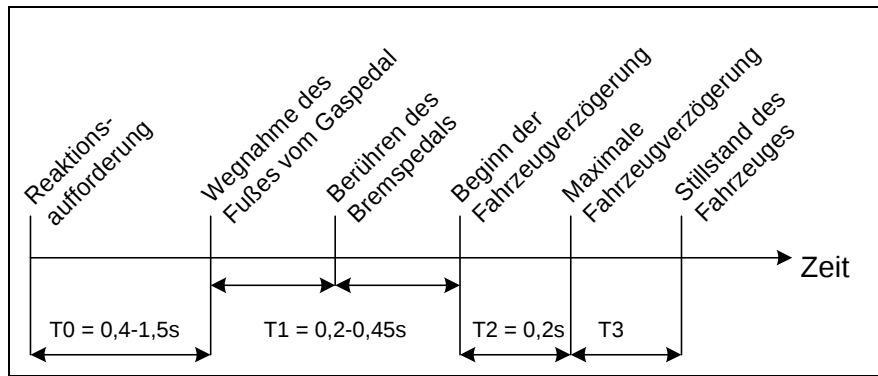


Abbildung 11: Ablauf eines Bremsmanövers nach [13]

7.2. Klothoidengleichung

Für die x- und y-Koordinate der Klothoide gilt [1]:

$$y = \int_0^l \sin\left(\frac{s}{2k^2}\right) ds ,$$

$$x = \int_0^l \cos\left(\frac{s}{2k^2}\right) ds , \quad (4.13)$$

$$\text{mit: } s = tk\sqrt{p} .$$

7.3. Berechnung der Ausweichstrecke

Die Gleichung des ersten Klothoidenabschnittes ergibt sich aus (2.7) und (2.10)

$$y_1(x) = \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} * \frac{l_1^3}{6} \quad (4.14)$$

Die Konstanten des zweiten Abschnittes ergeben sich aus:

$$c_{02} = y_1(l_1), \quad c_{12} = y'_1(l_1), \quad c_{22} = y''_1(l_1), \quad c_{32} = -c_{31} \quad (4.15)$$

also:

$$c_{02} = \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} * \frac{l_1^3}{6}, \quad c_{12} = \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} * \frac{l_1^2}{2}, \quad c_{22} = \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} * l_1, \quad c_{32} = -\frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} \quad (4.16)$$

bzw.:

$$c_{02} = \frac{a_{qm} * l_1^2}{v_e^2 * 6}, \quad c_{12} = \frac{a_{qm} * l_1}{v_e^2 * 2}, \quad c_{22} = \frac{a_{qm}}{v_e^2}, \quad c_{32} = -\frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} \quad (4.17)$$

Durch Einsetzen dieser Konstanten in (2.6)

$$y_2(l_2) = \frac{a_{qm} * l_1^2}{v_e^2 * 6} + \frac{a_{qm} * l_1}{v_e^2 * 2} * l_2 + \frac{a_{qm}}{v_e^2} * \frac{l_2^2}{2} - \frac{a_{qm}}{v_e^2 * l_1} * \frac{l_2^3}{6} \quad (4.18)$$

Die Länge der ersten beiden Klothoiden ist gleich:

$$l_1 = l_2 = \frac{s_{al}}{4} \quad (4.19)$$

Und am Ende des zweiten Abschnittes ist der halbe Ausweichweg in y-Richtung passiert.

$$y_2\left(\frac{s_{al}}{4}\right) = \frac{y_{al}}{2} \quad (4.20)$$

Aus (4.18) folgt mit (4.19) und (4.20)

$$\frac{y_{al}}{2} = \frac{a_{qm}}{v_e^2} \left(\frac{s_{al}}{4}\right)^2 \quad (4.21)$$

Daraus folgt die Länge des Teilstückes

$$s_{al} = 4 * \sqrt{\frac{y_{al}}{2a_{qm}}} * v_e \quad (2.22)$$