

Stauassistentz – Unterstützung des Fahrers in der Quer- und Längsführung: Systementwicklung und Kundenakzeptanz

Congestion Assistance – Supporting the driver in lateral and longitudinal guidance. System development and customer acceptance

Dipl.-Ing. (TU) **Thomas Schaller**, BMW Group Forschung & Technik, München

Dr.-Ing. **Joachim Schiehlen**, BMW AG, München

Dipl.-Psych. **Barbara Gradenegger**, Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften Würzburg (IZVW)

Kurzfassung

Active Cruise Control (ACC) Systeme unterstützen den Fahrer bei der Längsführung. Moderne Ausprägungen von ACC-Systemen, wie das ACC Stop&Go im aktuellen BMW 5er und 6er, können dies sogar bis in den Stillstand. Damit wird der Fahrer in den unangenehmen Stausituationen mit Stop & Go von der Längsführungsregelung entlastet. Da die verbleibende Querregelung, vor allem im Niedergeschwindigkeitsbereich, als uninteressant und langweilig empfunden wird, kommt der Wunsch nach weitergehender Assistenz auf. Deshalb wurde ein Stauassistentz-System entwickelt, das dem Fahrer nicht nur die Längs-, sondern auch die Querführung in gewissen Grenzen abnimmt.

Die Funktionsauslegung hat dabei unterschiedliche Umgebungssituationen zu berücksichtigen. Durch Nutzung redundant ausgelegter Fahrzeug-Sensorik wird eine hohe Systemverfügbarkeit und -sicherheit gewährleistet. Das Entwicklungsziel ist, die Regelung möglichst zu automatisieren und gleichzeitig den Fahrer so einzubinden, dass er bei Situationsänderungen angemessen reagieren kann. Dafür wurde ein intuitives Mensch-Maschine-Interaktions-Konzept entwickelt und hinsichtlich Kundennutzen und Kundenakzeptanz im dynamischen Fahrsimulator untersucht [1].

Es soll hier das regelungstechnische Konzept des Stauassistentz-Systems vorgestellt werden. Des Weiteren wird auf die Versuchsergebnisse der Simulatoruntersuchungen, die sich auf die spezielle Auslegung des Systems beziehen, hinsichtlich Akzeptanz und Beherrschbarkeit eingegangen.

Abstract

Active Cruise Control (ACC) systems are supposed to support drivers in longitudinal guidance. Advanced ACC systems, such as the ACC Stop&Go in BMW's current 5 and 6 series are even capable of braking the car until standstill. However, the remaining lateral control task in traffic jams has to be done by the driver. As this task points out to be uninteresting but nevertheless demands constant attention, the driver could benefit from an increased level of automation in these situations to

reduce his workload. BMW Group Research & Technology therefore has developed an assistance system for congested traffic, which supports drivers in longitudinal as well as lateral guidance.

The functional design has to consider different use cases. High system availability and security are achieved by using a redundant sensor configuration. Furthermore, the challenge in system design is to reach a high level of automation and still keep the driver in the loop for adequate reactions in critical situations. In order to meet these requirements, an intuitive Human-Machine-Interface (HMI) was developed and implemented in the dynamic BMW driving simulator. Subsequently conducted experiments with different settings showed high acceptance values for a reliable automated lateral guidance [1].

This paper describes technical approaches to realise a reliable lateral guidance system. Furthermore, it takes the results of simulator studies into account to get an idea about controllability and customer acceptance of a congestion assistance system.

1. Motivation

Die Stausituation wird von den Autofahrern als belastend und störend empfunden. Abgesehen vom volkswirtschaftlichen Schaden, der sich laut ADAC in Deutschland täglich auf 250 Millionen Euro beläuft [2], entsteht zusätzlich ein erhöhtes Unfallrisiko. Beispielsweise gibt die Autobahnpolizei Köln an, dass sich etwa ein Viertel der Unfälle auf Autobahnen am Stauende oder im Stau ereignen [3]. Da es sich meist um Bagatellschäden handelt, kann deren Zahl jedoch nicht genau erfasst werden.

An dieser Situation wird sich auch in naher Zukunft nichts ändern: Das statistische Bundesamt rechnet in seinem Datenreport 2004 [4] mit einer Zunahme des Pkw-Individualverkehrs bis 2015 um 16%, im LKW-Nahverkehr um 26% und im LKW-Fernverkehr um 58%, bezogen auf das Basisjahr 1997.

Ein weiterer Ausbau der Verkehrsinfrastruktur alleine kann dieser Entwicklung nicht entgegenwirken. Durch intelligente Verkehrsleitsysteme wird bereits heute versucht, die vorhandene Infrastruktur optimal zu nutzen. Hierbei können Verkehrsströme beeinflusst werden: Wechselverkehrszeichen auf Autobahnen geben Warnhinweise oder Geschwindigkeitsbeschränkungen, aber auch Umleitungsempfehlungen. Obwohl durch diese Maßnahmen ein Rückgang von Staus um 15% versprochen wird, kommt man in [5] zu dem Ergebnis, dass Verkehrstelematik diese Probleme nicht lösen wird. Die Fahrer werden also häufiger und länger im Stau stehen.

Wenn sich der Stau schon nicht vermeiden lässt, so sollte sich wenigstens die Staufahrt für den Fahrer so angenehm wie möglich gestalten. Um den Fahrer während des auch in Zukunft unvermeidbaren Staus mehr Fahrkomfort und -sicherheit zu gewährleisten, bietet sich an, ihm ein Assistenzsystem zur Verfügung zu stellen, das ihn in dieser Situation bei der Fahrzeugführung unterstützt oder Teilbereiche der Fahraufgabe abnimmt. Allgemein ist die Anforderung an zukünftige

Fahrerassistenzsysteme, dass sie sich bezüglich ihres Unterstützungsgrades an dem Bedarf des Fahrers in dem speziellen Anwendungsfall, für den sie konzipiert wurden, orientieren [6].

In INVENT [7] wurden 2005 eine ganze Reihe neuer Fahrerassistenz-Systeme vorgestellt, die den Fahrer in Zukunft unterstützen können. Ein Teilprojekt widmete sich möglichen Assistenzfunktionen für Stau und Stop&Go-Situationen. Es wird berichtet, dass Fahrer die Unterstützung im Stau bezüglich Entlastung und Komfort positiv wahrgenommen und auch einen subjektiven Sicherheitsgewinn empfunden haben. In Akzeptanztests konnte gezeigt werden, dass sich der Stauassistent mit seiner kontinuierlichen Unterstützung des Fahrers bei der Längs- und Querverführung grundsätzlich als sinnvolles Assistenzsystem erwiesen hat.

Hier wird nun eine Realisierung des Stauassistenten beschrieben. Um eine sehr hohe Systemverfügbarkeit und -sicherheit zu erreichen, werden zusätzlich zu den Daten der Bildverarbeitung über den Straßenverlauf auch die Bewegungen umliegender Fahrzeuge für die Querverführung berücksichtigt. Da die Querbewegung des Vorderfahrzeugs als eine wichtige Eingangsgröße angesehen wird, muss dessen Spurwechsel frühzeitig erkannt werden. Hierfür wird ein Lösungsansatz auf Basis von Klassifikationsalgorithmen vorgestellt. Dieses Stauassistenten-System wurde im Fahrsimulator in eine Umgebung, in der auch die Systemgrenzen erlebt werden können, implementiert. Somit können nicht nur Aussagen zur Akzeptanz, sondern auch über die Beherrschbarkeit des Stauassistenten-Systems gemacht werden.

2. Systemausprägung

Aus Fahrersicht ist die gewünschte Systemausprägung für eine Assistenz im Stau eindeutig: Er hat keine „Freude am Fahren“ und möchte deshalb die gesamte Fahrzeugführung abgeben. Da auch in absehbarer Zeit aus technischer, kommerzieller und rechtlicher Sicht ein vollständiges autonomes Fahren nicht angeboten werden kann, müssen also Kompromisse hinsichtlich Unterstützungsgrad und vertretbarem Umfeldensenaufwand eingegangen werden. Das Zusammenspiel der Systemfunktion mit dem Fahrer ist wichtig für den Kundennutzen und die Systemsicherheit.

2.1. Systemdefinition

Das Stauassistenten-System wird folgendermaßen definiert:

- **Längsführungsassistenz**

Die Längsführungs-komponente des Stauassistenten-Systems hat grundsätzlich die Systemgrenzen, die der Fahrer vom Seriensystem ACC Stop&Go kennt. D.h. kann durch die maximale Verzögerung von ACC Stop&Go die Situation nicht aufgelöst werden, bekommt der Fahrer eine Übernahmeaufforderung (ÜA). Auch muss der Fahrer das Losfahren aus dem Stillstand bestätigen (Anfahr-bestätigung). Als Erweiterung zum ACC Stop&Go wird hier davon ausgegangen, dass größere stehende Ziele von der Sensorik detektiert werden können.

- **Querführungsassistentz**

Die Querführungskomponente des Stauassistentz-Systems soll auf den Niedergeschwindigkeitsbereich begrenzt werden. Um den Fahrer nicht die Funktionalität eines autonomen Stadtfahrzeugs zu vermitteln, steht die Querführung nur unter 40 km/h zur Verfügung. Des Weiteren wird der maximal eingeregelt Lenkradwinkel eingeschränkt. Erfordert die Situation einen höheren Lenkradwinkel, bekommt der Fahrer eine Übernahmeaufforderung. Auch bei einer zu engen Gasse nach vorne steht die Querführung nicht mehr zur Verfügung. Zu nahen seitlichen Fahrzeugen wird bis zu einem gewissen Grad ausgewichen, dann folgt wiederum eine Übernahmeaufforderung.

Übersteuert der Fahrer die Querführung, wird diese sofort abgeschaltet. Bei Übersteuerung der Längsführung durch Bremsen schaltet die Längs- und Querführung ab. Der Fahrer hat also jederzeit die volle Kontrolle über das Fahrzeug.

2.2. Umfeldsensorik

Eine mögliche Sensorconfiguration, die den Systemanforderungen gerecht wird, ist in Bild 2.1 dargestellt. Sensorbasis des Stauassistentz-Systems im Realfahrzeug sind acht Lidar-Sensoren für den Nah- und Fernbereich. Zusätzlich wird das Fahrzeugvorfeld durch eine Kamera sensiert, um die Fahrspurlinien detektieren zu können.

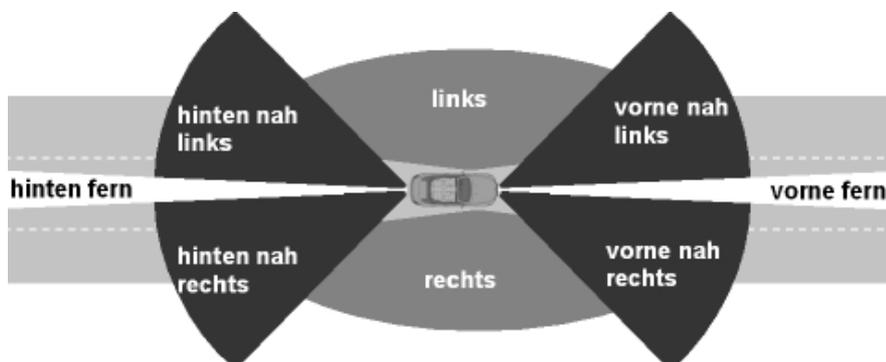


Bild 2.1: Abdeckungsbereich der Lidar-Rundum-Sensorik

Somit stehen über alle umliegenden Fahrzeuge Sensordaten zur Verfügung, die aufgrund der hier verwendeten Lidar-Sensorik im Vergleich zu Radar eine hohe Quergenauigkeit aufweisen [8].

2.3. Systemarchitektur

Die Systemarchitektur des Stauassistentz-Systems stellt Bild 2.2 dar. Die Lidar-Rohdaten werden mittels Multiple Target Tracking zu Objekten mit Position, Geschwindigkeit und Beschleunigung zusammengefasst [9]. Die Objektauswahl

wählt aus diesen Objekten ein gültiges Vorderfahrzeug-Objekt aus, auf dessen Basis die Längsregelung analog zu ACC S&G [10] stattfindet.

Für die Berechnung der Soll-Trajektorie der Querregelung werden zusätzlich zu den Objektdaten die Lidar-Rohdaten berücksichtigt. Diese bilden mit dem aktuell gültigen Vorderfahrzeug-Objekt die Eingangsdaten für den Gassenbeobachter, einem Kalmanfilter, der mittels eines Straßenmodells eine freie Gasse nach vorne beobachtet. Mit den Daten der Gasse werden im Entscheider die Spurdaten verifiziert, auf denen dann die Querregelung mittels Vorausschauregler basiert. Stehen keine Daten über die Fahrspurlinien zur Verfügung, kann auch auf die Daten des Gassenbeobachters geregelt werden. Hierdurch ergibt sich ein „Mitschwimmen“ mit dem umliegenden Verkehr.

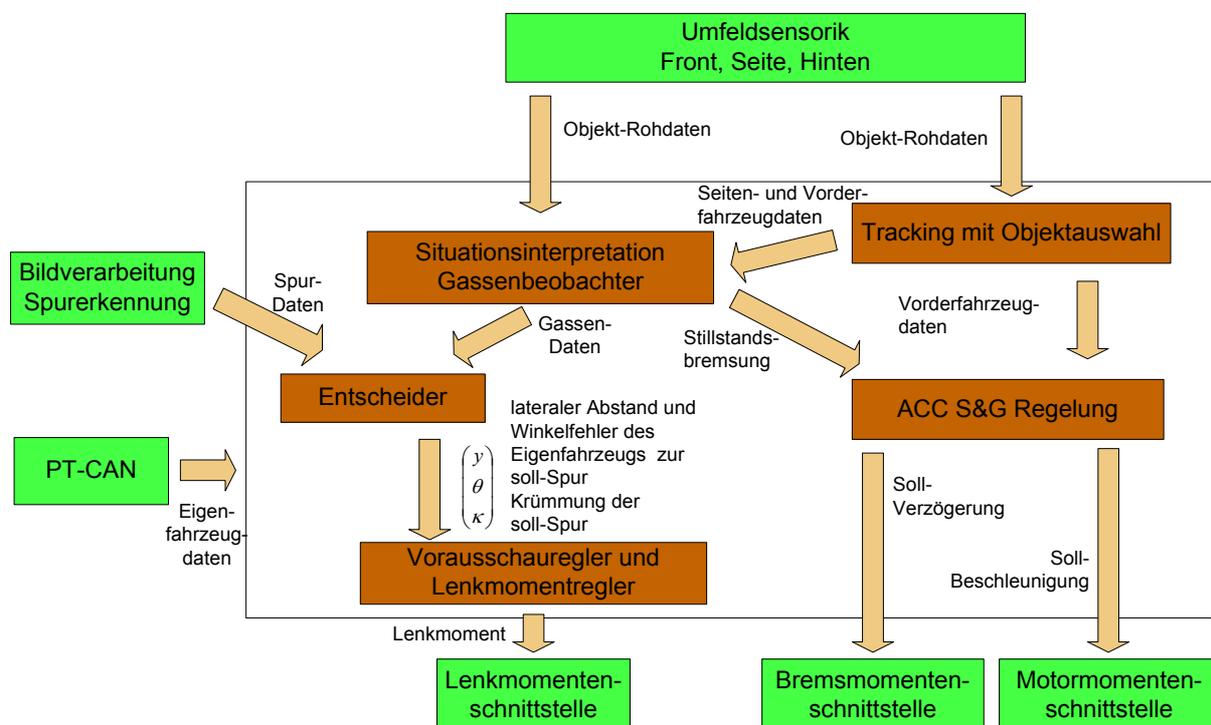


Bild 2.2: Systemarchitektur des Stauassistenten-Systems

2.4. Situationsinterpretation

Die Aufgabe der Situationsinterpretation ist also, mittels Kalman-Filterung eine freie Gasse nach vorne zu beobachten. Als Modell für die Soll-Trajektorie wird eine kubische Bahn verwendet:

$$y_T = y_0 + x_T \cdot \theta_\Delta + \frac{1}{2} \cdot x_T^2 \cdot \kappa_T + \frac{1}{6} \cdot x_T^3 \cdot \kappa'_T \quad (\text{F 2.1})$$

Hierbei stellt $P_T(x_T/y_T)$ einen beliebigen Punkt auf der Soll-Trajektorie, θ_Δ den Differenzwinkel zwischen Fahrzeug-Längsachse und Tangente an der Soll-Trajektorie und y_0 den Abstand zwischen Fahrzeug und Soll-Trajektorie dar. Die Krümmung der Soll-Trajektorie wird mit κ_T , die Krümmungsänderung mit κ'_T bezeichnet. Die Gassenbegrenzungslinien können parallel dazu bestimmt werden, wobei $P_L(x_L/y_L)$ beliebige Punkte auf der linken $P_R(x_R/y_R)$ beliebige Punkte auf der rechten Gassenbegrenzung darstellen:

$$y_L = (y_0 + b_L) + x_L \cdot \theta_\Delta + \frac{1}{2} \cdot x_L^2 \cdot \kappa_T + \frac{1}{6} \cdot x_L^3 \cdot \kappa'_T \quad (\text{F 2.2})$$

$$y_R = (y_0 - b_R) + x_R \cdot \theta_\Delta + \frac{1}{2} \cdot x_R^2 \cdot \kappa_T + \frac{1}{6} \cdot x_R^3 \cdot \kappa'_T \quad (\text{F 2.3})$$

Stehen nun ein gültiges Vorderfahrzeug-Objekt aus dem Tracking und gültige Rohdaten für den Seitenbereich, wie in Bild 2.3 dargestellt, zur Verfügung, können diese zur Bestimmung der Soll-Trajektorie und der Gassenbegrenzungen berücksichtigt werden.

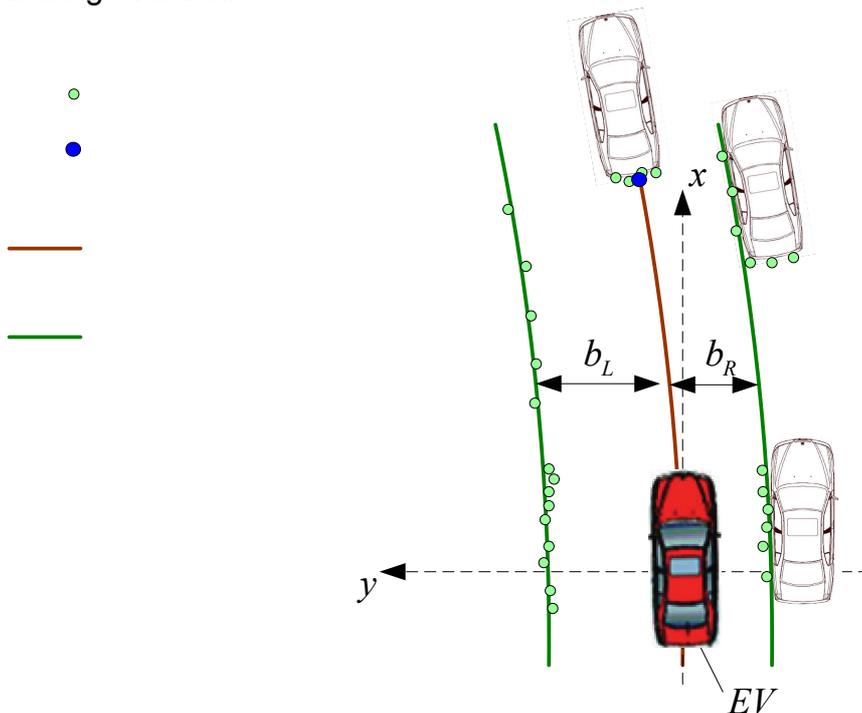


Bild 2.3: Soll-Trajektorie und Gassenbegrenzungen in einer Stausituation

Da die Position des Vorderfahrzeug-Objekts stark in die Berechnung der Soll-Trajektorie der Gasse eingeht, muss ein besonderes Augenmerk auf Überholvorgänge des Vorderfahrzeugs gelegt werden. Diese Situation muss erkannt werden, um dem Gassenbeobachter das „neue“ Vorderfahrzeug frühzeitig zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund wird eine Erkennung von Spurwechselforgängen auf Basis Bayes'scher Netze durchgeführt. Anhand von über Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen gewichteten Merkmalen, wird eine

Spurwechselwahrscheinlichkeit des Vorderfahrzeugs nach links oder nach rechts errechnet. Überschreiten diese Spurwechselwahrscheinlichkeiten des Vorderfahrzeugs einen Grenzwert, gilt das vor diesem liegende Fahrzeug als neues gültiges Vorderfahrzeug-Objekt und wird dementsprechend dem Kalmanfilter als Messdatum zur Verfügung gestellt. Die wesentlichen Merkmale für die Spurwechselwahrscheinlichkeit nach links lauten:

- Quergeschwindigkeit Vorderfahrzeug (Front Center Vehicle, FC) v_{yFC}
- Querabstand zur Soll-Trajektorie
- Krümmungsänderung der Soll-Trajektorie
- Track-Alter des Fahrzeugs vor dem Vorderfahrzeug n_{FC} (muss aus der Verdeckung vor kurzem erst aufgetaucht sein)

Der Aufbau eines Netzes mit zwei Merkmalen ist in Bild 2.4 dargestellt. Die Gewichtung der Unterknoten ergibt die Gesamtwahrscheinlichkeit für einen Spurwechsel [11].

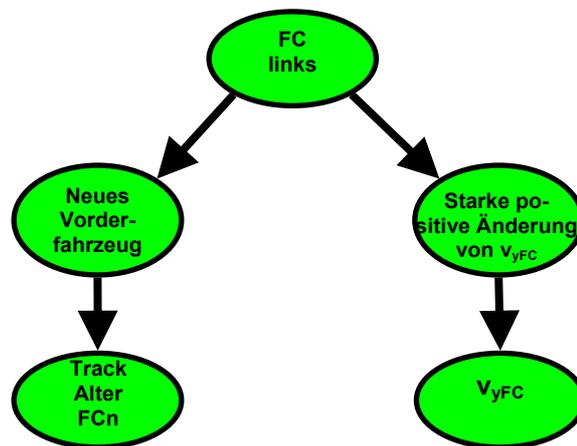


Bild 2.4: Bayes'sches Netz zur Berechnung der Spurwechselwahrscheinlichkeit

3. HMI (Human-Machine-Interface)

Analog zur funktionalen Ausprägung baut auch die Anzeige- und Bedienlogik des Stauassistenten auf der des ACC Stop&Go auf und wird um den Betriebszustand der Querführung erweitert. Dabei wird ein besonderer Augenmerk auf eine einfache Bedienbarkeit des Systems gelegt. Ziel ist, trotz der zusätzlichen Voraussetzungen für die Funktionalität der Querführung (Geschwindigkeitsbereich, Bahnkrümmung, freie Gasse, Seitenfahrzeuge) eine so genannte „Mode Confusion“ [1,12] zu vermeiden. Dem Fahrer muss der Betriebszustand des Systems jederzeit klar sein.

3.1. Längsführungs-HMI

Die Bedienung der Längsführung erfolgt entsprechend dem Seriensystem ACC Stop&Go über einen Lenkstockhebel, der folgende Bedienmöglichkeiten vorsieht:

- System aktivieren und Geschwindigkeit setzen (SET)
- gesetzte Wunschgeschwindigkeit erhöhen oder verringern ($v_{\text{Wunsch}} \uparrow / v_{\text{Wunsch}} \downarrow$)
- Wunschabstand zum Vorderfahrzeug in 4 möglichen Stufen einstellen
- System deaktivieren und in den StandBy-Zustand versetzen (OFF)
- System nach dem Deaktivieren (durch Off oder manuellen Bremsengriff) wieder mit alter Wunschgeschwindigkeit einschalten (RESUME).

Wenn das Fahrzeug mit ACC selbständig hinter einem anhaltenden Vorderfahrzeug hält, fährt es innerhalb einer bestimmten Zeit t_{Stand} wieder selbständig an, sobald das Vorderfahrzeug anfährt. Nach Überschreitung der Zeit muss der Fahrer das Anfahren manuell durch Betätigung der Resume-Taste oder Antippen des Gaspedals anstoßen (Anfahrbestätigung).

3.2. Querführungs-HMI

ACC muss beim Einschalten der Querführung bereits aktiviert sein, eine Nutzung ohne ACC ist nicht vorgesehen. Weitere Anschaltbedingungen sind

- Geschwindigkeit unter 40 km/h
- (gültiges) Vorderfahrzeug vorhanden
- Fahrzeug befindet sich nicht in einer engen Kurve

Aktiviert der Fahrer die Querführung mittels der Querführungstaste, wird ihm dieser aktive Zustand einerseits mit entsprechenden Kammerleuchten im Kombi als auch mit Hilfe eines grünen Leuchtrings am Lenkrad kommuniziert (Bild 3.1).



Bild 3.1: Querführungstaste (1) und Lenkstockhebel (2), Anzeigen bei aktiver Querführung

Gegenüber den eher konventionellen Kammerleuchten hat der Leuchtring am Lenkrad den Vorteil, dass er deutlich besser sichtbar ist und Änderungen am Einschaltzustand des Leuchtrings auch peripher wahrgenommen werden können. Die Integration des Leuchtrings im Querführungs-Bedienelement – dem Lenkrad – trägt außerdem zum Verständnis des Systems bei.

Im Falle einer Aktivierung über der Systemgrenze von 40 km/h wird die Querführung in den StandBy-Modus versetzt (nicht aktiv regelnd). Dieser Modus wird nur im Kombi, jedoch nicht mit Leuchtringen angezeigt. Sinkt die Geschwindigkeit anschließend unter 40 km/h, wird die Querführung automatisch aktiv geschaltet. Auf diese Weise ist der Fahrer nicht gezwungen, die Vorbedingungen des Systems zu kennen – er kann die Aktivierung jederzeit vornehmen.

Für den Fall einer fehlenden Einschaltvoraussetzung unter 40 km wird der Aktivierungsversuch allerdings mit einer Fehlermeldung quittiert.

Während der aktiven Querführung kann der Fahrer die Hände am Lenkrad lassen (um z.B. die Regeltätigkeit haptisch zu überwachen), muss es aber nicht. Aufgrund der Zwangskopplung ans ACC wird die Querführung (temporär) mit abgeschaltet, sobald der Fahrer die Bremse betätigt. Einzige Ausnahme ist das automatische Warten hinter einem Fahrzeug, das bis zum Stillstand gebremst hat – analog zur Serienauslegung des ACC Stop&Go, das bei Betätigung der Bremse im Stand nicht in den StandBy-Zustand schaltet. Der letzte Einschaltzustand der Querführung wird bei Wiederaufnahme des ACC (RESUME) wieder hergestellt, um dem Fahrer das Wiedereinschalten der Querführung zu ersparen. Detaillierte Informationen über das HMI des Stauassistenten-System sind in [1] zu finden.

3.3. Systemgrenzen und Systemfehler

Wie bereits erwähnt, soll die Querbeschleunigung nur im Geschwindigkeitsbereich unter 40 km/h zur Verfügung stehen. Löst sich nun beispielsweise der Stau auf und das Fahrzeug beschleunigt bei aktiviertem System bis an die Systemgrenze, hängt das weitere Verhalten vom Fahrer ab. Hat er die Hände bereits am Lenkrad, wird die Systemgrenze unter Ausblendung des Lenkmoments einfach überschritten und das Fahrzeug beschleunigt (max. bis zur aktuellen ACC-Setzgeschwindigkeit). Eine Bestätigung des Fahrers ist nicht erforderlich – das immer schwächer werdende Moment oberhalb von 40 km/h und der abgeschaltete Leuchtring zeigen ihm das Abschalten der Querregelung haptisch und visuell an.

Hat der Fahrer die Hände bei 40 km/h nicht am Lenkrad, endet die Beschleunigung und es wird eine niedrig priorisierte Übernahme-Aufforderung ausgegeben. Diese fordert den Fahrer dezent zum Übernehmen des Lenkrads auf, allerdings nur optisch mit Hilfe des blinkenden grünen Leuchtrings und der Kammerleuchte. Sobald der Fahrer zum Lenkrad greift, setzt ACC die Beschleunigung mit ausrampendem Lenkmoment fort.

Da die Übernahme-Aufforderung keine Warnung im eigentlichen Sinne darstellt, kann sie der Fahrer auch ignorieren – z.B. weil er antizipiert, dass der Verkehr in den

nächsten Sekunden wieder unter 40 km/h fallen wird. Auf diese Weise sind typische Stauwellen, in denen der Verkehr zwischen Stop&Go-Strecken und Phasen um 40 km/h schwankt, ohne zusätzliche Bedienung fahrbar. Das Halten der Geschwindigkeit bei 40 km/h wird ohne Warngabe solange fortgesetzt, bis die Funktion nicht mehr aufrechterhalten werden kann, beispielsweise bei einem Verlust des Vorderfahrzeug-Objekts. In diesem Fall wird eine massivere Warnung als Handlungsaufforderung ausgegeben, gekennzeichnet durch einen rot blinkenden Leuchtring, einen Warnton sowie ein Warnsymbol im Kombi. Dieselbe hoch priorisierte Warnung wird dann ausgegeben, wenn die Querführung aufgrund eines Fehlers oder einer Systemgrenze unter 40 km/h nicht mehr aufrecht erhalten werden kann. Dies geschieht bei folgenden Systemgrenzen:

- Verlust des gültigen Vorderfahrzeugs
- Überschreiten des maximalen Lenkradwinkels (Krümmung der Soll-Trajektorie)
- Differieren von Fahrspurlinien und Gassendaten im Entscheider (Bild 2.2)
- Unterschreiten des Minimalabstandes zum Seitenfahrzeug
- Gasse nach vorne als zu eng detektiert

Sobald der Fahrer nach einer akuten Warnung die Hände ans Lenkrad nimmt, schaltet sich die Querführung ab und kann erst nach einer kurzen Pause (ca. 5 sec) wieder aktiviert werden. Wird jedoch auch diese kritische Übernahme-Aufforderung ignoriert, geht das System selbstständig in einen FailSafe-Modus über und bremst das Fahrzeug moderat in den Stillstand.

Die Unterscheidung zwischen dezenter Handlungsaufforderung an der Grenze von 40 km/h und akuter Warnung (kritische Übernahmeaufforderung bei Systemausfall) ist nötig, damit der Fahrer die Dringlichkeit erkennen kann und nur so stark wie nötig gewarnt wird.

4. Akzeptanz-Untersuchung des Stauassistenten-Systems im Fahrsimulator

4.1. Ziele der Fahrsimulator-Untersuchung

Für die hier dargestellte Systemausprägung einer Stauassistenten, in Verbindung mit dem vorgestellten HMI, interessieren hinsichtlich Fahrerakzeptanz folgende Punkte:

- Wird durch die zusätzliche Übernahme der Querführung ein Mehrwert gegenüber einem reinen ACC Stop&Go geschaffen?
- Ist die Kundenwertigkeit auch bei einem aus Fahrersicht nicht perfekten System mit Systemgrenzen und Systemfehlern vorhanden?
- Kann der Fahrer trotz der vorrangig überwachenden Tätigkeit die Übernahme der Quer- und Längsführung in kritischen Situationen meistern (Out-of-the-Loop Phänomen)?

4.2. Versuchsdurchführung

Um diesen Fragen nachzugehen, wurde unter Mitwirkung des IZVW ein Versuch am dynamischen Simulator der BMW Group durchgeführt [13, 14, 15]. Hierfür wurde das Stauassistenten-System in der Fahrsimulation umgesetzt. Anstelle der Realsensorik verwendete man Sensormodelle, die die Sensorkonfiguration im Realfahrzeug (Bild 2.1) simulieren, jedoch keine Sensorfehler berücksichtigen.

Der Versuch wurde mit N=32 Probanden durchgeführt, davon 7 Frauen. Die Probanden waren zwischen 24 und 61 Jahre alt ($m = 40$, $sd = 12.2$). 72 % der Fahrer gaben an, mehrfach im Monat, 47% sogar mehrfach pro Woche im Stau zu stehen.

Zu Beginn des Versuches wurde den Probanden das System in einer Vorbereitungsfahrt erklärt und die Bedienung geübt. Die eigentliche Versuchsstrecke bestand aus Stauabschnitten auf der Autobahn sowie auf der Landstraße. Es wurde eine ca. 45minütige Strecke einmal mit ACC Stop & Go und einmal mit dem um die Querführung erweiterten System durchfahren. Durch den direkten Vergleich mit ACC Stop & Go kann der zusätzliche Nutzen der Querführungsfunktion direkt erfasst werden.

Das Geschwindigkeitsprofil der Staufahrt wurde an einen Realstau (Profil des Kölner Ringstaus aus INVENT [7]) angelehnt.

Um Reaktion auf kritische Situationen zu untersuchen, wurden u.a. folgende Systemgrenzen und Systemfehler gezielt hergestellt:

- **Kritischer Einscherer (längs)**

Ein Fahrzeug schert knapp vor Ego-Fahrzeug ein und bremst, es erfolgt eine Übernahmeaufforderung der Längsführung. Durch diese Situation kann eine Aussage über die eventuell abnehmende Fahreraufmerksamkeit durch die Querführung getroffen werden. Die Übernahmeaufforderung erfolgt in beiden Staufahrten, die Reaktionszeiten können direkt verglichen werden.

- **Kritischer Ausscherer (quer)**

In einem Streckenabschnitt ohne Spurmarkierung, in dem sich die Querführung an den umliegenden Objekten orientiert, wechselt das Vorderfahrzeug langsam die Spur. Dieser Spurwechsellvorgang wird anhand der Bayes'schen Netze nicht erkannt und die Querführung folgt dem Vorderfahrzeug wegen dessen starken Gewichtung bei der Gassenbeobachtung. Durch diesen Systemfehler bewegt sich das Eigenfahrzeug auf das seitliche Fahrzeug zu. Wenn das Seitenfahrzeug zu nahe ist, erfolgt zwar eine Übernahmeaufforderung, jedoch würde ein zu spätes Eingreifen des Fahrers zu einem von seinem Fahrzeug verursachten Unfall führen. Dies stellt einen relativ kritischen Systemfehler der Querführungsfunktion dar.

- **Seitliches Fahrzeug zu nahe (quer)**

Ein Fahrzeug auf der rechten Fahrbahn weicht einem auf den Standstreifen stehenden Fahrzeug aus und kommt dem Eigenfahrzeug gefährlich nahe. Durch die Beobachtung der Gassenbegrenzungen weicht das Eigenfahrzeug bis zu

einem bestimmten Grad aus. Dann erfolgt eine Übernahmeaufforderung an den Fahrer.

Während der Versuchsdurchführung wurden die Fahrer instruiert, eine Trackingaufgabe mit Punktezahl auf einem Laptop am Beifahrersitz durchzuführen. Zum Zeitpunkt von kritischen Situationen soll somit eine gezielte Ablenkung erreicht werden.

4.3. Fahrerbewertung des Kundennutzens

Im Anschluss an beide Systemfahrten wurden die Fahrer gefragt, ob sie anstelle eines ACC Stop&Go lieber das erweiterte System mit zusätzlicher Querführungsfunktion in ihrem Fahrzeug hätten. 81 Prozent der Fahrer beantworteten diese Frage mit „Ja“. Nur 19 Prozent möchten die Querführungsfunktion nicht.

Die Probanden wurden außerdem nach dem größten Nutzen der Querführungsfunktion bzw. nach der größten von ihr ausgehenden Gefahr befragt. Die am häufigsten genannten Vorteile sind eine Entlastung bei Fahrten auf der Autobahn bzw. im Stau sowie ein erhöhtes Sicherheitsgefühl bei Nebentätigkeiten. Es besteht ein starker Wunsch im Stau Nebentätigkeiten (wie z.B. Radio, Navi, Telefon) auszuüben. Die größte Gefahr aus Sicht der Probanden ist, dass man sich zu stark mit Nebentätigkeiten beschäftigt, so dass auf kritische Situationen nicht mehr rechtzeitig reagiert werden kann. (Dieser Punkt wird im nächsten Kapitel diskutiert)

Ein Indikator für die Akzeptanz der Querführungsfunktion durch die Fahrer ist deren Bereitschaft, bei aktiver Querführung die Hände vom Lenkrad zu nehmen. Sie tun dies bei aktiver Querführung ca. 80% der Zeit (min = 5%, max = 98%) und damit deutlich häufiger als bei ausgeschalteter Querführung bzw. in der Fahrt mit ACC (Bild 4.1).

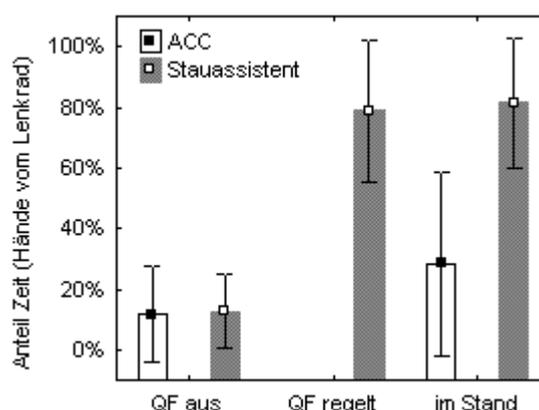


Bild 4.1: Zeitanteil, in dem bei ausgeschalteter Querführung, bei aktiv regelnder Querführung sowie im Stand die Hände vom Lenkrad genommen werden

Die geringe Anzahl von Übersteuerung der Querführung mit durchschnittlich 2,5 mal pro Fahrt ist ein weiteres Indiz für die Zufriedenheit der Fahrer mit der Querführung.

Im Gegensatz dazu wurde die Längsführung ca. 24 mal pro Fahrt übersteuert, um stärker zu beschleunigen oder zu bremsen. Ein Fahrer war unzufrieden mit der Querführung und übersteuerte diese andauernd. Da er somit die Querführung kaum nutzte, wurde er von der Wertung ausgenommen.

4.4. Versuchsergebnisse zur Beherrschbarkeit

Folgende Fahrerreaktion traten an den Systemgrenzen auf:

„Schwache“ Übernahmeaufforderung bei 40 km/h

Auf diese häufig auftretende Aufforderung wird so gut wie immer rechtzeitig reagiert, nur 2 Fahrer reagierten einmal nicht rechtzeitig. Die Fahrer reagierten im Mittel nach 2.1 Sekunden auf die Aufforderung. Nebenaufgaben hatten keinen Einfluss.

Kritischer Einscherer

In der Situation kritischer Einscherer reagieren die Fahrer in der Fahrt mit Querführung tendenziell langsamer auf die Übernahmeaufforderung des ACCs als in der Fahrt mit ACC, jedoch ist der Anstieg der durchschnittlichen Reaktionszeit von 0.95 s auf 1.03 s nicht signifikant (Bild 4.2).

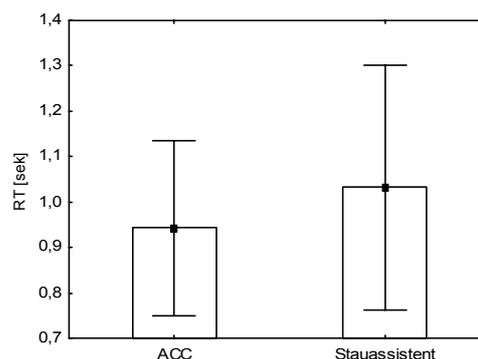


Bild 4.2: Erhöhung der Reaktionszeit bei aktiver Querführung bei Situation „kritischer Einscherer“

Kritischer Ausscherer

In dieser Fehler-Situation der dargestellten Systemausprägung kommt es zu einem Spurversatz von ca. 50 cm. Die Situation wird von allen Probanden ohne Unfall aufgelöst, jedoch mit deutlich erhöhten Lenkgeschwindigkeiten. Der minimal aufgetretene Seitenabstand zum Seitenfahrzeug war bei der hier verwendeten Parametrierung 43 cm. Übernehmen die Fahrer die Lenkung dagegen, bevor die Übernahmeaufforderung ausgelöst wird, gibt es bezüglich der Spurhaltung keine Unterschiede zur Fahrt mit ACC.

Die Bearbeitung der Trackingaufgabe hat keinen Einfluss auf die Abweichung in der Situation „Kritische Ausscherer“ auf die Abweichung von der Sollspur und somit auf die Reaktionszeit in dieser Situation.

Es kommt auch zu keiner deutlichen Erhöhung der Reaktionszeit auf Übernahmeaufforderungen wenn der Fahrer die Hände nicht am Lenkrad hat.

5. Diskussion der Fahrsimulator-Untersuchungsergebnisse

Es zeigt sich eine hohe Akzeptanz des Stauassistenten-Systems durch die Fahrer. Dieses positive Bild zeichnet sich sowohl in der Befragung als auch in der Bereitschaft ab, die Querführung dem System zu überlassen. Hauptbegründung für die gute Bewertung ist, dass so Fahren im Stau deutlich entspannter und weniger anstrengend ist.

Als die größte vom System ausgehende Gefahr wird die Möglichkeit angesehen, sich zu weit aus der Fahraufgabe zurückzuziehen und somit in kritischen Situationen verspätet zu reagieren. Diesem Effekt wirkt die Tatsache entgegen, dass trotz des teilautonomen Fahrens bedingt durch das gewählte Interaktionskonzept relativ häufig Bedieneingaben erforderlich sind, um die Fahrt und damit den Verkehrsfluss aufrecht zu erhalten. Bei einer detaillierten Betrachtung der erforderlichen Fahrerreaktionen lassen sich Anzeichen für Out-of-the-Loop-Phänomene finden: in der Fahrt mit Stauassistent reagieren die Probanden langsamer auf Übernahmeaufforderungen des ACCs. Trotzdem kommt es in kritischen Situationen mit Systemwarnung nie zu Kollisionen. Die Fahrer können immer rechtzeitig übernehmen.

Es ist zu prüfen, inwieweit die in dieser Simulatorstudie beobachteten Out-of-the-Loop Phänomene simulatorspezifisch sind und quantitativ auf Feldbedingungen übertragbar sind. Es ist zu erwarten, dass unter realen Bedingungen Risikobewusstsein und Situationswahrnehmung höher sind und damit grundsätzlich die Out-of-the-Loop Phänomene in ihrer Anzahl und Intensität verringert auftreten. Andererseits kann aus dieser Untersuchung kein Langzeitverhalten der Fahrer mit diesem System abgeleitet werden. Hierbei ist wiederum anzunehmen, dass die Fahrer ein stärkeres Systemvertrauen aufbauen und sich mehr mit Nebentätigkeiten beschäftigen.

Bei der Betrachtung der hier vorgestellten Systemausprägung müssen weitere Untersuchungen zeigen, inwieweit auch bei Sensorfehlern oder in anderen anspruchsvollen Situationen – z.B. vor Kreuzungen oder im innerstädtischen Bereich mit Fußgängern – die Beherrschbarkeit und Systemsicherheit gewährleistet werden kann.

6. Zusammenfassung

Die Erweiterung des ACC Stop&Go um eine Querführungsfunktion in der dargestellten Systemausprägung hat einen klaren Kundenmehrwert. Die Lenk-Unterstützung bei der Spurhaltung wird positiv wahrgenommen. Es ermöglicht ein entspannteres Fahren im Stau. Die Fahrer fühlen sich bei Nebentätigkeiten sicherer. Auf die untersuchten typischen Übernahmeaufforderungen kann der Fahrer auch bei Ablenkung angemessen reagieren.

7. Literatur

- [1] Lindberg, T.; Schaller, T.; Gradenegger, B.: *Stauassistentz – Unterstützung des Fahrers durch Übernahme der Quer- und Längsführung im Stau*. 4. VDI-Fachtagung „Fahrer im 21. Jahrhundert – Human Machine Interface“. Braunschweig, 2007.
- [2] ADAC: www.adac.de
- [3] Verkehrsunfallstatistik der Autobahnpolizei Köln 2005, Autobahnpolizei Köln. <http://www.autobahnpolizei-koeln.de>, 2006
- [4] Statistisches Bundesamt: *Datenreport 2004*. Bundeszentrale für politische Bildung, 2005
- [5] Pauli B.; Schindler T.: *Telematikdienste, ein Ausweg aus dem drohenden Verkehrschaos?* Arbeitsbericht der Veranstaltung "Teledienste - Trendanalyse und Bewertung" am Lehrstuhl für Allgemeine und Industrielle Betriebswirtschaftslehre, TU München, 2001
- [6] Freymann, R.: *Aktive Sicherheit: Eine wesentliche Technologie zur Erhöhung der allgemeinen Verkehrssicherheit*. VDI Jahrbuch 2006 Fahrzeug- und Verkehrstechnik, VDI Verlag, Düsseldorf 2006.
- [7] INVENT: *Gemeinsamer öffentlicher Abschlussbericht der Projektpartner* . 2005. <http://www.invent-online.de>
- [8] Fuerstenberg, K.; Dietmayer, K.: *Multilayer Laserscanner for robust Object Tracking and Classification in Urban Traffic Scenes*. Proceedings of ITS 2002, 9th World Congress on Intelligent Transport Systems, Chicago, 2002
- [9] de Castro Bonfim, C.: *Flexible Multisensor Fusion*. Master Thesis, Lehrstuhl für Realzeitsysteme, TU München, 2004.
- [10] Adiprasito, B.: *Fahrzeu glängsführung im Niedergeschwindigkeitsbereich*, Dissertation am Institut für Fahrzeugtechnik, TU Braunschweig, 2004
- [11] Dagli, I.; Breuel G.; Schnittenhelm H.: *Cutting-in vehicle detection - a feasibility study*. Vehicle Safety 2010, Innovative Occupant and Partner Crash Protection, 2003.
- [12] Sarter, N. B.; Woods, D. D.: *How in the World Did We Ever Get Into That Mode? Mode Error and Awareness in Supervisory Control*. Human Factors, Vol. 37(1), 1995
- [13] Wisselmann, D. et al.: *Connected Drive - ein methodischer Ansatz für die Entwicklung zukünftiger Assistenzsysteme*. Tagung Aktive Sicherheit durch Fahrerassistenz. Garching 2004.
- [14] BMW Group München: *BMW Group Innovationstag 2006: Fahrerassistenzsysteme*. Pressemitteilung, 2006. <http://www.press.bmw.de>
- [15] Krüger, H.-P.; Gradenegger, B.: *Abschlussbericht ACCNG - Prüfung von HMI und Kundennutzen*. Interner Bericht, 2007