

Erkennung und Prädiktion des Fahrerverhaltens während eines Überholvorgangs

Detection and Prediction of the Driver's Behavior during an Overtaking Maneuver

Dipl.-Ing. **M. Kretschmer**, IVK/FKFS, Stuttgart

Dipl.-Ing. **L. König**, IVK/FKFS, Stuttgart

Dipl.-Math. **J. Neubeck**, IVK/FKFS, Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. **J. Wiedemann**, IVK/FKFS, Stuttgart

Kurzfassung

Unmittelbar vor einem Überholvorgang muss der Fahrzeugführer in kürzester Zeit eine Vielzahl von Informationen erfassen oder abschätzen und geeignet verarbeiten, um daraus eine Überholentscheidung ableiten zu können. Gerade ungeübte Fahrer sind innerhalb dieses Entscheidungsprozesses überfordert, was häufig zu kritischen Fahrsituationen führt.

Das hier vorgestellte Fahrerassistenzsystem erkennt aus Fahrzeugdaten, wie z. B. Lenkwinkel, Längsbeschleunigung und Abstand zum voraus fahrenden Fahrzeug, den Beginn eines Überholvorgangs und prädiziert daraus die Dauer dieses Fahrmanövers. Die Erkennung des Überholbeginns sowie die Vorhersage des Fahrerverhaltens geschehen dabei zu einem Zeitpunkt, bei dem sich das Fahrzeug noch nicht in einer verkehrskritischen Situation befindet, so dass der Fahrzeugführer bei einer erkannten Verkehrsgefährdung frühzeitig gewarnt werden kann.

Abstract

An overtaking maneuver is one of the most critical and dangerous driving maneuvers. Within a short period of time, the driver has to perceive or estimate and process a considerable amount of various information to come up with an overtaking decision. Drivers who lack experience are often overwhelmed in that decision task which then may lead to dangerous traffic situations.

The driver assistance system proposed here, monitors vehicle data, e. g. steering angle, acceleration and distance to the lead vehicle. From such a set of data, the beginning of an overtaking maneuver can be detected and the duration of that maneuver is estimated. Detecting the start of an overtaking maneuver and predicting the driver behavior are made at a very early time, so the driver can be warned before a critical traffic situation can even occur.

Einleitung

Das Statistische Bundesamt [1] führt unter der Rubrik „Verkehr“ eine eigene Unfallstatistik, die als Unfallursache Fehler beim Überholen auflistet. Im Jahr 2004 kam es demnach zu 16315 Unfällen, die ihre Ursache in einem fehlerhaften Verhalten des Fahrzeugführers während eines Überholvorgangs hatten. Berücksichtigt man in diesem Zusammenhang die i. d. R. bedeutende Schwere solcher Unfälle, so besteht hier ein erhebliches Potenzial, um einen Fahrzeugführer bei der komplexen Entscheidungsfindung vor einem Überholvorgang geeignet zu unterstützen.

Bevor ein Fahrzeugführer ein Überholmanöver einleitet, müssen verschiedene Information bekannt sein bzw. abgeschätzt werden. Neben dem Streckenverlauf, der Geschwindigkeit des voraus fahrenden Fahrzeugs sowie dem Wissen über das eigene Beschleunigungsvermögen ist insbesondere der Abstand zu entgegen kommenden Fahrzeugen eine wichtige Größe, die die sichere Durchführung eines Überholvorgangs entscheidend beeinflusst. Die hier vorgestellten Untersuchungen und Erkenntnisse basieren auf den Auswertungen von Überholmanövern, die auf öffentlichen Straßen durchgeführt wurden. Dabei wurden mit drei Fahrern und drei Fahrzeugen insgesamt 46 Überholvorgänge durchfahren und die dazugehörigen Fahrzustandsgrößen messtechnisch aufgezeichnet. Mit Hilfe der gewonnenen Messdaten ist es möglich, den Beginn eines Überholmanövers innerhalb eines relativ kleinen Zeitfensters zu detektieren und gleichzeitig die voraussichtliche Überholdauer zu präzisieren.

Im Folgenden werden zunächst das verwendete Messsystem und die Durchführung der Fahrversuche beschrieben. Die dabei ermittelten Fahrdynamikdaten werden anschließend durch mathematische Algorithmen ausgewertet, um einen Überholbeginn eindeutig zu erkennen. Sobald der Beginn eines Überholvorgangs erkannt wird, prädiziert ein Schätzalgorithmus basierend auf den aktuellen Fahrzustandsdaten die Dauer des Überholmanövers. So kann der Fahrzeugführer im Falle einer erkannten Gefährdung frühzeitig gewarnt werden und das Fahrmanöver noch rechtzeitig abbrechen.

Messsystem und Durchführung der Fahrversuche

Messtechnische Ausrüstung von Testfahrzeugen

Für die messtechnische Erfassung von Fahrzustandsdaten bzw. Fahrzeugumfeldinformationen wurden Versuchsträger des FKFS mit geeigneter Mess- und Datenerfasstechnik ausgestattet. Insbesondere sind für die Erkennung und Bewertung von Überholvorgängen die Längsbeschleunigung, das Lenkwinkelsignal, die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Fahrzeugposition sowie der Abstand und die Relativgeschwindigkeit zwischen eigenem und voraus fahrendem Fahrzeug von

Interesse. Zur Messung der Fahrzeugbeschleunigungen wurde eine kreiselstabilisierte Plattform eingesetzt, die neben den Fahrzeugbeschleunigungen die Winkelgeschwindigkeiten im fahrzeugfesten Koordinatensystem ermittelt.

Die inertielle Fahrzeugposition wird über einen GPS-Empfänger errechnet, dessen Genauigkeit in der Ebene bei etwa 15 m liegt. Da die Fehler zweier aufeinander folgender GPS-Signale ähnlich oder sogar identisch sind, ist die relative Genauigkeit der Fahrzeugposition jedoch um ein Vielfaches höher.

Um die Lenkeingabe des Fahrers zu bestimmen, wurden die Testfahrzeuge mit einem Messlenkrad ausgerüstet, welches das vom Fahrzeugführer aufgebrachte Lenkmoment sowie den eingeschlagenen Lenkradwinkel ausgibt. Durch Differentiation des Lenkwinkelsignals wird als zusätzliche Fahrzustandsgröße die Lenkgeschwindigkeit ermittelt.

Damit die Dauer eines Überholmanövers sinnvoll abgeschätzt werden kann, ist es unerlässlich den Abstand zum voraus fahrenden Fahrzeug sowie die relative Geschwindigkeit zwischen beiden Fahrzeugen im Moment des Überholbeginns zu kennen. Dazu wurde an der Fahrzeugfront und am Heck des Versuchsträgers jeweils ein ACC-Sensor verbaut. Die hier eingesetzten Abstandsradarsensoren können bis zu 32 Objekte gleichzeitig erfassen und die für ein Überholmanöver relevanten Messgrößen wie Abstand, Seitenversatz und Relativgeschwindigkeit ausgeben. Mit dem am Heck verbauten Sensor wird der Abstand zum überholten Fahrzeug beim Wiedereinscheren auf die eigene Fahrspur ermittelt - diese Größe spielt bei der Entwicklung effizienter Schätzalgorithmen zur Prädiktion der Überholdauer eine ebenso wichtige Rolle wie der Abstand zum voraus fahrenden Fahrzeug beim Ausscheren auf die Gegenfahrbahn.

Teststrecke und Fahrversuche

Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes durchgeführten Fahrversuche erfolgten auf öffentlichen Straßen. Nur dadurch konnte gewährleistet werden, dass die Testfahrer die Planung des Überholmanövers und die eigentliche Fahraufgabe realitätsgetreu abarbeiteten. Das zu überholende Fahrzeug wurde ebenfalls vom FKFS gestellt, um zum einen ein „Sollfahrzeug“ mit vordefinierter Geschwindigkeit darstellen zu können und um andererseits das Überholrisiko für die beteiligten Verkehrsteilnehmer zu minimieren.

Als Teststrecke für die Überholversuche wurde die Landesstraße L 1189 zwischen Stuttgart-Büsnau und Magstadt gewählt. Dieser Streckenabschnitt (Abbildung 1) zeichnet sich durch ein relativ flaches Höhenprofil und eine größtenteils sehr übersichtliche Fahrbahntrassierung aus. Besonders die letztgenannte Streckeneigenschaft ist für einen Überholvorgang eine notwendige Voraussetzung, da nach StVO §5 das Überholen bei unklarer Verkehrslage unzulässig ist.



Abbildung 1: Teststrecke L 1189

Bevor die eigentlichen Überholmanöver abgefahren wurden, wurde die Teststrecke vermessen, damit bei den Fahrmanövern die Fahrzeugposition einem bestimmten Streckenabschnitt zugeordnet werden konnte. Abbildung 2 zeigt die GPS-Daten der Teststrecke, aus denen auch die unterschiedlichen Fahrspuren differenziert werden können. Dadurch ist es möglich, aus den Straßendaten einen nominellen „Straßen-Lenkwinkel“ zu errechnen. Fährt der Fahrzeugführer auf der eigenen Fahrspur ohne dass äußere Störungen auf das Fahrzeug einwirken, entspricht der vom Fahrzeugführer vorgegebene Lenkradwinkel dem „Straßen-Lenkwinkel“.

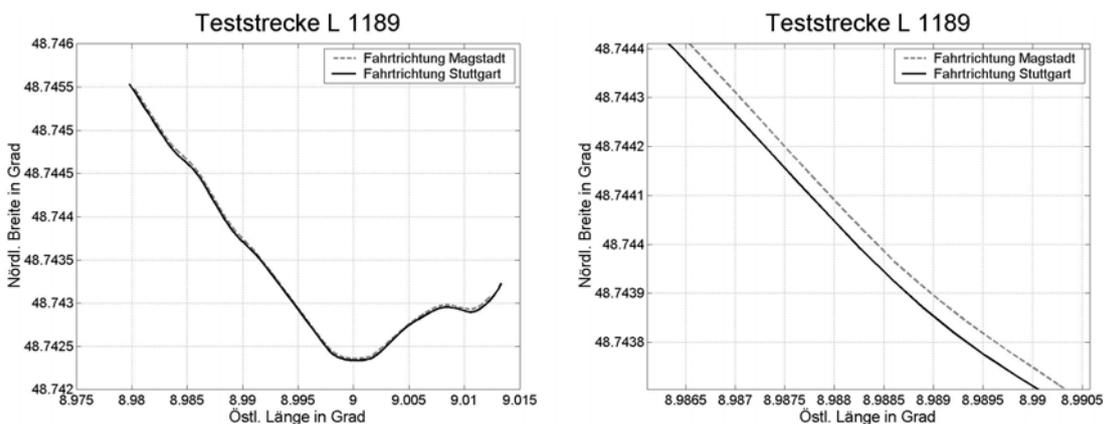


Abbildung 2: GPS-Streckendaten der L 1189 (links) und Ausschnitt (rechts)

Aus den gesetzlichen Vorgaben [2] können unmittelbar die Sollgrößen für die Geschwindigkeit des zu überholenden Fahrzeugs abgeleitet werden. Damit eine möglichst große Bandbreite an Fahrmanövern erzielt werden konnte, wurden pro Fahrer und Sollgeschwindigkeit (60 bzw. 80 km/h) zwischen drei und fünf Überholvorgänge durchfahren. Die Überholentscheidung wurde dabei vom Fahrer des „Verfolgerfahrzeugs“ getroffen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Messergebnisse einiger Überholmanöver analysiert und bewertet sowie die Entwicklung der Algorithmen zur Erkennung des Überholmanövers vorgestellt. Des Weiteren wird der Schätzalgorithmus zur Prädiktion des Fahrerverhaltens und der damit verbundenen Abschätzung der Überholdauer erläutert.

Erkennung und Prädiktion des Fahrerverhaltens während Überholvorgängen

Analyse und Bewertung von Überholvorgängen

Überholvorgänge können als Abfolge dreier Fahrmanöver dargestellt werden: das Ausscheren, die Vorbeifahrt am zu überholenden Fahrzeug und das Wiedereinscheren auf die eigene Fahrspur [3]. Dabei erfolgt der gesamte Überholvorgang - mit Ausnahme etwaiger Schaltpausen - üblicherweise als beschleunigte Bewegung. Bedingt durch die deutlich höhere Fahrzeuggeschwindigkeit beim Wiedereinscheren, sind der Aus- (1) und Einschervorgang (3) jedoch nicht symmetrisch (Abbildung 3).

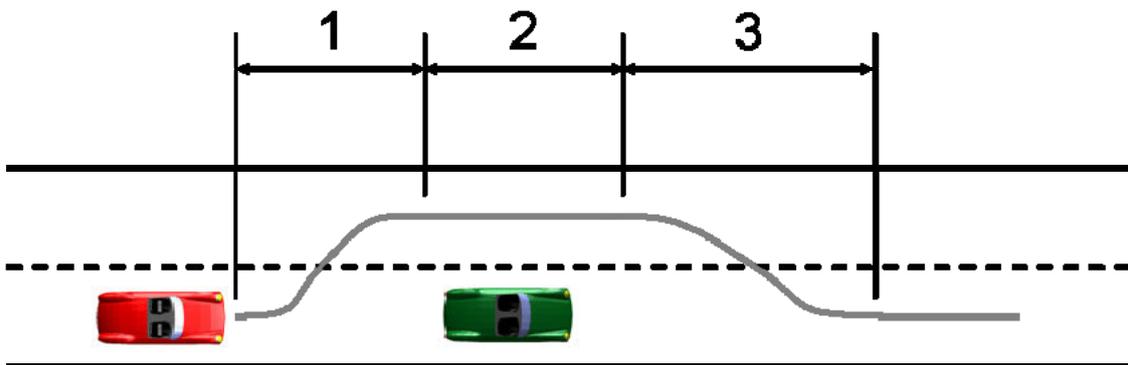


Abbildung 3: Aufteilung eines Überholvorgangs in drei Phasen

Um den Fahrzeugführer möglichst frühzeitig vor einem riskanten Fahrmanöver warnen zu können, ist es notwendig, den Beginn des Überholmanövers zu einem Zeitpunkt zu detektieren, bei dem der Überholvorgang noch ohne Gefährdung für die beteiligten Verkehrsteilnehmer abgebrochen werden kann. Das bedeutet, dass das Manöver bereits während des Ausschervorgangs erkannt werden muss.

In Abbildung 4 sind charakteristische Fahrzustände für ein Überholmanöver bei einer Sollgeschwindigkeit des voraus fahrenden Fahrzeugs von 60 km/h gezeigt. Der Beginn dieses Manöver zeichnet sich durch eine ausgeprägte Lenkwinkelspitze bei $t \approx 94$ s, eine maximale Lenkwinkelgeschwindigkeit von über 60 °/s sowie eine Fahrzeugbeschleunigung oberhalb 1 m/s² aus. Erkannt wird dieser Überholvorgang innerhalb eines Zeitfensters von 0,7 s, was durch die grau hinterlegte Linie

dargestellt wird. Die Relativgeschwindigkeit von etwa 10 km/h zwischen Folge- und Vorausfahrzeug ist ein weiteres Indiz für ein beginnendes Überholmanöver.

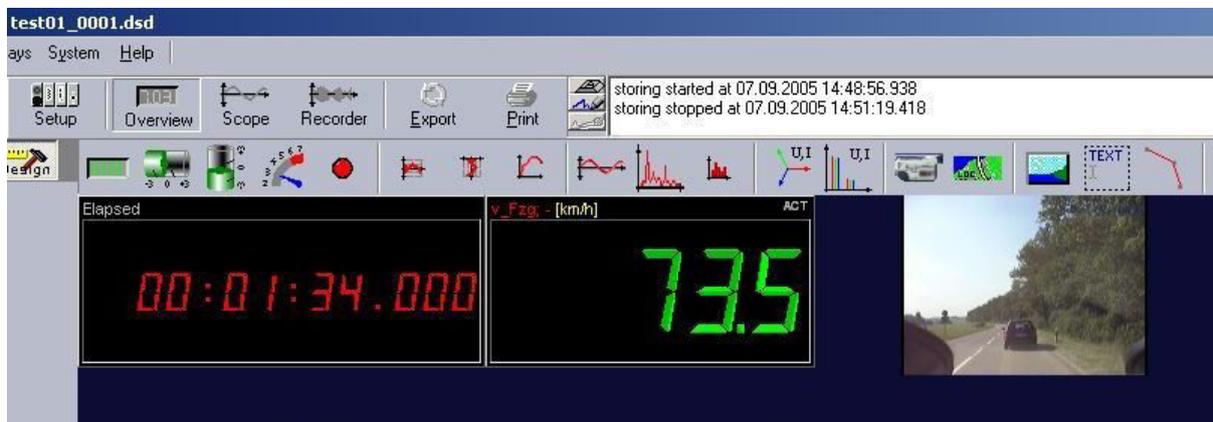
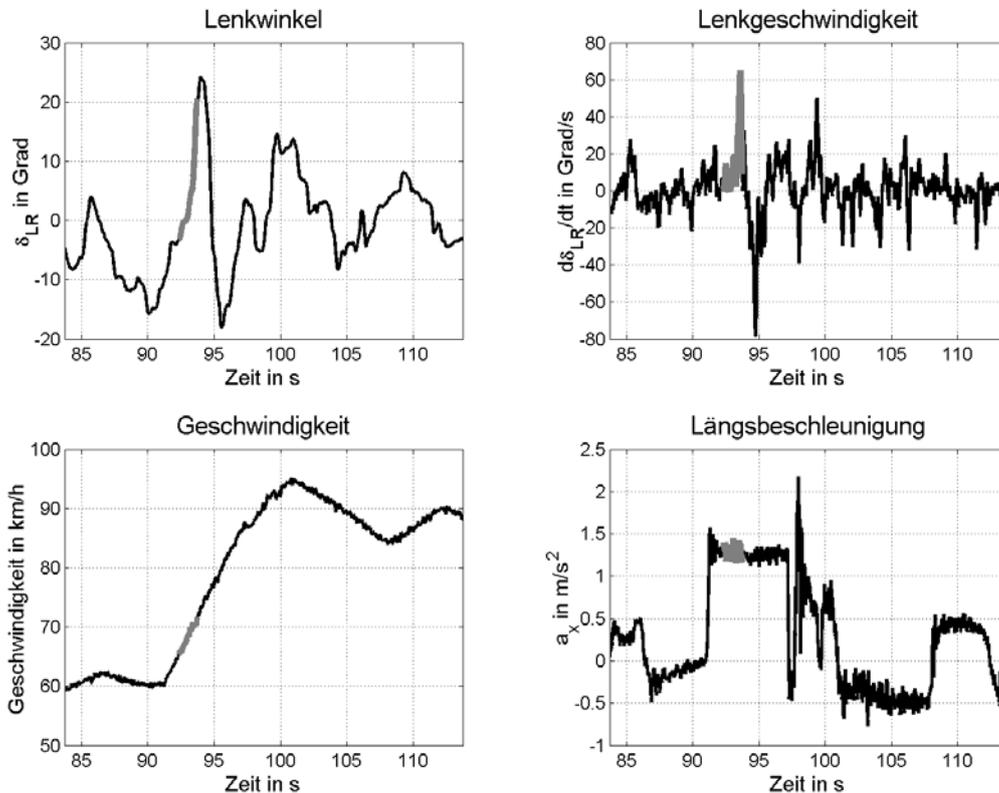


Abbildung 4: Überholvorgang bei 60 km/h

In dem gerade gezeigte Überholbeispiel ist das bevorstehende Ausscheren anhand eines eindeutigen Lenkwinkel- bzw. Lenkgeschwindigkeitssignals detektierbar. Sobald der Überholvorgang jedoch in einer Rechtskurve eingeleitet wird, zeigen weder Lenkwinkel noch Lenkwinkelgeschwindigkeit ein solch charakteristisches Verhalten (Abbildung 5).

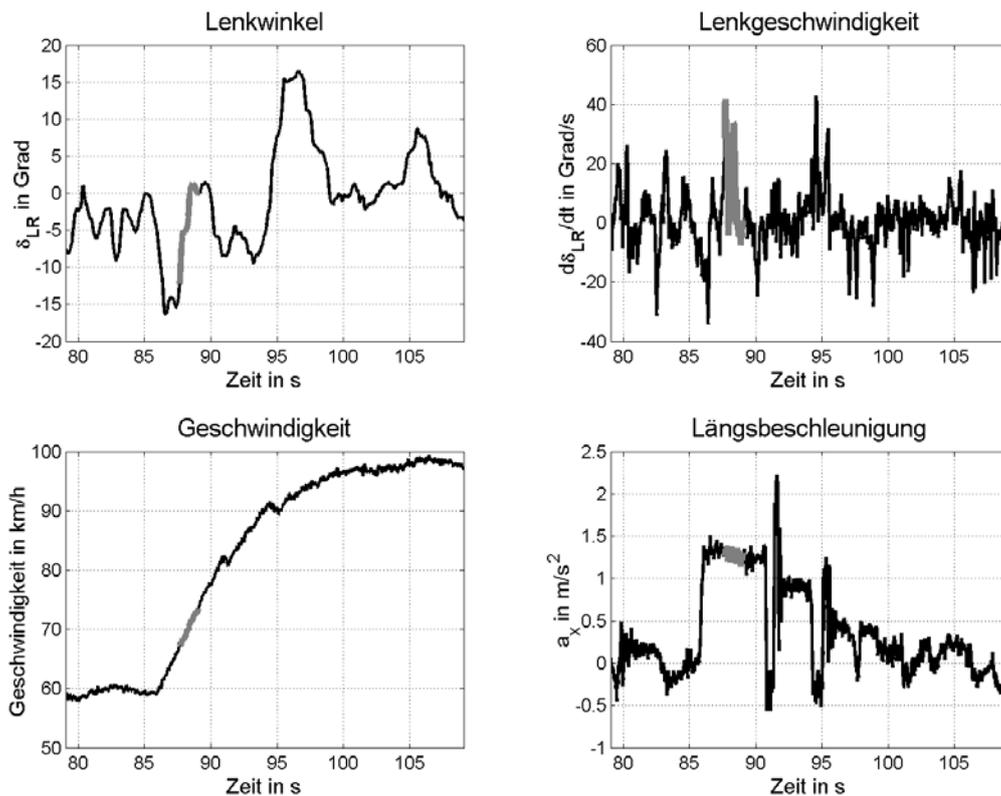


Abbildung 5: Überholbeginn in Rechtskurve

Dieses Beispiel zeigt deutlich, dass eine Auswertung des Fahrzeuglenkwinkels u. U. nicht ausreicht, um den Ausscherbeginn und damit einen beginnenden Überholvorgang zweifelsfrei zu bestimmen. Mit Hilfe bekannter Straßendaten ist es jedoch möglich, für eine beliebige Fahrzeuggeschwindigkeit einen so genannten „Straßen-Lenk Winkel“ zu berechnen. Dazu wurde die Teststrecke vor den eigentlichen Fahrversuchen mit GPS vermessen. Im Gegensatz zur absoluten Position ist die relative Genauigkeit von aufeinander folgenden Satellitendaten sehr genau (Abbildung 6), so dass auch mit einem herkömmlichen Satellitennavigationssystem ein Streckenverlauf hinreichend genau vermessen werden kann [4].

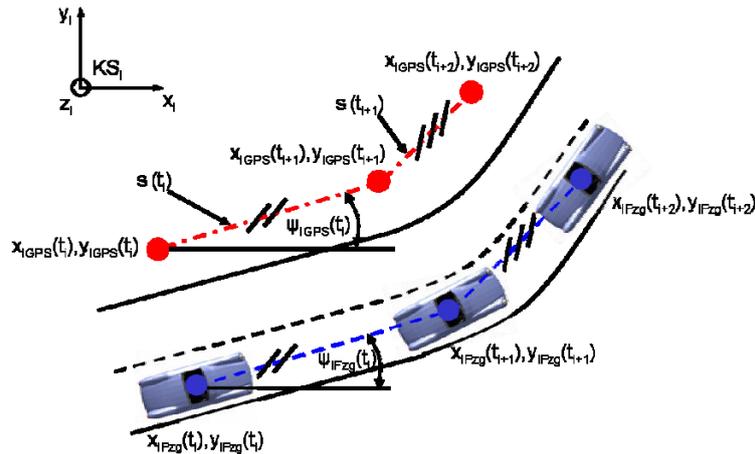


Abbildung 6: Vergleich von Fahrzeug- und GPS-Positionsdaten

Aus den Streckendaten wird mit einem invertierten linearen Einspurmodell der dazugehörige „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{\text{Straße}}$ berechnet. Fährt ein Fahrzeug einen bekannten Streckenzug ab, ohne dass es äußeren Störungen ausgesetzt ist, und schert dabei nicht auf die Gegenfahrbahn aus, sondern bleibt in der Mitte der eigenen Fahrspur, entspricht der Lenkradwinkel δ_{LR} dem „Straßen-Lenkwinkel“. Das lineare Einspurmodell [5] dient bei fahrdynamischen Untersuchungen als geeignetes Ersatzmodell, welches das Fahrverhalten bis zu einer Querbewegung von etwa 0,4 g hinreichend genau abbildet. Die Räder einer Achse werden dabei gedanklich zu einem Rad in der Fahrzeugmitte zusammengefasst und der Schwerpunkt in die Fahrbahn gelegt. Damit bleiben sowohl Wank- als auch Nickbewegungen und damit Normalkraftänderungen an den Rädern unberücksichtigt (Abbildung 7).

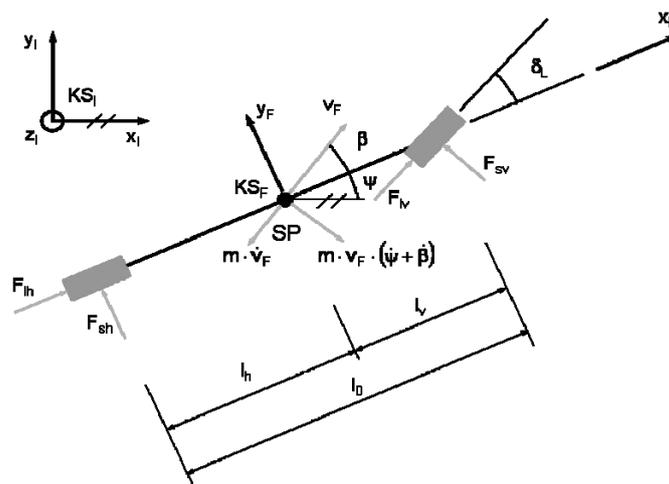


Abbildung 7: Lineares Einspurmodell

F_{ih} und F_{sh} beschreiben die am Hinterrad angreifende Längs- und Seitenkraft. Die entsprechenden Kräfte an der Vorderachse werden mit F_{IV} sowie F_{sv} bezeichnet. Der Einschlagwinkel des Vorderrades sei δ_L . l_v und l_h definieren die Lage des

Schwerpunkts SP, die Summe beider Parameter ergibt den Radstand l_0 . Mit ψ wird der Gierwinkel des Fahrzeugs bezeichnet; dieser entspricht der Verdrehung des fahrzeugfesten Koordinatensystems KS_F gegenüber dem raumfesten System KS_I . Die zeitliche Ableitung des Fahrzeuggierwinkels ergibt die Gierrate $\dot{\psi}$. Durch die Fahrzeuggeschwindigkeit v_F und den Schwimmwinkel β wird die tatsächliche Bewegungsrichtung des Fahrzeugs beschrieben. $\dot{\beta}$ entspricht der zeitlichen Ableitung des Schwimmwinkels.

Werden die Fahrzeuglängsbeschleunigung \dot{v}_F sowie F_{Ih} und F_{Iv} zu Null gesetzt, kann die Kräftebilanz für die Fahrzeugquerachse y_F (Gl. 1) sowie die Momentenbilanz um die Fahrzeughochachse z_F (Gl. 2) für ein Fahrzeug mit Masse m und Trägheitsmoment J_z aufgestellt werden:

$$m \cdot v_F \cdot (\dot{\psi} + \dot{\beta}) = F_{sv} + F_{sh} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$J_z \cdot \ddot{\psi} = F_{sv} \cdot l_v - F_{sh} \cdot l_h \quad (\text{Gl. 2})$$

Wird (Gl. 1) nach $\dot{\beta}$ und (Gl. 2) nach der Gierbeschleunigung $\ddot{\psi}$ aufgelöst, kann das durch (Gl. 1) und (Gl. 2) beschriebene Gleichungssystem in eine lineare Zustandsraumdarstellung der Form

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \cdot \underline{x} + \underline{B} \cdot u \quad (\text{Gl. 3})$$

überführt werden:

$$\begin{pmatrix} \dot{\beta} \\ \ddot{\psi} \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}}_A \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \beta \\ \dot{\psi} \end{pmatrix}}_{\underline{x}} + \underbrace{\begin{pmatrix} B_{11} \\ B_{21} \end{pmatrix}}_B \cdot \underbrace{\delta_L}_u \quad (\text{Gl. 4})$$

Die in den Parametern der Systemmatrix A und des Eingangsvektors B enthaltenen Fahrzeugdaten können der Fachliteratur (z. B. [5]) entnommen werden und wurden hier nicht explizit angegeben.

Zur Berechnung des Einschlagwinkels des Vorderrades δ_L stellt man die untere Zeile von (Gl. 4) nach $u = \delta_L$ um und setzt als Vereinfachung den Schwimmwinkel β zu Null:

$$\delta_L = \frac{\ddot{\psi} - A_{22} \cdot \dot{\psi}}{B_{21}} \quad (\text{Gl. 5})$$

Mit der Lenkübersetzung $i_L = \frac{\delta_{LR}}{\delta_L} > 1$ resultiert aus (Gl. 5) der Lenkradwinkel δ_{LR}

$$\delta_{LR} = \frac{\ddot{\psi} - A_{22} \cdot \dot{\psi}}{B_{21}} \cdot i_L \quad (\text{Gl. 6})$$

mit

$$A_{22} = -\frac{c_h \cdot l_h^2 + c_v \cdot l_v^2}{J_z \cdot v_F} \quad (\text{Gl. 7) und}$$

$$B_{21} = \frac{c_v \cdot l_v}{J_z} \quad (\text{Gl. 8}).$$

Die Konstanten c_v und c_h sind die Achssteifigkeiten an Vorder- und Hinterachse. Fahrzeuggierrate $\dot{\psi}$ und -gierbeschleunigung $\ddot{\psi}$ aus (Gl. 6) können durch eine Kombination von Streckendaten und Fahrgeschwindigkeit ausgedrückt werden:

$$\dot{\psi} = \psi'_{IGPS} \cdot v_F = \frac{d\psi_{IGPS}}{ds} \cdot v_F \quad (\text{Gl. 9})$$

$$\ddot{\psi} = \psi''_{IGPS} \cdot v_F^2 = \frac{d^2\psi_{IGPS}}{ds^2} \cdot v_F^2 \quad (\text{Gl. 10})$$

ψ_{IGPS} bezeichnet den „Gierwinkel“ der Fahrbahn, d. h. den Winkel zwischen aufeinander folgenden GPS-Messungen in der x_I - y_I -Ebene bezüglich eines raumfesten Koordinatensystems KS_I (Abbildung 6). ψ'_{IGPS} ist die Kurvenkrümmung, die der Ableitung des Fahrbahngierwinkels ψ_{IGPS} nach dem Streckenabschnitt ds entspricht (Gl. 9). Die nominelle Gierbeschleunigung $\ddot{\psi}$ berechnet sich analog. Werden (Gl. 7) bis (Gl. 10) in (Gl. 6) eingesetzt, wird der Lenkradwinkel δ_{LR} zu

$$\delta_{LR} = \frac{\psi''_{GPS} \cdot v_F + \frac{c_h \cdot l_h^2 + c_v \cdot l_v^2}{J_z \cdot v_F} \cdot \psi'_{GPS} \cdot v_F}{\frac{c_v \cdot l_v}{J_z}} \cdot i_L = \frac{\psi''_{GPS} \cdot v_F + \frac{c_h \cdot l_h^2 + c_v \cdot l_v^2}{J_z} \cdot \psi'_{GPS}}{\frac{c_v \cdot l_v}{J_z}} \cdot i_L$$

$$\delta_{LR} = \frac{J_z \cdot \psi''_{GPS} \cdot v_F + (c_h \cdot l_h^2 + c_v \cdot l_v^2) \cdot \psi'_{GPS}}{c_v \cdot l_v} \cdot i_L \quad (\text{Gl. 11})$$

Bewegt sich das durch (Gl. 4) beschriebene Fahrzeug in der Mitte der eigenen Fahrspur ohne dass es durch äußere Störungen angeregt wird, entspricht der vom Fahrzeugführer aufzubringende Lenkradwinkel δ_{LR} dem „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{\text{Straße}}$:

$$\delta_{\text{Straße}} = \delta_{LR} \quad (\text{Gl. 12})$$

Der verwendete GPS-Empfänger berechnet die Fahrzeug- bzw. Straßenposition mit 1 Hz. Das bedeutet, dass jede Sekunde ein entsprechender „Straßen-Lenkwinkel“ ermittelt werden kann.

Abbildung 8 zeigt den Lenkradwinkel δ_{LR} sowie den dazugehörigen „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{Straße}$ für das in Abbildung 5 vorgestellte Überholmanöver in einem 1 Hz-Raster. Begonnen wird dieser Überholvorgang in einer Rechtskurve, so dass kein charakteristisches Lenkwinkelsignal vorliegt. Bei $t \approx 89$ s wird jedoch eine signifikante Abweichung zwischen dem tatsächlichen Lenkradwinkel des Fahrzeugs δ_{LR} und dem nach (Gl. 11) bzw. (Gl. 12) berechneten „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{Straße}$ deutlich. Zusammen mit den bereits in Abbildung 5 gezeigten Fahrzustandsdaten kann somit der Beginn eines Überholmanövers in einer Rechtskurve erkannt werden.

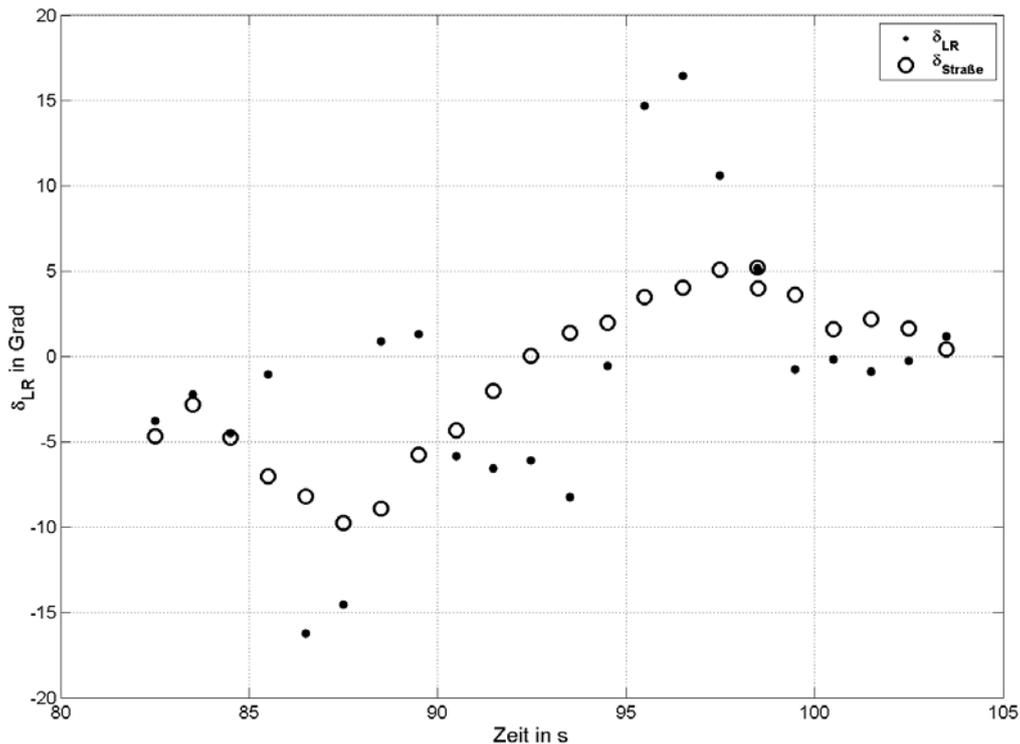


Abbildung 8: Vergleich von Lenkradwinkel δ_{LR} und „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{Straße}$

Weitere Kriterien anhand derer ein Überholbeginn erkannt werden kann, ergeben sich aus den Messungen des an der Fahrzeugfront verbauten Abstandsradsensors. Insbesondere aus der Relativgeschwindigkeit zwischen dem eigenen und dem zu überholenden Fahrzeug und dem seitlichen Versatz der Überholpartner können zusätzliche Überholcharakteristika herausgelesen werden. In Abbildung 9 sind die Fahrzeuglängsbeschleunigung sowie die ACC-Informationen der relevanten Radarobjekte für Abstand, Relativgeschwindigkeit und Seitenversatz für ein weiteres Überholmanöver dargestellt. Mit Hilfe dieser Daten wird der Überholbeginn dieses Fahrmanövers bei $t \approx 94$ s erkannt.

Ab dem Zeitpunkt des detektierten Überholbeginns ist eine deutliche Verringerung des Abstands zum voraus fahrenden Fahrzeugs zu erkennen (Abstand dx), durch ein Aufschließen auf das zu überholende Fahrzeug wird die Relativgeschwindigkeit $v_{relativ}$ negativ.

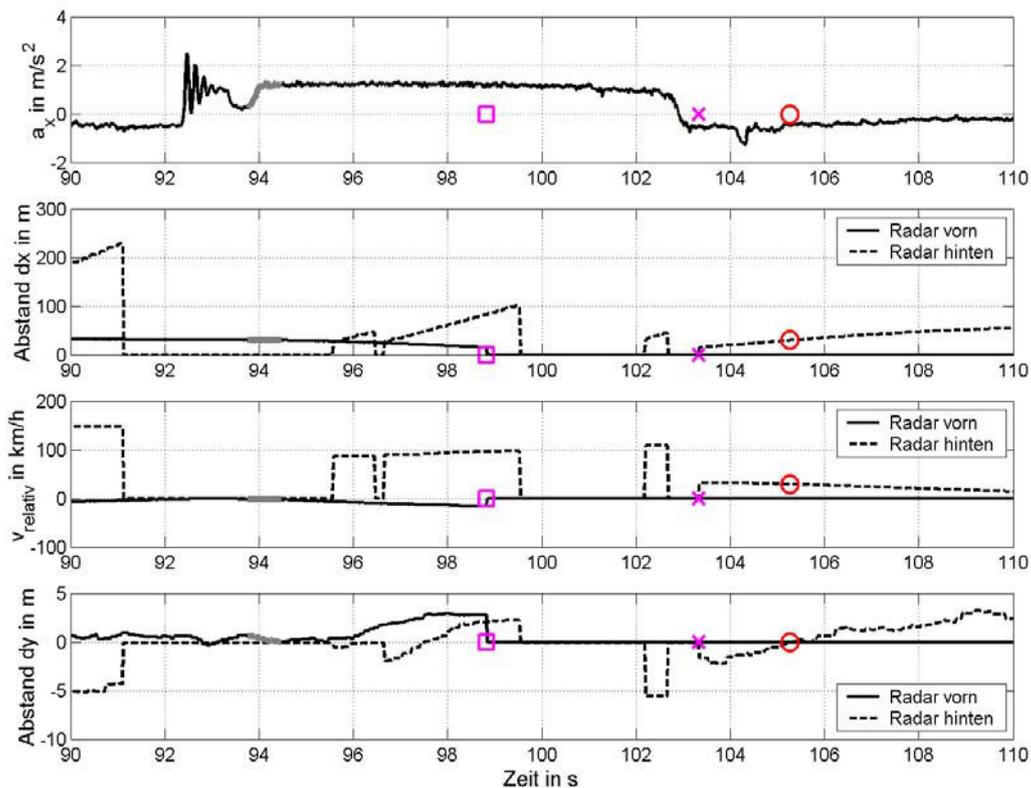


Abbildung 9: ACC-Messungen

Die eingesetzten Radarsensoren haben einen Öffnungswinkel von 16° . Dies bedeutet, dass das zu überholende Fahrzeug im Verlauf des Überholmanövers aus dem Sichtbereich des Radarsensors verschwindet. In Abbildung 9 ist dies durch ein \square ($t \approx 99$ s) gekennzeichnet. Zu diesem Zeitpunkt springen die ACC-Messsignale auf einen Wert von Null. Sobald das voraus fahrende Fahrzeug überholt wurde, kann das hintere Abstandsradar den rückwärtigen Verkehr erkennen (\times , $t \approx 103,5$ s). Die hier gemessene Relativgeschwindigkeit ist positiv, der Abstand nimmt kontinuierlich zu. Der mit \circ bezeichnete Moment stellt das Ende des Überholvorgangs ($dy \approx 0$) dar. Abbildung 10 zeigt das Messfenster bei Erkennung des Überholbeginns für das Manöver aus Abbildung 9. Die mit „1“ bzw. „2“ gekennzeichneten Objekte liegen deutlich rechts der Fahrzeuglängsachse; die dazugehörigen Relativgeschwindigkeiten entsprechen der negativen Fahrzeuggeschwindigkeit in m/s. Daraus folgt, dass es sich hierbei um nicht bewegte Radarobjekte abseits der Straße handelt, die für die Erkennung bzw. die Abschätzung eines Überholvorgangs irrelevant sind und verworfen werden können. Im Gegensatz dazu zeigt Objekt „5“ Abstand, Seitenversatz und die relative Geschwindigkeit zum voraus fahrenden Fahrzeug.

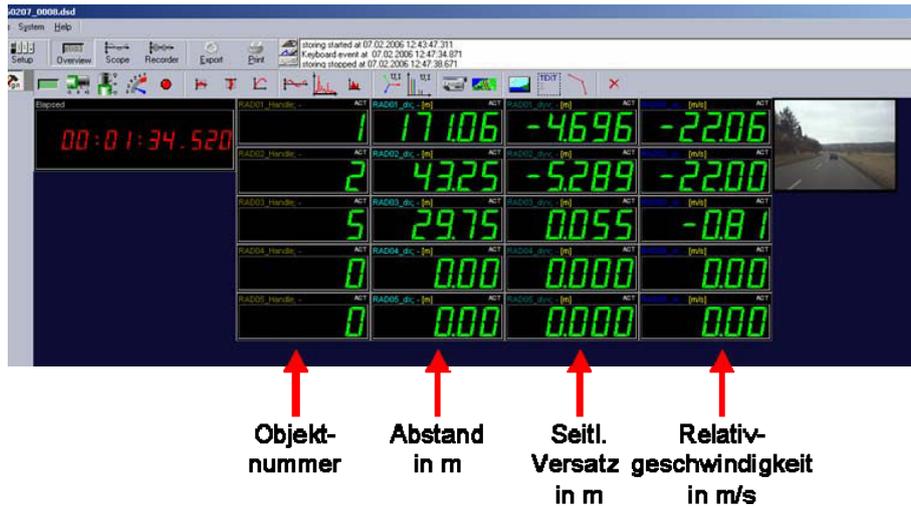


Abbildung 10: Messfenster Abstandsradar (Erkannter Überholbeginn)

Der Zeitpunkt des letzten gültigen ACC-Signals des vorderen Radarsensors ist in [Abbildung 11](#) dargestellt. Im Vergleich mit [Abbildung 10](#) zeigt sich hier insbesondere die höhere Relativgeschwindigkeit.



Abbildung 11: Messfenster Abstandsradar (Überholmanöver)

Erkennung von Überholvorgängen

Im vorherigen Abschnitt wurden die Fahrzeug- und Umfeldgrößen vorgestellt, die zur Erkennung eines Überholmanövers notwendig sind: Lenkradwinkel δ_{LR} , Lenkwinkelgeschwindigkeit $\dot{\delta}_{LR}$, Fahrzeuggeschwindigkeit v_F und Längsbeschleunigung a_x , „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{\text{Straße}}$, Abstand dx , Relativgeschwindigkeit v_{relativ} und Seitenversatz dy . Aus statistischen Untersuchungen der aufgezeichneten Messfahrten wird ein Zeitintervall definiert, innerhalb dessen die o. g. Informationen bewertet und miteinander verknüpft werden, um den Beginn eines Überholvorgangs zu detektieren. Wie in [Abbildungen 4, 5 und 9](#) gezeigt, ist es möglich dies bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt des Überholvorgangs zu gewährleisten.

Für jede Messgröße werden Grenzwerte bzw. Grenzbereiche definiert, die mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Algorithmen abgeprüft werden. Aus diesen Untersuchungen heraus wird dann der Beginn eines Überholmanövers $P(\ddot{U})$ erkannt.

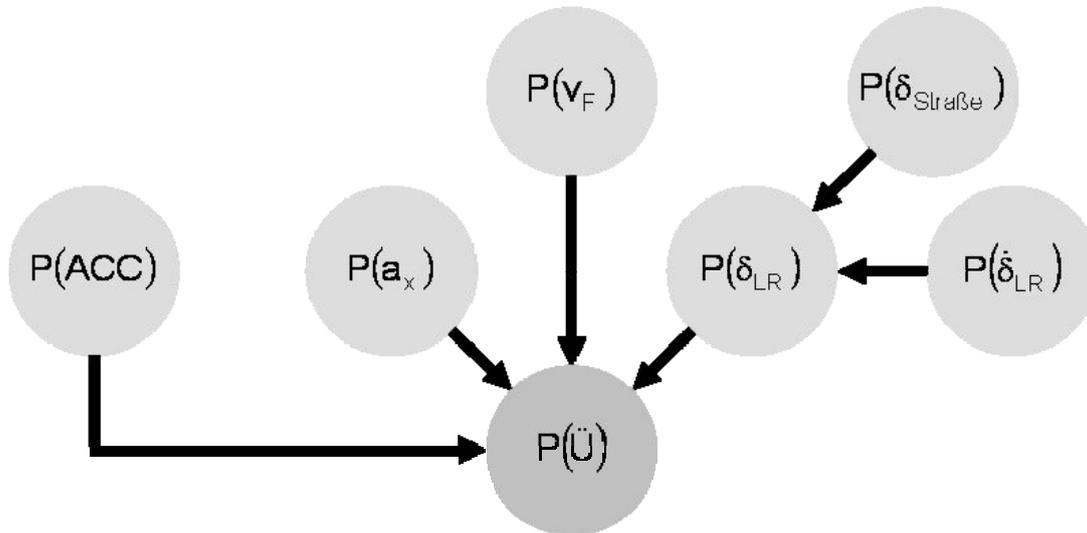


Abbildung 12: Verschaltung entscheidungsrelevanter Kriterien zur Erkennung von Überholvorgängen

Aus Abbildung 12 ist ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeitsfunktion $P(\delta_{LR})$ sowohl von $P(\delta_{Stra\beta e})$, also dem „Straßen-Lenkwinkel“, als auch von der Lenkgeschwindigkeit $P(\dot{\delta}_{LR})$ abhängig ist. Die erste Abhängigkeit ist erforderlich, falls kein eindeutiges Lenkwinkelsignal gemessen werden kann und der Vergleich von Lenkradwinkel δ_{LR} und „Straßen-Lenkwinkel“ $\delta_{Stra\beta e}$ (s. a. Abbildung 8) zur Erkennung des Überholbeginns herangezogen werden muss. Sind keine GPS-Signale verfügbar (z. B. in Waldgebieten) um einen „Straßen-Lenkwinkel“ zu bestimmen, wird die Lenkwinkelrate zur Stützung von $P(\delta_{LR})$ hinzugezogen. In der Funktion $P(ACC)$ werden die Daten des Abstandsradarsensors zusammengefasst.

Prädiktion des Fahrerverhaltens

Damit ein Fahrzeugführer frühzeitig vor einem riskanten Überholmanöver gewarnt werden kann, ist es notwendig, die voraussichtliche Dauer dieses Manöver möglichst genau vorherzusagen. Für ein Überholmanöver mit konstanter Fahrzeugbeschleunigung kann der für einen Überholvorgang benötigte Zeitbedarf $t_{\ddot{U}}$ wie folgt berechnet werden:

$$t_{\ddot{U}} = \frac{-v_{\text{relativ}} + \sqrt{v_{\text{relativ}}^2 + 2 \cdot a_x \cdot (s_1 + s_3 + l_F + l_{VF} + s_{\text{Schalten}})}}{a_x} \quad (\text{Gl. 13})$$

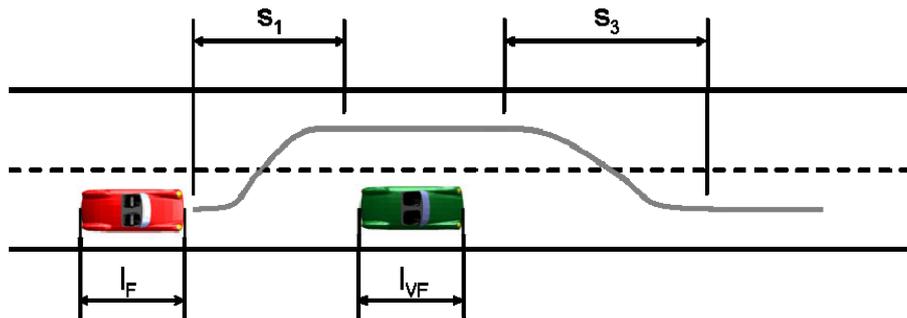


Abbildung 13: Relevante Abstände und Fahrzeuglängen zur Abschätzung von Überholvorgängen

Die in Abbildung 13 gezeigten Parameter s_1 und s_3 sind die Abstände beim Aus- und Einscheren, l_F und l_{VF} die Fahrzeuglängen des eigenen (Index „F“) und des voraus fahrenden Fahrzeugs (Index „VF“). Von denen zur Berechnung des Zeitbedarfs $t_{\bar{U}}$ notwendigen Variablen (Gl. 13) sind lediglich die Größen s_3 , l_{VF} und s_{Schalten} unbekannt. Für eine konservative Abschätzung der Überholdauer kann die Variable l_{VF} zu 20,75 m gesetzt werden, was der zulässigen Gesamtlänge eines Fahrzeugs oder Gespanns inkl. Ladung entspricht [2]. Es wäre jedoch auch denkbar, durch eine geeignete optische Umfelderkennung das voraus fahrende Fahrzeug zu klassifizieren und für verschiedene Fahrzeugklassen (Lkw, Lkw-Gespann, Pkw-Gespann) entsprechende Fahrzeug- oder Gespannlängen zu definieren.

Durch statistische Untersuchungen der durchgeführten Fahrmanöver wird ein gemittelter Einscherabstand \bar{s}_3 errechnet, um den ein Grenzbereich ($s_{3,UG}, s_{3,OG}$) gelegt wird:

$$s_3 = \left[\bar{s}_3 - s_{3,UG}, \bar{s}_3 + s_{3,OG} \right] \quad (\text{Gl. 14})$$

Eine wichtige Größe, die die Dauer eines Überholvorgangs entscheidend beeinflusst, ist die Fahrzeugbeschleunigung. Diese ist u. A. ein Charakteristikum, welches auf den Beginn eines solchen Manövers hinweist (Abbildung 12). Grundsätzlich ist der Verlauf eines Überholmanövers vom Fahrertyp und der Fahrzeugmotorisierung abhängig. Daher wird der Beschleunigungsverlauf innerhalb des Bewertungsfensters gemittelt und daraus eine obere und untere Beschleunigungsgrenze definiert. Wird während des Überholmanövers in einen höheren Gang geschaltet, kommt es kurzzeitig zu einem Schaltverzug und einer damit einhergehenden Fahrzeugverzögerung. Aufgrund der Auslegung von Fahrzeuggetrieben wird nach Beendigung des Schaltvorgangs i. d. R. nicht mehr die ursprüngliche Beschleunigung erreicht. Das bedeutet, dass insbesondere die reduzierte Fahrzeugbeschleunigung nach einem Schaltvorgang die Dauer eines Überholvorgangs verlängert. Dieser zusätzliche Zeitbedarf wird mit Hilfe des Korrekturterms s_{Schalten} abgeschätzt, und geht in die Berechnung der Überholdauer $t_{\bar{U}}$ gemäß (Gl. 13) ein.

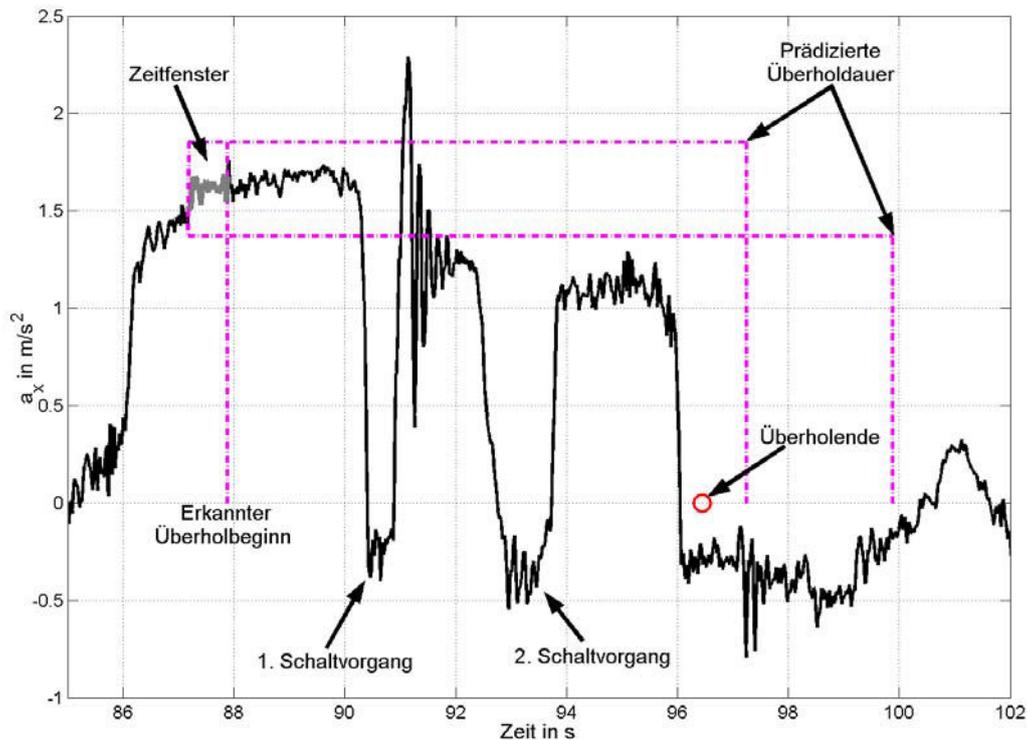


Abbildung 14: Abschätzung der Überholdauer

Abbildung 14 zeigt die Längsbeschleunigung während eines Überholmanövers. Bei $t \approx 88$ s wird der Beginn dieses Manövers erkannt. Basierend auf der innerhalb des Zeitfensters erkannten Längsbeschleunigung werden eine obere sowie eine untere Beschleunigungsgrenze definiert. Mit Hilfe dieser Grenzwerte wird mit (Gl. 13) der Zeitbedarf des erkannten Überholmanövers im Voraus berechnet. Wie zu erkennen ist, sind beide Schätzwerte für die Überholdauer größer als die tatsächliche, was auf eine konservative Prädiktion hindeutet. Würde die Länge des voraus fahrenden Fahrzeugs l_{VF} auf 5 m statt auf 20,75 m gesetzt, würde sich das Überholende innerhalb des Vorhersagefensters befinden.

Zusammenfassung und Ausblick

Das hier vorgestellte Fahrerassistenzsystem wertet Fahrzeug- und Umfeldinformationen aus, kombiniert diese mit Hilfe vordefinierter Wahrscheinlichkeitsfunktionen und leitet daraus den Beginn eines Überholmanövers ab. Durch die Prädiktion von Beschleunigungsgrenzen und Schaltvorgängen wird aus den Messergebnissen zum Zeitpunkt des Überholbeginns die zeitliche Dauer des Fahrmanövers vorhergesagt. Um diese Vorhersage konservativ und damit sicher zu machen, wird als Länge des zu überholenden Fahrzeugs die laut StVO maximale

Fahrzeug- bzw. Gespannlänge inkl. Ladung hinterlegt. Basierend auf durchgeführten Testfahrten wird für den Abstand während des Einscherens auf die eigene Fahrspur ebenfalls eine gemittelte Schätzgröße verwendet. Es ist dadurch möglich, zu einem frühen Zeitpunkt die notwendige Überholdauer abzuschätzen und somit die Möglichkeit zu schaffen, den Fahrer rechtzeitig vor einem riskanten und damit gefährlichen Überholvorgang zu warnen.

Damit obiges System effektiv arbeiten kann, ist es notwendig den Gegenverkehr eindeutig zu erkennen und entsprechend zu klassifizieren. Die derzeit auf dem Markt verfügbaren Umfelderkennungssysteme weisen eine maximale Reichweite von 200 m auf, was für die Überprüfung des Überholmanövers hinsichtlich einer Gefährdung des Gegenverkehrs nicht ausreichend ist. Für das in Abbildung 14 dargestellte Fahrmanöver wird z. B. ein Überholbedarf von mindestens 230 m veranschlagt. Daraus ist zu erkennen, dass allein mit den aktuell verfügbaren optischen Systemen eine entsprechende Assistenzfunktion für alle Geschwindigkeitsbereiche noch nicht realisiert werden kann. Hier besteht besonders im Bereich der Umfelderkennung und Objektklassifizierung noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Literaturverzeichnis

- [1] Statistisches Bundesamt, <http://www.destatis.de/basis/d/verk/verktab9.php>
- [2] Straßenverkehrsordnung, Stand 22.12.2005
- [3] Kretschmer, M.; Neubeck, J.; Wiedemann, J.: Combining Vehicle Dynamics Control and Decision Making Procedures Towards Safe Overtaking Maneuvers, SAE No. 2005-01-0412, SAE World Congress, 2005
- [4] Kretschmer, M.; Neubeck, J.; Wiedemann, J.: Entwicklung von entscheidungsunterstützenden und entscheidungstreffenden Hilfsmitteln zur Erstellung von Fahrstrategien mit dem Ziel der Unterstützung und Entlastung des Fahrers eines Kfz, Abschlussbericht für das Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 2005
- [5] Mitschke, M.: Dynamik der Kraftfahrzeuge, Band C, Springer-Verlag, 2. Auflage, 1990