

Erschienen 2008 in: Gesamtzentrum für Verkehr Braunschweig (Hrsg.): Automatisierungs-, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel. GZVB, Braunschweig. S. 215 - 237.

## **Kooperative, manöverbasierte Automation und Arbitrierung als Bausteine für hochautomatisiertes Fahren**

Dipl.-Ing. Christian Löper, Dipl.-Ing. Johann Kelsch, Dr.-Ing. Frank O. Flemisch

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik

Lilienthalplatz 7, 38108 Braunschweig; Tel.: 0531/295 - 3512; Fax: 0531/295 - 3402

E-Mail: Christian.Loeper@dlr.de, Johann.Kelsch@dlr.de, Frank.Flemisch@dlr.de

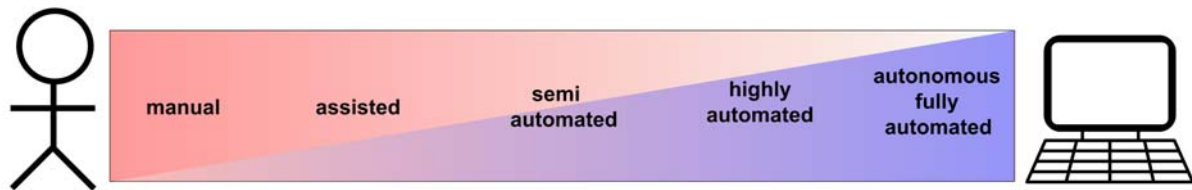
### **Kurzfassung**

Bei der Entwicklung von hochautomatisierten Fahrzeugen ist eine intuitive Bedienbarkeit für den Fahrer von entscheidender Bedeutung. Die kooperative Kontrolle („Cooperative Control“) stellt ein viel versprechendes Konzept dar, wie eine Automation in einem hochautomatisierten Fahrzeug gestaltet werden kann, so dass eine gewinnbringende Zusammenarbeit zwischen Automation und Fahrer möglich wird. Nach dem Aufzeigen von Anforderungen wird eine konkrete Ausgestaltung einer solchen kooperativen Automation vorgestellt. Die Arbitrierung bietet eine Strategie zur Abstimmung über auszuführende Handlungen zwischen Fahrer und kooperativer Automation. Die Umsetzbarkeit der Konzepte wird am Beispiel eines prototypischen Systems zum hochautomatisierten Fahren mit integrierter Längs- und Querführung gezeigt.

### **1. Vom automatischen Fahren und Fahrerassistenz zum hochautomatisierten Fahren**

Ausgehend von der intensiven Forschung und Entwicklung der letzten Jahrzehnte, einerseits zu Fahrerassistenzsystemen (z.B. Adaptive Cruise Control, ACC Winner 1999; Lane Keeping Assistant Systems, LKAS Waibel, Ishida 2008), andererseits zu vollautomatisierten bzw. robotischen Fahrzeugen (z.B. PROMETHEUS Braess, Reichart 1995b, Braess, Reichart 1995a oder DARPA Grand Challenge Stiller et al. 2006, Thrun et al. 2006), wird zukünftig eine Synthese aus Assistenz und Automation möglich. Diese „hochautomatisierten“ Fahrzeuge können auch, z.B. in bestimmten Fahrsituationen oder bestimmten Streckenabschnitten automatisiert fahren, der Fahrer jedoch behält jederzeit eine ausreichende Kontrolle über das Fahrzeug und kann immer eingreifen und übernehmen. Indizien für diese Bestrebungen sind die EU-Projekte SPARC (z.B. Holzmann et al. 2005) und das Nachfolgeprojekt HAVE-IT (Highly Automated Vehicle – Intelligent Transportation), Teile aus PReVENT (PReVENT), das von der H-Metapher (Flemisch et al. 2003) ausgehende DFG-Projekt H-Mode (Flemisch et al. 2007), Konzepte wie „Conduct by Wire“ (Winner et al. 2006) und eine Reihe weiterer herstellerinterner und externer Projekte und Konzepte.

Der Automatisierungsgrad lässt sich nach (Flemisch et al. 2008) vereinfacht in einem kontinuierlichen Spektrum anordnen (siehe Abb. 1). Auf diesem Spektrum können Bereiche identifiziert werden, in die sich die genannten Systeme einordnen lassen.



**Bild1:** Automationspektrum mit Bezeichnung einzelner Bereiche

Im vorliegenden Beitrag wird ein Konzept zur Gestaltung einer Automation für hochautomatisierte Fahrzeuge vorgestellt, bei denen die Automatisierung über Fähigkeiten verfügt, das Fahrzeug auch autonom steuern zu können, der Fahrer jedoch weitgehend in die Fahrzeugführung involviert bleibt.

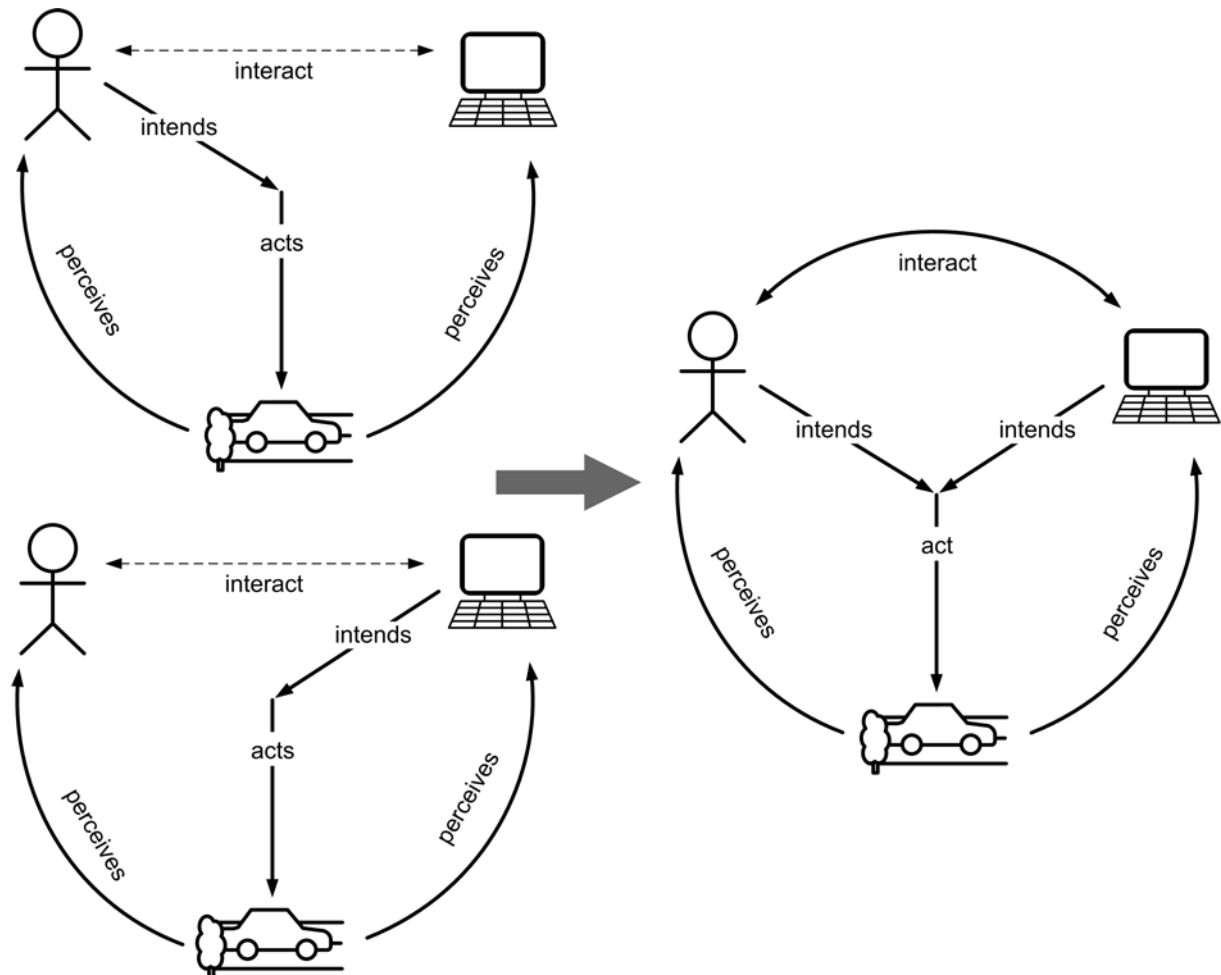
## **2. Kooperative Kontrolle („Cooperative Control“)**

Wie kann die Einbeziehung des Fahrers in die Fahrzeugführung in einem hochautomatisierten Fahrzeug gestaltet sein?

Zunächst einmal wäre eine reine Aufgabenteilung vorstellbar. Die Automation übernimmt eine bestimmte Teilaufgabe und führt diese autonom aus. Die Bestimmung der Aufgabenverteilung übernimmt der Fahrer, indem er das System an- bzw. abschaltet (siehe Abb. 2, linker Teil). Der Fahrer kann Vorgaben machen oder die automatische Ausführung der Aufgabe abbrechen, jedoch nicht weiter in die Ausführung dieser Teilaufgabe eingreifen. Damit zieht sich der Fahrer aus diesem konkreten Regelkreis weitgehend zurück; er ist nur noch in die Überwachung der automatischen Ausführung der Aufgabe eingebunden. Die Funktionalität zur Erfüllung der Aufgabe kann dabei anhand rein technischer Anforderungen gestaltet sein, da keine weitere Kommunikation mit dem Fahrer über die Strategie der Aufgabenausführung notwendig ist.

Ein darüber hinaus gehender Ansatz besteht darin, die Automation als eigenen Akteur zu betrachten, der im Team mit dem Fahrer die Aufgaben bearbeitet. Diese Idee betrachten z.B. Christoffersen und Woods (Christoffersen, Woods 2002), indem sie vorschlagen, eine Automation als „Team Player“ zu entwerfen. Sie zeigen als wichtige Aspekte für eine solche Automation die „Observability“ und „Directability“ auf, die eine Zusammenarbeit erst ermöglichen. „Observability“ bezieht sich auf den Aufbau einer gemeinsamen Repräsentation des zu lösenden Problems und auf den Aufbau einer Repräsentation der Aktivitäten der Automation. Die „Directability“ gibt dem Fahrer die Möglichkeit, die Aktionen der Automation grundlegend zu beeinflussen.

In eine ähnliche Richtung denken Miller und Parasuraman (Miller, Parasuraman 2007), die ein Konzept der flexiblen Automation vorschlagen. Hier kann der Mensch Aufgaben an die Automation vergleichbar der Interaktion mit einem anderen Menschen delegieren. Damit ist die Automation adaptierbar an die speziellen Anforderungen des Nutzers.



**Bild 2:** Von exklusiver Kontrolle zu gemeinsamer Kontrolle („Shared Control“, „Cooperative Control“)

Den Grundgedanken einer gemeinsamen Kontrolle über das Fahrzeug beschreiben Griffith und Gillespie in ihrem Konzept der „Shared Control“ (Griffiths, Gillespie 2005). Der Fahrer und die Automation haben gleichzeitig und gemeinsam die Kontrolle über das Fahrzeug. Sie wenden dies mittels eines haptischen Interfaces auf eine einfache Querführungsaufgabe an.

Eine weitergehende Sichtweise auf die gemeinsame Fahrzeugführung bietet das Konzept der kooperativen Kontrolle („Cooperative Control“), das die oben genannten Aspekte durchaus mit einschließen kann (siehe Abb. 2, rechter Teil). Kooperation kann allgemein definiert werden als Zusammenarbeit mehrerer Partner (Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2007).

Stellen wir uns ein Beispiel für kooperative Kontrolle vor. Sie und ein Partner haben die Aufgabe, gemeinsam einen Tisch zu tragen. Im besten Fall verstehen sie sich „blind“ und wissen genau wie ihr Partner bei der Erfüllung seiner Teilaufgabe vorgeht. Das heißt, sie haben ein genaues Modell im Kopf vom Vorgehen ihres Partners. Sie wissen demnach vorher, wie dieser als nächstes handelt und können sich darauf einstellen. Sie benötigen in diesem Fall keine weitere Kommunikation, um sich abzustimmen wie bei der Aufgabenbearbeitung vorzugehen ist. Stellen sie sich nun vor, dass ihr Partner rechts herum gehen möchte, sie aber links herum. Nun müssen sie kommunizieren, um den Konflikt zu lösen und einer von ihnen muss seine Strategie ändern. Da sie ein Verständnis für die Strategievorschläge ihres Partners mitbringen, haben sie eine Basis für eine Abstimmung einer gemeinsamen Strategie.

In der Automationsgestaltungsdiskussion wurde der Term „Cooperative Control“ bereits 1992 von Sheridan verwandt (Sheridan 1992). Für ihn zeichnete sich das Konzept dadurch aus, dass einer der Akteure (Mensch oder Automation) eine Handlung initiiert und der andere sie anpasst oder verfeinert („There are also forms of cooperative control where control is initiated by one agent (human or computer) and the other trims or refines it“, S. 65).

Biester (Biester 2004) stellt als wesentlichen Vorteil der Kooperation die Synergie für die beiden Akteure dar. Diese Synergie ist dadurch charakterisiert, dass die gemeinsame Handlung „einen gesamten Nettogewinn erzeugt, der größer ist als die ohne Kooperation erzielbaren Gewinne jedes einzelnen Akteurs“ (Biester 2004). Dies stellt einen Unterschied zu dem Ansatz dar, wo eine Teilaufgabe autonom durch die Automation gelöst wird und es nicht zu einer Zusammenarbeit kommt.

Die Automation unterstützt bei der Kooperation aktiv die Harmonisierung der Fahrstrategien der beiden Akteure (Automation und Fahrer) zu einer gemeinsamen Strategie. Die Generierung dieser gemeinsamen Strategie erfolgt durch kontinuierliche Interaktion zwischen Automation und Fahrer. Die Automation hat die Fähigkeit, ihre eigene Strategie zu ändern und diese der Strategie des Fahrers anzupassen. Damit ergibt sich eine Einbeziehung des Aspektes der Adaptivität von Automation in das Konzept der kooperativen Kontrolle. Auf der anderen Seite kann auch der Fahrer seine Strategie ändern und der Strategie der Automation anpassen. Diese Adaptivität des Fahrers muss bei der Gestaltung der Automation Berücksichtigung finden. Eine Situation, die zu einer Änderung der Strategie des Fahrers führen könnte ist z.B. eine Situation, die zu einem Auffahrunfall führen würde und vom Fahrer nicht richtig erkannt wird. Aufgrund des Nichterkennens sieht die Strategie des Fahrers keine Bremsreaktion vor. Die Automation würde in dieser Situation eine Notbremsung einleiten. Der Fahrer würde dadurch auf das Hindernis vor ihm aufmerksam gemacht werden und daraufhin seine Strategie ändern. Er würde höchstwahrscheinlich selbst die Bremsung aktiv fortsetzen.

Im Folgenden wird eine kooperative Automation vorgestellt, die das allgemeine Konzept der kooperativen Kontrolle aufgreift. Es werden zunächst Anforderungen an eine kooperative Automation herausgearbeitet, auf deren Basis mögliche Konzepte zur Erreichung dieser Anforderungen vorgestellt werden. Nach der Vorstellung einer prototypischen ersten Umsetzung des Konzepts wird als eine Strategie der Abstimmung zwischen der kooperativen Automation und dem Fahrer das Konzept der Arbitrierung eingeführt. Die Arbitrierung ermöglicht die Lösung von Konflikten in den Handlungsabsichten der beiden Partner, so dass eine vereinte Fahrstrategie gemeinsam ausgeführt werden kann (siehe Kap. 6).

### **3. Anforderungen an eine kooperative Automation**

Das Verständnis des Menschen für die Strategien und Handlungen der kooperativen Automation ist essentiell für das Vertrauen zur Automation, für die Kommunikation mit ihr, für die gemeinsame Entwicklung von Strategien und für die gemeinsame Ausführung von Handlungen. Eine gemeinsame Handlungsausführung würde erschwert, wenn die Automation für den Menschen unerwartete Aktionen ausführt. Für die Kommunikation und die Änderung von Strategien ist es für den Menschen wichtig zu verstehen, warum die Automation zu einer bestimmten Strategie gelangt. So kann in einer Kommunikation einfacher eine Änderung der Strategie bewirkt werden oder der Mensch kann seine Strategie ändern, da er den Grund der Strategie der Automation erkannt hat (auch „Automation Awareness“, siehe z.B. Flemisch et al. 2008; „What is it doing? Why is it doing that? What is it going to do next?“ Wiener 1989).

Damit der Bediener das Verständnis für die kooperative Automation erlangen kann, muss er ein mentales Modell der Automation aufbauen. Ein mentales Modell ist eine individuelle kognitive Repräsentation von z.B. Dingen oder Systemen, mit denen der Mensch interagiert. Es bietet dem Menschen die Möglichkeit, die Interaktion zu verstehen und das Systemverhalten zu präzisieren. Im oben angeführten Beispiel des Tisches besitzt der eine Partner ein mentales Modell des anderen Partners; er weiß, wie der Andere bei der Aufgabenbewältigung vorgehen wird. Hier ist der Aufbau des mentalen Modells relativ einfach, da beide Menschen, zumindest in den meisten Fällen, die Aufgabe ähnlich begreifen und sowohl im Begreifen als auch in der Interaktion zueinander meistens ausreichend kompatibel sind.

Übertragen auf die kooperative Automation bedeutet dies, dass für den Fahrer der Aufbau des mentalen Modells der Automation besonders einfach möglich ist, wenn die Automation möglichst kompatibel zum Fahrer funktioniert. Diese Ähnlichkeit wird durch das Konzept der Kompatibilität beschrieben.

Kompatibilität beschreibt die Passung zwischen zwei Akteuren. Kompatibilität zwischen Mensch und Automation beschreibt, wie einfach die Interaktion mit der Automation für den Nutzer und wie gut das Verständnis für die Aktionen der Automation in einer bestimmten

Situation ist (Bubb 1993). Kompatibilität ist nicht gleichbedeutend mit Ähnlichkeit: So wie Stecker und Steckdose nur begrenzt ähnlich, aber kompatibel sind, und zwei Stecker zwar hohe Ähnlichkeit haben, aber nicht zueinander passen würden, müssen auch Mensch und Maschine nicht ähnlich, sollten aber kompatibel sein.

Mensch-Maschine Kompatibilität kann in innere und äußere Kompatibilität differenziert werden (Flemisch et al. 2008). Äußere Kompatibilität beschreibt die Passung der äußeren Systemgrenzen des Menschen (z.B. Augen, Ohren, Hände) mit den äußeren Systemgrenzen der Maschine (Mensch-Maschine-Schnittstelle). Die äußere Kompatibilität ist für die Interaktion des Menschen mit der kooperativen Automation von größter Bedeutung (siehe z.B. Kelsch et al. 2006). Für die Begreif- und Bedienbarkeit der kooperativen Automation ist die innere Kompatibilität mit dem Menschen mindestens ebenso wichtig wie die äußere Kompatibilität.

Innere Kompatibilität bezeichnet die Passung der inneren Systeme des Menschen mit den inneren Systemen der Automation. Die innere Kompatibilität lässt sich weiter aufteilen (siehe Flemisch et al. 2008): Ein Teil stellt die kognitive Kompatibilität dar. Diese beschreibt die Kompatibilität der Organisation der kognitiven Bearbeitung einer Aufgabe. Dieses betrifft z.B. eine Modularisierung, Hierarchisierung oder eine zeitliche Einteilung verschiedener zu erfüllender Teilaufgaben. Coll und Coll (Coll, Coll 1989) beschreiben die kognitive Kompatibilität als „making the system operate and interact with the user in a manner which parallels the flow of the user’s own thought processes“. Erst so kann ein Austausch über die Strategie der Aufgabenerfüllung erreicht werden.

Ein weiterer wichtiger Teil der inneren Kompatibilität ist die Kompatibilität der Wertesysteme. Sind die Wertesysteme des Menschen und der Automation kompatibel, kann eine zueinander passende Bewertung einer Situation erreicht werden, um daraus erfolgversprechende, gemeinsame Handlungsabsichten zu generieren. Die Hoffnung ist, dass diese Kompatibilität das Verständnis des Menschen für die Automation vereinfacht und den nötigen Abstimmungsbedarf zwischen beiden Partnern minimiert.

Kompatible Wertesysteme bedeuten jedoch nicht notwendigerweise Konfliktfreiheit. Sieht z.B. der Fahrer ein Hindernis vor seinem Fahrzeug nicht, muss die Automation bei einem kompatiblen Wertesystem versuchen, eine Notbremsreaktion einzuleiten. Hier ist dann eine Kommunikation gefordert, um diesen Konflikt zu lösen und die Strategien der beiden Partner aneinander anzupassen.

Im Vergleich zur alleinstehenden Automation muss für eine kooperative Automation neben den Forderungen nach Kompatibilität eine explizite Berücksichtigung des Fahrers erfolgen. Es müssen z.B. Zustände berücksichtigt werden, in die das Fahrzeug nicht kommen würde, wenn die Automation das Fahrzeug allein führen würde.

Weiterhin sollte die Automation in allen Phasen der Aufgabenbearbeitung eine Kommunikation mit dem Fahrer ermöglichen und Reaktionen auf die Ergebnisse der Kommunikation zeigen können. Wenn eine kontinuierliche Kommunikation in einer frühen Planungsphase der Handlung startet und bis zur Handlungsausführung andauert, ist eine Abstimmung der Handlung zwischen Fahrer und Automation einfacher möglich.

Schließlich sollte es möglich sein, die Anteile an der Aufgabenerfüllung dynamisch verschieben zu können (siehe auch Abb. 1). So können die Partner (Mensch und Automation) die für die jeweilige Situation und Aufgabenerfüllung optimale Aufteilung nutzen und so den größtmöglichen Gewinn durch die Synergie erreichen.

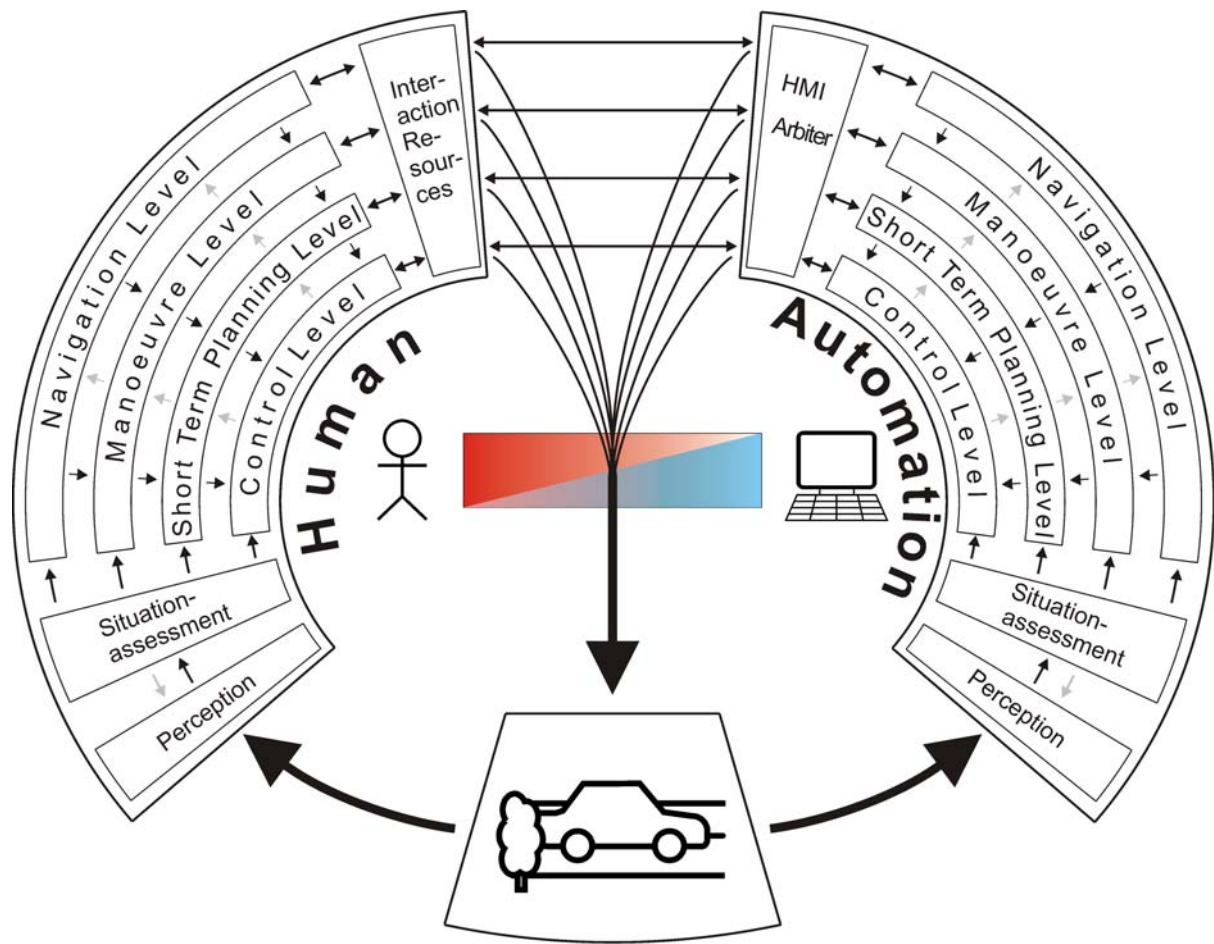
#### **4. Wie kann man die Anforderungen an eine kooperative Automation erreichen?**

Im Folgenden Kapitel werden Aspekte eines konkreten Konzeptes vorgestellt, das die oben beschriebenen Anforderungen umsetzt. Der Fokus liegt zunächst auf der inneren Kompatibilität.

Um kognitive Kompatibilität zwischen Fahrer und Automation zu erreichen, werden Aspekte der Modelle von Donges (Donges 1982, auch Donges, Naab 1996), Endsley (Endsley 1995), Parasuraman (Parasuraman et al. 2000), Rasmussen (Rasmussen 1986) sowie Tanida und Pöppel (Tanida, Pöppel 2006) kombiniert und zu einem einfachen Modell der menschlichen Informationsverarbeitung bei der Führung eines Fahrzeugs zusammengeführt. Die Kompatibilität wird dadurch erreicht, dass das Modell leicht modifiziert zur Strukturierung der Automation genutzt wird (siehe Abb. 3).

Die erste Verarbeitungsstufe des Modells ist die Wahrnehmung („Perception“). Der Fahrer nimmt die Umwelt und sein eigenes Fahrzeug mittels der verschiedenen Wahrnehmungskanäle wahr. Für die Automation werden an dieser Stelle geeignete Sensoren eingesetzt. Darauf folgt die Situationserfassung („Situationassessment“). Hier erfolgt mittels Interpretation der Situation eine Zusammenfassung auf die für die Fahrzeugführung wesentlichen Bestandteile. Nach dieser Verarbeitung liegen Daten vor, wie z.B. ein erkanntes Fahrzeug in einem bestimmten Abstand oder die aktuelle laterale Abweichung des Eigenfahrzeugs von der Fahrspurmitte. Des Weiteren kann hier eine modellbasierte Projektion des aktuellen Zustands in die Zukunft erfolgen, welches für Planungsaufgaben eine grundlegende Anforderung darstellt (siehe auch Endsley 1995).

Die nun anstehenden Phasen der Generierung von Handlungsalternativen, die Auswahl einer Alternative und schließlich die Ausführung dieser Alternative werden auf vier verschiedenen Ebenen ausgeführt.



**Bild 3:** Mensch und kooperative Automation

Auf der Navigationsebene („Navigation Level“) wird z.B. eine Route durch ein Straßennetzwerk geplant, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Die Route dient der folgenden Manöverebene („Manoeuvre Level“) als Grundlage, um das Fahrzeug durch den Verkehr zu manövrieren. Manöver bieten eine Strukturierung des Autofahrens in zeitlich und räumlich zusammenhängenden Vorgängen. Beispiele für Manöver sind „Rechter Spur folgen“ oder „Überholen“. Eine Einteilung des Autofahrens in Manöver ist schon längere Zeit etabliert. Hier sind aus dem ingenieurwissenschaftlichen Bereich z.B. Arbeiten von Nagel (z.B. Nagel 1994, Nagel, Arens 2005) oder Siedersberger (Siedersberger 2003) zu nennen. Auch in psychologischen Untersuchungen wurden Modelle entwickelt, die bei der Modellierung des Autofahrens Manöver modellieren (Tanida, Pöppel 2006). Außerdem bietet sich bei systemtheoretischer Betrachtung an, eine Modularisierung des Vorgangs vorzunehmen, welches wiederum auf eine Einteilung in Manöver führt (Johannsen 1993). Aus der Kompatibilitätsforderung ergibt sich eine Zusammenführung der ingenieurwissenschaftlichen und psychologischen Sichtweisen dahingehend, dass die Einteilung und Ausprägung der Manöver der Automation mit der Einteilung und Ausprägung der Manöver des Fahrers kompatibel sein müssen.



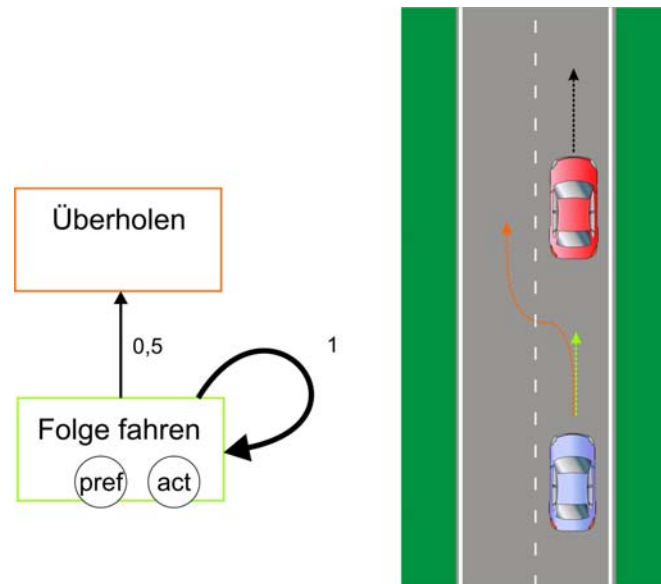
Der „Short Term Planning Level“ bietet in Abhängigkeit der in der darüber gelegenen Ebene bestimmten Manöver Trajektorien für die Fahrzeugfortbewegung. Diese beschreiben die Fahrzeugfortbewegung für einen kleineren Zeitraum (z.B. 5 s). Basierend auf diesen Trajektorien können dann Stellaktionen auf dem „Control Level“ generiert werden. Diese können z.B. der Lenkwinkel und die Stellung des Gas- und Bremspedals sein. Eine dieser Stellaktionen kann im Folgenden mittels der Mensch-Maschine-Schnittstelle („HMI“, z.B. aktives Lenkrad) mit der Stellaktion des Fahrers kombiniert und gemeinsam zum Fahrzeug weitergeleitet werden. Dem Menschen stehen zum Ausdruck seiner Stellaktion seine Interaktionsressourcen („Interaction Resources“, z.B. Hände) zur Verfügung, mit denen er außerdem mit der Automation interagieren kann. Auf Konzepte zur Gestaltung der Interaktion zwischen Mensch und Automation wird in Kap. 6 (Arbitrierung) näher eingegangen. Eine Kommunikation zwischen Mensch und Automation ist auf allen vier vorgestellten Ebenen möglich. Die Handlungsabsichten des Menschen und der Automation müssen schließlich zu einer Absicht zusammenfließen, die ausgeführt werden kann. Durch das in der Mitte angeordnete Automationsspektrum (siehe auch Abb. 1) ist die Möglichkeit der dynamischen Verschiebung der Anteile der beiden Partner an der Handlungsausführung angedeutet.

Zurück zur inneren Kompatibilität: Um eine Kompatibilität des Wertesystems zu erreichen ist es notwendig, das Wertesystem des Fahrers zu kennen und anzunähern. Aus dem Wertesystem des Fahrers folgt die Bedeutung (z.B. gut oder schlecht) von einzelnen Sachverhalten für ihn. Aufgrund dieser Bedeutungen sind die Eigenschaften seiner Handlungen im Straßenverkehr bestimmt. Damit kann sich ein Teil der abstrakten Wertebetrachtung in ganz konkreten Grenzwerten abbilden. Darunter fallen z.B. angenehme Beschleunigungen für den Fahrer, ein angenehmer Abstand auf ein vorausfahrendes Fahrzeug oder Bewertungen der gewünschten Fahrzeuggeschwindigkeit. Außerdem sind Grenzwerte interessant, ab denen der Fahrer ein neues Manöver ausführt. Damit ergeben sich aus dem Wertesystem Vorgaben und Parameter für die Verarbeitung in den einzelnen Ebenen. Neben der hier bisher angewendeten Implementierung eines dem Fahrer kompatiblen Wertesystems in der Entwicklungsphase der Automation ist es denkbar, innerhalb eines vorgegebenen Rahmens durch lernende Systemkomponenten eine kontinuierliche Anpassung des Wertesystems an das Verhalten des Fahrers vorzunehmen.

Wenn in einer Situation mehrere Handlungsalternativen möglich sind, die dann z.B. dem Fahrer zur Auswahl angeboten werden könnten, muss automationsseitig eine Bewertung erfolgen. So kann, falls der Fahrer keine Entscheidung trifft, trotzdem das aus Sicht der Automation bestmögliche Manöver ausgeführt werden. Der Fahrer hat durch die Bewertung die Möglichkeit klar zu erkennen, was die Präferenz der Automation ist und was für die Automation auch möglich wäre durchzuführen. Diese Bewertung wird im Folgenden Valential genannt. Valential ist eine Kombination aus den Worten Valenz und Potential. Valenz bedeutet im Allgemeinen Wertigkeit (Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus

AG 2003, siehe auch Chemie). Bereits 1938 wurden Valenzen von Gibson und Crooks (Gibson, Crooks 1938) zur Beschreibung der Bewertung von Fahrsituationen verwendet. Objekten zu denen sich das Eigenfahrzeug hin bewegen soll (z.B. Fahrspurmitte) geben sie positive Valenzen; negative Valenzen beziehen sich auf Objekte von denen sich das Eigenfahrzeug weg bewegen sollte (z.B. Fremdfahrzeuge). Potential kann als Möglichkeit definiert werden (Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG 2007). Zur Bildung des Valentials werden diese beiden Bedeutungen zu einer Erweiterung der Ideen von Gibson und Crooks zusammengeführt. Das Valentiale charakterisiert die Wertigkeit einer möglichen Handlung ebenso wie die Möglichkeit der Ausführung dieser Handlung. Die Automation kann somit deutlich die von ihr präferierte Handlungsalternative darlegen und gleichzeitig weitere Alternativen aufzeigen, die automationsseitig weniger präferiert sind, aber ebenfalls durchführbar wären. Das Konzept der Valentiale ist eine Grundvoraussetzung, um mit dem Fahrer über verschiedene mögliche Handlungsalternativen zu verhandeln (siehe Kap. 6: Arbitrierung). Es findet auf allen vier oben beschriebenen Ebenen Verwendung.

Auf der Manöroveňene wird nicht nur ein Manöver, sondern ein Manöverbaum generiert (siehe Abb. 4), in dem die Valentiale zur Beschreibung der Manöver dienen. Ebenso erfolgt auf dem „Short Term Planning Level“ die Generierung von mehreren Trajektorien, die den entsprechenden Manövern zugeordnet sind und denen jeweils ein Valentiale zugeordnet ist. Das gleiche gilt für den „Control Level“.



**Bild 4:** Manöverbaum für eine Situation auf einer zweispurigen Straße mit einem Eigenfahrzeug (blau) und einem Fremdfahrzeug (rot)

In der in Abbildung 4 dargestellten Situation befindet sich das Eigenfahrzeug (blau) im Manöver „Folge fahren“ (Aktuelles Manöver des Fahrzeugs, in Abb. 4 angedeutet durch die Marke „act“). Als Folgemanöver präferiert die Automation im Manöver „Folge fahren“ zu bleiben (Präferiertes Folgemanöver, in Abb. 4 angedeutet durch die Marke „pref“). Es ist für

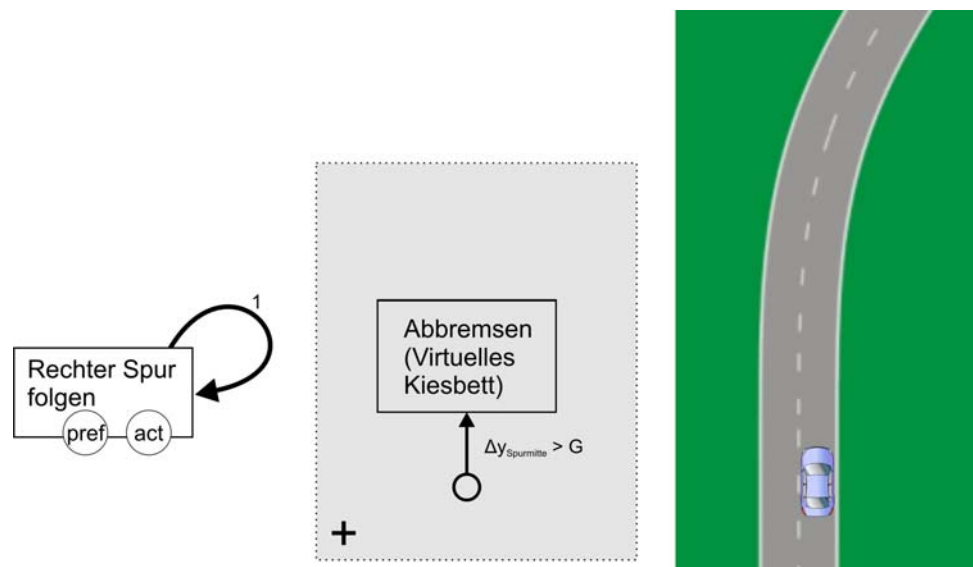
sie aber ebenfalls möglich, in das Manöver „Überholen“ überzugehen. Die Wertigkeit der beiden Möglichkeiten wird durch das jeweilige Valential (0,5 und 1) ausgedrückt. Ändert sich die Situation (z.B. die relative Position und Geschwindigkeit der beiden Fahrzeuge), so ändern sich auch die Valentiale der möglichen Manöver. Da die Änderung der Situation durch den Fahrer beeinflusst werden kann, kann dies als implizite Kommunikation bezeichnet werden. Die implizite Kommunikation ist von der aktuellen Verteilung der Kontrolle über das Fahrzeug beeinflusst. Je stärker der Fahrer in die Fahrzeugführung involviert ist, desto deutlicher kann seine aktuelle Handlung auf diesem Kommunikationsweg in die Automation gelangen. Des Weiteren können die Valentiale durch eine explizite Kommunikation mit dem Fahrer geändert werden.

Mit Hilfe der expliziten Kommunikation werden Arbitrierungsprozesse angestoßen (siehe Kap. 6). Diese ermöglichen eine Verhandlung über die Handlungsabsichten zwischen Fahrer und der kooperativen Automation. Die Handlungsabsichten werden einander angeglichen und eine gemeinsame Ausführung der Handlung wird ermöglicht. Um diese Verhandlung zu ermöglichen, werden verschiedenen Phasen in der kooperativen Automation eingeführt (siehe z.B. Parasuraman et al. 2000, Wandke et al. 2005). Es müssen zuerst Handlungsvorschläge erstellt werden, denen ein Valential zugeordnet sein muss. Diese werden z.B. durch den in Abb. 4 dargestellten Manöverbaum repräsentiert. Die Handlungsvorschläge werden dem für die Arbitrierung zuständigen Arbitrer übermittelt. In der Verhandlungsphase kann in der Automation eine Umwertung der Valentiale der Manöver oder eine Veränderung der Manöverdetails erfolgen. Die Moderation der Verhandlung und die Kommunikation mit dem Fahrer übernimmt der Arbitrer. Dieser Abstimmungsprozess mit dem Fahrer wird durch das Valentialekonzept möglich. Als letzte Phase muss durch die Automation eine Handlung zur Ausführung vorbereitet werden und diese ggf. zur Ausführung gebracht werden.

## **5. Erste prototypische Umsetzung der kooperativen Automation**

Im Folgenden wird eine erste Umsetzung des oben erläuterten Konzeptes in einem Prototypen zur hochautomatisierten Fahrzeugführung mit integrierter Längs- und Querverführung beschrieben. Die Entwicklung erfolgte im Rahmen des von der H(orse)-Metapher (Flemisch et al. 2003) inspirierten H-Mode Projektes zum biologisch-inspirierten Fahren mit hochautomatisierten Fahrzeugen (Flemisch et al. 2007). Neben dem Fahren auf einer zweispurigen Landstraße (siehe Abb. 5) kommen im verwendeten Szenario Gabelungsstellen (siehe Abb. 6) vor, an denen entweder nach links oder rechts abgebogen werden kann (siehe auch Kelsch et al. 2006). Innerhalb des Szenarios befinden sich keine Fremdfahrzeuge auf der Straße.

Im Szenario wurden vier verschiedene Manöver identifiziert. Diese werden anhand zweier ausgewählter Situationen vorgestellt. Zunächst wird das Fahren auf einer zweispurigen Landstraße ohne Fremdfahrzeuge und Kreuzungen betrachtet.



**Bild 5:** Manöverbaum mit mögl. Additivmanöver für eine Situation auf einer Landstraße

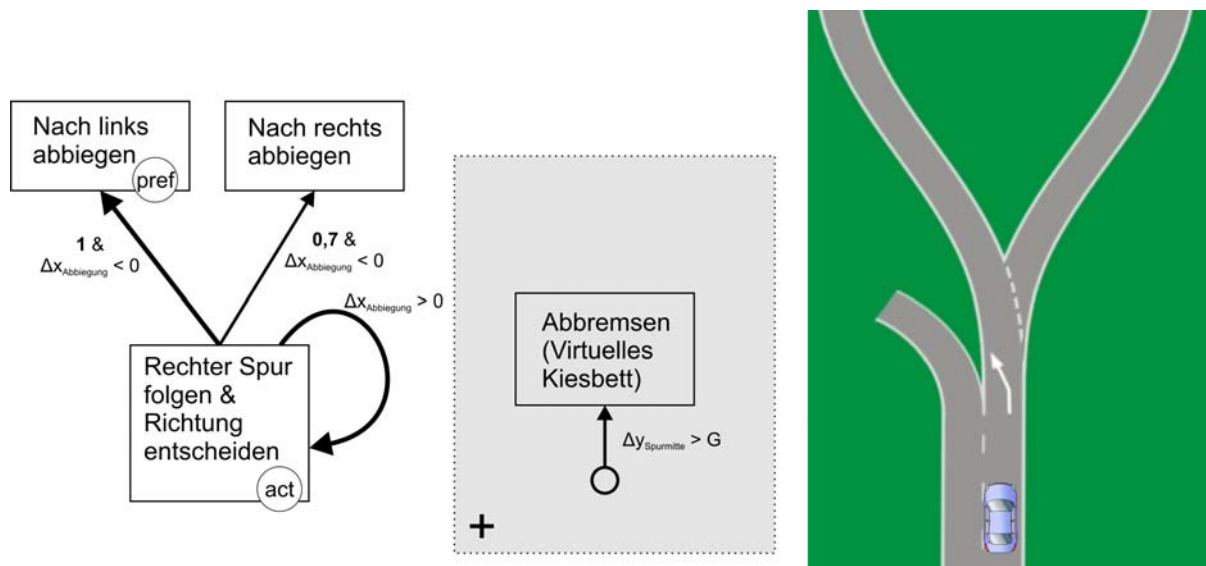
In der in Abbildung 5 dargestellten Situation liegt das Manöver „Rechter Spur folgen“ (Marke „act“) aktuell vor. Da der Manöverbaum kein anderes Folgemanöver bietet, kann nur in diesem verharret werden (Marke „pref“). Die Automation bietet hier eine Spurführung auf der Mitte der rechten Fahrspur. In der Längsrichtung erfolgt eine dynamische Berechnung eines Geschwindigkeitsprofils, das sicherstellt, dass eine für den Fahrer angenehme Querbeschleunigung in Kurven nicht überschritten wird. Außerdem wird bei der Planung des Geschwindigkeitsprofils das Einhalten einer angenehmen Längsbeschleunigung berücksichtigt. Auf der untersten Ebene („Control Level“) wird dies schließlich durch eine Steuerung und Regelung in eine Stellaktion umgesetzt.

Das parallel neben dem Manöverbaum angeordnete Additivmanöver „Abbremsen (Virtuelles Kiesbett)“ (genauere Erläuterung des virtuellen Kiesbetts siehe Kap. 6) kann dem Manöver des Manöverbaums überlagert werden, wenn die Aktivierungsbedingung wahr wird. Diese ist hier das Überschreiten einer bestimmten lateralen Abweichung des Fahrzeugs von der Mitte der rechten Fahrspur ( $\Delta y_{\text{Spurmitte}}$ , Grenzwert:  $G$ ). Es wird eine neue Stellaktion erzeugt, die das größte Valential bekommt. Diese entspricht in Querrichtung der bisher Präferierten. In Längsrichtung wird in Abhängigkeit von der lateralen Abweichung von der Spurmitte eine stärker werdende Abbremsung durch die Stellaktion dargestellt.

Die Integration dieses Manövers ist notwendig, da der Fahrer zu einem variablen Anteil an der Fahrzeugführung beteiligt ist und somit nicht davon ausgegangen werden kann, dass die durch die Automation präferierte Handlung ausgeführt wird. Wenn grundsätzlich die von der Automation präferierte Handlung vollständig durchgeführt werden würde, könnte davon

ausgegangen werden, dass ein Abkommen von der Fahrbahn bei korrekter Erkennung der Fahrspur und bei korrekter Funktion der Automation nicht möglich ist. Aufgrund der gemeinsamen Fahrzeugführung kann der Fahrer ein Verlassen des Fahrzeugs von der Fahrbahn bewirken. Auf diese Handlung muss die Automation dann eine sichere Reaktion zeigen, um für die Sicherheit des gesamten Mensch-Maschine-Systems zu sorgen. Kooperation bedeutet auch, gegen den vermeintlichen Willen des Fahrers zu arbeiten und das Fahrzeug in einen sicheren Zustand zu bringen, wenn aus Sicht der Automation Gefahr droht. Diese Situation kann eintreten, wenn der Wille des Fahrers noch nicht klar erkannt ist oder dieser seinen Willen gar nicht äußert, z.B. weil er nicht aufmerksam oder eingeschlafen ist. Der Fahrer kann diesen Handlungsvorschlag während der Arbitrierung durch klaren Ausdruck seiner Handlungsabsicht aktiv übersteuern. Dieses hätte zur Folge, dass keine Abbremsung durchgeführt werden würde.

Die zweite Situation des Szenarios (siehe Abb. 6) zeigt das Fahrzeug auf einer Straße vor einer Gabelung, wo es die Möglichkeit gibt nach links oder rechts abzubiegen.



**Bild 6:** Manöverbaum mit mögl. Additivmanöver vor einer Weggabelung

Es liegt als aktuelles Manöver des Fahrzeugs „Rechter Spur folgen & Richtung entscheiden“ (Marke „act“) vor. Die Möglichkeit des Additivmanövers „Abbremsen (Virtuelles Kiesbett)“ ist auch hier gegeben. Der Baum zeigt die in Zukunft möglichen Manöver. Der Übergang in das Manöver „Rechter Spur folgen & Richtung entscheiden“ erfolgt, sobald die Sensorik erkannt hat, dass eine Wegegabelung vor dem Fahrzeug liegt. Neben der Funktionalität des Manövers „Rechter Spur folgen“ werden jetzt die beiden folgenden Abbiegemöglichkeiten vorbereitet. Es werden zwei Abbiegetrajektorien berechnet, jeweils eine, um nach links abzubiegen (Folgemanöver „Nach links abbiegen“) und eine, um nach rechts abzubiegen (Folgemanöver „Nach rechts abbiegen“). Es erfolgt die Vergabe von Valentianen („Nach links abbiegen“: 1, „Nach rechts abbiegen“: 0,7), um die von der Automation präferierte

Möglichkeit darzulegen. Diese Wahl könnte z.B. durch ein Kommando des Navigationssystems oder ein Straßenschild begründet sein. Die Übergangsbedingungen zu den Abbiegemanövern sind nicht nur durch die Valentiale gekennzeichnet, es sind zusätzliche räumliche Übergangsbedingungen ( $\Delta x_{\text{Abbiegung}} < 0$ ) integriert. Damit ist erst eine Aktivierung möglich, wenn das Fahrzeug eine Position passiert hat, ab der der Abbiegevorgang eingeleitet werden kann. Die Trajektorien im Kreuzungsbereich werden dynamisch geplant, um den Übergang auf die neue Fahrspur zu ermöglichen. Während des Manövers „Rechter Spur folgen & Richtung entscheiden“ erfolgt die Abstimmung mit dem Fahrer, in welche Richtung gefahren werden soll. Sind die Richtungspräferenzen beider Partner gleich, ist die Abstimmung über das Folgemanöver einfach. Wenn der Fahrer eine andere Richtung als die Automation präferiert, kommt es zu einem Konflikt, der über eine explizite Kommunikation geklärt werden muss.

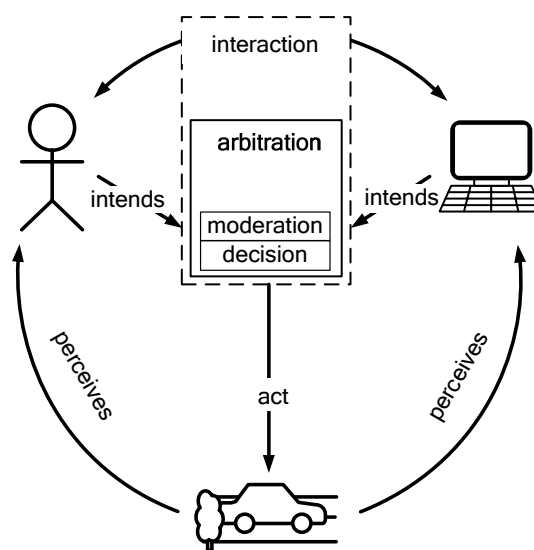
## **6. Arbitrierung**

Was passiert, wenn Mensch und Automation, die beide in die Fahrzeugführung eingreifen können, unterschiedliche Wahrnehmung der Situation und daraus folgende unterschiedliche Absichten aufweisen? Wenn der Mensch, wie im oben genannten Beispiel (siehe auch Abbildung 6), an einer Weggabelung nach rechts und die Automation nach links abbiegen möchte, fährt das Fahrzeug (hier allgemein das Mensch-Maschine-System (MMS)) nun nach links oder nach rechts? Derartige Konflikte zwischen der Automation und dem Menschen müssen aufgelöst werden, wenn das Mensch-Maschine-System insgesamt zu keinem Zeitpunkt instabil werden und möglichst schnell einen stabilen Zustand erreichen soll, in dem eine eindeutige und richtige Handlung zugelassen und durchgeführt wird. Weitere Anforderung ist, dass Absichten einzelner Instanzen des MMS (Mensch und Automation) jederzeit wechselseitig transparent sein sollten, damit z.B. der Mensch aber auch die Automation durch unverständliche Handlungen des Partners nicht verwirrt werden, sondern gemeinsam in einer symbiotischen Beziehung das MMS optimal zum Ziel oder zum bestmöglichen Ergebnis führen.

Ausgehend von dieser Motivation und den aufgeführten Anforderungen besteht die Notwendigkeit eines besonderen Konzeptes, wie Konflikte innerhalb des Mensch-Maschine-Systems gelöst oder zumindest ausreichend abgeschwächt werden können. Dies kann mit dem Konzept der Arbitrierung beschrieben werden (Kelsch et al. 2006). Der Begriff stammt vom lateinischen Wort „arbitratus“, das im ursprünglichen Sinn „schiedsrichterliche Entscheidung“ bedeutet und im technischen Bereich im Sinne von Aushandeln des Medienzugriffs im Bereich der Bus-Systeme (z.B. beim CAN-Bus) verwendet wird. Unter Arbitrierung in dem hier verwendeten Kontext wird eine zeitkritische strukturierte Verhandlung zwischen dem Menschen und der Maschine verstanden, mit dem Ziel,

rechtzeitig eine eindeutige, nach Möglichkeit für das Gesamtsystem optimale gemeinsame Willensbildung zu erreichen. Abbildung 3 zeigt schematisch, dass kognitive Prozesse des Menschen, die durch eine geschlossene Abfolge von der Wahrnehmung, der Generierung von Absichten und der gewählten Aktion beschrieben werden können, mit analogen Abläufen in der kooperativen Automation durch Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) vereint werden können. Arbitrierung ist dabei als Teilmenge der MMI zu verstehen. Es sind diejenigen Anteile der Interaktion, die mögliche Konflikte innerhalb des MMS lösen (Abbildung 7).

Die als nächste auszuführende Aktion wird dabei innerhalb der Moderationsphase, hier bevorzugt auf dem haptischen Kanal zwischen dem Menschen und der Maschine ausgehandelt. Die Moderationsphase kann aus mehreren Arbitrierungsphasen (besonderen, begrenzten und meistens sehr kurzen Zeiträumen) bestehen, die sich in der Intensität und der Art der Verhandlungen bzw. Nachverhandlungen unterscheiden können. Es wird zwischen den kontinuierlichen und den diskreten Verhandlungssignalen differenziert, die einem Eskalationsszenario folgend einander ergänzen oder ineinander übergehen können. Anschließend wird während der Entscheidungsphase eine eindeutige Entscheidung getroffen, die an das Fahrzeug weitergeleitet wird.



**Bild 7:** Vereinigung vom Menschen und Maschine zu einem Gesamtsystem durch Mensch-Maschine-Interaktion und Arbitrierung

Das Konzept der Arbitrierung bedient sich allgemeiner Dialogregeln und Konfliktlösungsansätze aus dem Bereich Psychologie ähnlich der verbalen und nonverbalen Mensch-Mensch und Mensch-Tier-Kommunikation, die in eine algorithmische Form überführt wurden. Arbitrierung kann implizit durch die entsprechende Gestaltung der intuitiven Mensch-Maschine-Interaktion aktiviert werden, und explizit mit einem Arbitrer, einem speziellen Subsystem einer kooperativen Automation, das die Verhandlungen zwischen dem Menschen und der Automation moderiert und, wenn nötig, eine gerechte Entscheidung in einer zeitkritischen Situation trifft (siehe auch Abbildung 3). Zur Frage der

Authoritätsverteilung zwischen Mensch und Automation sollten abhängig von technischen Fähigkeiten, Nutzerpräferenzen und gesellschaftlichem Konsens bewusste Gestaltungsentscheidungen getroffen werden. Im vorliegenden Beispiel wurde die Arbitrierung so gestaltet, dass der Fahrer Absicht und angestrebte Aktion durch bewusstes und nachdrückliches Handeln umsetzen können.

### ***Implizite Arbitrierung am Beispiel des Interaktionscontrollers für die gekoppelte Quer- und Längsführung***

Das Konzept der Arbitrierung wurde im Prototyp für die gekoppelte Quer- und Längsführung (siehe auch Kap. 5), in einem speziellen Modul, dem Interaktionscontroller implementiert. Dieser ist für die Generierung der Interaktion auf dem Stellteil (Kräfte, Kraftschwellen, Vibrationsmuster usw.) zuständig und enthält zusätzlich den o.g. Arbitrer. Für die Implementierung wurde ein hybrider Ansatz gewählt. Dabei wurde ein diskret schaltender Zustandsautomat mit den kontinuierlich arbeitenden Reglern der kooperativen Automation für die Spurführung, Geschwindigkeitshalteunterstützung usw. kombiniert.

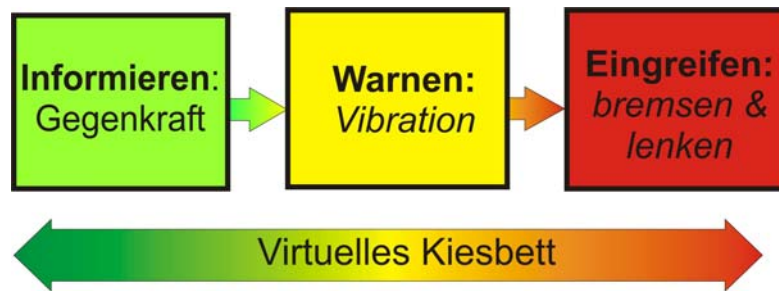
Alle für den Interaktionscontroller bzw. Arbitrer notwendigen Informationen werden über die in Abbildung 3 angedeuteten Schnittstellen auf den vier Ebenen ausgetauscht. Dabei wird auf dem „Manoeuvre Level“, „Short Term Planing Level“ und „Control Level“ kommuniziert. So werden z.B. aktive Kräfte für den Fahrer auf dem Stellteil auf Basis der auf dem „Control Level“ erzeugten Stellaktion berechnet. Die von der Interaktion z.B. für Vibrationen, zusätzliche Kraftschwellen und diskrete haptische Signale benötigten Umweltinformationen sowie benötigte Reglerparameter, die eng mit der Interaktion verbunden sind, werden ebenfalls zwischen den Modulen ausgetauscht.

### ***Rolle des Interaktionsdesigns für die implizite Arbitrierung***

Eine Grundlage für das im Interaktionscontroller implementierte Interaktionsdesign bildeten hier die Erwartungen von Versuchsteilnehmern, die sich in der vorangegangenen Studie geäußert hatten (Kelsch et al, 2006, Flemisch et al. 2006). Die geäußerten Erwartungen waren sowohl zur Spurhaltung als auch zum Spurverlassen (Situation siehe Abb. 5) eindeutig und weitgehend konsistent. Deutlich wurde, dass eine kontinuierliche Spurführung gewünscht wird, die als Kraft in Richtung Spurmitte implementiert wurde. Der Betrag und die Richtung dieser Kraft wurden aus der Stellaktion und dem Manöverbaum abgeleitet. Im Falle eines Spurverlassens wurde eine Abfolge von Interaktionen erarbeitet, die mit einer zusätzlichen Kraftschwelle startet und sich mit einer warnenden Vibration hin zu einem fühlbaren Eingriff am Stellteil Richtung Spurmitte und Richtung Geschwindigkeitsverminderung bzw. Bremsen steigert. Ähnlich wie die Designmetapher „Desktop-Metapher“ diverse Sub-Metaphern – z.B.



„(Tisch und) Ordner“ – umfasst, deutet sich hier eine Sub-Metapher der „H-Metapher“ (Flemisch et al. 2003) unter dem Arbeitstitel „(Pferd und) virtuelles Kiesbett“ an (Abb. 8).



**Bild 8:** Interaktionsdesign für das Spurverlassen (Virtuelles Kiesbett)

Weil das Interaktionsdesign hier sowohl bei der Spurführung als auch beim Spurverlassen den Erwartungen der Versuchsteilnehmer entsprach, zeichnete sich eine gewisse Art intuitiven Umganges der Menschen mit dem vorgeschlagenen Interaktionsdesign aus, was sich während der Exploration durch Daten aus Fragebögen bestätigt hat. Dabei äußerte sich die implizite Arbitrierung, der Dialog, als das „intuitive Folgen“ oder auch „Überdrücken“ der vorgeschlagenen Absichten der Automation, die sich im impliziten Abspielen des Interaktionsdesigns wiederfanden. So fuhren die Versuchspersonen sehr gut um die Kurven und korrigierten sofort und richtig ihre Eingaben, wenn ihr Fahrzeug dabei war, die Spur zu verlassen.

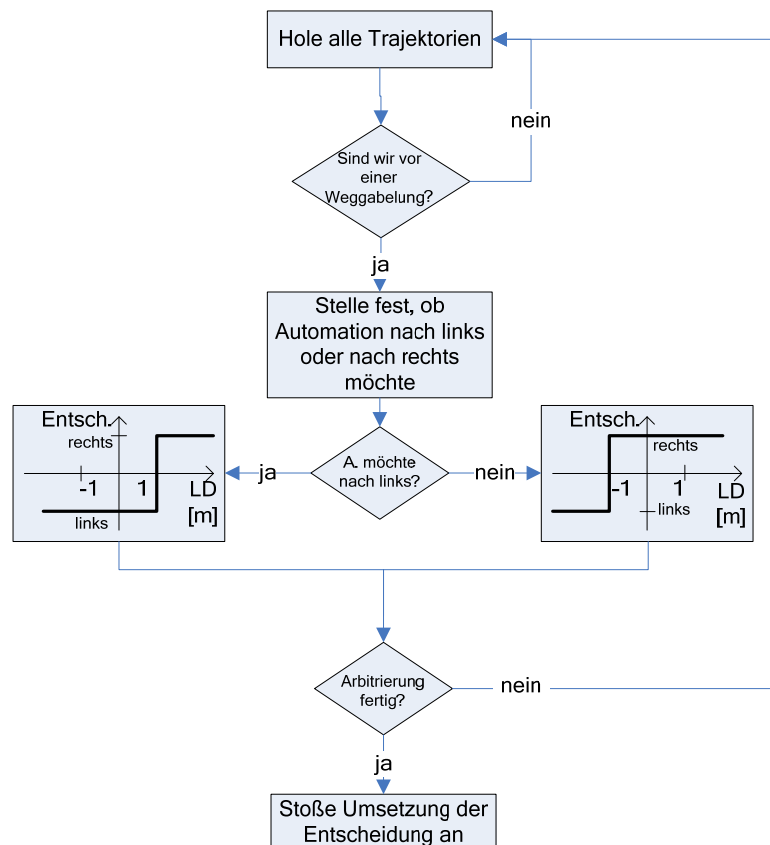
Doch die implizite Arbitrierung hat ihre Grenzen. Diese wurden bei der Untersuchung der Richtungswahl (links oder rechts?) insbesondere an den Weggabelungen deutlich (Situation siehe Abb. 6). Um das Interaktionsdesign im Grenzbereich zu testen, wurde die Situation mit einem starken Konflikt von ungeübten Nutzern ohne explizite Arbitrierung durchfahren. Einige wenige Probanden kamen beim Rechtseinbiegen in die Wegegabelung durch die Reaktion des Prototyps kurzzeitig von der Straße ab und fuhren unbeabsichtigt auf die Mittelinsel (näheres in Kelsch et al. 2006). Dieser „Mittelinselseffekt“ ist vermutlich durch ein vorgesehenes, gezieltes Redesign der Kraftschwellen und durch explizite Arbitrierung 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.

### ***Explizite Arbitrierung***

Da die implizite Arbitrierung insbesondere in den Grenzbereichen der Interaktion nur begrenzt funktioniert, besteht die Notwendigkeit einer expliziten Arbitrierung. Diese stellt Algorithmen zur Verfügung, mit denen mögliche Konflikte innerhalb des Mensch-Maschine-Systems aufgelöst werden können. Für die Entwicklung dieser Algorithmen kann man auf die aus Sozialwissenschaften, wie Psychologie, Pädagogik, Sprachwissenschaft etc. bekannten

Phänomene und Konflikt erzeugende und mindernde Zusammenhänge zurückgreifen. Dies soll an zwei Beispielalgorithmen für die Implementierung der expliziten Arbitrierung im Interaktionscontroller für die gekoppelte Quer- und Längsführung verdeutlicht werden.

Aus der Literatur sind uns Begriffe wie z.B. psychologische Trägheit – eine Eigenschaft des Geistes, im bekannten Zustand zu Verharren, „sich bevorzugt in bestimmte gedankliche Richtungen zu bewegen. Kurz ausgedrückt ist die psychologische Trägheit unser eingebautes individuelles Kalibrierungssystem.“ (Nähler, Gundlach 2003). Um dem z.B. im Falle einer Weggabelung gerecht zu werden und ein für den Menschen akzeptables Automationsverhalten zu erzeugen, müssen ablaufende Prozesse eine gewisse Trägheit bzw. Hysterese besitzen. Abbildung 9 zeigt beispielweise, wie dieses Phänomen für die explizite Arbitrierung in der Interaktion mit einem hochautomatisierten Fahrzeug ausgenutzt werden kann.

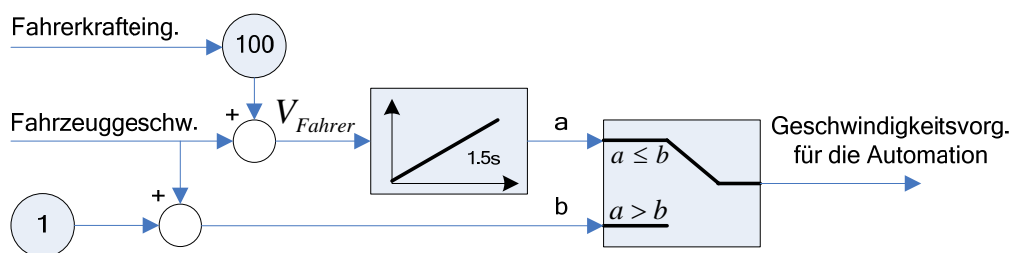


**Bild 9:** Beispielalgorithmus für die explizite Arbitrierung mit einem hochautomatisierten Fahrzeug im Bereich einer Weggabelung

Hier wird im Bereich der Weggabelung während der Moderationsphase zunächst festgestellt, ob die Automation nach links oder nach rechts fahren möchte. Dabei wird eine Hysteresekurve erzeugt, mit deren Hilfe abhängig von der Absicht der Automation (links oder rechts) und der Absicht des Menschen (längeres Verweilen im Bereich positiver bzw.

negativer Querablagen LD) zum Zeitpunkt des Arbitrierungsablaufs eine eindeutige Entscheidung getroffen und unmittelbar umgesetzt werden kann.

Ein weiteres Beispiel für die explizite Arbitrierung greift die Tatsache der Kontinuität bzw. der Stetigkeit im Ablauf der natürlichen Prozesse auf. Dass "alle Erscheinungen überhaupt sind kontinuierliche Größen", wusste schon Immanuel Kant (Kant 1781). Bezogen auf das Fahren eines hochautomatisierten Fahrzeuges bedeutet das, dass der durchschnittliche Fahrer z.B. nicht erwartet, dass sein Fahrzeug innerhalb von einer halben Sekunde von 0 auf 100 km/h beschleunigt. Diese Tatsache lässt sich in der expliziten Arbitrierung für den Algorithmus verwenden, mit dem die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers berechnet wird (Abbildung 10).



**Bild 10:** Algorithmus für die Bestimmung und Kommunikation der Wunschgeschwindigkeit des Fahrers

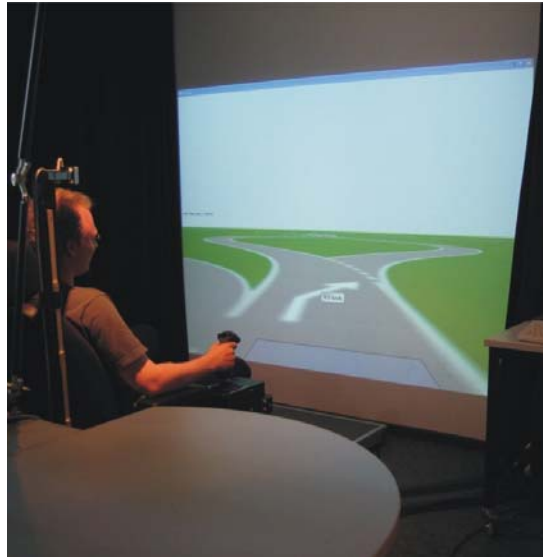
Hier werden der Betrag und die Richtung der Kraft gemessen, die der Fahrer am Stellteil ausübt. Mit einem Faktor multipliziert, wird sie auf die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit aufaddiert, die wiederum über einen bestimmten Zeitraum (hier 1,5s) stabil bleiben muss, um anschließend als Sollgeschwindigkeit dem „Control Level“ vorgegeben zu werden. Falls Sprünge im zeitlichen Verlauf der so aufintegrierten Geschwindigkeitsvorgabe auftreten, werden diese vermieden, in dem ein Begrenzer am Ende der Kette den Vorgang überwacht und ggf. anstatt des sprunghaften Wertes die Fahrzeuggeschwindigkeit plus 1 km/h als Vorgabe für die Automation verwendet.

Eine explizite Arbitrierung als Teil der Mensch-Maschine-Interaktion bietet eine Fülle an Mechanismen und Freiheitsgraden für die Lösung der Konflikte innerhalb eines Mensch-Maschine-Systems. Die Einzelmechanismen mögen auf den ersten Blick komplex erscheinen, aber, richtig angewandt und implementiert, stellen sich diese komplexen Mechanismen in der Interaktion für den Fahrer intuitiv und einfach dar.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Bei allen genannten Überlegungen darf der Fahrer nicht aus dem Fokus des Interesses fallen. Er ist es, der letztendlich mit diesen Systemen umgehen muss. Auch bei komplexen Automationssystemen, wie sie für das hochautomatisierte Fahren Verwendung finden, muss

die Interaktion für den Fahrer mit diesem System intuitiv und einfach sein. Nur so kann ein Beitrag zur aktiven Sicherheit geleistet werden. Die hier vorgestellte kooperative Automation bietet gemeinsam mit dem Konzept der Arbitrierung eine vielversprechende Möglichkeit, solch ein komplexes System versteh- und bedienbar zu gestalten. Aufgrund des beschriebenen im Simulator realisierten Prototyps (siehe Abb. 11), kann das Zusammenspiel von Fahrer und kooperativer Automation geprüft und stetig verbessert werden.



**Bild 11:** Proband vor einer Gabelungssituation

Ein Experiment zur Überprüfung dieses Zusammenspiels, steht kurz vor seinem Abschluss (Stand: Februar 2008). Des Weiteren wird an einer Implementierung in das institutseigene Versuchsfahrzeug FASCar gearbeitet, um auch in realitätsnäheren Situationen Experimente durchführen zu können. Weitere nächste Schritte bestehen in der Umsetzung des Konzeptes in Prototypen für komplexere Szenarien und in der weiteren Ausgestaltung der Kooperation zwischen Fahrer und Automation auf den verschiedenen genannten Ebenen.

Diese Forschung wird gefördert durch die DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft).

## **Literatur**

PREVENT. PREVENTive and Active Safety Applications. Online verfügbar unter <http://www.prevent-ip.org>, zuletzt geprüft am 14.01.2008.

Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG: Duden - Das große Fremdwörterbuch: Herkunft und Bedeutung der Fremdwörter (2003). Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag.

Bibliographisches Institut & F. A. Brockhaus AG: Duden - Deutsches Universalwörterbuch. 6. Aufl. (2007). Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich: Dudenverlag.

Biester, Lars (2004): Der Einsatz von Kooperation zwischen Mensch und Maschine im Kraftfahrzeug. Application of cooperation between human and machine in cars. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und

- Verkehrstechnik (Hg.): Integrierte Sicherheit und Fahrerassistenzsysteme. 21. VDI/VW Gemeinschaftstagung: VDI Verlag GmbH. VDI-Berichte, S. 263–278.
- Braess, Hans-Hermann; Reichart, Günter (1995a): PROMETHEUS: Vision des "intelligenten Automobils auf der intelligenten Straße" - Versuch einer kritischen Würdigung. Teil 2. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Jg. 97, H. 6, S. 330–334.
- Braess, Hans-Hermann; Reichart, Günter (1995b): PROMETHEUS: Vision des "intelligenten Automobils auf der intelligenten Straße" - Versuch einer kritischen Würdigung. Teil 1. In: Automobiltechnische Zeitschrift, Jg. 97, H. 4, S. 200–205.
- Bubb, Heiner (1993): Systemergonomie. In: Schmidtke, Heinz (Hg.): Ergonomie. München: Hanser Verlag.
- Christoffersen, Klaus; Woods, David D. (2002): How to make automated systems team players. In: Salas, Eduardo (Hg.): Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research: Elsevier Science Ltd. (2), S. 1–12.
- Coll, Richard; Coll, Joan H. (1989): Cognitive Match Interface Design, A Base Concept for Guiding the Development of User Friendly Computer Application Packages. In: Journal of Medical Systems, Jg. 13, H. 4, S. 227–235.
- Donges, Edmund (1982): Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. In: Automobil-Industrie, H. 2, S. 183–190.
- Donges, Edmund; Naab, Karl (1996): Regelsysteme zur Fahrzeugführung und -stabilisierung in der Automobiltechnik. In: at - Automatisierungstechnik, Jg. 44, H. 5, S. 226–236.
- Endsley, Mica R. (1995): Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. In: Human Factors, Jg. 37, H. 1, S. 32–64.
- Flemisch, Frank O.; Adams, Catherine A.; Conway, Sheila R.; Goodrich, Ken H.; Palmer, Michael T.; Schutte, Paul C. (2003): The H-Metaphor as a Guideline for Vehicle Automation and Interaction. Herausgegeben von NASA. (NASA/TM-2003-212672).
- Flemisch, Frank O.; Kelsch, Johann; Löper, Christian; Schieben, Anna; Schindler, Julian (2008): Automation spektrum, inner / outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting 2007. Braunschweig.
- Flemisch, Frank O.; Kelsch, Johann; Schieben, Anna; Schindler, Julian (2006): Stücke des Puzzles hochautomatisiertes Fahren: H-Metapher und H-Mode, Zwischenbericht 2006. In: Stiller, Christoph; Maurer, Markus (Hg.): 4. Workshop Fahrerassistenzsysteme. Karlsruhe: Freundeskreis Mess- und Regelungstechnik Karlsruhe e.V., S. 60–69.
- Flemisch, Frank O.; Kelsch, Johann; Schieben, Anna; Schindler, Julian; Löper, Christian; Schomerus, Jan (2007): Prospective Engineering of Vehicle Automation with Design Metaphors: Intermediate report from the H-Mode Projects. In: Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (Hg.): 7. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme. Berlin.
- Gibson, James J.; Crooks, Laurence E. (1938): A theoretical field-analysis of automobile-driving. In: American Journal of Psychology, Jg. 51, H. 3, S. 453–471.
- Griffiths, Paul; Gillespie, R. Brent (2005): Sharing Control Between Human and Automation Using Haptic Interface: Primary and Secondary Task Performance Benefits. In: Human Factors, Jg. 47, H. 3, S. 574–590.
- Holzmann, Frédéric; Bellino, Mario; Kolski, Sascha; Sulzmann, Armin; Spiegelberg, Gernot; Siegwart, Roland (2005): Robots go automotive - The SPARC approach. In: IEEE (Hg.): Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium. Las Vegas, Nevada, S. 478–483.
- Johannsen, Gunnar (1993): Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Kant, Immanuel (1781): Kritik der reinen Vernunft.
- Kelsch, Johann; Flemisch, Frank O.; Löper, Christian; Schieben, Anna; Schindler, Julian (2006): Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems

- Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung. In: Grandt, Morten; Bauch, Anna (Hg.): Cognitive Systems Engineering in der Fahrzeug- und Prozessführung. 48. Fachausschusssitzung Anthropotechnik. DGLR-Bericht, S. 227–240.
- Miller, Christopher A.; Parasuraman, Raja (2007): Designing for Flexible Interaction Between Humans and Automation: Delegation Interfaces for Supervisory Control. In: Human Factors, Jg. 49, H. 1, S. 57–75.
- Nagel, Hans-Helmut (1994): A Vision of 'Vision and Language' Comprises Action: An Example from Road Traffic. In: Artificial Intelligence Review, Jg. 8, S. 189–214.
- Nagel, Hans-Helmut; Arens, Michael (2005): 'Innervation des Automobils' und formale Logik. In: Maurer, Markus; Stiller, Christoph (Hg.): Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Nähler, Horst; Gundlach, Carsten (2003): Die Psychologische Trägheit und ihr Einfluß auf das Problemlösungs-Denken. In: TRIZ-online Magazin, H. 2. Online verfügbar unter [http://www.triz-online-magazin.de/ausgabe03\\_02/artikel\\_1.htm](http://www.triz-online-magazin.de/ausgabe03_02/artikel_1.htm), zuletzt geprüft am 14.01.2008.
- Parasuraman, Raja; Sheridan, Thomas B.; Wickens, Christopher D. (2000): A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, Jg. 30, H. 3, S. 286–297.
- Rasmussen, Jens (1986): Information processing and human machine interaction. An approach to cognitive engineering. New York: North-Holland (North-Holland series in system science and engineering, 12).
- Sheridan, Thomas B. (1992): Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control. Cambridge, MA: MIT Press.
- Siedersberger, Karl-Heinz (2003): Komponenten zur automatischen Fahrzeugführung in sehenden (semi-) autonomen Fahrzeugen. Dissertation. Universität der Bundeswehr München, Fakultät für Luft- und Raumfahrttechnik, Institut für Systemdynamik und Flugmechanik.
- Stiller, Christoph; Kammel, Sören; Dang, Thao; Duchow, Christian; Hummel, Britta (2006): Das Autonome Landfahrzeug ION im Grand Challenge. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik; VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (Hg.): Steuerung und Regelung von Fahrzeugen und Motoren - AUTOREG. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. VDI-Berichte, S. 75–88.
- Tanida, Koji; Pöppel, Ernst (2006): A hierarchical model of operational anticipation windows in driving an automobile. In: Cognitive Processing, Jg. 7, H. 4, S. 275–287.
- Thrun, Sebastian; Montemerlo, Mike; Dahlkamp, Hendrik; Stavens, David; Aron, Andrei; Diebel, James et al. (2006): Stanley: The Robot that Won the DARPA Grand Challenge. In: Journal of Field Robotics, Jg. 23, H. 9, S. 661–692.
- Waibel, Falko; Ishida, Shinnosuke (2008): The Honda Lane Keeping Assistance System: Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter Annual Meeting 2007. Braunschweig.
- Wandke, Hartmut; Wetzenstein, Elke; Polkehn, Knut (2005): Handlungsbezogene Elementarbausteine für Fahrerassistenzsysteme. In: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik (Hg.): Fahrer im 21. Jahrhundert. Der Mensch als Fahrer und seine Interaktion mit dem Fahrzeug. Düsseldorf: VDI Verlag GmbH. VDI-Berichte, S. 41–62.
- Wiener, Earl L. (1989): Human Factors of Advanced Technology ("Glass Cockpit") Transport Aircraft. NASA-CR-117528. NASA Ames Research Center. Moffett Field, CA.
- Winner, Hermann (1999): Adaptive Cruise Control. In: Jurgen, Ronald K. (Hg.): Automotive Electronics Handbook: McGraw-Hill Professional, S. 30.1-30.30.
- Winner, Hermann; Hakuli, Stephan; Bruder, Ralph; Konigorski, Ulrich; Schiele, Bernt (2006): Conduct by Wire - ein neues Paradigma für die Weiterentwicklung der Fahrerassistenz. In: Freundeskreis Mess- und Regelungstechnik Karlsruhe e.V. (Hg.): 4. Workshop Fahrerassistenzsysteme 2006.