

Verkehrssituationserkennung: Entwicklung und Anwendung in Fahrerassistenzsystemen

Identification of traffic situation: Development and application in driver assistance systems

Dipl.-Ing. Dirk **Sandkühler**

Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen mbH, Aachen

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird der Entwicklungsprozess einer Verkehrssituationserkennung vorgestellt. Das Versuchslayout und die Auswertung der Fahrversuche werden erläutert. Aus den Aussagen der Probanden, die diese während der Fahrversuche und in einer Nachbesprechung gemacht haben, wurde eine Anzahl von Verkehrssituationen abgeleitet, die der Fahrer subjektiv unterscheidet. Außerdem wurden Parameter identifiziert, anhand derer der Fahrer diese Unterscheidung vornimmt. Auf Basis der im Fahrversuch aufgezeichneten Messdaten wurde ein Algorithmus entwickelt, der Situationen in der gleichen Weise erkennt wie die Fahrer. Diese Situationserkennung und die ebenfalls aus den Fahrversuchen abgeleitete Kenntnis des situationspezifischen Fahrerverhaltens wurden einem Fahrzeuglängsregler zur Verfügung gestellt. Das mit diesem neuen Konzept erzielte längsdynamische Reglerverhalten wird dargestellt. Teile der vorgestellten Arbeiten wurden im Rahmen der bmbf-geförderten Forschungsinitiative invent (Intelligenter Verkehr und nutzergerechte Technik) durchgeführt, bei der die fka gemeinsam mit dem Institut für Regelungstechnik der RWTH Aachen (IRT) im Unterauftrag des invent-Stauassistent-Konsortiums an der Entwicklung von Assistenzsystemen für die Fahrzeuglängsführung im Niedergeschwindigkeitsbereich arbeitet.

Summary

This article presents the development process of an algorithm for identification of traffic situations. The design and the analysis of the driving tests are explained. Based on the statements, the drivers told during the driving test and the debriefing, a number of traffic situations was identified, which the drivers discriminate. In addition parameters for differentiation of the traffic situations were found. An algorithm was developed, which realizes the identification of traffic situations in the same way the drivers do. This algorithm uses the data of the vehicle's sensor systems. The traffic situation identification together with the knowledge of the situation-specific driver behaviour, which was derived from driving tests, was provided to an automatic longitudinal vehicle guidance. The performance of this new approach of ACC-controller is shown. Parts of the presented results were reached within the framework

of the invent-project (intelligent traffic and user-oriented technology), which is founded by the Federal Ministry of Education and Research. Here fka works in cooperation with the Institute of Automatic Control (IRT) of RWTH Aachen on behalf of invent-congestion-assistant-consortium on the development of low speed automatic vehicle control systems.

1 Einführung

Systeme zur längsdynamischen Fahrerassistenz sind seit einigen Jahren in Serienfahrzeugen erhältlich. Sie halten automatisch einen sicheren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ein. Allerdings funktionieren diese ACC(Adaptive Cruise Control)-Systeme nur oberhalb einer Mindestgeschwindigkeit, die je nach Ausführung im Bereich zwischen 30 und 60 km/h liegt, automatisches Anhalten und Anfahren ist nicht möglich. In der Forschung existieren bei verschiedenen Fahrzeugherstellern und Zulieferern ACC-Systeme mit Stop&Go-Funktion. Die bei ACC üblicherweise verwendeten Algorithmen nutzen als Sollwert eine Zeitlücke. Daraus ergibt sich ein Sollabstand als Funktion der Eigengeschwindigkeit. Unter Berücksichtigung von Abstand und Differenzgeschwindigkeit wird üblicherweise durch eine Kaskadierung zweier P-Regler letztlich eine Sollbeschleunigung ermittelt. Diese wird mit Hilfe der Fahrwiderstandsgleichung in Fahrzeugstellgrößen umgerechnet. Die beschriebene Kaskadenstruktur stellt für ACC-Anwendungen einen weit verbreiteten Ansatz dar.

Neben der automatischen Fahrzeuglängsführung wird inzwischen auch an Systemen zur automatischen Querführung gearbeitet. Diese Entwicklungen werden derzeit unabhängig voneinander vorgenommen. Um der Idee vom vollständig automatischen Fahren jedoch näher zu kommen, ist eine Kombination von Längs- und Querführung notwendig. Diese Kombination setzt aber voraus, dass die Verkehrsumgebung nicht nur erfasst, sondern diese auch durch die Ableitung einer Verkehrssituation interpretiert wird. Auch für eine rein längsdynamische Assistenzfunktion bedeutet eine Erkennung von Verkehrssituationen einen vor Allem unter Komfort- und Akzeptanzaspekten wertvollen Informationsgewinn. Wenn bekannt ist, wie sich ein Fahrer in bestimmten Verkehrssituationen verhält, kann mit Hilfe einer Situationserkennung eine situationsadaptive Charakteristik des Assistenzsystems realisiert werden, die sich an bekanntem situationsspezifischen Fahrerverhalten orientiert.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung soll die Entwicklung eines Algorithmus zur Situationserkennung vorgestellt werden. Dabei wird zunächst das Vorgehen bei der Versuchsdurchführung und -auswertung erläutert. Im Anschluss daran wird eine Übersicht über die gefundene fahrerbasierte Situationsklassifizierung gegeben und gezeigt, inwieweit diese Klassifizierung mit einem automatischen System nach-

gebildet werden kann. Die Anwendung der automatischen Situationserkennung in einem Fahrzeuglängsregler mit Stop&Go-Funktion bildet den Abschluss der hier vorgestellten Arbeiten.

2 Konzept

Grundlage der Arbeiten zur Erkennung von Verkehrssituationen bilden umfangreiche Fahrversuche, die mit einer repräsentativen Anzahl von Probanden auf Autobahnen und im Innenstadtbereich im Raum Aachen/Köln durchgeführt wurden. Diese Daten wurden einer Analyse unterzogen. Ziel dieser Analyse war es, verschiedene Situationsklassen zu identifizieren, in denen sich ein Fahrer in typischer, für die jeweilige Situation charakteristischer und reproduzierbarer Weise verhält. Dabei lag der Fokus bei der Identifikation von Situationen auf der subjektiven Sichtweise des Fahrers. Zunächst wurde also die Frage beantwortet, wie ein Fahrer verschiedene Verkehrssituationen einordnet und anhand welcher Parameter er diese unterscheidet. Erst in einem zweiten Schritt wurden Messdaten hinzugezogen und überprüft, ob die gefundene fahrerbasierte Situationsklassifizierung auch anhand der im Fahrzeug verfügbaren Sensorinformationen vorgenommen werden kann.

Bei den Fahrversuchen wurden die Bewegungsgrößen des eigenen und der umgebenden Fahrzeuge aufgezeichnet. Gleichzeitig wurden die Gas- und Bremspedal- sowie die Blinkerstellung gemessen. Neben diesen messtechnischen Größen war ein wesentlicher Aspekt der Datenaufzeichnung die Erfassung der Verkehrssituation vor und hinter dem Fahrzeug und der Aussagen des Fahrers während der Fahrt mit Hilfe von Videokameras. Der Fahrer war aufgefordert, während der Fahrt die Verkehrssituation voraus und seine Handlungen zu beschreiben bzw. diese zu kommentieren. Dabei wurde die Methodik des „Lauten Denkens“ /4/, /5/ eingesetzt. In einer Nachbesprechung wurde die Messfahrt mit dem Probanden diskutiert.

Damit stehen für die Auswertung der Versuchsfahrten zwei wesentliche „Datenpools“ zur Verfügung. Auf der einen Seite liegt die subjektive Einschätzung der Verkehrssituationen vor, wie sie der Proband geäußert hat. Diese beinhaltet eine Anzahl von Situationen, die der Proband anhand der Videobänder und seiner während der Fahrt gemachten Aussagen identifiziert hat. Außerdem hat er verschiedene Parameter genannt, anhand derer er die identifizierten Situationen unterscheidet. Auf der anderen Seite wurden während der Versuchsfahrt Daten der Fahrzeugsensorik aufgezeichnet.

Die fahrerbasierte Situationsklassifizierung, die das Ergebnis der Nachbesprechung der Versuchsfahrten darstellt, wurde nun dazu verwendet, eine erste systematische Unterscheidung von Situationen vorzunehmen. Diese Unterscheidung wurde ausschließlich auf Basis der Aussagen der Probanden vorgenommen. Der subjektive Eindruck und die subjektiven Unterscheidungskriterien des Fahrers sollten die maßgeblichen Parameter zur Definition der Situationen sein. Insbesondere wurden für diese Aufgabe die Messdaten nicht zur Unterscheidung von Situationen, sondern ausschließlich zur Unterstützung des aus dem Videobild gewonnenen Situationsindrucks herangezogen. Die von den Probanden identifizierten Situationsklassen

wurden miteinander verglichen und daraus eine allgemein gültige Situationsklassifizierung erstellt.

Im nächsten Schritt wurde der zweite „Datenpool“, nämlich die aufgezeichneten Messdaten, in die Analyse einbezogen. Die subjektiven Eindrücke der Probanden wurden mit den Messdaten verglichen. Dieser Vergleich hatte zum Ziel, zum einen die Fahrerreaktion in bestimmten Situationen messtechnisch beschreiben zu können und zum anderen eine Situationsidentifikation, wie sie der Fahrer auf Basis seiner subjektiven Eindrücke vorgenommen hat, nun auf Basis der Messdaten vorzunehmen. Dabei sollten messdaten- und fahrerbasierte Situationsklassifizierung möglichst kongruent sein.

Zur Beschreibung der Fahrerreaktion in bestimmten Situationen wurde eine statistische Aufbereitung der Messdaten durchgeführt. Alle der gleichen Klasse zuzuordnenden Situationen wurden für jede Versuchsfahrt zusammengefasst und charakteristische Größen dargestellt. Neben der fahrerspezifischen Darstellung der Datenaufbereitung wurden die für den einzelnen Fahrer situationsspezifisch gefundenen durchschnittlichen Trajektorien (Geschwindigkeit, Abstand, Beschleunigung, etc.) mit denen anderer Fahrer verglichen und ebenfalls grafisch dargestellt. Dadurch ergeben sich sowohl fahrertypische als auch über die gesamte Probandenpopulation gemittelte, situationsspezifische Verhaltensweisen.

Zur Situationsidentifikation müssen subjektive Fahrersicht und im Fahrzeug verfügbare Sensorinformationen zur Überdeckung gebracht werden. Dabei soll auf Basis der Sensorinformationen eine Situationsidentifikation realisiert werden, die Situationen möglichst in der exakt gleichen Weise unterscheidet, wie dies der Fahrer vornimmt. Die datenbasierte Identifikation von Situationen sollte sowohl zeitlich als auch inhaltlich der fahrerbasierten entsprechen. Ausgangspunkt dieses Teils der Datenauswertung waren die Aussagen der Probanden. Die Angaben zu Parametern, anhand derer der Proband Situationen unterscheidet, waren jedoch nicht vollständig auf die Messdatenanalyse übertragbar. So mussten für alle fahrerspezifischen Parameter, die mit der im Fahrzeug verfügbaren Sensorik nicht messbar waren, Analogien in den Messdaten gefunden werden, sodass eine Situationsidentifikation anhand der Messdaten möglich wurde. Als Ergebnis steht ein Algorithmus zur Verfügung, der eine Situationsidentifizierung anhand der verfügbaren Sensorinformationen ermöglicht.

Welche Situationen die Fahrer unterscheiden und inwieweit diese Unterscheidung mit Hilfe einer automatischen Situationserkennung nachgebildet werden kann, wird im folgenden Abschnitt dargestellt.

3 Situationsidentifizierung

3.1 Verkehrssituationen

Die Situationsklassen wurden in einem iterativen Prozess ermittelt, der prinzipiell erst mit der Fertigstellung der Datenauswertung beendet war. Auf Basis der ersten

Versuchsfahrten wurde eine erste Situationsklassifizierung erstellt. Diese diene als Arbeitshypothese und sollte durch die weiteren Versuchsfahrten bestätigt und ergänzt werden. Nach Abschluss jeder Messfahrt wurden die Fahreraussagen analysiert und anhand der Ergebnisse die Situationsklassifizierung nochmals hinterfragt und gegebenenfalls überarbeitet.

Betrachtet man ausschließlich die Längsdynamik, so erscheint eine Unterscheidung zwischen Hoch- und Niedergeschwindigkeitsbereich sinnvoll. Im niedrigen Geschwindigkeitsbereich unterhalb von etwa 60-70 km/h kann zunächst sehr grob zwischen Anfahr-, Anhalte- und Folgevorgängen unterschieden werden. Allerdings haben die Befragungen der Versuchspersonen ergeben, dass eine weitere Diversifizierung dieser Hauptkategorien sinnvoll ist. So hat die Datenanalyse beispielsweise ergeben, dass zwei Ausprägungen der Hauptkategorie Anhalten zu unterscheiden sind. Im ersten Fall nähert sich der Fahrer einer stehenden Fahrzeugkolonne. Aus der Voraussicht auf den einsehbaren Teil der Kolonne wird klar, dass ein Anhalten hinter dem direkten Vorderfahrzeug unvermeidlich ist. Der Fahrer wählt daher eine Geschwindigkeitstrajektorie, die ihn mit einer komfortablen Verzögerung bis in den Stillstand bringt. Dabei zielt der Fahrer auf einen angemessenen Abstand im Stillstand. Im zweiten Fall nähert sich der Fahrer ebenfalls einer stehenden Fahrzeugkolonne. Aus der Voraussicht auf den einsehbaren Teil der Kolonne ist für den Fahrer aber erkennbar, dass diese langsam wieder anzufahren beginnt. Der Fahrer wählt seine Geschwindigkeit nun so, dass er möglichst nicht stehen bleiben muss. Daraus ergibt sich ein vollständig anderes Fahrerverhalten als in der zuvor beschriebenen Anhaltesituation. In Analogie zu der für das Anhalten dargestellten haben sich auch für die anderen Hauptkategorien weitere Diversifizierungen ergeben.

Für den Hochgeschwindigkeitsbereich kann ebenfalls zunächst sehr grob zwischen den Hauptkategorien Freies Fahren, Annäherung, Folgen und Beschleunigen unterschieden werden. Diese Hauptkategorien werden von den Versuchspersonen weiter unterteilt. Für die Annäherung hat sich bei der Befragung der Probanden gezeigt, dass drei grundlegende Verhaltensweisen unterschieden werden müssen. Während der Annäherung an den Vorausfahrenden entscheidet der Proband, ob er überholen möchte. Besteht kein Überholwunsch oder ist ein Überholen aufgrund der Verkehrssituation (linke Nachbarspur belegt) nicht möglich, wählt der Fahrer eine Geschwindigkeitstrajektorie, die ihn bis in einen komfortablen Folgeabstand an das Vorderfahrzeug heranführt. Dabei erfolgt eine Reaktion auf das Vorderfahrzeug schon sehr früh, wenn bereits klar ist, dass der Übergang in eine Folgesituation unvermeidlich ist. Ist das Überholen möglich, nähert sich das eigene Fahrzeug ohne erkennbare Verzögerung dem Vorderfahrzeug und leitet einen Spurwechsel ein. Der Zeitpunkt des Spurwechsels ist abhängig von der Differenzgeschwindigkeit und dem Verkehr auf der benachbarten Fahrspur. Im dritten Fall der Annäherung geht die Versuchsperson aufgrund der Verkehrssituation davon aus, dass das Vorderfahrzeug die eigene Fahrspur in Kürze verlässt und damit wieder freie Fahrt besteht. Ein Grund für diese Einschätzung ist beispielsweise ein nahezu abgeschlossener Überholvorgang des Vorderfahrzeugs. In dieser Annäherungssituation reduziert der Proband seine Geschwindigkeit nur soweit, dass der Abstand zum Vorderfahrzeug

abgebaut ist, sobald dieses die eigene Fahrspur verlässt. Verbleibt das Vorderfahrzeug jedoch auf der eigenen Fahrspur, bremst der Proband gegen Ende der Annäherung stärker, um die Differenzgeschwindigkeit abzubauen. Dadurch ergibt sich üblicherweise ein kurzzeitig sehr geringer Abstand. In Analogie zu der für die Annäherung dargestellten haben sich auch für die anderen Hauptkategorien weitere Diversifizierungen ergeben.

Die Struktur der Situationsklassifizierung ist zusammenfassend in Abbildung 1 dargestellt.

Niedergeschwindigkeitsbereich			Hochgeschwindigkeitsbereich			
Anhalten	Folgen	Anfahren	Annähern	Beschleunigen	Folgen	Freie Fahrt
Sit. 1	Sit. 1	Sit. 1	Sit. 1	Sit. 1	Sit. 1	Sit. 1
Sit. 2	Sit. 2	Sit. 2	Sit. 2		Sit. 2	
	Sit. 3		Sit. 3		Sit. 3	
	Sit. 4				Sit. 4	
	Sit. 5				Sit. 5	

Abb. 1: Situationsklassen
list of traffic situations

Eine Einordnung der aktuellen Verkehrssituation in die Hauptkategorien ist mit Hilfe der im Fahrzeug verfügbaren Sensorik sehr zuverlässig möglich. Die Information über den Bewegungszustand des unmittelbar vorausfahrenden Fahrzeugs ist im Allgemeinen ausreichend, um diese Einordnung vorzunehmen. Die Differenzierung der verschiedenen Ausprägungen jeder Hauptkategorie ist wesentlich schwieriger. Sie hängt sehr stark von der Verfügbarkeit bestimmter Sensordaten ab. So ist eine Unterscheidung der beiden eben beschriebenen Anhaltesituationen nur dann möglich, wenn die Bewegung des Vorvorausfahrenden bekannt ist. Da diese Information normalerweise nicht vorliegt, kann eine Unterscheidung der Ausprägungen des Anhaltens nur im Ausnahmefall erfolgen. Dennoch ist bereits die Information darüber, dass das eigene Fahrzeug nun anhalten soll, eine wertvolle Information für die Längsregelung, die die Gestaltung eines komfortablen Anhaltevorgangs erleichtert.

3.2 Algorithmus zur Situationserkennung

Ein wesentliches Ziel der Datenanalyse bildet neben der Definition von Situationsklassen die Identifikation von Parametern, anhand derer diese Situationen vonein-

ander unterschieden werden können. Als Ergebnis der Arbeiten hierzu liegt ein Algorithmus vor, der in der Lage ist, auf Basis im Fahrzeug verfügbarer Sensorinformationen online Situationen zu identifizieren.

Zur Entwicklung der Situationserkennung mussten die Aussagen der Probanden zunächst analysiert werden. Für jede Situationsklasse wurde eine Liste von Parametern erstellt, anhand derer die Versuchsperson die Situationen identifiziert. Dabei kam es vor, dass die Unterscheidung anhand von Daten erfolgte, die messtechnisch nicht erfassbar sind, wie zum Beispiel das Aufleuchten von Bremsleuchten oder die Betätigung des Blinkers am Vorderfahrzeug. In solchen Fällen mussten Möglichkeiten gefunden werden, dem Algorithmus die fehlende Information auf anderem Weg zur Verfügung zu stellen. Für den Fall, dass am Vorderfahrzeug die Bremslichter aufleuchten, kann man die fehlende Information durch die Betrachtung der Vorderfahrzeugbeschleunigung substituieren. Dadurch steht dem Algorithmus im Vergleich zum Fahrer nur wenig später die Information zur Verfügung, dass das Vorderfahrzeug bremst. Das fehlende Blinkersignal zu ersetzen, ist wesentlich schwieriger. Zwar gibt Nahbereichssensorik auch eine laterale Fahrzeugbewegung aus, doch kann der Algorithmus hierauf nicht unmittelbar reagieren, da jedes Fahrzeug dauerhaft eine Pendelbewegung innerhalb der eigenen Spur ausführt. Daher muss hier ein Schwellwert definiert werden, um einen Einscherer zu erkennen. Das führt allerdings dazu, dass der Algorithmus den Einscherer meist deutlich später erkennt als der Fahrer.

Die Entwicklung der Situationserkennung fand parallel zur Durchführung der Versuchsfahrten statt. Genauso wie nach jeder Versuchsfahrt die Situationsklassifizierung überarbeitet und ergänzt wurde, wurde auch die Situationserkennung erweitert. Die Entwicklung fand „im Labor“ statt. Dazu wurde eine Entwicklungsumgebung aufgebaut, die es zulässt, den Algorithmus anhand realer Messdaten zu entwickeln und zu testen. Die während einer Versuchsfahrt aufgezeichneten Daten wurden aufbereitet und in Form eines ascii-Files der Entwicklungsumgebung als Vorgabedatei zur Verfügung gestellt. Die Einheiten der Messdaten wurden so gewählt, dass im Falle einer Ganzzahlarithmetik eine ausreichende Genauigkeit gewährleistet ist. Diese Randbedingung war für die Entwicklung am PC nicht von Bedeutung. Da der Prozessor im Versuchsfahrzeug, der als Zielplattform für den Algorithmus vorgesehen war, nur über ein Ganzzahlrechenwerk verfügt, musste diese Randbedingung jedoch von Beginn an berücksichtigt werden. Die Entwicklungsumgebung liest pro Zeitschritt eine Zeile der Vorgabedatei ein, weißt den eingelesenen Daten entsprechende Variablen zu und ruft dann den Algorithmus der Situationserkennung auf. Dieser wird abgearbeitet und als Ergebnis wird an das Hauptprogramm eine Situationsklasse für den aktuellen Zeitschritt zurückgegeben. Die erkannte Situationsklasse wird vom Hauptprogramm zusammen mit den Daten der Vorgabedatei in eine Ergebnisdatei geschrieben. In der beschriebenen Weise wurde die Situationserkennung auf die Messdaten aller Versuchsfahrten angewendet.

Die Abbildung 2 zeigt das Ergebnis der Online-Erkennung von Verkehrssituationen. Dargestellt ist ein Teil einer Versuchsfahrt im Stau auf der Autobahn mit mehreren Anhalte- und Anfahrvorgängen. Das Diagramm zeigt die Geschwindigkeiten des eigenen und des vorausfahrenden Fahrzeugs sowie den Abstand zwischen diesen Fahrzeugen. Die Vorderfahrzeuggeschwindigkeit wurde aus der Eigen- und der Differenzgeschwindigkeit berechnet, die der Abstandssensor zur Verfügung stellt. Darüber hinaus sind zwei Kurven zu sehen, die die Ergebnisse der Situationserkennung zeigen. Die Situationsklassen sind mit Nummern kodiert, um eine Darstellung in Diagrammform zu ermöglichen. Eine der Linien repräsentiert die Einordnung der Verkehrssituation durch den Fahrer („Fahrermeinung“ in Abb. 2). Sie wurde auf Basis der Aussagen der Versuchsperson erstellt, die diese während der Versuchsfahrt und im Rahmen der Nachbesprechung gemacht hat. Die Situationserkennung durch das automatische System ist ebenfalls dargestellt. Sie sollte ein Ergebnis liefern, dass sowohl zeitlich als auch inhaltlich mit der Einschätzung der Versuchsperson übereinstimmt. Die beiden Linien sollten also optimalerweise übereinanderliegen.

Abbildung 2 zeigt, dass die automatische Situationserkennung die Fahrermeinung sehr gut nachbildet. Abweichungen sind im Wesentlichen im Zeitverhalten bei der Erkennung von Anhaltesituationen zu finden. Im Diagramm (Abb. 2) sind diese Abweichungen in den Bereichen 758-766 s und 822-832 s erkennbar. Im ersten Fall wird vom automatischen System 4 s, im zweiten Fall 3 s später auf Anhalten erkannt.

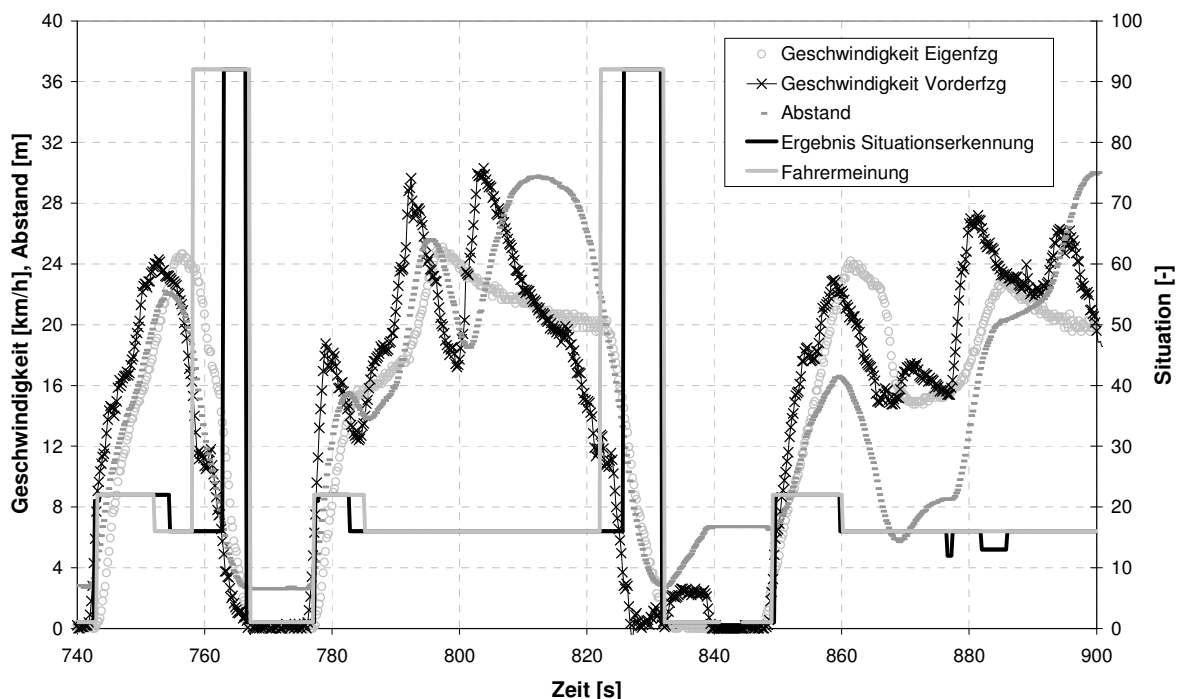


Abb. 2: Ergebnis der Situationserkennung, Beispiel
result of automatic situation identification algorithm, example

Die Ursache für diesen deutlichen Zeitverzug ist das Fehlen wichtiger Umgebungsinformationen. Der Fahrer kann seine Entscheidung schon frühzeitig treffen, da er nicht nur das unmittelbar vorausfahrende Fahrzeug, sondern auch die Bewegung der Fahrzeugkolonne voraus beobachtet. Erkennt er, dass die Kolonne bereits steht, entscheidet er auf Anhalten. Diese wichtige Information steht der automatischen Situationserkennung nicht zur Verfügung. Die Entscheidung muss hier allein aus den Bewegungsdaten des unmittelbar Vorausfahrenden abgeleitet werden. Um das Anhalten insbesondere von einem Folgevorgang mit leichter Verzögerung unterscheiden zu können, ist es erforderlich, eine gewisse „Sicherheit“ zu generieren, bevor auf Anhalten entschieden werden kann. Daraus ergibt sich ein Zeitverzug.

Die Kenntnis der Bewegung des Vorvorausfahrenden ist für den Fahrer eine sehr wichtige Information bei der Situationserkennung. Dies gilt nicht nur für die gerade erwähnte Erkennung des Anhaltens. Auch bei der Unterscheidung verschiedener Folgevorgänge ist diese Information für eine schnelle Erkennung eines Situationswechsels hilfreich. Heute verfügbare Umfeldsensorik stellt diese Daten jedoch nicht zuverlässig zur Verfügung. Einige Radarsensoren sind in der Lage, über Bodenreflexionen auch ein vorvorausfahrendes Fahrzeug zu erfassen. Im Versuchsfahrzeug von ika/fka wurde ein scannender Lasersensor an der vorderen linken Fahrzeugecke montiert, sodass eine Detektion des Vorvorausfahrenden durch Messung am Vorderfahrzeug vorbei zeitweise möglich war. Allerdings sind beide Methoden nicht dazu geeignet, die Bewegungsinformation zuverlässig zur Verfügung zu stellen. Deshalb wurde bei der Algorithmusentwicklung auf die Verwendung dieses Signals verzichtet.

4 Anwendung

Als Ergebnis der vorgestellten Situationsanalyse steht einerseits eine systematische Unterscheidung von Verkehrssituationen zur Verfügung. Sie beschreibt, welche Arten von Verkehrssituationen ein Fahrer unterscheidet und anhand welcher Parameter er diese Unterscheidung vornimmt. Außerdem liegt ein Algorithmus vor, der die Verkehrssituationen in der gleichen Weise einordnet wie ein Fahrer. Dieser Algorithmus zur automatischen Situationserkennung liefert online auf Basis der im Fahrzeug verfügbaren Daten eine Verkehrssituation.

Andererseits liefert die Situationsanalyse Daten über das situationsspezifische Fahrerverhalten. Alle der gleichen Klasse zuzuordnenden Situationen wurden für jede Versuchsfahrt zusammengefasst und charakteristische Größen grafisch dargestellt. Daraus konnte das fahrerspezifische Verhalten für jede Situation genauso identifiziert werden wie das über die gesamte Probandenpopulation gemittelte situationsspezifische Verhalten. Als Ergebnis lagen damit eine Reihe von Datensätzen vor, die das Fahrerverhalten situationsspezifisch beschreiben. Dadurch ergaben sich sowohl fahrertypische als auch über die gesamte Probandenpopulation gemittelte, situationsspezifische Verhaltensweisen.

Unter Verwendung dieser beiden wesentlichen Ergebnisse der Situationsanalyse wurde ein Reglerkonzept für eine automatische Fahrzeuglängsführung entwickelt. Abbildung 3 stellt die Struktur dieses Reglerkonzepts dar. Anhand der im Fahrzeug verfügbaren Sensordaten des Eigenfahrzeugs und des vorausfahrenden Fahrzeugs erkennt die automatische Situationserkennung die aktuelle Verkehrssituation und gibt die Information darüber an eine Sollwertgenerierung und einen Regler weiter. Auf Basis dieser Information ermittelt die Sollwertgenerierung dann eine Sollgeschwindigkeit, die das typische, für die jeweilige Situation charakteristische und reproduzierbare Verhalten des Fahrers nachbildet. Diese Sollgeschwindigkeit wird dann als Sollwertvorgabe an einen Regler weitergegeben und dort in Fahrzeugstellgrößen zur Ansteuerung von Motor und Bremse umgesetzt. Die Vorgabe erfolgt in Form einer Sollgrößenfolge, da der verwendete Regler einen Sollwertverlauf als Eingang benötigt.

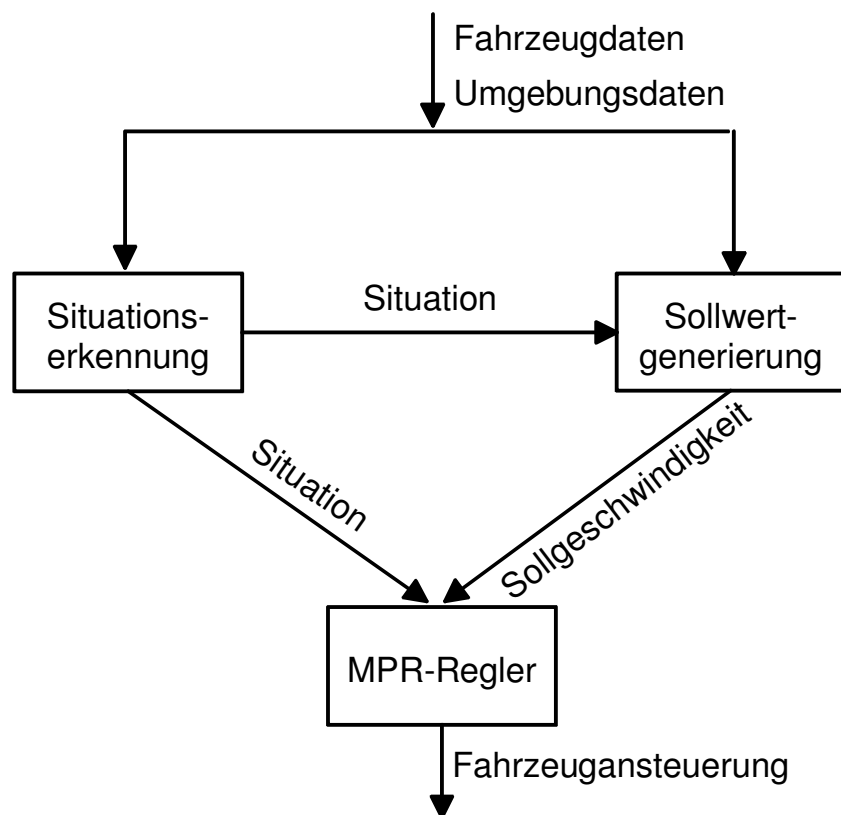


Abb. 3: Struktur der Fahrzeuglängsführung /1/
structur of ACC-Stop&Go-control

Der Regler basiert auf dem Prinzip der „Modellgestützten Prädiktiven Regelung“. Die Modellgestützte Prädiktive Regelung (MPR) bezeichnet eine Klasse modellgestützter Regelungsverfahren, die ein Modell des Prozesses nutzen, um das Verhalten relevanter Prozessgrößen in die Zukunft zu prädizieren. Mit diesem Verfahren können die zukünftigen Auswirkungen der augenblicklich auf den Prozess einwirkenden Stellgrößen abgeschätzt und in dem Regelalgorithmus optimiert werden /3/. Dabei können Begrenzungen der Stell-, Regel- und Zustandsgrößen des

Prozesses berücksichtigt werden. Für weitere Informationen zum verwendeten Reglerkonzept sei auf /1/ und /2/ verwiesen.

In Abbildung 4 ist das Reglerverhalten anhand eines Beispiels dargestellt. Es handelt sich um ein Ergebnis aus dem Fahrversuch. Der Fahrer des Führungsfahrzeugs war aufgefordert, aus dem Stillstand heraus eine Situationsabfolge Anfahren-Folgen-Anhalten im niedrigen Geschwindigkeitsbereich zu fahren. Weitere Vorgaben wurden nicht gegeben.

Wie Abbildung 4 zeigt, wird die Situationsabfolge vom System korrekt erkannt (Stillstand - Anfahren - Folgen - Anhalten - Stillstand). Dieser Situationsabfolge entsprechend berechnet die Sollwertgenerierung unter Berücksichtigung der Bewegung des eigenen und des vorausfahrenden Fahrzeugs sowie des Abstands eine Sollgeschwindigkeit. Diese ist zusammen mit den übrigen genannten Größen im Diagramm dargestellt. Wie zu erkennen ist, hält die automatische Längsführung einen komfortablen und sicheren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug. Auffällig ist die leichte Schwingung der Eigengeschwindigkeit gerade in den Bereichen einer konstanten Sollwertvorgabe. Der Regler selber ist bei Vorgabe eines synthetischen, idealen Sollgeschwindigkeitsverlaufs stabil. Die Schwingung tritt ausschließlich beim Zusammenwirken von Regler und Sollwertgenerierung auf. Hier ist also die Abstimmung zwischen beiden Komponenten noch zu optimieren.

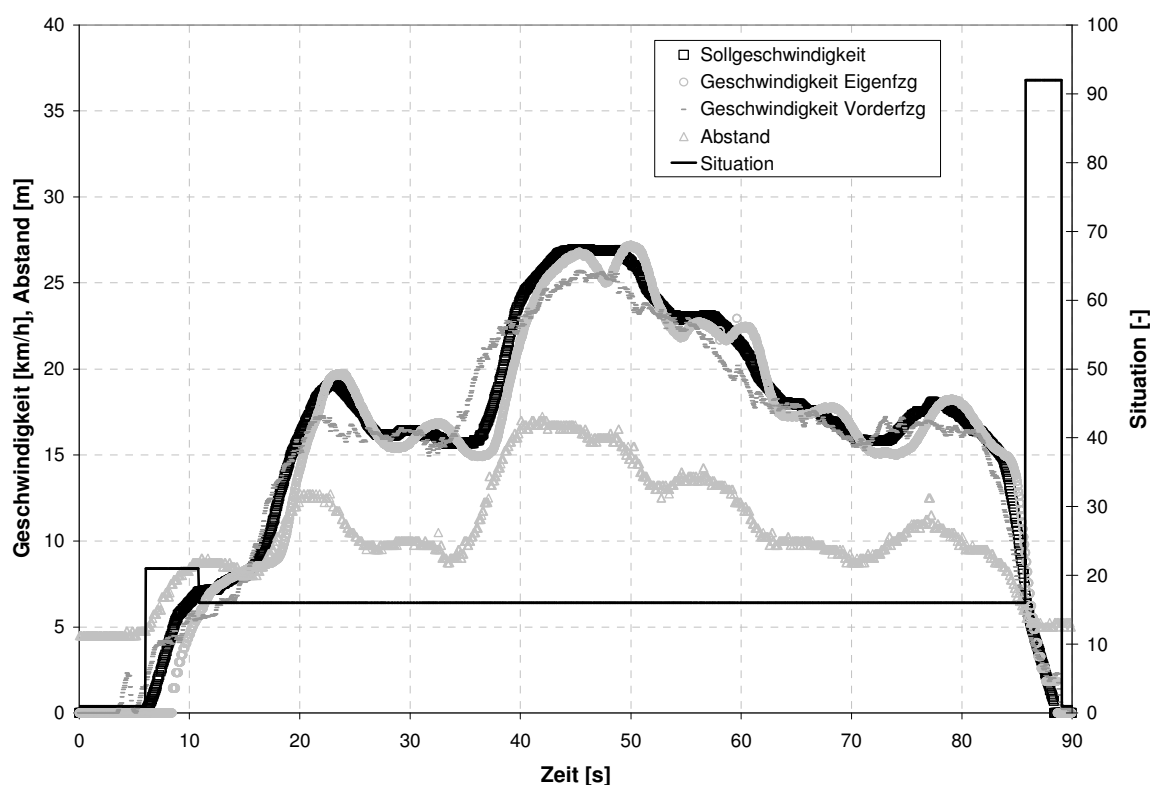


Abb. 4: Fahrversuch zum Reglerverhalten im niedrigen Geschwindigkeitsbereich
result of low speed driving test

Einen Vergleich zwischen Reglerverhalten und dem in der Situationsanalyse gemessenen Fahrerverhalten zeigt Abbildung 5. Für eine Folge- und eine Anfahr-situation sind diese Vergleiche anhand für die Situationen charakteristischer Größen dargestellt. Für das Folgen werden Fahrer- und Reglerverhalten anhand einer Häufigkeitsverteilung der Größe „Zeitlücke“ verglichen (Abb. 5, oben links). Der Fahrer fährt in der ausgewählten Folgesituation Zeitlücken, die hauptsächlich in einem Bereich zwischen 1 s und 3 s liegen. Die meisten Werte liegen bei 1,5-2 s. Die Häufigkeitsverteilung der Zeitlücken des Reglers ist prinzipiell vergleichbar, allerdings konzentriert sich die Häufigkeit wesentlich stärker als beim Fahrer auf einen bestimmten Wertebereich. Dieser liegt bei 2-2,5 s und befindet sich damit leicht oberhalb des Fahrerwertes mit der größten Häufigkeit.

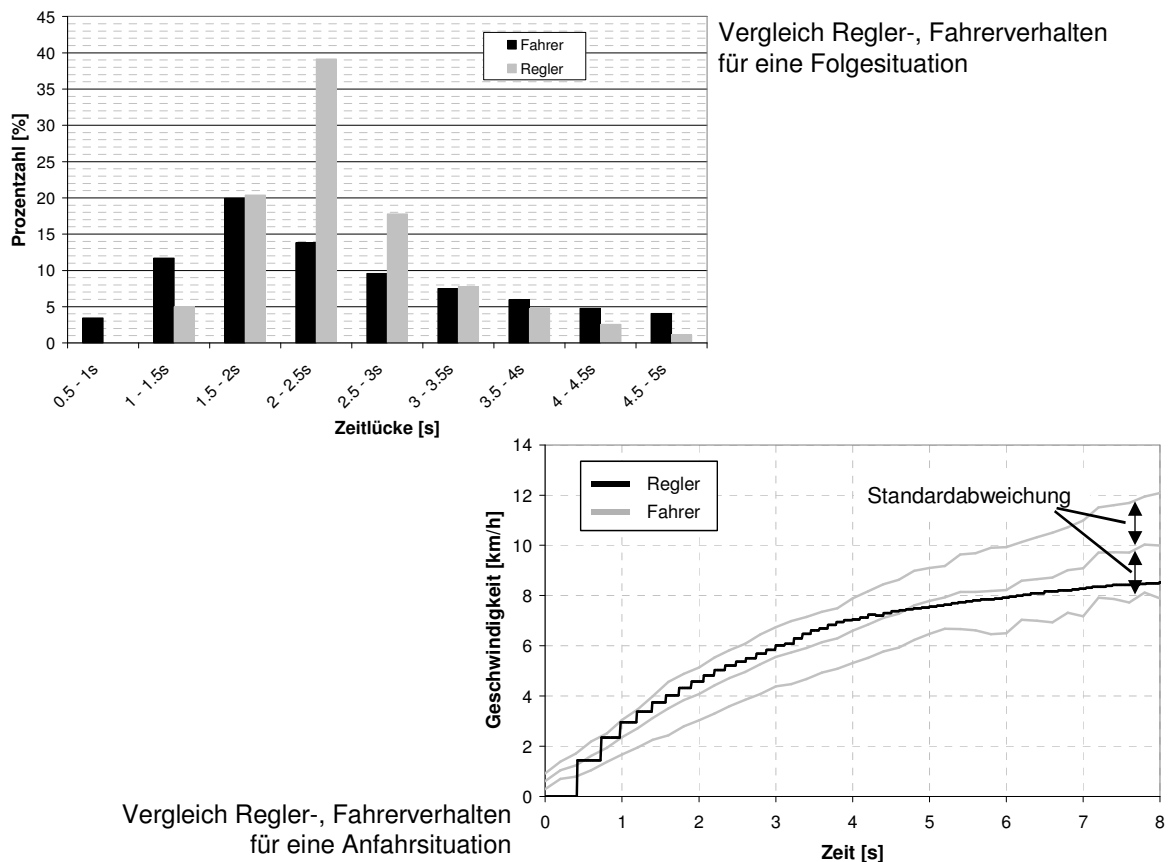


Abb. 5: Vergleich von Regler- und Fahrerverhalten, Beispiele
comparison of the behaviour of driver and controller, examples

Für die ausgewählte Anfahr-situation sind durchschnittliche Geschwindigkeitsverläufe dargestellt. In der Situationsanalyse wurden alle Geschwindigkeitstrajektorien, die dieser Anfahr-situation zuzuordnen waren, übereinandergelegt und daraus ein Mittelwert und eine Standardabweichung gebildet. Das Ergebnis repräsentiert das durchschnittliche Fahrerverhalten in dieser Situation. Es ist dem Reglerverhalten gegenübergestellt. Auch für das Reglerverhalten wurden alle Anfahr-situationen übereinandergelegt und gemittelt, die von der Situationserkennung dieser Anfahr-

situation zugeordnet wurden. Der Vergleich (Abb. 5, unten rechts) zeigt eine gute Übereinstimmung.

Die beiden vorgestellten Beispiele zeigen, dass das Reglerverhalten dem Ziel nahe kommt, eine Längsführung zu entwickeln, die sich am realen Fahrerverhalten orientiert. Allerdings muss erwähnt werden, dass die dargestellten Ergebnisse zum Reglerverhalten ausschließlich im Rahmen der Reglerentwicklung erzielt worden sind. Damit können sie nicht die gleiche Varianz an Fahrscenen repräsentieren wie die Analyse des Fahrerhaltens. Eine Erprobung der automatischen Längsführung im realen Verkehrsumfeld würde die statistische Zuverlässigkeit der Ergebnisse zum Reglerverhalten weiter verbessern. Jedoch zeigt der hier vorgenommene Vergleich, dass mit dem gewählten Ansatz ein Längsregler zur Verfügung steht, der sein Regelverhalten situationsadaptiv verändert und sich dabei an dem beobachteten, situationsspezifischen Fahrerverhalten orientiert.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Veröffentlichung stellt den Entwicklungsprozess einer fahrerbasierten Situationserkennung vor. Auf Basis von Fahrversuchen, in denen das Fahrverhalten verschiedener Probanden auf der Autobahn und im Innenstadtverkehr beobachtet und dieses im Nachgang mit den Versuchspersonen diskutiert wurde, entstand eine systematische Unterscheidung von Verkehrssituationen. Diese Unterscheidung beinhaltet einerseits eine Beschreibung des situationsspezifischen Fahrerhaltens und andererseits eine Anzahl von Parametern, die diese Situation charakterisieren und sie damit von anderen Situationen abgrenzbar machen. Aus diesen Informationen wurde ein Algorithmus zur automatischen Situationserkennung abgeleitet. Die Kenntnis der Verkehrssituationen und des situationsspezifischen Fahrerhaltens wurden dazu verwendet, einen Fahrzeuglängsregler zu entwickeln, der es ermöglicht, ein situationsadaptives Fahrverhalten zu realisieren. Der Längsregler besteht aus den Komponenten Situationserkennung, Sollwertgenerierung und Regler. Die Situationserkennung interpretiert die Verkehrssituation. Diese Information verwendet die Sollwertgenerierung dazu, eine der Situation angepasste Sollgeschwindigkeit zu berechnen. Diese Sollgeschwindigkeit wird dann vom Regler eingestellt. Die Situationserkennung bietet dabei für die rein längsdynamische Assistenzfunktion vor Allem unter Komfort- und Akzeptanzaspekten einen wertvollen Informationsgewinn. Die vorgestellten Ergebnisse aus dem Fahrversuch zeigen, dass mit dem gewählten Ansatz ein Längsregler zur Verfügung steht, der sein Regelverhalten situationsadaptiv verändert und sich dabei an dem beobachteten, situationsspezifischen Fahrerverhalten orientiert.

Das vorgestellte Reglerkonzept ist über die rein längsdynamische Assistenzfunktion hinaus aufgrund seines modularen Aufbaus beliebig erweiterbar. Stehen der Situationserkennung beispielsweise Informationen über die eigene Position über GPS und einen bevorstehenden Spurwegfall aus einer digitalen Karte zur Verfügung, wäre eine Erweiterung der Reglerfunktion um eine kooperative Komponente denkbar. Erkennt die Nahbereichssensorik ein Fahrzeug auf der linken Fahrspur

neben dem eigenen Fahrzeug, könnte der Regler die Eigengeschwindigkeit so anpassen, dass eine Lücke zum Vorderfahrzeug entsteht, in die das Fahrzeug von der Nebenspur einscheren kann. Zur Realisierung dieser Funktion müssten die Situationserkennung und die Sollwertgenerierung entsprechend erweitert werden. In ähnlicher Weise wäre eine Verbindung mit querdynamischen Assistenzfunktionen wie einem automatischen Spurwechsel denkbar.

6 Literatur

- [1] HUANG, Q.
Realisierung eines Reglers zur automatischen Fahrzeuglängsführung nach dem Prinzip der Modellgestützten Prädiktiven Regelung,
Diplomarbeit am Institut für Kraftfahrwesen (ika) der RWTH Aachen, Aachen
- [2] RICHERT, F.; ZAMBOU, N.; BOLLIG, A.; ABEL, D.; SANDKÜHLER, D.
Modellbasierte Stop-and-Go-Regelung für den INVENT-Stauassistenten
VDE-Kongress 2004, 18.-20.10.2004, Berlin
- [3] ABEL, D.
Mess- und Regelungstechnik
Umdruck zur Vorlesung
Mainz, Aachen, 2002
- [4] DEFFNER, G.
Lautes Denken - Untersuchung zur Qualität eines Datenerhebungsverfahrens
Europäische Hochschulschriften, Reihe 6, Psychologie, Bd. 125
Frankfurt a.M., 1984
- [5] DEFFNER, G.
Lautes Denken als Methode der Datenerhebung
Die Rolle der Psychologie in der Sprachlehrforschung, Sabine Börsch
Tübinger Beiträge zur Linguistik, Gunter Narr Verlag
Tübingen, 1987