

# **Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung**

Johann Kelsch, Frank O. Flemisch, Christian Löper,  
Anna Schieben, Julian Schindler

## **Zusammenfassung**

Mit immer weiter voranschreitender Assistenz und Automatisierung im Bereich der Fahrzeugführung kommt eine wichtige Frage auf: Wer oder was wird in Zukunft das Fahrzeug steuern, Mensch oder Automation? Wir sind überzeugt, dass das Ziel nicht notwendigerweise das vollautomatische Fahrzeug sein muss, sondern hochautomatisierte Fahrzeuge, die zwar auch streckenweise vollautomatisch fahren könnten, bei denen aber Mensch und Maschine durch geeignete und intuitive Interaktion miteinander zu einem kooperativen Gesamtsystem vereint werden. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der im Rahmen einer Exploration durchgeführten Gestaltung von Teilen dieser Interaktion, die sich verstärkt des haptischen Wahrnehmungskanal des Menschen für die Kommunikation mit der Automation bedient, sowie mit den auftretenden Randeffekten, wie z.B. Kopplung zwischen der Längs- und Querverführung eines zukünftigen, Kognition besitzenden Fahrzeuges.

## **1 Einleitung**

Anthropotechnik bzw. Ergonomie wird noch viel zu oft auf das Mensch-Maschine-Interface reduziert. So wichtig das Interface als Untersystemgrenze ist: Das volle Potential von Ergonomie kann erst zur Wirkung kommen, wenn eine angemessene Berücksichtigung des Menschen bereits viel früher beginnt und das gesamte Mensch-Maschine-System umfasst. Zentraler Punkt dabei ist die Berücksichtigung der menschlichen Kognition, die z.B. mentale Modelle des Mensch-Maschine-Systems aufbauen und nachführen muss. Bereits von Norman & Draper (1986) angedeutet, beschreiben Rasmussen et al. (1994) dies als Cognitive Systems Engineering, wofür z.B. Herczeg tieferegehende, plausible Erklärungsmodelle bereitstellt (Herczeg, 2004). Diese ergonomische Berücksichtigung des Gesamtsystemsverhaltens wird umso wichtiger, je tiefer eine technische Neuerung in das Gesamtsystemverhalten eingreift.

Was passiert, wenn Mensch und Automation, die beide in die Fahrzeugführung eingreifen können, eine unterschiedliche Wahrnehmung der Situation und daraus resultierende unterschiedliche Absichten zeigen? Wenn der Mensch z.B. beschleunigen möchte, die Automation aber eine vom Menschen nicht bemerkte Gefahrenquelle entdeckt, wenn der Mensch einem Hindernis ausweichen möchte, die Automation aber eine Gefahr im toten Winkel feststellt? Wird das Mensch-

Fahrzeug-System schneller oder langsamer, fährt es links oder rechts? Was ist, wenn die Automation fälschlich eine Gefahr feststellt und/oder der Fahrer übersteuern möchte?

Um bei der gegenwärtig zunehmenden Automatisierung von Bodenfahrzeugen solche Konfliktsituationen zuverlässig aufzulösen, und weiterhin die aus der Luftfahrt bekannten Automationsprobleme, wie z.B. „pilot-out-of-the-loop“ oder „mode confusion“, zu vermeiden, bedarf die Integration neuer Fahrzeugsysteme einer klaren Systematik. Im Rahmen eines DFG-Projektes wird im DLR e.V. am Institut für Verkehrsführung und Fahrzeugsteuerung auf der Basis einer Designmetapher (H-Metapher) systematisch eine haptisch-multimodale Sprache „H-Mode“ entwickelt (Flemisch et al., 2003). Die Sprache, bestehend aus mehreren multimodalen Komponenten, erlaubt es, in integrierter Form mit einem intelligenten Fahrzeug zu interagieren. Als Eingabe- und Kommunikationsmedien werden zurzeit aktive haptische Sidesticks eingesetzt, wobei die entwickelte Interaktionsstrategie von der Art des Eingabemediums unabhängig ist und sich mit leichten Modifikationen z.B. auf eine Kombination aus einem aktiven Lenkrad und einem aktiven Gaspedal transferieren lässt. Eine spezielle Rolle dabei spielt die Konsistenz der entwickelten Interaktion mit dem kognitiven Modell und den Erwartungen der Bediener an die Automation. Ein Teil der entwickelten Interaktionsprache wird bereits im EU-Projekt SPARC (SPARC, 2006) in Zusammenarbeit mit DaimlerChrysler und anderen Projektbeteiligten in einer konkreten Anwendung umgesetzt.

## **2 Methoden und Infrastruktur**

Für die Durchführung der explorativen Untersuchungen im Bereich der gekoppelten Quer- und Längsführung eines hochautomatisierten Fahrzeuges wurden Methoden entwickelt, die eng mit der dafür aufgebauten Infrastruktur zusammenspielen und die sich den Ansätzen aus dem Bereich Cognitive Systems Engineering zuordnen lassen.

### **2.1 Erwartungsbasiertes Vorgehen**

Um ein Interaktionsdesign für die Interaktion zwischen Fahrer und hochautomatisiertem Fahrzeug zu entwerfen, nutzen wir eine erwartungsbasierte Vorgehensweise, welche die Erwartungen potentieller Nutzer früh in den Designprozess mit einbezieht (Schomerus, Flemisch, Kelsch, Schieben, & Schmuntzsch, 2006). Bild 1 zeigt schematisch unser iteratives Vorgehen. Jede unserer Explorationen basiert auf einer Grundidee zur Interaktionsgestaltung – hier der H-Metapher (Beschreibung im Kapitel 2.2), auf der die konkreten Fragestellungen der jeweiligen Explorationen aufgesetzt werden.

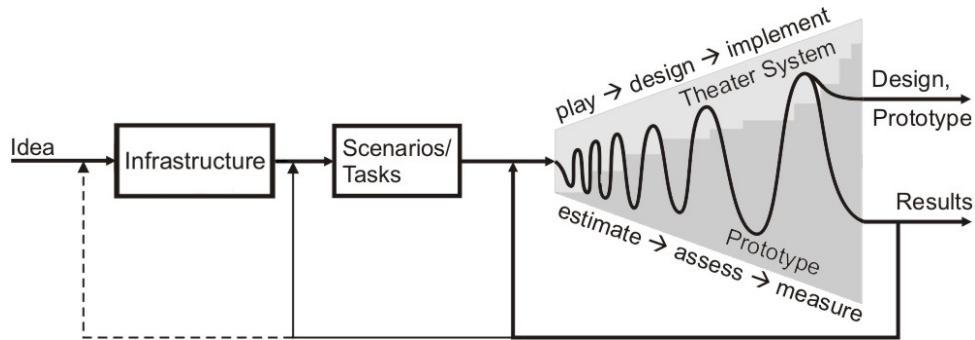


Bild 1: Iterativer Designprozess im Theatersystem

Als Infrastruktur nutzen wir das Theatersystem, welches im Kapitel 2.4 beschrieben wird. Für die konkreten Fragestellungen werden mögliche Szenarien sowie potentielle Konfliktsituationen und Fahraufgaben entwickelt, diskutiert und festgelegt (siehe Kapitel 3.1). Nachfolgend wird in einem Wechselspiel aus Gestaltung und Überprüfung im Designteam und mit potentiellen Nutzern ein Interaktionsdesign entwickelt und schrittweise in Richtung eines Prototyps verdichtet. Die gestaltete Interaktion und der Prototyp werden im Rahmen eines Usability Assessments überprüft und bewertet. Eine Exploration liefert als Resultate ein Interaktionsdesign, in der Regel einen Prototypen sowie Ergebnisse des Usability Assessments.

## 2.2 Designmetapher als Hilfsmittel des Cognitive Systems Engineering

Um einen komplizierten Sachverhalt anschaulich gestalten zu können, kann es sinnvoll sein, diesen mit eingänglichen und gut vorstellbaren Alltagssituationen oder bekannten Gegenständen zu verknüpfen. Dies leisten zum Beispiel Designmetaphern. Ein prominentes Beispiel einer Designmetapher stellt dabei die Desktop-Metapher dar, die einen Schreibtisch als bekanntes Vorbild für die Bedienoberfläche eines Personal Computers verwendet (Bild 2).

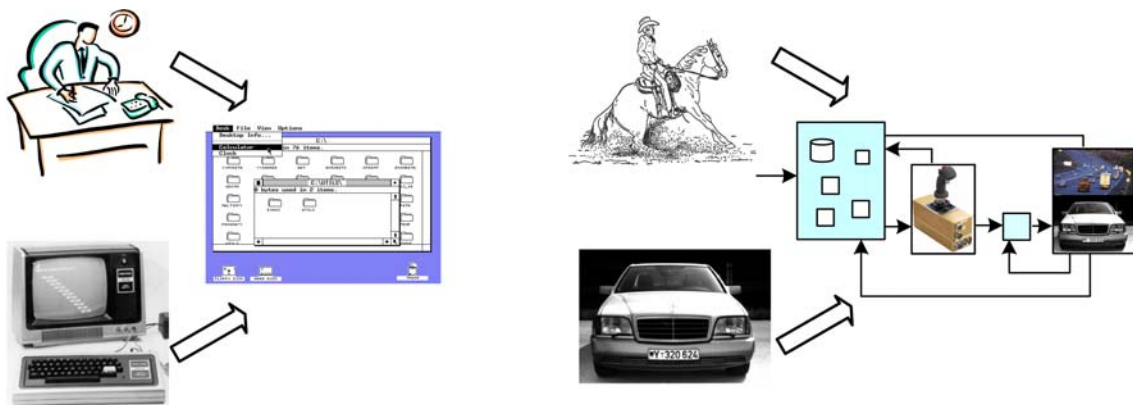


Bild 2: Links: Desktopmetapher für PCs; Rechts: H-Metapher für hochautomatisierte Fahrzeuge

Für hochautomatisierte Fahrzeuge beschreiben Flemisch et al. (2003), beeinflusst durch z.B. Norman (1990), Billings (1997), Onken (1999) sowie Dickmanns (2002), eine Design- und Interface-Metapher (H-Metapher), die auf dem

biologischen Vorbild der Equidae basiert. Die H(orse)-Metapher lässt sich auf Automation und Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation anwenden, wird aber zurzeit vor allem in Richtung haptisch-multimodaler Fahrer-Fahrzeug-Interaktion ausgebaut, z.B. von der NASA in Richtung Flächenflugzeuge sowie vom DLR-IFS und Partnern Richtung Kraftfahrzeuge.

### 2.3 Arbitrierung als möglicher Lösungsansatz für Konflikte im Mensch-Maschine-System

Wegen ständig vorhandener Gefahren im Straßenverkehr muss im Mensch-Maschine-System (MMS) auch bei unterschiedlichen Handlungsalternativen ab einem bestimmten Zeitpunkt eine stabile Handlungsentscheidung bestehen, um eine erfolgreiche Umsetzung der optimalen Handlung zu gewähren. Konflikte, die aufgrund unterschiedlicher Situationsinterpretationen zwischen der Automation und dem Menschen auftreten können, müssen schnell aufgelöst werden. Wenn das Fahrzeug z.B. direkt auf ein Hindernis zufährt, muss innerhalb kürzester Zeit und vor allem eindeutig entschieden werden, ob es links oder rechts um das Hindernis herumfahren wird. Ein Mittelweg wäre hier fatal. Weitere Randbedingung ist, dass Absichten einzelner Instanzen des MMS, hier des Menschen und der Automation, jederzeit transparent sein sollten, damit z.B. der Mensch, aber auch eine Kognition besitzende Automation Handlungen des Partners verstehen kann, damit das MMS vereint in einer symbiotischen Beziehung optimal zum Ziel oder zum bestmöglichen Ergebnis gelangen kann.

Ausgehend von der Motivation und den aufgeführten Randbedingungen ist die Notwendigkeit entstanden, sich eine besondere Vorgehensweise zu überlegen, wie die Konflikte innerhalb des MMS aufgelöst werden können. Dabei erschien uns eine Vorgehensweise als sinnvoll, die zurzeit unter dem Arbeitstitel „Arbitrierung“ entwickelt wird. Der Begriff stammt vom lateinischen Wort „*arbitratus*“, was soviel wie „Schiedsspruch“ bedeutet und z.B. im Bereich von Bus-Systemen zum Aushandeln des Medienzugriffs verwendet wird.

Unter Arbitrierung in der Mensch-Maschine-Interaktion verstehen wir eine strukturierte Verhandlung zwischen dem Menschen und der Maschine mit dem Ziel, rechtzeitig eine eindeutige, nach Möglichkeit für das Gesamtsystem optimale gemeinsame Willensbildung zu erreichen. Bild 3 zeigt schematisch, dass kognitive Prozesse des Menschen, die durch eine geschlossene Abfolge von der Wahrnehmung von Umweltinformationen, der Generierung von Absichten und der gewählten Aktion beschrieben werden können, mit analogen Abläufen in der Kognition besitzenden Automation durch Arbitrierung vereint werden können.

Die als nächste auszuführende Aktion wird innerhalb eines besonderen, begrenzten und meistens sehr kurzen Zeitraums (Arbitrierungsphase), hier bevorzugt auf dem haptischen Kanal zwischen dem Menschen und der Maschine ausgehandelt. Eine Arbitrierungsphase kann aus mehreren Abschnitten bestehen, die sich in der Intensität und der Art der Verhandlungen bzw. Nachverhandlungen unterscheiden können. Dabei wird differenziert zwischen kontinuierlichen und

diskreten Verhandlungssignalen, was sich wiederum relativ leicht in das Konzept des hybriden Reglers (vgl. Kapitel 3.3) einbinden lässt.

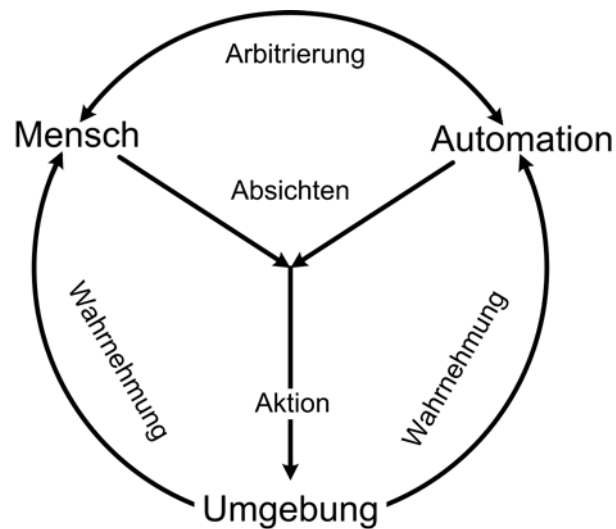


Bild 3: Vereinigung vom Menschen und Maschine zu einem Gesamtsystem durch Arbitrierung

Sehr wichtig anzumerken ist ebenfalls, dass die Arbitrierung stets so gestaltet werden sollte, dass bei bewusstem und nachdrücklichem Handeln des Fahrers seine Absicht und angestrebte Aktion jederzeit umgesetzt werden können.

#### 2.4 Theatersystem

Zur Umsetzung der oben beschriebenen Methoden wird ein Theatersystem eingesetzt. Die Theatersystemtechnik im Sinne dieses Beitrages ist eine Weiterentwicklung der Wizard-of-Oz-Technik (Schomerus et al., 2006). Kern des Theatersystems sind zwei gekoppelte aktive Eingabemedien, die es erlauben, a) das Interaktionsdesign im Dialog explorativ zu entwickeln und b) das Design frühzeitig mit potentiellen Nutzern zu testen, in dem die Interaktion zunächst von einem Mitglied des Designteams (Confederate) über eines der Eingabemedien eingespielt wird.

Bild 4 zeigt den Laboraufbau mit Proband und Confederate (rechts). Als Eingabemedien werden aktive, kraftreflektierende Sidesticks eingesetzt. Eine ähnliche Anordnung kann auch mit der klassischen Lenkrad- und Pedalkonfiguration eines PKW realisiert werden. Die Kopplung der Sidesticks bewirkt, dass sie sich synchron bewegen, so dass die auf einem Stick eingegebenen Kräfte gleichzeitig auf dem anderen Stick spürbar sind. Abgesehen von der durch Sitzposition und Projektionssystem fahrzeugähnlicheren Gestaltung des Versuchsplatzes ist die Konfiguration des Confederate-Platzes und des Versuchsplatzes weitgehend symmetrisch. Das System ist auf dem Bild mit offenem Vorhang gezeigt, d.h. Confederate und Proband können direkt miteinander kommunizieren. Durch Schließen des Vorhanges und Verwendung von Kopfhörern können beide Plätze so voneinander isoliert werden, dass eine

Kommunikation nur über den haptischen Kanal der elektronisch verbundenen Sidesticks möglich ist.

### 3 Vorgehensweise bei der Exploration

Während unsere bisherigen Explorationen (Flemisch, Goodrich, & Conway, 2005; Flemisch, Schomerus, Kelsch, & Schmunzsch, 2005) ausschließlich eindimensionale Führungsaufgaben adressierten, schlägt die in diesem Beitrag beschriebene Exploration den Bogen von der isolierten Längs- zur gekoppelten Längs- und Querführung. Es wurden speziell die Teilaspekte Spurhaltung und Spurverlassen im Regelfall und in Konfliktsituationen behandelt. Ausgehend von der Idee der H-Metapher wurden dabei explorativ verschiedene haptische Interaktionsformen als Teil einer zukünftigen haptisch-multimodalen Interaktionssprache „H-Mode“ entworfen und getestet. Die Exploration fand dabei im oben beschriebenen Theatersystem (Kapitel 2.4) statt.

#### 3.1 Szenarien

Zur Untersuchung von Spurhaltung und Spurverlassen wurde ein virtueller Straßenzug entworfen, welcher verschiedene Situationselemente zu einem Rundkurs vereint (Bild 4).

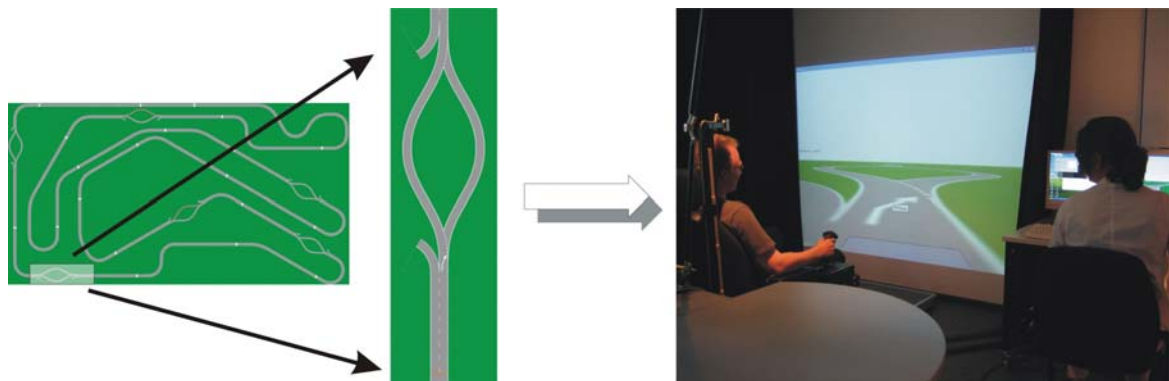


Bild 4: Szenario der Exploration zur gekoppelten Quer- und Längsführung (Stand August 2006). Vergrößerter Ausschnitt zeigt exemplarisch eine Weggabelung.

Zu diesen Einzelementen zählen zunächst klothoidische Kurven mit unterschiedlichen Radien und Bogenlängen. Diese ermöglichen die Untersuchung verschiedener Kurvengeschwindigkeiten. Exemplarisch wurden Kurven mit 45m Radius und 60° Bogenlänge (Entwurfsgeschwindigkeit: 43 km/h), mit 60m Radius und 30° Bogenlänge (Entwurfsgeschwindigkeit: 54 km/h), sowie S-Kurven mit 30m Radius und 90° Bogenlänge (Entwurfsgeschwindigkeit: 30 km/h) je Bogen verwendet. Weiterhin wurden Aufforderungen zum absichtlichen Spurverlassen und klothoidische Weggabelungen zur Untersuchung von unterschiedlich starken Konfliktsituationen zwischen Fahrer und Automation in den Rundkurs integriert. Die Konfliktstärke reichte dabei von nicht vorhanden (Automation und Fahrer wählen den gleichen Weg) bis stark (der Fahrer wählt einen Weg, den die Automation nicht kennt; aus Sicht der Automation kommt der

Fahrer dementsprechend von der Straße ab). Auch die Möglichkeit, dass die Automation keinen der beiden möglichen Wege bevorzugt, wurde untersucht. Um aus den Einzelementen einen geschlossenen Rundkurs zu erhalten, wurden außerdem weitere Streckenelemente eingefügt, die nicht ausgewertet wurden. Auf der gesamten Strecke gab es neben dem Fahrzeug des Versuchsteilnehmers keine weiteren Objekte, also z.B. keinen Gegenverkehr.

### 3.2 Entwicklung des Interaktionsdesigns

Parallel zur Entwicklung des Szenarios entwarf das Designteam im Theatersystem die haptische Interaktionssprache für die Spurhaltung, das Spurverlassen sowie für die Interaktion zwischen Fahrer und Automation bei konfliktreichen Weggabelungen. Die Grundlage für das Interaktionsdesign bildet die Erwartung der Versuchsteilnehmer, wie ein hochautomatisiertes Fahrzeug nach der H-Metapher bedienbar sein sollte („Was würden Sie in dieser Situation erwarten, wenn Ihr Fahrzeug sich wie ein gutmütiges, trainiertes Pferd verhält?“). Startpunkt der Entwicklung ist also nicht die Technik, sondern die menschliche Kognition, wie dies z.B. Woods & Roth (1988) als eines der Konzepte des Cognitive Systems Engineering beschreiben.

Die Erwartungen der Versuchsteilnehmer sowohl zur Spurhaltung als auch zum Spurverlassen ist erstaunlich eindeutig und weitgehend konsistent (Spurführung Richtung Fahrbahnmitte, bei Spurverlassen eine Abfolge von diskreter Information, haptische Warnung und schließlich haptisch-transparenter Eingriff mit Lenkung **und** Geschwindigkeitsverminderung).

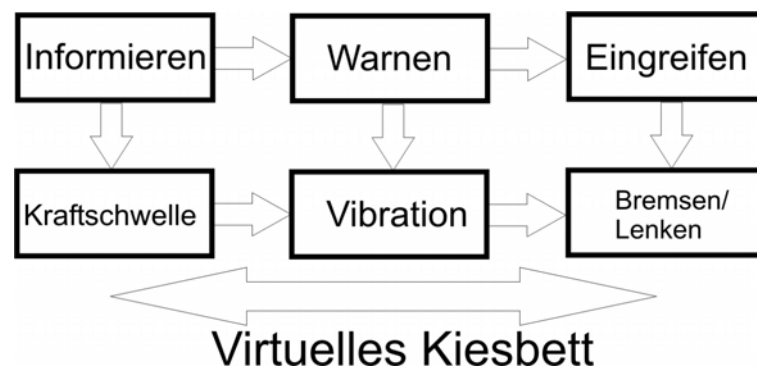


Bild 5: Interaktionsdesign für das Spurverlassen

Ausgehend von diesen Erwartungen wurde eine kontinuierliche Spurführung erarbeitet, die durch Funktionen zur Geschwindigkeitshaltung und Geschwindigkeitsanpassung vervollständigt wird. In Abhängigkeit von Situation und Konflikt werden weitere diskrete und kontinuierliche haptische Signale auf das Interaktionsmedium eingespielt. So wurde für das Verlassen der Spur eine Abfolge von Interaktionen erarbeitet, die mit einer zusätzlichen Kraftschwelle startet und sich mit einer warnenden Vibration hin zu einem fühlbaren Eingriff am Sidestick in Richtung Spurmitte und Richtung Geschwindigkeitsverminderung / Bremsen steigert. Ähnlich wie die Desktop-Metapher diverse Sub-Metaphern –

z.B. „(Tisch und) Ordner“ – umfasst, deutet sich hier eine Sub-Metapher unter dem Arbeitstitel „(Pferd und) virtuelles Kiesbett“ an (Bild 5).

### 3.3 Implementierung des Prototyps

Entscheidende Phase der technischen Realisierung ist die schrittweise Entwicklung des entsprechenden Prototyps innerhalb der Exploration. Dabei wird das bis dahin im Theatersystem mit dem Confederate entwickelte Interaktionsdesign in die Software des Prototyps abgebildet. Für die Erstellung des Prototyps wurde ein hybrider Ansatz gewählt, wobei eine diskret schaltende State-Machine mit den kontinuierlich arbeitenden Reglern für die Spurführung, zusätzlichen Kraftschwellen, Vibrationsmustern usw. kombiniert wurde (Bild 6).

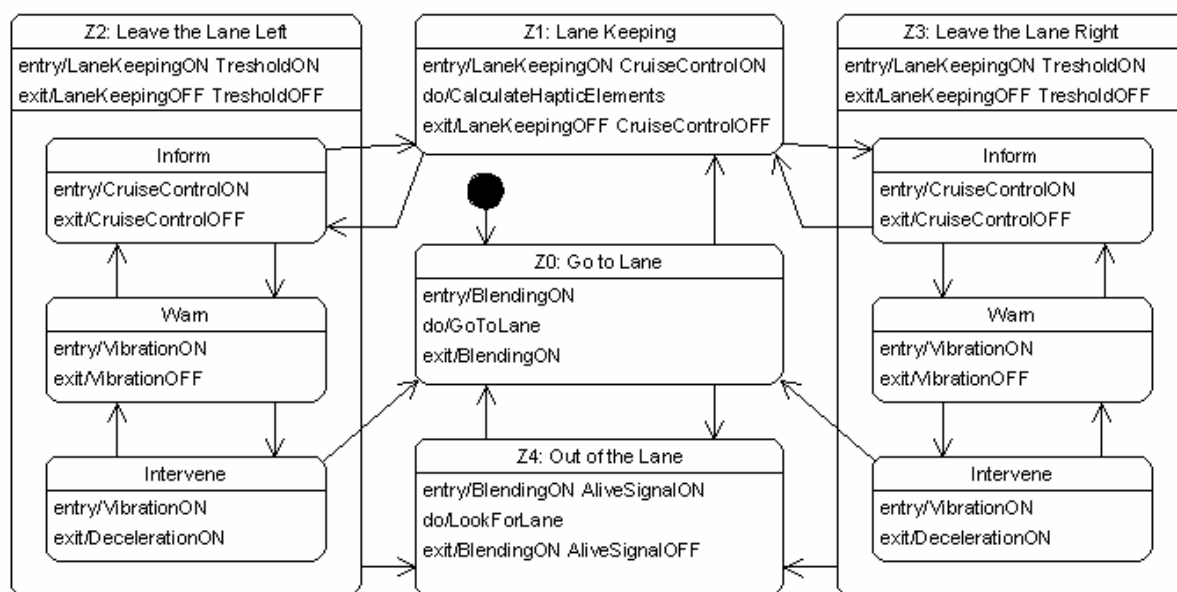


Bild 6: Zustandsautomat / State-Machine des Prototyps für die gekoppelte Quer- und Längsführung

Bild 7 zeigt exemplarisch einen der implementierten Regler. Die Aufgabe dieses Reglers ist, den Fahrer bei der Geschwindigkeitshaltung zu unterstützen und ihn bei zu hoher Geschwindigkeit zum Bremsen zu bewegen. Die Geschwindigkeitshaltungsunterstützung entlastet den Fahrer bei der Aufgabe, den Stick mit konstanter Kraft nach vorne zu drücken, um eine bestimmte Geschwindigkeit zu halten. Fährt der Fahrer mit einer höheren Geschwindigkeit als eine vorgegebene Sollgeschwindigkeit, wird ihm dies durch eine Gegenkraft signalisiert. Der Stick behält stets seine Funktionalität als haptisches Display, weil die longitudinale Achse des Sticks über eine Konstante direkt mit dem Beschleunigungskommando für das Fahrzeug gekoppelt ist.



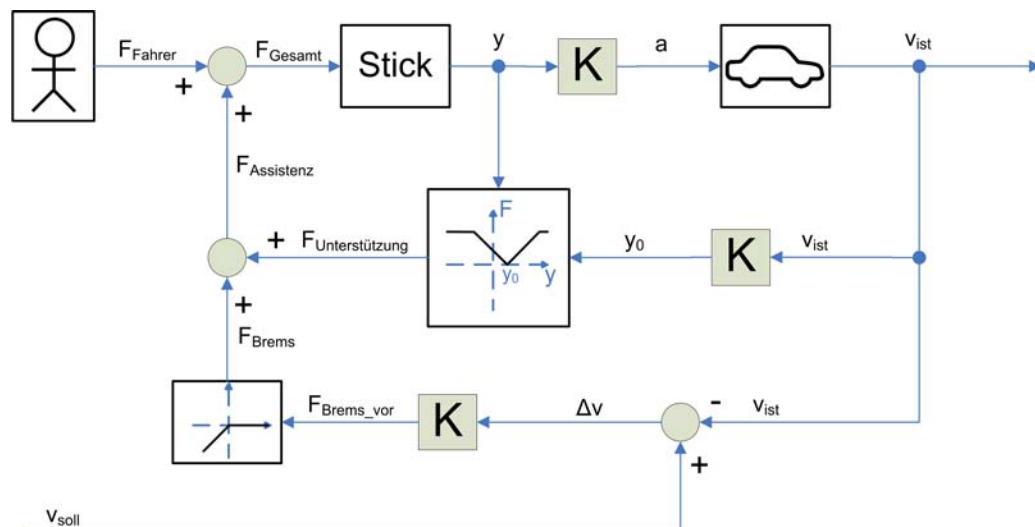


Bild 7: Regelkreis für Geschwindigkeitshaltungs- und Abbremsungsunterstützung

#### 4 Usability-Assessment

Um herauszufinden, welche Qualität und Akzeptanz das entwickelte Interaktionsdesign und der implementierte Prototyp haben, wurde ein Usability Assessment mit bisher sechs Personen durchgeführt. Die Durchführung und die Ergebnisse werden nachfolgend, unter spezieller Berücksichtigung der gemeinsamen Entscheidungen zur Richtungswahl (links oder rechts?) oder zur Geschwindigkeitswahl (schneller oder langsamer?), dargestellt.

##### 4.1 Durchführung und Datenaufzeichnung

Um vergleichende Aussagen zu ermöglichen, durchfuhren alle sechs Teilnehmer das Versuchsszenario (Bild 4) sowohl ohne jede Unterstützung (Baseline) als auch mit Unterstützung durch den Prototyp.

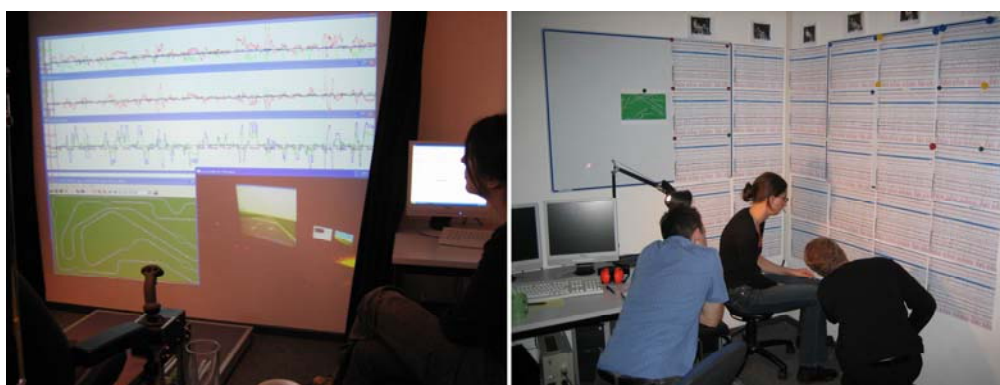


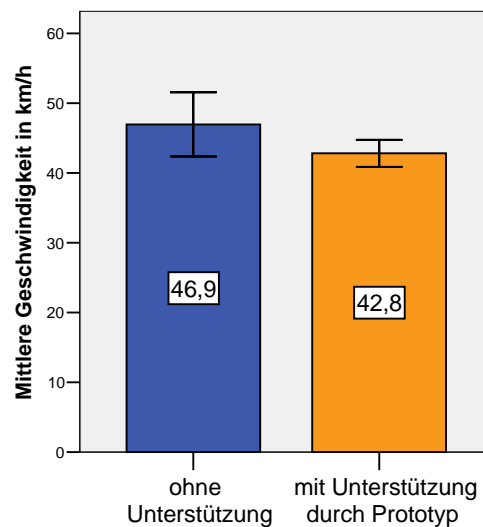
Bild 8: Datenanalyse im Labor mit Hilfe des Aufzeichnungstools SmpIcaSBARo (links) und mit Hilfe der nach Quer- und Längsschnitt sortierten Plots (rechts).

In allen Durchläufen wurden dabei vielfältige Daten der Simulation (z.B. Fahrzeuggeschwindigkeit, Querabweichung von der Spurmitte) und der Interaktion mit dem Stick (z.B. Kräfte am Stick) mit Hilfe des Analysetools SmpIcaSBARo aufgezeichnet. Dieses Tool ermöglicht die Wiedergabe aller

aufgezeichneten Daten aus Fahrer- und Vogelperspektive. Weiterhin ist die Erstellung von Plots der relevanten Daten möglich, so dass diese auf Auffälligkeiten untersucht werden können (Bild 8). Weiterhin wurde eine umfassende Befragung der Teilnehmer zu Erwartungen, Akzeptanz und Verbesserungsvorschlägen hinsichtlich der Interaktion durchgeführt. Die Daten aus der Befragung wurden sowohl quantitativ als auch qualitativ analysiert.

#### 4.2 Schneller oder langsamer?

Das zu durchzufahrende Szenario (vgl. Kapitel 3.1) enthielt insgesamt sechs Kurvenabschnitte, die eine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit erforderten, um keine Gefährdung zu provozieren. Während die Teilnehmer bei der Fahrt ohne Unterstützung eigenständig ihre Geschwindigkeit in den Kurven anpassen mussten, assistierte ihnen der Prototyp während der Fahrt mit Unterstützung bei der Geschwindigkeitshaltung. Der Prototyp spielte immer dann eine Gegenkraft (Bremsen) auf den Stick ein, wenn der Fahrer zu schnell in die Kurvenabschnitte fuhr (vgl. Kapitel 3.3). Die Gegenkraft konnte vom Fahrer übersteuert werden, so dass er auch schneller fahren konnte als von dem Prototyp vorgeschlagen. Die eingespielte Gegenkraft ergab sich aus einer für die Kurvenabschnitte berechneten Entwurfsgeschwindigkeit, die im Mittel über alle sechs Kurven bei 44 km/h lag.



Fehlerbalken: +/- 1,00 Standardabweichung (SD)

Bild 9: Mittlere Geschwindigkeit der Probanden in mit und ohne Unterstützung durch den Prototyp

Betrachtet man nun die mittlere Geschwindigkeit in Kurvenabschnitten (Bild 9) für Fahrten ohne Unterstützung so zeigt sich, dass die Fahrer im Mittel 47 km/h (Standardabweichung (SD) = 4,6 km/h) fahren. Wurden sie durch den Prototypen unterstützt, reduzierte sich die mittlere Geschwindigkeit in Kurvenabschnitten auf 43 km/h (SD = 1,9 km/h). Dieser Unterschied in der Geschwindigkeit ist signifikant (Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben:  $z = -1,992$ ,  $p < 0,05$ ). Deutlich erkennbar ist in diesem Ergebnis das Zusammenspiel von Fahrer und

Automation (Prototyp), welches in Fahrten mit Unterstützung zu einer Reduktion der Geschwindigkeit führte. Obwohl die Gegenkraft des Prototyps durch die Fahrer übersteuert werden konnte, passten sich diese den Vorschlägen der Automation, langsamer zu fahren, an. Während die Fahrer ohne Unterstützung schneller als die mittlere Entwurfsgeschwindigkeit von 44 km/h fuhren, reduzierten sie ihre Geschwindigkeit bei Unterstützung durch den Prototyp im Mittel sogar etwas stärker als vorgegeben.

#### 4.3 Links oder rechts?

Die Untersuchung der Richtungswahl (links oder rechts?) erfolgte insbesondere an den Weggabelungen. Um das Design im Grenzbereich zu testen, wurde die Situation mit einem starken Konflikt von ungeübten Nutzern durchfahren. Die Fahrer hatten die Aufgabe, rechts in einen Feldweg einzubiegen, der dem Prototyp nicht bekannt war. Dieser wollte daher den Fahrer links auf der bekannten Straße weiterführen und signalisierte dies, indem er eine Gegenkraft nach links aufbaute.

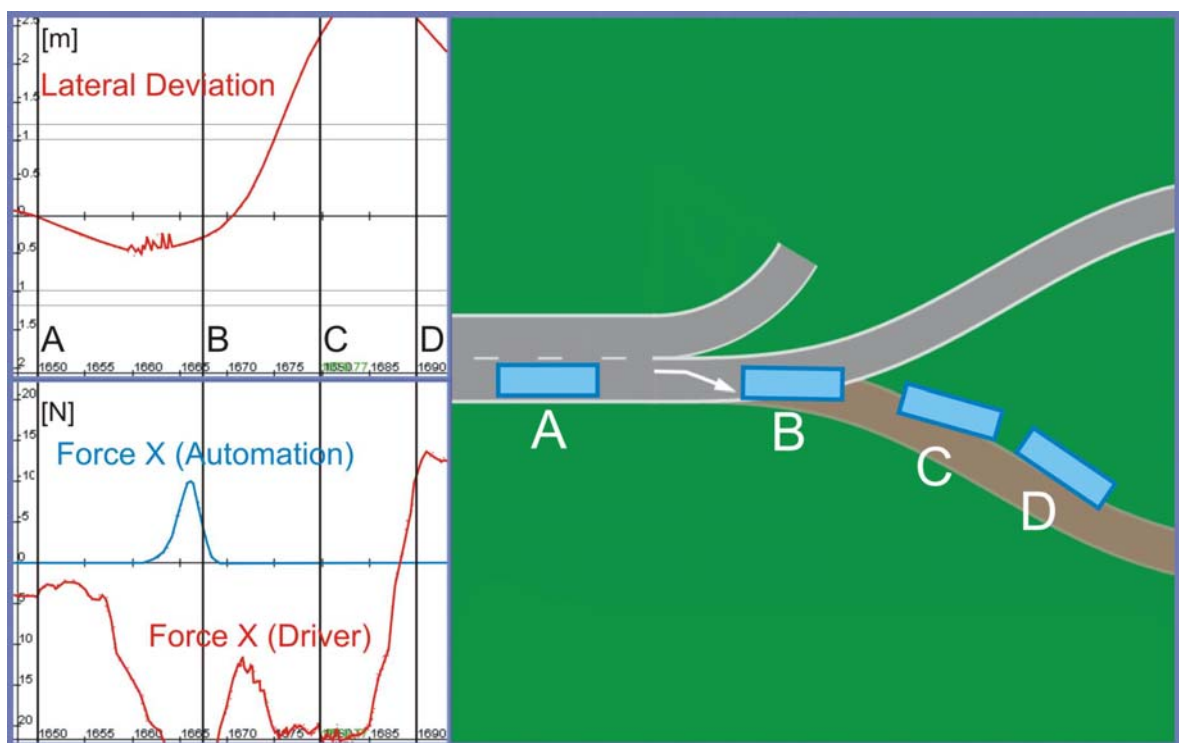


Bild 10: Mittelinseleffekt: Verlauf der Fahrzeugposition; Durch Zusatzkraft der Automation (links unten) wird die Fahrbahn an Punkt C verlassen.

Zwei Probanden kamen beim Rechtseinbiegen in die Weggabelung durch die Reaktion des Prototyps kurzzeitig von der Straße ab und fuhren unbeabsichtigt auf die Mittelinsel (Bild 10). Diese Abweichung ist mit der starken Gegenkraft zu erklären, die sich aus einer informierenden Gegenkraftschwelle sowie einer Kraft zur Unterstützung der Spurhaltung zusammensetzte und auf den Stick gespielt wurde. Bild 10 (links unten) zeigt die vom Fahrer bzw. vom Prototyp auf den Sidestick aufgebrauchten Kräfte. Der Fahrer drückt den Stick stark nach rechts, um

in den Feldweg einzubiegen. Der Prototyp bringt daraufhin eine Kraft nach links auf. Diese Gegenkraft wirkte für zwei der Fahrer zu stark und zu überraschend. Sie gaben nach und steuerten auf die Mittelinsel. Die laterale Abweichung von der Fahrspurmitte (des Feldwegs), wie sie in Bild 10 (links oben) dargestellt ist, zeigt deutlich das weite Hinausfahren von der Spur nach links.

Diese Beobachtungen wurden auch durch die Beurteilungen von Teilnehmern bestätigt, die nicht von der Straße abkamen. Diese empfanden die Kraftschwelle subjektiv als zu stark. Dieser „Mittelinseleffekt“ ist durch ein vorgesehenes, gezieltes Redesign der Kraftschwellen voraussichtlich weitgehend zu vermeiden, verdeutlicht jedoch die bisher oft unterschätzte Notwendigkeit, die Interaktion nicht nur im Normalbereich, sondern bereits von Anfang an auch im Grenzbereich zu testen.

## **5 Schlussfolgerungen und Ausblick**

Die Durchführung der Exploration und ihre Ergebnisse in Form der ausgewerteten Daten, des entwickelten Interaktionsdesigns und des Prototyps haben gezeigt, dass die Quer- und Längsführung eines hochautomatisierten Fahrzeuges für den Fahrer mental stark gekoppelt sind. Dies spiegelt sich nicht nur in der physikalischen Kopplung der auf das Fahrzeug wirkenden Kräfte, die beim Reglerentwurf zu berücksichtigen sind, sondern vor allem in der von den Probanden erwarteten und schlussendlich gut beherrschbaren Interaktionsstrategie (virtuelles Kiesbett) wieder. Wir haben festgestellt, dass mit den von uns eingesetzten Methoden das Interaktionsdesign sich auf eine strukturierte Art und Weise entwickeln lässt, indem potentielle Nutzer frühzeitig in den Entwicklungsprozess miteinbezogen werden und mögliche Fehler im Design und im Prototyp durch umfassende Datenaufzeichnung und Analyse von Anfang an systematisch korrigiert werden. Wir haben beobachtet, dass durch den Einsatz einer so gestalteten Interaktionsstrategie das Führen eines intelligenten Fahrzeuges erleichtert wird und speziell das Zusammenspiel von Mensch und – möglicherweise nicht immer perfekter – Automation harmonisch, sicher und von Fahrern akzeptiert gestaltet werden kann.

Die nächsten Schritte sind eine Weiterentwicklung der haptischen Interaktionssprache in weiteren Explorationen, speziell die theoretische Erfassung, Beschreibung, exemplarische technische Realisierung und Formung der Arbitrierung.

Die durch die Fragestellung „Links oder rechts, schneller oder langsamer?“ zugespitzten Szenarien sind eine extreme Vereinfachung der Realität, aber erst wenn wir als Forschungsgemeinschaft diese vermeintlich einfachen Fragen zufrieden stellend gelöst haben, haben wir eine Chance, auch ein komplexeres Verkehrsgeschehen wirkungsvoll und sicher durch Automation und Assistenz zu unterstützen. Mit der hier beschriebenen Vorgehensweise sind wir dazu auf einem gut strukturierten Weg, den wir konsequent weiter gehen wollen.

## Literaturverzeichnis

- Billings, C. E. (1997). *Aviation automation: The search for a human-centered approach*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Dickmanns, E. D. (2002). Vision for ground vehicles: History and prospects. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*, 1(1).
- Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T., & Schutte, P. C. (2003). *The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction*. Hampton, Virginia: NASA, Langley Research Center.
- Flemisch, F. O., Goodrich, K. H., & Conway, S. R. (2005). *At the crossroads of manually controlled and automated transport: The H-Metaphor and its first applications (progress update 2005)*. Paper presented at the ITS, Hannover, Germany.
- Flemisch, F. O., Schomerus, J., Kelsch, J., & Schmuntzsch, U. (2005). *Vom Fahrer zum Reiter? Zwischenbericht 2005 auf dem Weg von der H-Metapher zum H-Mode für Bodenfahrzeuge*. Paper presented at the Internationale Kongress des VDI: Fahrer im 21. Jahrhundert –Der Mensch als Fahrer und seine Interaktion mit dem Fahrzeug, Braunschweig.
- Herczeg, M. (2004). *Interaktions- und Kommunikationsversagen in Mensch-Maschine-Systemen als Analyse- und Modellierungskonzept zur Verbesserung sicherheitskritischer Technologien*. Paper presented at the 46. FA-Sitzung Anthropotechnik der DGLR, Warnemünde.
- Norman, D. A. (1990). The 'problem' with automation: Inappropriate feedback and interaction not 'over-automation'. In D. E. Broadbent, J. Reason & A. Baddeley (Eds.), *Human Factors In Hazardous Situations* (pp. 137-145). Oxford: Clarendon Press.
- Norman, D. A., & Draper, S. (1986). *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Onken, R. (1999). *The cognitive cockpit assistant systems CASSY/CAMA*. Paper presented at the World Aviation Congress, San Francisco.
- Rasmussen, J., Pejtersen, A. M., & Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive systems engineering*. New York: Wiley.
- Schomerus, J., Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A., & Schmuntzsch, U. (2006). *Erwartungsbasierte Gestaltung mit der Theatersystem- / Wizard-Of-Oz-Technik am Beispiel eines haptischen Assistenzsystems*. Paper presented at the AAET 2006, Braunschweig.
- SPARC (2006). URL: <http://www.sparc-eu.net> (Stand: 31.08.2006)
- Woods, D. D., & Roth, E. M. (1988). Cognitive system engineering. In M. Helander (Ed.), *Handbook of Human-Computer Interaction*. Amsterdam: Elsevier.

## Autoren

Dipl.-Ing. Johann Kelsch,	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Dr.-Ing. Frank O. Flemisch,	(DLR e.V.)
Dipl.-Ing. Christian Löper,	Institut für Verkehrsführung und
Dipl.-Psych. Anna Schieben,	Fahrzeugsteuerung
Dipl.-Inform. Julian Schindler	
	Vorname.Name@dlr.de