

Robin D. Fink

**ATTRIBUTIONSPROZESSE IN HYBRIDEN
SYSTEMEN**

**EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES
ZUSAMMENSPIELS VON MENSCH UND
AUTONOMER TECHNIK**

Soziologisches Arbeitspapier Nr. 25/2009

**Herausgeber
Prof. Dr. H. Hirsch-Kreinsen
Prof. Dr. J. Weyer**

Attributionsprozesse in hybriden Systemen

**Experimentelle Untersuchung des
Zusammenspiels von Mensch und
autonomer Technik**

Robin D. Fink

Arbeitspapier Nr. 25 (Juli 2009)

ISSN 1612-5355

Herausgeber:

Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen
Lehrstuhl Wirtschafts- und Industriesoziologie
is@wiso.tu-dortmund.de
www.wiso.tu-dortmund.de/IS

Prof. Dr. Johannes Weyer
Fachgebiet Techniksoziologie
johannes.weyer@tu-dortmund.de
www.wiso.tu-dortmund.de/TS

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät
Technische Universität Dortmund
D-44221 Dortmund

Ansprechpartnerin:

Dipl.-Päd. Martina Höffmann, e-mail: martina.hoeffmann@tu-dortmund.de

Die Soziologischen Arbeitspapiere erscheinen in loser Folge. Mit ihnen werden Aufsätze (oft als Preprint), sowie Projektberichte und Vorträge publiziert. Die Arbeitspapiere sind daher nicht unbedingt endgültig abgeschlossene wissenschaftliche Beiträge. Sie unterliegen jedoch in jedem Fall einem internen Verfahren der Qualitätskontrolle. Die Reihe hat das Ziel, der Fachöffentlichkeit soziologische Arbeiten aus der Wirtschafts- und Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Dortmund vorzustellen. Anregungen und kritische Kommentare sind nicht nur willkommen, sondern ausdrücklich erwünscht.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Theoretische Grundlagen	9
2.1	Hybrides Modell soziologischer Erklärung	10
2.1.1	Human-Automation Collaboration Taxonomy	13
2.2	Frame-Selektionstheorie	15
2.2.1	Theorieentwicklung und Kritik	15
2.2.2	Frame-, Skript- und Handlungsselektion	15
3	Modellierung	19
3.1	Agententypen und ihre Umgebung	19
3.2	Beschreibung der Fahraufgabe	20
3.3	SEU-Modell für den intelligenten Fahrer	21
4	Experimente	28
4.1	Planung der Experimente	28
4.2	Durchführung der Experimente	31
4.3	Auswertung der Experimente	33
4.3.1	Auswertungsmethoden	34
4.3.2	Auswertung der aufgezeichneten Daten	35
4.4	Auswertung der Fragebögen und Interviews	42
4.4.1	Fragebögen je Experiment	43
4.4.2	Gesamtfragebogen	49
4.4.3	Fragebogen zum vollautomatischen Modus	52
5	Ergebnisse und Ausblick	54
5.1	Methodische Ergebnisse	54
5.2	Inhaltliche Ergebnisse	55
5.3	Ausblick	56
	Literaturverzeichnis	58

1 Einleitung

In unserer modernen, hoch technisierten Gesellschaft ist zu beobachten, dass Technik zunehmend aktiver wird und aus der Rolle des bloßen Funktionierens ausbricht.

Aus dieser Beobachtung apokalyptische Ersetzbarkeitsszenarien herzuleiten, in denen Menschen spätestens im Jahre 2050 vollständig durch Maschinen ersetzt werden können (Moravec 2003), scheint zumindest nach heutigem Kenntnisstand fragwürdig.

Durch aktivere Technik entsteht vielmehr ein komplexes Geflecht sozio-technischer Konstellationen, in denen sich Handlungen auf menschliche und nicht-menschliche Akteure verteilen (vgl. Rammert u. Schulz-Schaeffer 2002).

Besonders anschaulich lässt sich dieser Zusammenhang am Beispiel moderner Assistenzsysteme verdeutlichen: Fahrerassistenzsysteme für Autos greifen zunehmend *aktiv*-unterstützend in den Fahrvorgang ein und sorgen dafür, dass das Fahrzeug *zusammen* mit dem Fahrer „fährt“. Von einem außen stehenden Beobachter ist die Frage nach der Handlungsträgerschaft, also der Verantwortung für den Gesamtvorgang des Fahrens, keinesfalls trivial beantwortbar.

In noch komplexeren sozio-technischen Konstellationen tritt die Problematik einer Zuordnung der Handlungsträgerschaft verstärkt zutage. Ein modernes Verkehrsflugzeug ist ausgestattet mit einer Vielzahl von Assistenzsystemen und elektronisch-vermittelnder Technik. Wer fliegt das Flugzeug? Der Pilot? Das Assistenzsystem? Die Steuerungselektronik? Die Fluggesellschaft, die durch Bereitstellung einer entsprechenden Infrastruktur ein Abheben des Flugzeugs überhaupt erst möglich macht?

Weyer (2007, S. 37) konstatiert, dass durch das Neben- und Miteinander menschlicher und künstlicher Sozialsysteme hybride Systeme verteilten Handelns entstehen, „in denen Entscheidungen im Verbund von menschlichen Entscheidern und (teil-)autonomer Technik getroffen werden, und zwar in einer Weise, die es für einen Außenstehenden kaum noch unterscheidbar macht, wer beispielsweise das Flugzeug fliegt: der Pilot, der Autopilot oder beide zusammen.“

Die vorliegende Arbeit richtet ihr Augenmerk auf die oben beschriebenen hybriden Systeme und versucht zunächst ein operationalisierbares Modell zu entwickeln, das das Zusammenspiel von Mensch und (smarter) Technik beschreiben kann.

Auf Grundlage dieses Modells wird eine interaktive Simulations- und Experimentierumge-

bung, SIMHYBS, entwickelt, die eine computergestützte Untersuchung hybrider Akteurskonstellationen auf Grundlage soziologischer Theorien ermöglicht. Mit SIMHYBS werden Attributionsphänomene und das Zusammenhandeln menschlicher Akteure -Probanden- mit einem nicht-menschlichen Akteur -Assistenzsystem- in unterschiedlichen Modi der Handlungsverteilung empirisch zugänglich.

Die Arbeit möchte keine umfassende empirische Untersuchung vorlegen, sondern vielmehr eine methodische Grundlage für die Modellierung und empirische Untersuchung hybrider Akteurskonstellationen darlegen. Die Ergebnisse aus den durchgeführten Simulationsexperimenten mit menschlichen Probanden liefern Hinweise, welche Aspekte hybrider Systeme mit SIMHYBS analysierbar sind und ein besonders hohes Erkenntnisgewinn erwarten lassen.

Kapitelübersicht

In Kapitel 2 wird ein hybrides Modell soziologischer Erklärung vorgestellt, das mehrere soziologische Theorierichtungen miteinander verknüpft und auf diese Weise eine präzise und vor allem operationalisierbare Modellierung des Zusammenspiels von Mensch und (smarter) Technik ermöglicht.

Im anschließenden Kapitel 3 wird mit den Mitteln des zuvor entwickelten hybriden Modells soziologischer Erklärung ein spezielles hybrides System beschrieben. Dieses System besteht aus einem menschlichen Fahrer, der gemeinsam mit einem Assistenzsystem eine Fahraufgabe lösen muss.

Das hybride System wird in Form einer interaktiven Computersimulation umgesetzt. Die mit dem System durchgeführten Experimente mit menschlichen Probanden und die Auswertung der Experimente wird in Kapitel 4 beschrieben. Die Computerexperimente werden dabei gekoppelt mit Datenaufzeichnungen (z. B. Tastaturanschläge) und Befragungen, die ein differenziertes Bild über Zuschreibungsphänomene zeichnen werden.

Im abschließenden Kapitel 5 werden die methodischen und inhaltlichen Ergebnisse zusammengefasst. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick darüber, welche Aspekte hybrider Systeme in Zukunft mit SIMHYBS näher untersucht werden können und welche Erweiterungen des interaktiven Simulationssystems vorstellbar sind.

2 Theoretische Grundlagen

Mit dem Modell soziologischer Erklärung von Hartmut Esser (1991, 1996, 1999) liegt ein weit ausgearbeitetes soziologisches Handlungsmodell vor, das allerdings die Handlungsfähigkeit von Technik ausklammert und Technik lediglich als infrastrukturelle Komponente einer Gesellschaft auffasst. Neuere Ansätze, wie die Frame-Selektions-Theorie (s. Abschnitt 2.2.2), basieren auf Essers Handlungsmodell bzw. erweitern dieses. Diese Ansätze versuchen allerdings nicht, das Handlungsmodell auf nicht-menschliche Akteure oder verteilte Handlungsträgerschaft zu übertragen, sondern modellieren den Begriff der Situationsdefinition sehr viel feiner (vgl. Kroneberg 2005).

Soll Essers Ansatz genutzt werden, um Handlungszusammenhänge in hybriden Akteurskonstellationen zu erfassen, eignen sich diese nur eingeschränkt, da Technik für Esser (1996, S. 427f.) nur zur Infrastruktur einer Gesellschaft gehört. Ihr wird keine Handlungsfähigkeit zubilligt, sie dient lediglich der „materiellen Grundlage der (biologischen) Reproduktion“ und der „Bereitstellung der Mittel zur Lösung der Alltagsprobleme einer Bevölkerung – der materiellen Produktion“ (ebd. S. 427). Ziel dieses Theorieabschnitts ist es, ein hybrides Handlungsmodell zu entwickeln. Dieses Handlungsmodell wird auf den Ideen von Esser und weiteren Theorierichtungen aufbauen.

Die Akteur-Netzwerk-Theorie (vgl. z.B. Latour 1998) hilft mit ihrer Forderung nach einer symmetrischen Ontologie, dass Mensch, Natur und Technik ohne jegliche begriffliche Vorbesetzung zunächst vollkommen gleich zu betrachten seien, den aktiveren Charakter avancierter Technik in den Vordergrund zu stellen. Die Idee, dass unter bestimmten Voraussetzungen durch das Zusammenwirken von Mensch und Technik ein Hybrid-Akteur entstehen kann, wird in die Ansätze des hybriden Handlungsmodells eingehen.

Im graduellen Modell verteilter Handlungsträgerschaft von Rammert u. Schulz-Schaeffer (2002) wird betont, dass hybride Akteurskonstellationen sich dadurch auszeichnen, dass eine präzise Zuordnung der Handlungsträgerschaft auf Mensch und Technik nicht mehr möglich sei. Handeln erfolge in einem Strom, bestehend aus auf Mensch und Technik verteilten Aktivitäten.

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, Ideen aus der Actor-Network-Theory und dem graduellen Modell verteilter Handlungsträgerschaft zu einem gemeinsamen Modell zusammenfassen, das grundsätzlich auf dem Modell soziologischer Erklärung von Esser beruht.

Vorannahmen

Im Gegensatz zu Essers Modell soziologischer Erklärung wird mit dem hier beschriebenen hybriden Handlungsmodell nicht der Anspruch erhoben, eine allgemeingültige Handlungstheorie zu entwickeln.

Hinsichtlich der vom Modell fassbaren hybriden Systeme werden folgende Vorannahmen getroffen:

(A 1) Innerhalb eines hybriden Systems lassen sich menschliche und nicht-menschliche Akteure teleologisch beschreiben.

(A 2) Die in einem hybriden System möglichen Aktionen können vollständig identifiziert werden und verteilen sich auf menschliche und nicht-menschliche Akteure.

Bzgl. Annahme (A 1) wird deutlich, dass das hybride Modell soziologischer Erklärung auf Technik fokussiert, die gewisse Grade von Autonomie aufweist und dem mit ihr interagierenden menschlichen Akteur eine intentionalistische Beschreibungsweise geradezu aufdrängt. Es soll auch noch einmal betont werden, dass es bei der teleologischen Beschreibung eines hybriden Systems nicht darauf ankommt, ein System ontologisch als Ziele verfolgendes System zu definieren, sondern anzunehmen, dass dem nicht-menschlichen Bestandteil Ziele *zugeschrieben* werden.

Annahme (A 2) wirkt zunächst einschränkend, ist allerdings aus technischer Perspektive angemessen, da aus Sichtweise des technischen Systems die Aktionsverteilung unzweideutig ist. Wird diese Annahme vorausgesetzt und es stellt sich in Experimenten heraus, dass aus Sichtweise des menschlichen Akteurs Uneindeutigkeit über die Aktionsverteilung herrscht, kann diese Differenz als empirischer Befund festgehalten werden.

2.1 Hybrides Modell soziologischer Erklärung

In Abbildung 1 ist ein erster Ansatz für ein hybrides soziologisches Handlungsmodell dargestellt. Strukturell ähnelt dieses Modell den von Hartmut Esser (1996, S. 112ff.) entwickelten Mehr-Ebenen-Modellen. Esser richtet dabei seinen Fokus auf soziale Gebilde, eine „aggregierte Folge des situationsorientierten Handelns von Akteuren“. Im Gegensatz zu Esser berücksichtigt das hier dargestellte Modell menschliche und nicht-menschliche Akteure gleichberechtigt und geht von einer beiden Akteuren bekannten Aktionsmenge aus, die sich auf die beteiligten Akteure verteilt.

Gemäß Abbildung 1 besteht ein einfaches hybrides System aus einem menschlichen Akteur, A^H und einem nicht-menschlichen Akteur, A^{NH} . Die Situation S_t bezeichnet eine Situation zum Zeitpunkt t inmitten einer Sequenz von –in kurzen Zeitabständen hintereinander

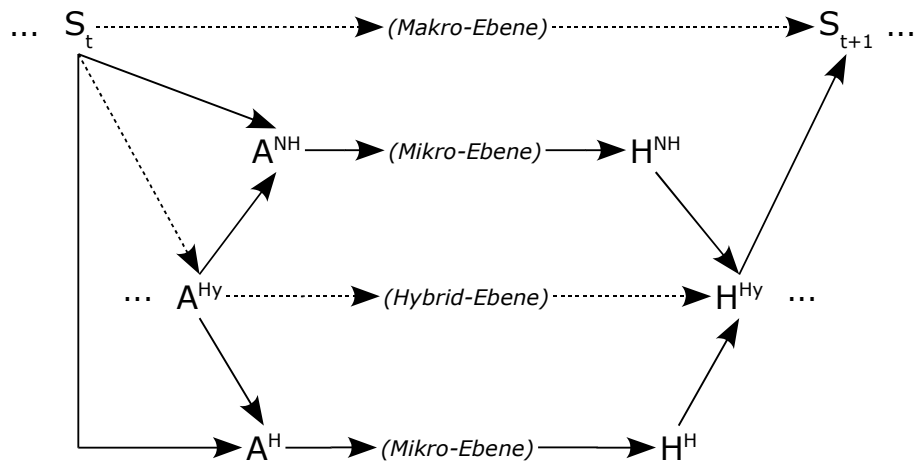


Abbildung 1: Hybrides Modell soziologischer Erklärung.

S_t bzw. S_{t+1} - Situation zum Zeitpunkt t bzw. $t+1$, A^a - Akteur a , H^a - Handlung von Akteur a , NH - Non Human, Hy - Hybrid, H - Human

stattfindenden– Aktionen. Von beiden Akteuren wird auf technisch unterschiedliche Weise eine subjektive Situationsdefinition vorgenommen: Der menschliche Akteur definiert die Situation durch entsprechende neuronale Prozesse. Der nicht-menschliche Akteur A^{NH} erfasst z. B. durch Sensorik, Datenleitungen etc. die Situation.

Beide Akteure haben spezifische Aktionen zur Auswahl, die sie ausführen können. Das Prinzip der Esser'schen subjektiven Nutzenmaximierung wird symmetrisch auf A^H und A^{NH} angewendet und führt zum Vollzug der Aktionen H^H und H^{NH} .

Das beschriebene Handlungssystem umfasst zwei Akteure, die eine Situation wahrnehmen und diese getrennt voneinander definieren (durchgezogene Pfeile von S_t zu A^{NH} und A^H). Der bisherige Zusammenhang entspricht noch exakt dem regulären Modell soziologischer Erklärung (MSE), mit dem einzigen Unterschied, dass menschliche und nicht-menschliche Akteure gleichberechtigt behandelt werden. Neu ist die Idee, dass durch das Zusammenhandeln von A^{NH} und A^H eine Hybrid-Ebene konstituiert wird, auf der ein aus dem Handeln beider Akteure bestehender Akteur, ein Hybrid-Akteur, handelt. Ausschließlich das Handeln des Hybrid-Akteurs führt zu aggregierten Effekten auf der außerhalb des hybriden Systems befindlichen Makro-Ebene (durchgezogener Pfeil von H^{Hy} zu S_{t+1}). Die Ursprungssituation wirkt nicht unmittelbar auf den Hybrid-Akteur (gestrichelter Pfeil von S_t zu A^{Hy}), sondern nur indirekt über die Situationsdefinition A^H und A^{NH} .

Gleichzeitig geht die als gemeinsames Handlungs- und Interaktionssystem von beiden Akteuren wahrgenommene Hybrid-Ebene als zusätzliche Makro-Ebene in die Situationsdefinition der beteiligten Akteure ein und beeinflusst ihr Individualhandeln.

Beispiel

Das folgende Beispiel erhebt nicht den Anspruch, eine vollständige Analyse eines hybriden Systems darzustellen. Es dient lediglich dem unterstützenden Verständnis des hybriden Modells soziologischer Erklärung.

Die adaptive Geschwindigkeitsregulierung ACC (vgl. [Winner u. a. 2002](#)) ist ein Beispiel für ein fortgeschrittenes Fahrerassistenzsystem. Das hybride System besteht aus dem Fahrerassistenzsystem, dem nicht-menschlichen Akteur und dem Fahrer als menschlichem Akteur. Der Fahrer kann eine gewünschte Geschwindigkeit einstellen, bei deren Einhaltung er durch das Assistenzsystem unterstützt wird. Stark verkürzt dargestellt versucht ACC die Wunschgeschwindigkeit des Fahrers einzuhalten, sofern kein langsames Fahrzeug vorausfährt oder durch den Fahrer nicht aktiv gegengesteuert wird.

Zur beispielhaften Anwendung des hybriden Akteursmodells befände sich das Fahrzeug in der Situation, in der die eigene Geschwindigkeit v_{self} langsamer ist als die eingestellte Wunschgeschwindigkeit v_{soll} . Unmittelbar vor dem eigenen Fahrzeug befände sich kein anderes Fahrzeug, allerdings hat schon ein Fahrzeug auf der Nebenspur begonnen zu blinken und wird voraussichtlich in Kürze dicht vor dem Fahrzeug auf die eigene Spur einscheren. Zunächst definieren beide Akteure die Situation und kommen in diesem Beispiel zu unterschiedlichen Situationsdefinitionen. Der Fahrer hat das blinkende Fahrzeug bereits erkannt und die mögliche Einscherung bemerkt. Die zur ACC gehörige Radar-Sensorik erkennt nur Fahrzeuge in der gleichen Spur und definiert die Situation anders: Für das Assistenzsystem ist die eigene Fahrbahn frei und die eigene Geschwindigkeit liegt unter der Soll-Geschwindigkeit. Auf Basis dieser Einschätzung führen beide Akteure jeweils subjektiv nutzenmaximierende Aktionen durch: Der Fahrer bremst und das Assistenzsystem beschleunigt leicht. Zunächst ergibt sich durch dieses Zusammenhandeln ein beobachtbares Gesamtfahrverhalten des Hybrid-Akteurs, bestehend aus ACC und Fahrer. Über die Hybrid-Ebene werden die Interaktionen gegenseitig wahrgenommen und beeinflussen das Verhalten der Akteure im folgenden Schritt der Aktionensequenz. Das Fahrerassistenzsystem bemerkt den Bremswunsch und setzt seine eigene Beschleunigungsaktion für eine Weile aus, der menschliche Fahrer kann die Bremsaktion zu Ende bringen. Eine mögliche Aktion eines menschlichen oder nicht-menschlichen Akteurs kann also auch darin bestehen, eine Null-Aktion („Nichts“) auszuführen.

Die Einführung einer zusätzlichen Hybrid-Ebene zur Modellierung von Handeln in hybriden Systemen ist nicht nur bei aktiven Eingriffen analytisch hilfreich.

Angenommen, eine rote Warnleuchte mit zusätzlichem Piepton macht einen menschlichen Fahrer auf ein sehr dicht vorausfahrendes anderes Fahrzeug aufmerksam. Warnleuchte und Piepton werden außerhalb des hybriden Systems nicht wahrgenommen, sondern gehen über die gemeinsame Hybrid-Ebene zusätzlich in die Situationsdefinition des Fahrers (und des As-

sistenzsystems) ein. Reagiert der Fahrer durch die Einleitung einer Bremsaktion, wird diese vom Assistenzsystem bemerkt und der Piepton nach einer veränderten Situationsdefinition seitens des Assistenzsystems ausgeschaltet. Von außen beobachtet wird nur das *Verhalten* eines Hybrid-Akteurs, der die Fahrzeuggeschwindigkeit an die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Fahrzeugs anpasst.

Dem Hybrid-Akteur wird eine Doppelfunktion zuteil: In Form einer Hybrid-Ebene wird er als zusätzliche Makro-Ebene von den menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren *innerhalb* des hybriden Systems wahrgenommen, *außerhalb* des hybriden Systems dagegen als Handlungsträger.

2.1.1 Human-Automation Collaboration Taxonomy

Die auf [Cummings u. Bruni \(2009\)](#) zurückgehende Human-Automation Collaboration Taxonomy (HACT) ist einer der wenigen Ansätze, die versuchen, die Funktionsverteilung zwischen Mensch und Maschine in hybriden Systemen zu beschreiben. Im Kern kommen Cummings und Bruni zu einer Charakterisierungsmöglichkeit von hybriden Systemen. Danach lässt sich das Verhältnis von Mensch und Automation in einem hybriden System beschreiben als 3-Tupel, das für die Rollen „Generator“, „Moderator“ und „Decider“ jeweils Grade der Automation enthält. Ein negativer Automationsgrad (aus menschlicher Sichtweise) bedeutet, dass sämtliche für diese Rolle relevanten Funktionen von der Automation übernommen worden sind und sich dem Einfluss des menschlichen Akteurs entziehen.

Der *Generator* ist zuständig für die Generierung von situationsadäquaten Handlungsalternativen. Auf Basis von Sensordaten, die vom Generator ausgewertet werden, werden Handlungsmöglichkeiten evaluiert und für die Situation passende Handlungsalternativen vorselektiert.

[Cummings u. Bruni \(2009\)](#) zufolge hält der *Moderator* den Entscheidungsprozess in Gang. Die Rolle des Moderators kann sich, ebenso wie die Rolle des Generators, von Automationsgraden dargestellt durch die Werte 2 bis -2 auf Akteur und Automation verteilen. Eine schlüssige Begründung für die Existenz und insbesondere für die Ermittlung der Funktionsverteilung geben die Autoren leider nicht an.

Der *Decider* ist schließlich für die Auswahl einer passenden Handlungsalternative zuständig. Dabei können sich die Funktionen der Evaluation und des Veto-Rechts auf menschlichen Akteur und Automation verteilen. Je nach Verteilungskonstellation können für diese Rolle wieder Automationslevel zwischen 2 und -2 ermittelt werden.

In klassischer Automationsliteratur, so konstatieren [Cummings u. Bruni \(2009\)](#), werden ausschließlich die Grade der Automation bzgl. der Entscheidung für eine Handlungsalternative berücksichtigt. Die Beschreibung von Automationsgraden innerhalb der drei Rollen Genera-

tor, Moderator und Decider liefern aus Sichtweise der Autoren eine differenziertere Sichtweise auf die Grade von Automation in hybriden Systemen.

Zusammenhang von HACT und HMSE

Im Kontext dieses Arbeitspapiers stellt sich die Frage, in wie weit das entwickelte hybride Modell soziologischer Erklärung (HMSE) mit der HACT von [Cummings u. Bruni \(2009\)](#) in Zusammenhang steht.

Zunächst ist festzustellen, dass Cummings und Bruni einen anderen Fokus einnehmen als das HMSE. Die HACT ist eine Systembeschreibung über die Verteilung von Funktionen innerhalb analytisch differenzierter Rollen. Die Beschreibung eines hybriden Systems durch ein 3-Tupel stellt kein Attributionsphänomen dar, sondern eine objektive Systemeigenschaft. Im Gegensatz dazu ist das HMSE ein Akteursmodell, oder aus Sichtweise der Maschine auch ein Aktantenmodell zur Beschreibung des Zusammenhandelns von Mensch und Maschine. Die Funktionsverteilung wird innerhalb des HMSE nicht thematisiert, weil sie aus Sichtweise des nicht-menschlichen Akteurs, zumindest auf Aktivitätenebene, ohnehin eindeutig ist. Durch die Annahme, dass Mensch und Maschine gemeinsame Ziele verfolgen und sich die Koordination des Zusammenhandelns aus der Selektion der Aktion mit dem größten subjektiven Nutzen für Mensch- bzw. Maschine ergibt, wird es möglich, Zuschreibungsprozesse zu beobachten. Für ein hybrides System, das sich gemäß des HMSE beschreiben lässt, kann die Abweichung von aktorsseitig zugeschriebenen Zielen und Eigenschaften verglichen werden mit der tatsächlichen Implementierung. Während also bei Cummings und Bruni das System und dessen Charakterisierung im Vordergrund steht, hat das HMSE zum Ziel, das Zusammenhandeln aus Akteurssichtweise zu beschreiben und Zuschreibungsprozesse beobachtbar zu machen.

Wird die HACT nicht als Konkurrenz zum HMSE aufgefasst, sondern als Verfeinerung, lassen sich die beiden Modelle in Teilen zusammenbringen. Der Generator kann die Handlungsalternativen generieren, die in die Kalkulation der SEU-Werte beim HMSE eingehen. Insbesondere liefert der Generator im Gegensatz zum HMSE und auch zum ursprünglichen MSE von Esser eine Beschreibung, auf welche Weise Handlungsalternativen überhaupt entstehen und vorselektiert werden. Ersetzen kann die HACT das HMSE als Handlungsmodell nicht, da das HMSE durch seinen teleologischen Aufbau und die analytische Trennung zwischen Handlungsalternativen, Zielen, Zielbewertungen und Erwartungen eine näher am menschlichen Akteur orientierte Beschreibungsmöglichkeit von Handeln in hybriden Systemen bietet.

2.2 Frame-Selektionstheorie

Das bisher vorgestellte hybride Modell soziologischer Erklärung (HMSE) kommt ohne die elaborierten Begrifflichkeiten der Frame-Selektionstheorie (FST) aus. Wie sich in Abschnitt 5 noch zeigen wird, reicht das bisher entwickelte Modell bereits aus, um Handeln innerhalb hybrider Akteurskonstellationen unter schwachen Randbedingungen zu *erklären*. Dieser Abschnitt wird zunächst eine kurze Einführung in die Frame-Selektionstheorie geben, die eine Weiterentwicklung der ursprünglichen Esser'schen Handlungstheorie darstellt, auf der das hybride Modell soziologischer Erklärung basiert. Im Anschluss wird untersucht, in welchen Aspekten sich FST und HMSE miteinander verknüpfen lassen. Dabei wird sich zeigen, dass die Frame-Selektions-Theorie zwar einen reichhaltigen Fundus zur differenzierten Beschreibung von Situationsdefinitionen liefert, dass insbesondere die neueren Debatten um die FST allerdings in eine andere Richtung weisen, die für die Ausdifferenzierung des HMSE nur von geringer Bedeutung sind.

2.2.1 Theorieentwicklung und Kritik

Die von Esser (2001, S. 259ff.) vorgestellte ursprüngliche Version der Frame-Selektionstheorie ist auf Grund von Inkonsistenzen und formaler Ungenauigkeiten stark in die Kritik geraten (vgl. z.B. Kron 2004; Etzrodt 2000; Rohwer 2003). Clemens Kroneberg (2005) hat die FST zu dem Modell der Frame-Selektion (MFS) weiterentwickelt und versucht damit, den aus seiner Sicht wesentlichen Kritikpunkten an der FST zu begegnen. Die folgenden Überlegungen rekurrieren auf die modifizierte Version der Frame-Selektionstheorie in der Lesweise von Kroneberg, der sich inzwischen auch Esser angeschlossen an (Kroneberg 2007, S. 217). Den jüngsten Beitrag zur Diskussion um die Frame-Selektions-Theorie lieferte Ingo Schulz-Schaeffer (2008), in dem er die Relevanz zweier unterschiedlicher Modi zur Situationsdefinition (reflexiv-kalkulierend vs. automatisch-spontan, vgl. dazu ausführlicher Abschnitt 2.2.2) in Frage stellt. Die Konzepte von Frames und Skripten innerhalb des Esser'schen Handlungsparadigmas ist keinesfalls neu, sondern wurde bereits in sehr frühen Arbeiten zum SEU-Modell eingeführt (vgl. Esser 1991). Später (vgl. Esser 2001) wurden die Konzepte verfeinert und der Versuch unternommen, sie schlüssig in das Gesamtmodell zu integrieren. Die folgenden Erläuterungen zu Frames, Skripten und Handlungen beziehen sich auf die zuletzt vorgelegte Fassung von Kroneberg (2005), der die bis dato geäußerte Kritik an der Esser'schen Frame-Selektions-Theorie (FST) mit seinem Modell der Frame-Selektion (MFS) weitgehend ausgeräumt hat.

2.2.2 Frame-, Skript- und Handlungsselektion

Tabelle 1 fasst wichtige Bezeichnungen der Frame-Selektionstheorie zusammen.

Innerhalb des MFS erfolgt die Handlungswahl in drei Selektionsschritten: Frame-Selektion, Skript-Selektion und Handlungsselektion. „Ein *Frame* ist eine mentale Repräsentation einer typischen Situation. Es enthält in typisierter Form die spezielle inhaltliche Definition der Situation, insbesondere aber das Oberziel, um das es in der betreffenden Situation geht. [...] Ein *Skript* beschreibt in ähnlicher Weise die typischen, am Code des Frames orientierten, inhaltlichen Abläufe und Verzweigungen für ganze Bündel und Sequenzen von Handlungen.“ (vgl. Esser 2001, S. 263)

Diesen beiden Selektionen vorgelagert ist jeweils eine Modusselektion (vgl. Kroneberg 2005, S. 350), bei der ein angemessener Modus der Informationsverarbeitung ausgewählt wird. Es wird unterschieden zwischen zwei Modi der Informationsverarbeitung (s. Esser 2001, S. 271ff.): dem *automatisch-spontanen* (as) Modus und dem *reflexiv-kalkulierenden* (rc) Modus. Da es sich bei der Modus-Selektion um psychologische Prozesse handelt, die „lediglich aus Gründen der Präzision mit Hilfe der Entscheidungstheorie formalisiert“ werden, wird diese nicht weiter betrachtet. Im Folgenden wird stattdessen vorausgesetzt, dass bereits ein Modus selektiert wurde. Für die drei Selektionsschritte Frame-, Skript- und Handlungs-Selektion werden dann getrennt nach Modi der Informationsverarbeitung (as-Modus vs. rc-Modus) die Selektionsgewichte angegeben (vgl. Tabelle 2).

F_i	Frame i	m_i	Match von F_i
a_i	Grad der mentale Verankerung von F_i	o_i	Vorliegen signifikanter Symbole für F_i
v_i	Mentale Verknüpfung F_i und Situation		
S_j	Skript j	a_j	Verfügbarkeit von S_j
$a_{j i}$	Zugänglichkeit von S_j innerhalb v. F_i	A_k	Handlung k
$a_{k j}$	Grad der Regelung v. A_k durch S_j	U_i	Nutzen von F_i
C_f	Kosten f. falsche Situationsdefinition	C	Reflexionskosten
U_{rc}	Nutzen f. Geltung v. Alternativframe in rc	p	Reflexionsopportunitäten

Tabelle 1: Notationen der Frame-Selektionstheorie

Entscheidend für die Wahl des Modus der Frame-Selektion ist der Match, „der Grad der unmittelbar erfahrenen Passung eines Frames zu einer aktuell vorliegenden Situation“ (Kroneberg 2005, S. 350f.). Der Match m_i eines Frames F_i ist definiert als:

$$m_i = a_i \cdot v_i \cdot o_i$$

Dabei bezeichnet $a_i \in [0, 1]$ den Grad der mentalen Verankerung des Frames i , $o_i \in [0, 1]$ den Grad des Vorliegens der für den Frame signifikanten Objekte in der aktuellen Situation und $v_i \in [0, 1]$ die Stärke der mentalen Verknüpfung zwischen den Objekten und dem Frame (vgl. Kroneberg 2005, S. 351).

Ohne Herleitung sei erwähnt, dass sich für die möglichen Modi der Informationsverarbeitung folgende SEU-Gewichte ergeben:

$$\begin{aligned} \text{SEU}(\text{as}) &= U_i m_i - (1 - m_i) C_f \\ \text{SEU}(\text{rc}) &= p(1 - m_i) U_{\text{rc}} + (1 - p)(1 - m_i)(-C_f) + m_i U_i - C \end{aligned}$$

Der Modus mit dem größten SEU-Gewicht wird gewählt und bestimmt die Art der Frame-, Skript bzw. Handlungs-Selektion.

Frame-Selektion

Je nach Modus ergeben sich für die Frame-Selektion unterschiedliche Selektionsgewichte (vgl. Tabelle 2). Erfolgt eine Reaktion im as-Modus, ist ausschließlich der Grad der Passung der Frames zur vorliegenden Situation entscheidend. Frames sind mental sofort zugänglich, entscheidend ist im as-Modus also m_i , der Match des Frames i . Im rc-Modus wird das Frame selegiert, das den subjektiven Erwartungsnutzen maximiert. Die Modellierung der Selektion im rc-Modus ist fallbezogen. Sie muss empirisch fundiert oder zumindest situationspezifisch gut begründet sein. Die situationspezifische Begründung entspricht der Formulierung vom Brückenhypothesen im „alten“ SEU-Modell (vgl. Esser 1991).

Skript-Selektion

Bei der Skript-Selektion ergeben sich, ebenso wie bei der Frame-Selektion, je nach Informationsverarbeitungsmodus unterschiedliche Selektionsgewichte (s. Tabelle 2). Die Skript-Selektion setzt voraus, dass bereits ein Frame F_i gewählt wurde. Im as-Modus bezeichnet dann $G(S_j|F_i)$ das Selektionsgewicht unter der Voraussetzung, dass F_i bereits selegiert wurde. Ein Skript S_j wird umso eher selektiert, je höher die mentale Verfügbarkeit a_j des Skripts ist, je stärker Skript und Frame miteinander verknüpft sind ($a_{j|i}$) und je eindeutiger das Frame selektiert wurde (m_i) (vgl. Kroneberg 2005, S. 351).

Die Skript-Selektion im rc-Modus kann erneut nur fallbezogen modelliert werden. Aufgabe des Forschers ist es, herauszufinden, welche Faktoren vom Akteur maßgeblich berücksichtigt werden, wenn er reflexiv-kalkulierend über die Auswahl des „besten“ Skripts reflektiert.

	as-Modus	rc-Modus
Frame-Selektion	m_i	$\text{SEU}(F_i)$
Skript-Selektion	$G(S_j F_i) = a_j \cdot a_{j i} \cdot m_i$	$\text{SEU}(S_j F_i)$
Handlungsselektion	$G(A_k S_j) = G(S_j F_i) \cdot a_{k j} = a_j \cdot a_{j i} \cdot m_i \cdot a_{k j}$	$\text{SEU}(A_j S_j)$

Tabelle 2: Selektionsgewichte für Frame-, Skript- und Handlungsselektion

Handlungs-Selektion

Der letzte Selektionsschritt umfasst die Auswahl einer passenden Handlung. Im Gegensatz zu einem Skript, das typischer ist als eine einzelne Handlung und auch ganze Handlungssequenzen beinhalten kann, beschreibt eine Handlung sehr konkret den von außen beobachtbaren Handlungsvollzug. Bei der Frame- und Skript-Selektion handelt es sich dagegen um mentale Vorgänge des Akteurs, die nicht unmittelbar beobachtbar sind.

Die Selektion einer Handlung A_k im as-Modus erfolgt umso eher, je genauer die Handlung A_k durch das Skript S_j vorstrukturiert ist. Der Grund dafür liegt darin, dass Skripte bereits mental im Akteur verankert sind und deswegen automatisch-spontan abgerufen werden können. Bei der Berechnung des Selektionsgewichts bezeichnet $a_{k|j}$ diesen Grad der Regelung der Handlung A_k durch das Skript S_j . Neben $a_{k|j}$ ist für das Selektionsgewicht der Handlung das Selektionsgewicht des Skripts j , also $G(S_j|F_i)$ entscheidend, da die Handlungsselektion voraussetzt, dass bereits ein Skript S_j ausgewählt wurde.

Zwischenfazit

Wie in der Einleitung zu diesem Abschnitt über die Frame-Selektions-Theorie bereits angedeutet, führt die Theorie in Bezug auf das HMSE nicht weiter. Insbesondere die neueren Diskussionen fokussieren sehr stark auf die feingranulare Analyse von z. T. sogar kognitiven Prozessen. Das HMSE hat hingegen vor allem die wechselseitige Wahrnehmung der Interaktionsebene von menschlichem und nicht-menschlichem im Blick. Dabei kommt es auf die Beeinflussung der Handlungsselektion an, bei der neben der Wahrnehmung der äußeren Bedingungen der Situation zusätzlich die gemeinsame Interaktionsebene, die Hybrid-Ebene, antizipiert wird.

3 Modellierung

Die Zielsetzung für die Entwicklung eines Simulationsszenarios besteht darin, das im vorherigen Abschnitt entwickelte HMSE einer empirischen Prüfung zu unterziehen und das Wechselspiel zwischen **H** und **NH** beobachtbar zu machen. Dabei wurde ein besonders einfaches Szenario gewählt (vgl. Abschnitt 3.1), das möglichst realitätsnah ist, für die Probanden nur einen geringen Einarbeitungsaufwand erfordert und bei dem es möglich ist, Grade der Autonomie bzw. Grade der Handlungsträgerschaft parametrisch variieren zu können.

Zur Planung der Simulation ist es erforderlich, ein möglichst genaues Simulationsmodell zu entwickeln, um eine spätere Reproduzierbarkeit der Simulationsergebnisse in anderen Simulationsumgebungen zu gewährleisten.

3.1 Agententypen und ihre Umgebung

Die abstrahierte Simulation ist bzgl. ihrer Idee an Fahrerassistenzsysteme angelehnt. Bei den in der Simulation vorkommenden Agenten handelt es sich um *Fahrer*. Es existieren zwei unterschiedliche Typen von Fahrern: ein intelligenter und mehrere erratische. Die Fähigkeiten der unterschiedlichen Fahrer werden noch näher spezifiziert.

Die Fahrer befinden sich in Fahrzeugen einheitlicher quadratischer Größe. Die Fahrzeuge bewegen sich auf einem horizontal und vertikal torusförmigen Spielfeld, d. h. die Fahrzeuge, die an einem Rand das Spielfeld verlassen, erscheinen auf dem gegenüberliegenden Rand erneut. Das Spielfeld ist in einzelne Zellen aufgeteilt, in denen sich Fahrzeuge aufhalten können. Fahrzeugbewegungen können nur von Zelle zu Zelle erfolgen.

Erratische Fahrer

Die erratischen Fahrer irren auf dem Spielfeld umher und dienen lediglich als Hindernis für den intelligenten Fahrer. Zu zufälligen Zeitpunkten ändern sie ihre Bewegungsrichtung und passen dabei ihre Geschwindigkeit an die aktuell gültige Höchstgeschwindigkeit an.

Intelligenter Fahrer

Mit dem Begriff des *intelligenten* Fahrers ist kein Fahrer mit hoher Intelligenz im allgemeinen Sinne zu verstehen, sondern ein Fahrer mit einem gewissen, auf die spezielle Fahraufgabe zugeschnittenen, Maß an Geschicklichkeit und Findigkeit. Er kann seine Umwelt wahrnehmen, eine Situation für sich definieren und auf Basis der Situationsdefinition eine subjektiv angemessene Entscheidung treffen.

Gemäß der theoretischen Grundlegung eines hybriden Modells soziologischer Erklärung (vgl. Abschnitt 2) ist der intelligente Fahrer als Hybrid-Akteur aufzufassen, dessen Verhalten als „intelligentes“ Zusammenhandeln eines menschlichen und eines nicht-menschlichen Akteurs beobachtbar ist.

Im ersten Schritt der Modellbildung erfolgt die Entwicklung eines SEU-Modells ohne Berücksichtigung von Handlungsverteilung. Im zweiten Schritt erfolgt die Handlungsverteilung auf einen menschlichen Akteur, den Fahrer, und einen nicht-menschlichen Akteur, das Fahrerassistenzsystem. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass beide Akteure die gleichen Ziele verfolgen. Ob diese Annahme berechtigt ist, wird anhand von Einschätzungen des menschlichen Akteurs über den nicht-menschlichen Mithandlungsträger untersucht werden.

3.2 Beschreibung der Fahraufgabe

Wie bereits in Abschnitt 3.1 beschrieben, bewegen sich die unterschiedlichen Fahrer auf einem torusförmigen¹ Spielfeld. Die Startpositionen der Fahrer werden zufällig gewählt.

Der intelligente Fahrer erhält Punkte, wenn er eine Runde auf dem Spielfeld zurückgelegt hat. Eine Runde gilt als zurückgelegt, wenn der obere Spielfeldrand überschritten wird. Auch wenn der intelligente Fahrer das Spiel nicht am unteren Rand beginnt, zählt die Überfahung des oberen Randes als erste Runde. Der intelligente Fahrer bekommt Punkte abgezogen, wenn er mit einem anderen Fahrzeug zusammenstößt oder wenn er bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung erwischt wird. Die möglichen Geschwindigkeiten liegen im Bereich von 1-5. Im Verlauf des Spiels werden Geschwindigkeitsbegrenzungen angezeigt, deren Einhaltung während des Spiels in unregelmäßigen Abständen kontrolliert wird.

Die Fahrzeuge können sich in drei Richtungen bewegen: nach links, nach rechts und geradeaus. Die Bewegungsrichtung geradeaus ist dabei als Bewegung von unten nach oben aufzufassen. Wird oben, links und rechts als Himmelsrichtungen definiert, können sich die Fahrzeuge also ausschließlich in Richtung N, NW und NO bewegen. Bewegt sich das Fahrzeug ausschließlich in Richtung N, geht die Fahrzeuggeschwindigkeit vollständig in die vertikale Positionsveränderung ein. Erfolgt eine Bewegung in Richtung NW oder NO, verändert

¹Ein torusförmiges Spielfeld hat zur Konsequenz, dass Fahrzeuge, die sich am oberen Rand des Spielfeldes befinden bei Überfahung des Randes wieder am unteren Ende auftauchen.

das Fahrzeug sowohl seine vertikale als auch seine horizontale Position. Die Veränderung je Richtung ist um den Faktor 0.7 geringer² als bei ausschließlich vertikaler Bewegungsrichtung N.

Das Spiel wird mit Hilfe einer ereignisdiskreten Simulation umgesetzt. Der eigentlich kontinuierliche Fahrvorgang muss aus diesem Grund *diskretisiert* werden. Einem Fahrzeug auf einem Spielfeld der Größe $n \times m$ ist eindeutig einer Position $(x, y) \in n \times m$ zuordbar. Die Bewegungsrichtung eines Fahrzeugs kann mit Hilfe von Koordinatenänderungen $(\Delta x, \Delta y) \in \{1, 0, -1\} \times \{1\}$ beschrieben werden. Dabei gelten folgende Entsprechungen: $(0, 1) \triangleq N$, $(1, 1) \triangleq NO$, $(-1, 1) \triangleq NW$. Mit diesen Notationen können die neuen Koordinaten (x', y') eines Fahrzeugs, das sich bei (x, y) befindet und sich mit der Geschwindigkeit $v \in \{1, 2, \dots, 5\}$ bewegt, wie folgt berechnet werden:

$$(x', y') = \begin{cases} (x, y + \Delta y \cdot v) & \text{für } \Delta x = 0 \\ (x + 0.7 \cdot \Delta x \cdot v, y + 0.7 \cdot \Delta y \cdot v) & \text{für } \Delta x \neq 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

Soll zusätzlich berücksichtigt werden, dass ein Fahrzeug bei Überführung des oberen Randes oder der seitlichen Ränder an dem gegenüberliegenden Rand erneut erscheint, muss das neu berechnete Koordinatenpaar modulo der Spielfeldgröße reduziert werden³.

3.3 SEU-Modell für den intelligenten Fahrer

Die Spezifizierung des SEU-Modells für den intelligenten Fahrer legt die in Abschnitt 2 entwickelte Erweiterung des Esser'schen Modells soziologischer Erklärung zugrunde. Nach dem dort entwickelten Modell ist es erforderlich, innerhalb des Systems Aktionen zu identifizieren. Eine Aktion ist dabei keine über einen längeren Zeitraum andauernde Handlung, sondern ein kurzfristiger Vorgang, mit dem der Systemzustand verändert wird. Die SEU-Theorie wird dabei nicht wie gewöhnlich auf größere Handlungen angewendet, sondern auf einzelne Aktionen, die sich zwischen menschlichem Fahrer und Assistenzsystem verteilen. Der Hybrid-Akteur tritt auf einer Zwischenebene (Meso-Ebene) in Form von beobachtbarem Fahrverhalten in Erscheinung.

²Der Faktor 0.7 folgt aus der Tatsache, dass sich die Geschwindigkeit v immer auf die Bewegungsrichtung des *Fahrzeugs* bezieht. Bei Bewegungsrichtung NW oder NO bewegt sich das Fahrzeug mit 45° Abweichung in Bezug auf die Nordrichtung. Aus $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ \approx 0.7$ folgt der Faktor 0.7 für die vertikale bzw. horizontale Geschwindigkeit.

³Hat das Spielfeld z. B. eine Größe von 400×400 und betragen die nach Gleichung 3.1 berechneten neuen Positionen $(403, 405)$, befinden sich die Fahrzeuge tatsächlich bei $(403 \bmod 400, 405 \bmod 400) = (3, 5)$

Das entwickelte SEU-Modell, das später in Form einer Computersimulation mit Interaktionsmöglichkeiten implementiert wird, geht von zwei Annahmen aus:

1. Das Fahrerassistenzsystem (FAS) und der menschliche Fahrer haben die identische Sichtweise auf die zur Verfügung stehenden Aktionen.
2. Die Aktionspriorisierung und Zuständigkeitsverteilung ist aus Sicht des FAS klar festgelegt.

Die identische Sichtweise auf die zur Verfügung stehenden Aktionen ist erforderlich, um das hybride System in Form einer Computersimulation zu implementieren und unterschiedliche Grade der Handlungsträgerschaft sowie unterschiedliche Arten der Handlungsverteilung computergestützt zu untersuchen. Die zweite Annahme kann durch entsprechende Einstellungen innerhalb des Simulationssystems umgesetzt werden.

Unter Gültigkeit dieser Annahmen ist es möglich, ein SEU-Modell für einen hypothetischen Fahrer zu entwickeln. Ohne Hinzutreten eines menschlichen Akteurs könnte dieser hypothetische, nicht-menschliche Fahrer das Fahrzeug vollautomatisch steuern. Tritt ein menschlicher Fahrer hinzu, verteilen sich die Aktionen zwischen FAS und menschlichem Fahrer. Das FAS arbeitet weiterhin das SEU-Modell ab, führt die Aktion aber nur aus, wenn es für die Aktion mit dem höchsten SEU-Wert selbst zuständig ist.

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Bestandteile des SEU-Modells entwickelt. Für ein vollständiges SEU-Modell ist eine Angabe von Handlungsalternativen A , Zielen O und ihren zugehörigen Bewertungen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit sowie Angaben über die subjektiven Erwartungen $p_{i,j}$, dass eine Handlung a_i zur Verfolgung eines Ziels o_j führt, notwendig. Gemäß der Regel der subjektiven Nutzenmaximierung wird die Aktion mit dem höchsten SEU-Wert ausgeführt.

Aktionen

Bei der zu erfüllenden Aufgabe innerhalb des hybriden Systems handelt es sich um eine Steuerungsaufgabe. Es sind folgende Aktionen möglich:

- Auslenkung nach links – **L**
- Auslenkung nach rechts – **R**
- Keine Auslenkung – **Geradeaus**
- Geschwindigkeit erhöhen – **G+**
- Geschwindigkeit verringern – **G-**

$$A = \{L, R, G, G+, G-\}$$

Ziele und Bewertungen

Die Ziele der am Spiel beteiligten Akteure sind durch die Spielregeln vorgegeben. Es sind folgende Ziele zu verfolgen:

- Crashes vermeiden – **Cr**
- Geschwindigkeit einhalten – **Gw**
- Runden machen – **Rnd**

$$O = \{Cr, Gw, Rnd\}$$

Die Bewertungen der Ziele richten sich nach deren Relevanz aus subjektiver Akteurssicht. Es wird dabei unterstellt, dass die Crashvermeidung (u_{Cr}) als wichtigstes Ziel angesehen wird, gefolgt von der Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung (u_{Gw}) und schließlich von dem Ziel Runden zu machen (u_{Rnd}). Da im Rahmen dieser Arbeit keine umfangreichen Vorstudien hinsichtlich der Zielbewertungen eines typischen Akteurs durchgeführt werden können, wird folgende Annahme getroffen:

$$u_{Cr} > u_{Gw} > u_{Rnd}$$

Ziel	Bewertung
Crashes vermeiden	3
Geschwindigkeitsbegrenzung einhalten	2
Runden machen	1

Tabelle 3: Bewertete Ziele für SEU-Modell

Erwartungen

Die Erwartungen $p_{i,j}$ modellieren die Vorstellungen eines Akteurs, inwieweit eine durchzuführende Aktion a_i zur Realisierung eines zu verfolgenden Ziels o_j führt. Durch Analyse des Sachverhalts lassen sich erwartete Wahrscheinlichkeiten für jedes beliebige Paar von Aktionen und Zielen plausibel machen.

Wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, bewegt sich das Fahrzeug auf einem quadratischen, in Zellen unterteilten Feld. Eine Bewegung kann nur von Zelle zu Zelle stattfinden. Eine Position zwischen den Zellen ist nicht zugelassen. Die durchzuführenden Aktionen, insbesondere jene zur Crashvermeidung, hängen stark damit zusammen, in welcher Position, relativ zum eigenen Fahrzeug, sich andere Fahrzeuge befinden. Diese Beobachtung legt eine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Quadranten relativ zum eigenen Fahrzeug nahe (s. Abbildung 2).

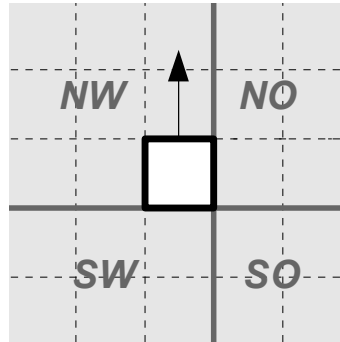


Abbildung 2: Zum eigenen Fahrzeug (mittleres Feld) benachbarte Felder lassen sich in Quadranten unterteilen. Zur Definition der Erwartungen innerhalb des SEU-Modell wird eine Unterteilung in 4 Quadranten *NW*, *NO*, *SO*, *SW* vorgenommen. Der \uparrow symbolisiert die Bewegungsrichtung des Fahrzeugs.

Zur kompakteren Schreibweise werden noch einige Notationen eingeführt:

$Q = \{NW, SW, NO, SO\}$ bezeichnet die Menge der Quadranten aus Sicht des eigenen Fahrzeugs. Auf Basis dieser Menge kann eine boolesche Variable definiert werden, die angibt, ob sich in einem Quadranten ein anderes Fahrzeug befindet:

$$b_i = \begin{cases} true & \text{im Quadranten } i \text{ befindet sich ein Fahrzeug} \\ false & \text{sonst} \end{cases}$$

mit $i \in Q$.

Aktion Links: Für die Aktion **L** muss für jedes Ziel definiert werden, mit welcher geschätzten Wahrscheinlichkeit der Vollzug der Aktion zur Realisierung der drei verschiedenen Ziele führt. Wie sehr eine Lenkaktion nach links zur Realisierung des Ziels **Cr** führt, hängt davon ab, in welchem Quadranten sich andere Fahrzeuge befinden. Befindet sich aus Sicht des eigenen Fahrzeugs in den Quadranten *NO* oder *SO* ein anderes Fahrzeug, hilft eine Lenkaktion nach links, um eine Kollision zu verhindern. Im Fall von Fahrzeugen im Quadranten *NW* oder *SW*

würde eine Lenkaktion nach links die Situation noch verschärfen. Formal ausgedrückt:

$$p_{L,Cr} = \begin{cases} 0.9 & \text{für } b_{NO}, b_{SO} \\ 0.1 & \text{für } b_{NW}, b_{SW} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$$

Ein Wert von 0.5 bedeutet, dass keine Aussage darüber gemacht werden kann, ob die Aktion eher zur Verfolgung des betrachteten Ziels führt oder nicht. Ein Wert von 1 bedeutet, dass die Aktion *sicher* zum betrachteten Ziel führt, 0, dass sie sicher nicht zum betrachteten Ziel führt. Werte, die von 0.5 abweichen, müssen begründbar sein. Im Falle der Erwartungen für die Lenkaktion nach links haben Simulationsläufe gezeigt, dass bei Fahrzeugen im Quadranten *NO* oder *SO* in etwa 90 % der betrachteten Fälle ein Zusammenstoß vermieden wird.

Für das Ziel **Geschwindigkeitsbegrenzung einhalten** ist eine Lenkaktion nach links weder förderlich noch schädlich. Für das Ziel **Runden machen** ist eine Auslenkung nach links nicht förderlich, weil eine schräge Fahrt die Horizontalgeschwindigkeit um etwa 70 % verringert. Aus den Überlegungen ergeben sich folgende Werte für die Erwartungen:

$$p_{L,Gw} = 0.5 \quad p_{L,Rnd} = 0.25$$

Für eine Lenkaktion nach rechts werden die Werte für die Erwartungen analog definiert.

Aktion Geradeaus: Befindet sich vor dem eigenen Fahrzeug ein anderes Fahrzeug *und* fährt dieses Fahrzeug langsamer als das eigene Fahrzeug, besteht die Gefahr, dass auf das andere Fahrzeug aufgefahren wird. Eine Lenkaktion, die das eigene Fahrzeug geradeaus fahren läßt, trägt in diesen Fällen also negativ zur Verfolgung des Ziels der Crashvermeidung bei:

$$p_{G,Cr} = \begin{cases} 0.3 & \text{für } b_{NO} \wedge v_{NO} < v_{self} \\ 0.3 & \text{für } b_{NW} \wedge v_{NW} < v_{self} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$$

Eine Geradeausfahrt hat keinen Effekt auf die Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung, sie trägt aber positiv zum Ziel des Rundenmachens bei, da eine gerade Fahrt eine höhere Vertikalgeschwindigkeit aufweist als eine Fahrt nach links oder rechts:

$$p_{G,Gw} = 0.5 \quad p_{G,Rnd} = 0.75$$

Aktion Geschwindigkeit erhöhen: Zum Ziel Crashvermeidung kann eine Erhöhung der Geschwindigkeit beitragen, wenn das eigene Fahrzeug vor einem sich aus Richtung Süd nähernden Fahrzeug wegfahren möchte. Befindet sich ein anderes Fahrzeug nördlich des eigenen Fahrzeugs, verschlechtert eine Geschwindigkeitserhöhung die Realisierung der Crashvermeidung:

$$p_{G+,Crash} = \begin{cases} 0.75 & \text{für } b_{SW}, b_{SO} \\ 0.25 & \text{für } b_{NW}, b_{NO} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$$

Wenn die eigene Geschwindigkeit (v_{self}) größer oder gleich der maximal zulässigen Geschwindigkeit v_{limit} ist, führt eine Erhöhung der Geschwindigkeit mit *sicherer* Erwartung nicht zum Ziel der Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung:

$$p_{G+,Gw} = \begin{cases} 1 & \text{für } v_{self} < v_{limit} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Sofern eine Erhöhung der Geschwindigkeit noch möglich ist, trägt eine Erhöhung der Geschwindigkeit mit *sicherer* Erwartung zur Verfolgung des Ziels Runden zu machen bei, also $p_{G+,Rnd} = 1$.

Analog ergeben sich geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeiten für die weiteren Aktionen. Tabelle 4 fasst sämtliche Bewertungen zusammen.

Tabelle 4: Bewertete Ziele für SEU-Modell

Aktion	Ziel	Erwartung
<i>Links</i>	Crashvermeidung	$\begin{cases} 0.9 & \text{für } b_{NO}, b_{SO} \\ 0.1 & \text{für } b_{NW}, b_{SW} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Geschwindigkeit einhalten	0.5
	Runden machen	0.25
<i>Rechts</i>	Crashvermeidung	$\begin{cases} 0.1 & \text{für } b_{NO}, b_{SO} \\ 0.9 & \text{für } b_{NW}, b_{SW} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Geschwindigkeit einhalten	0.5

Weiter auf der nächsten Seite

Aktion	Ziel	Erwartung
	Runden machen	0.25
<i>Geradeaus</i>	Crashvermeidung	$\begin{cases} 0.3 & \text{für } b_{NO} \wedge v_{NO} < v_{self} \\ 0.3 & \text{für } b_{NW} \wedge v_{NW} < v_{self} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Geschwindigkeit einhalten	0.5
	Runden machen	0.75
<i>Geschwindigkeit erhöhen</i>	Crashvermeidung	$\begin{cases} 0.75 & \text{für } b_{SW}, b_{SO} \\ 0.25 & \text{für } b_{NW}, b_{NO} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Geschwindigkeit einhalten	$\begin{cases} 1 & \text{für } v_{self} < v_{limit} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$
	Runden machen	1
<i>Geschwindigkeit verringern</i>	Crashvermeidung	$\begin{cases} 0.25 & \text{für } b_{SW}, b_{SO} \\ 0.75 & \text{für } b_{NW}, b_{NO} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Geschwindigkeit+	$\begin{cases} 1 & \text{für } v_{self} > v_{limit} \\ 0.5 & \text{sonst} \end{cases}$
	Runden machen	0

4 Experimente

Im vorherigen Kapitel wurde der Entwicklungsprozess beschrieben, der schließlich zu dem interaktiven Simulationssystem SIMHYBS führte. In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Experimente mit Hilfe von SIMHYBS durchgeführt wurden und wie unterschiedliche Auswertungstechniken zur Untersuchung hybrider Akteurskonstellationen eingesetzt wurden.

In Abschnitt 4.1 geht es zunächst um die Planung und Durchführung der Experimente. In Abschnitt 4.3.2 werden die Experimente anhand der erhobenen Daten und ausgefüllten Fragebögen ausgewertet.

Zunächst wird beschrieben, welche Ideen bei der Planung der Experimente eingegangen sind und welche Einschränkungen hinsichtlich des Experimentumfangs getroffen wurden. Im darauffolgenden Abschnitt wird die praktische Durchführung der Experimente beschrieben.

4.1 Planung der Experimente

Zur genaueren Planung ist es zunächst erforderlich, die mit den durchzuführenden Experimenten verbundene Zielsetzung in Erinnerung zu rufen: Mit der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Simulations- und Experimentierumgebung, SIMHYBS wurde ein Hilfsmittel entwickelt, mit dem es möglich ist, hybride Akteurskonstellationen zu erzeugen und zu variieren. Zwar unterstützt die entwickelte Software einen vollautomatischen Modus, dieser ist jedoch kein adäquates Hilfsmittel, um hybride Akteurskonstellationen direkt zu untersuchen, weil bisher keine ausreichend formalisierte Theorie hybrider Systeme existiert, die für eine vollständig computerbasierte Simulation erforderlich wäre. Das in Abschnitt 2 entwickelte hybride Modell soziologischer Erklärung bildet die Grundlage für das Verständnis der Aktivitätsverteilung auf Mensch und Technik und ist für das Experiment-Design von großer Bedeutung.

Das entwickelte System SIMHYBS ist als interaktive Simulation konzipiert, mit der menschliche Probanden interagieren können.

Die Nutzung des Systems SIMHYBS innerhalb dieser Arbeit erfolgt zur computergestützten Exploration für das Forschungsfeld hybrider Akteurskonstellationen (für die Methodik der Exploration vgl. Bortz u. Döring 2002, S. 355ff.). Aus Zeitgründen ist die Zahl der Probanden relativ klein gewählt ($N = 31$). Die Folge ist, dass die Ergebnisse aus den Experimenten nicht überbewertet werden dürfen. Die Formulierung statistisch fundierter Kausalzusammenhänge

ist bei dem gewählten Untersuchungsumfang nicht zu erwarten. Die wesentlichen Ziele der Durchführung von Experimenten mit Probanden sind:

1. Demonstration der Tauglichkeit des in Abschnitt 2 entwickelten Modells zur Untersuchung von Handlungsverteilung innerhalb hybrider Systeme
2. Demonstration der Anwendbarkeit des Systems SIMHYBS zur Unterstützung eines explorativen Forschungsprozesses
3. Formulierung von Ideen und soziologisch wichtig erscheinenden Faktoren zur Analyse hybrider Akteurskonstellationen
4. Entwicklung von Untersuchungsmethoden und Experiment-Designs, die Attributionsphänomene in hybriden Systemen beobachtbar machen

Die Anwendbarkeit von SIMHYBS ist dabei nicht eingeschränkt auf rein explorative Fragestellungen: Werden im Rahmen dieser Arbeit einige wichtige Aspekte identifiziert, können diese in einer umfangreicheren Untersuchung genauer betrachtet werden.

Experiment-Setups

Wie in Abschnitt 3.3, in dem das Simulationsmodell für den intelligenten Fahrer innerhalb von SIMHYBS beschrieben wurde, bemerkt wurde, ist es möglich, die im System möglichen Aktivitäten auf die beteiligten Akteure, also auf das FAS und den menschlichen Probanden, zu verteilen. Für die durchzuführenden Experimente werden vier verschiedene Handlungsverteilungen eingestellt: FAS-STEERING, FAS-SPEED, MANUAL und FULL-AUTO (vgl. Tabelle 5 auf Seite 29).

FAS-STEERING	–	Das Assistenzsystem übernimmt die Aktionen Links, Rechts und Geradeaus.
FAS-SPEED	–	Das Assistenzsystem übernimmt die Erhöhung und Verringerung der Geschwindigkeit.
MANUAL	–	Das Assistenzsystem greift nicht aktiv ein, sondern warnt lediglich durch ein rot gefärbtes Cockpit bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung.
FULL-AUTO	–	Das Assistenzsystem übernimmt alle Aktionen selbst, der Proband hat aber die Möglichkeit einzugreifen, damit die Aktionsübernahme durch das Assistenzsystems für einige Zeit außer Kraft zu setzen und die Aktionen selbst zu übernehmen.

Tabelle 5: Einstellbare Modi der Handlungsverteilung

Pilotläufe, die vor den eigentlichen Experimenten mit den Probanden durchgeführt wurden, haben ergeben, dass die Steuerung des eigenen Autos anfänglich Probleme bereitet. Um diese Probleme bei den tatsächlichen Versuchsläufen zu mindern, wurde eine spezielle Reihenfolge der o. a. Modi festgelegt. Der Modus FAS-STEERING, in dem das FAS die Lenkaktionen übernimmt, wird zuerst eingestellt. Darauf folgt der Modus FAS-SPEED und erst im dritten Experiment wird der vollständig manuelle Modus eingestellt. Diese Reihenfolge wird dann ein zweites Mal durchlaufen, allerdings mit anderen Saatwerten des Zufallsgenerators, so dass sich ein anderes Verhalten der anderen Fahrzeuge und der Fahrumgebung ergibt. Zum Abschluss erfolgt ein Experiment im vollständig automatischen Modus. Die genaue Durchführung der Experimente und die Nutzung von Fragebögen und persönlichen Interviews sind im folgenden Abschnitt 4.2 dargestellt.

Auswahl der Probanden

Die Durchführung der Experimente erfolgte in zwei Schritten. Im ersten Schritt führte [Fink \(2008\)](#) im Rahmen seiner Diplomarbeit Experimente mit 12 Probanden durch. Im zweiten Schritt wurden diese Experimente ergänzt durch weitere 19 Probanden, die hauptsächlich dem wissenschaftlich-universitären Umfeld entstammten. Bei der Auswahl wurde darauf geachtet, dass die Probanden weder besonders IT-affin waren, noch soziologisches Hintergrundwissen über hybride Systeme besaßen. Das Alter der Probanden, von denen 14 weiblich und 17 männlich waren, lag zum Zeitpunkt der Durchführung der Experimente zwischen 23 und 60 Jahren.

Konzipierung der Fragebögen

Es wurden drei unterschiedliche Fragebögen konzipiert: Erstens ein Fragebogen, der nach *jedem* Experiment mit verteilten Aktivitäten von den Probanden ausgefüllt wurde, zweitens ein Gesamtfragebogen, der nach Durchführung aller Experimente (bis auf das Experiment im vollautomatischen Modus) ausgefüllt wurde und drittens ein Fragebogen, der sich ausschließlich auf den vollautomatischen Modus bezog und auf spezielle Gegebenheiten dieses Modus einging.

Mit dem Fragebogen, der nach jedem Experiment ausgefüllt wurde, wurden insbesondere Einschätzungen der Probanden hinsichtlich der Funktionsweise und Qualität des FAS abgefragt. Die Probanden sollten zudem ihren eigenen Beitrag einschätzen, mit dem sie zur Verfolgung der vorgegebenen Spielziele beigetragen haben. Fragen hinsichtlich der Einschätzung des FAS und seiner Ziele entsprechen einer soziologischen Beobachtung zweiter Ordnung. Dabei wurden die Probanden nicht direkt nach ihren eigenen Beweggründen gefragt, sondern wurden befragt, wie sie die Beweggründe des FAS einschätzen.

Der Gesamtfragebogen war sehr knapp gehalten und fragte Eigeneinschätzungen der Probanden ab. Diese Eigeneinschätzungen konnten dann in Bezug gesetzt werden zu den während der Simulationsläufe erhobenen Daten.

Folgende Daten zum jeweils laufenden Experiment wurden im Hintergrund aufgezeichnet:

- Erzielte Punktzahl
- Gefahrene Runden
- Anzahl und Zeitpunkt stattgefundenener Crashes
- Anzahl geahндeter Geschwindigkeitsüberschreitungen
- Tastaturanschläge ➡ Wann wurde welche Taste gedrückt?

Der Fragebogen zum automatischen Modus fragte nach der Einschätzung der Probanden hinsichtlich der korrekten Funktionsfähigkeit des FAS. Zusätzlich enthielt der Fragebogen Fragen, mit denen herausgefunden werden sollte, ob die Probanden im vollautomatischen Modus einen Kontrollverlust empfinden und deswegen aktiv eingegriffen haben. Die zu diesem Fragebogen getätigten Angaben konnten in Beziehung gesetzt werden zu den während der Simulation aufgezeichneten Daten, anhand derer z. B. abgelesen werden konnte, wie oft die Probanden tatsächlich eingriffen.

Diese Art der Probandenbefragung wird als *schriftliche Befragung* bezeichnet und ist laut [Bortz u. Döring \(2002, S. 253ff.\)](#) eine besonders kostengünstige Art der Probandenbefragung. Die Befragungsart habe jedoch den Nachteil, dass die Erhebungssituation nicht kontrollierbar sei (ebd.). Dem Einwand wurde in der hier durchgeführten Untersuchung dadurch begegnet, dass zusätzlich zu den Fragebögen ein Interview geführt wurde, der Versuchsleiter während der Experiment- und Befragungssituation anwesend war und so für eine einheitliche Erhebungssituation sorgte. Das Interview war offen und bezog sich z. T. auf spontane Reaktionen der Probanden während der Versuchsläufe und die auf dem Fragebogen gegebenen Antworten. Durch die Kombination der schriftlichen Befragung mit einem persönlichen Interview¹ wurde die Zielsetzung verfolgt, trotz der relativ geringen Probandenzahl möglichst umfangreiche Informationen zu erhalten. Der explorative Charakter der Untersuchung wurde durch das offene Interview zusätzlich unterstützt, da mit diesem Mittel spontane Reaktionen hervorgerufen werden konnten und dadurch neue, impulsgebende Sachverhalte entdeckt werden konnten.

4.2 Durchführung der Experimente

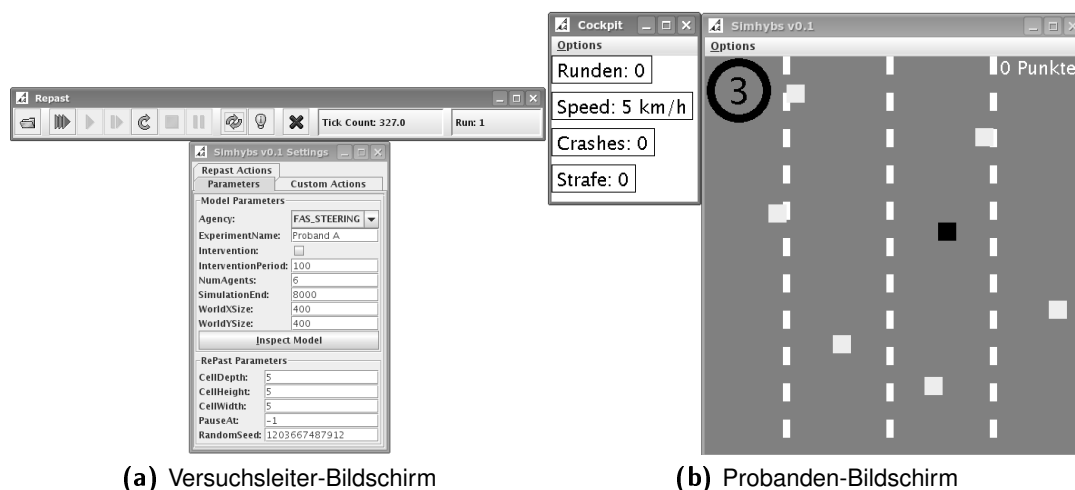
Bei der Durchführung der Experimente wurde auf einheitliche Rahmenbedingungen geachtet. Der Versuchsleiter teilte jedem Probanden die selben Informationen hinsichtlich der durch-

¹Für die verschiedenen Interviewarten vgl. [Bortz u. Döring \(2002, S. 237ff.\)](#)

zuführenden Experimente mit. Der wissenschaftliche Hintergrund der Experimente sowie der informationssuchende Charakter der anschließenden persönlichen Interviews wurde besonders betont.

Auf eine Tonbandaufzeichnung der Interviews oder Reaktionen der Probanden während der Versuchsläufe wurde auf Wunsch der Probanden verzichtet. Der Versuchsleiter notierte spontane Bemerkungen der Probanden und fragte ggf. nach Ablauf eines Experiments gezielt nach diesen Bemerkungen.

Die Experimente wurden mit zwei Bildschirmen durchgeführt (s. Abbildung 3), um den Probanden eine hohe Konzentration auf ihre Fahraufgabe zu ermöglichen. Die Einstellungen zu den jeweiligen Experiment-Durchläufen nahm der Versuchsleiter an einem separaten, von den Probanden nicht einsehbaren, Bildschirm vor (Abbildung 3a). Die Probanden steuerten auf einem eigenen Bildschirm (Abbildung 3b) ihr Fahrzeug (schwarz dargestellt).



(a) Versuchsleiter-Bildschirm

(b) Probanden-Bildschirm

Abbildung 3: SIMHYBS-Screenshot - Bei der Durchführung der Experimente werden zwei Bildschirme verwendet, damit sich der Proband voll auf die durch ihn und das Assistenzsystem zu erfüllende Fahraufgabe konzentrieren kann.

Pro Proband wurden sieben Experimente durchgeführt. Als Erstes fuhren die Probanden im Modus² FAS-STEERING. Danach fuhren sie im Modus FAS-SPEED. Nach jedem dieser Experimente erhielten die Probanden einen Fragebogen. Als Drittes wurde eine Fahrt im Modus MANUAL durchgeführt, bei der am Ende kein Fragebogen ausgeteilt wurde. Diese Experimentreihenfolge wurde dann nochmals wiederholt, sodass zu insgesamt sechs Experimenten vier Fragebögen ausgefüllt wurden. Nach Ablauf dieser Experimente wurde ein Gesamtfragebogen von den Probanden ausgefüllt. Die Experimentserie endete mit einer siebten Fahrt im Modus FULL-AUTO, zu der noch ein spezieller Fragebogen zum automatischen Modus

²Für Erklärungen zu den unterschiedlichen Modi s. Tabelle 5

ausgefüllt wurde. Vor dem Start dieses Modus wurde den Probanden mitgeteilt, dass sie die Möglichkeit haben *aktiv* einzugreifen, sofern sie den Eindruck haben, das *FAS* agiere nicht optimal.

Ein Durchlauf mit sieben Experimenten pro Proband dauerte etwa 45 Minuten. In diesen 45 Minuten wurden von den Probanden Fragebögen ausgefüllt und Interviews geführt, die sich auf die vom Versuchsleiter während der Experimente durchgeführten Beobachtungen und persönliche Eindrücke der Probanden bezogen.

Experiment-Einstellungen

Folgende Einstellungen wurden für alle Experimente gleich gewählt:

- Spielfeldgröße: 400 x 400 Zellen
- Anzahl (erratischer) Fahrer: 6
- Simulationszeit: 8000 Ticks

In den Modi *FAS-SPEED*, *FAS-STEERING* und *MANUAL* wurde zudem die Eingriffsmöglichkeit³ ausgestellt. Nur im Modus *FULL-AUTO* war die Eingriffsmöglichkeit eingeschaltet, mit einer Eingriffsdauer von 100 Ticks.

Das Verhalten der sechs erratischen Fahrer wurde durch einen Zufallsgenerator beeinflusst. Das Gleiche gilt für die Zeitpunkte der Geschwindigkeitskontrollen sowie für die Zeitpunkte der Veränderung der Höchstgeschwindigkeit. Sollen verschiedene Leistungsgrößen zwischen zwei Probanden verglichen werden, bereitet diese Zufälligkeit Schwierigkeiten. Es wurden deswegen feste Saatwerte (engl. *seed*) für den Zufallsgenerator festgelegt, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen. Für die Experimente eins bis drei wurde der Saatwert 1593, für die Experimente vier bis sechs der Wert 2873 und für das letzte Experiment im vollautomatischen Modus der Saatwert 1466 gewählt. Durch die Einstellung gleicher Saatwerte verhielten sich die erratischen Fahrer prinzipiell gleich. Einschränkend ist jedoch zu sagen, dass sich aufgrund des unterschiedlichen Fahrverhaltens der Probanden völlig unterschiedliche Fahrtrajektorien aus Probandensicht ergeben haben.

4.3 Auswertung der Experimente

Die Auswertung der durchgeführten Experimente erfordert die Berücksichtigung von drei unterschiedlichen Datenquellen. Während der Experimente wurden zahlreiche Leistungsgrößen

³Die aktivierte oder deaktiverte Eingriffsmöglichkeit bezieht sich ausschließlich auf die bereits vom *FAS* abgedeckten Aktionen. Im Modus *MANUAL* ist die Deaktivierung von Eingriffsmöglichkeiten bedeutungslos, da ohnehin alle Aktionen vom Probanden übernommen werden.

aufgezeichnet, die in die Auswertung eingehen werden. Neben den automatisch aufgezeichneten Daten wurden Fragebögen (vgl. Abschnitt 4.1) von den Probanden ausgefüllt. Die strukturierten und damit quantifizierbaren Antwortmöglichkeiten stellen die zweite Datenquelle dar. Als dritte Datenquelle dienen die Freitextantworten auf den Fragebögen sowie die Aufzeichnungen des Versuchsleiters zu den Interviews mit den Probanden.

Zur Unterstützung der Auswertung wurde das weit verbreitete Statistikprogramm SPSS verwendet. Ausschlaggebend für die Nutzung von SPSS zur Auswertung der Experimente und Fragebögen waren der große Funktionsumfang und die Bereitstellung spezifischer Funktionen zur Fragebogenauswertung.

4.3.1 Auswertungsmethoden

Mit nur 31 Probanden handelt es sich um eine für rein quantitative Studien vergleichsweise kleine Stichprobe. Aus diesem Grund wird auf statistische Testverfahren, die bei einer umfangreicheren Untersuchung eingesetzt würden, verzichtet. Stattdessen wird auf EDA-Methoden zurückgegriffen, die vor allem auf [Tukey \(1977\)](#) zurückgehen. In dem Methodenbuch von [Bortz u. Döring \(2002, S. 377\)](#) ist zu lesen, dass EDA-Techniken dazu dienen, „ein möglichst vollständiges und übersichtliches Bild des gesamten Datensatzes zu geben, indem statt Zusammenfassungen zunächst die einzelnen Messwerte betrachtet werden.“ Weiter heißt es dort: „EDA dient dazu, Strukturen, Trends und Muster in einem Satz quantitativer Daten zu entdecken, die ohne technische Hilfsmittel leicht übersehen werden.“

Als besonders aussagekräftige EDA-Methode zur Auswertung der Experimente haben sich Boxplot-Diagramme bewährt. Boxplots visualisieren wichtige Lageparameter der Verteilung von Messwerten (vgl. [Bortz u. Döring 2002](#)).

Die Auswertung erfolgt in drei Schritten: Zunächst werden die automatisch aufgezeichneten Daten der Experimentläufe ausgewertet. Im zweiten Schritt erfolgt die Auswertung der Fragebögen, so dass im dritten Schritt eine Kombination der beiden ersten Auswertungen, gekoppelt mit den während der Experimente und Befragungen transskribierten Äußerungen, erfolgen kann. Durch die Kopplung quantitativer und qualitativer Methoden wird die kleine Stichprobe kompensiert.

Aufbau der Grafiken: Wie in Abschnitt 4.2 zu lesen war, können die Experimente in drei unterschiedliche Experimentierabschnitte unterteilt werden, in denen jeweils unterschiedliche Saatwerte für den Zufallsgenerator eingestellt wurden. Im ersten Abschnitt führen die Probanden jeweils in den Modi FAS-STEERING, FAS-SPEED und MANUAL. Im zweiten Abschnitt, nochmals in der gleichen Reihenfolge, allerdings mit anderen Saatwerten für den Zufallsgenerator. Für den FULL-AUTO-Modus wurde nochmal ein anderer Saatwert gewählt. Unterschiedliche Saatwerte bedeuten, dass z. B. die Höchstgeschwindigkeiten zu anderen Zeiten und zu

anderen Beträgen wechselten und die Zeitpunkte der Geschwindigkeitskontrollen variierten. Bei der Auswertung der Daten ist es deswegen wichtig, z. B. in Bezug auf gefahrene Runden nicht die absoluten Werte für die ermittelten Mediane zu vergleichen, sondern auf relative Werte zu fokussieren. Zeigt sich z. B., dass zwischen dem ersten und vierten Durchlauf die Anzahl der gefahrenen Runden beim vierten Durchlauf über alle Probanden deutlich weniger stark variierten, ließen sich darauf Lerneffekte folgern. Würde allerdings aus der Tatsache, dass z. B. im vierten Modus bezogen auf den Median mehr Punkte eingefahren wurden als im ersten Modus, Lerneffekte vermutet, wäre nicht klar, ob diese Differenz auf die unterschiedlichen Saatwerte des Zufallsgenerators zurückzuführen sind, oder ob tatsächlich Lerneffekte eingetreten sind.

Zur besseren Übersicht ist der Ablauf der Experimente nochmals tabellarisch dargestellt:

Modus	FAS-STEERING	FAS-SPEED	MANUAL	FAS-STEERING	FAS-SPEED	MANUAL	FULL-AUTO
Saatwert	1	1	1	2	2	2	3
Abkürzung	ST_1	SP_1	MA_1	ST_2	SP_2	MA_3	FA

Tabelle 6: Ablauf der Experimente

4.3.2 Auswertung der aufgezeichneten Daten

Bei der Auswertung wird unterschieden zwischen punkterelevanten und steuerungsrelevanten Leistungsgrößen. Punkterelevante Leistungsgrößen sind die Anzahl *Crashes*, *Geschwindigkeitsüberschreitungen* und gefahrene *Runden*. Für die gesamte Auswertung der aufgezeichneten Daten gilt für die Stichprobengröße $n = 203$, da die Aufzeichnungen bei zwei Probanden fehlerhaft waren und aus diesem Grund nicht verwendet werden können. Eine Auswertung der Fragebögen dieser Probanden kann hingegen problemlos erfolgen. $n = 203$ ergibt sich, weil für insgesamt 29 Probanden je sieben Experimente durchgeführt wurden. Die aggregierte Statistik *Punkte*, die auch während der Experimente im Cockpit angezeigt wurde, ist definiert als:

$$\text{Punkte} = \max \{0, \text{Runden} - \text{Crashes} \cdot 10 - \text{Speedings} \cdot 5\}$$

Steuerungsrelevante Leistungsgrößen beziehen sich auf während der Experimente getätigte Tastatureingaben. Die Anzahl der Tastatureingaben wurde differenziert nach den Aktionen Links, Rechts, Hoch und Runter.

Zuächst erfolgt die Auswertung der punktrelevanten Leistungsgrößen:

Anhand von Tabelle 7 ist bereits ablesbar, dass die Werte für die Anzahl der Crashes, für die erzielten Punkte und für die Anzahl der Geschwindigkeitsüberschreitungen sehr stark streuen. Die über alle Experimente berechneten Durchschnittswerte und Standardabweichungen

Variable	\bar{x}	Min	Max	s	n
Geschwindigkeitsüberschreitungen	0.37	0	5	0.701	203
Runden	65.50	39	75	5.191	203
Punkte	20.31	0	67	21.414	203
Crashs	6.20	0	27	4.811	203

Tabelle 7: Erste Übersicht über punkterelevante Leistungsgrößen

Bedeutung der Variablen: \bar{x} – Stichprobenmittel, Min/Max – maximal/minimal erzielter Wert, s – Stichprobenstandardabweichung, n – Anzahl Experimente

besitzen aufgrund der starken Streuung eine geringe Aussagekraft und verdeutlichen die Notwendigkeit einer differenzierteren Darstellung mittels der grafischen EDA-Methode. Eine Reduktion der Streuung kann durch zusätzliche Gruppierung der Daten, z. B. nach Steuerungsmodus, erfolgen. Es ist zu erwarten, dass bestimmte Steuerungsmodi leistungsspezifische Charakteristika aufweisen und durch die Gruppierung der Daten eine höhere Aussagekraft erzielbar ist.

In den folgenden Abschnitten erfolgt eine separate Auswertung jeder punktrelevanten Leistungsgröße.

Crashs: Als erste Leistungsgröße wird die Verteilung der Crashs (s. Abbildung 4) differenziert nach Modus nebeneinandergestellt. Die Crashverteilungen je Modus weisen untereinander unterschiedliche Verteilungscharakteristika auf. Der eingestellte Modus hatte folglich in den durchgeführten Experimenten einen Einfluss auf die Anzahl der Crashs. Deutlich zu erkennen ist auch eine geringere Streuung sowie ein geringerer Median im zweiten Experimentierblock verglichen mit dem ersten Block. Diese Verbesserung könnte Lerneffekte andeuten, die vor allem im Modus FAS-STEERING und MANUAL deutlich werden (SP_1, SP_2, MA_1 und MA_2 im Boxplot).

Die größte Streuung weist der manuelle Modus (MANUAL) auf, in dem alle Steuerungsaktionen von den Probanden alleine durchgeführt werden mussten. Die Ausreißer im manuellen Modus, die z. T. bei fast 30 Crashs liegen, deuten auf erhebliche Probleme einiger Probanden bei der Vermeidung von Crashs hin und lassen eine Überforderung durch die Steuerungsaufgabe vermuten.

Auffällig ist, dass die Crashzahl im Modus FAS-SPEED, in dem die Probanden die Geschwindigkeitserhöhung und Verringerung übernehmen mussten, in beiden Experimentierblöcken höher liegt als im Modus FAS-STEERING, in dem die Probanden die Links- und Rechtsaktionen übernommen haben.

Runden: In Abbildung 5 sind die gefahrenen Runden dargestellt. Es werden auch hier die gefahrenen Runden bezogen auf alle Experimente den gefahrenen Runden je Modus gegen-

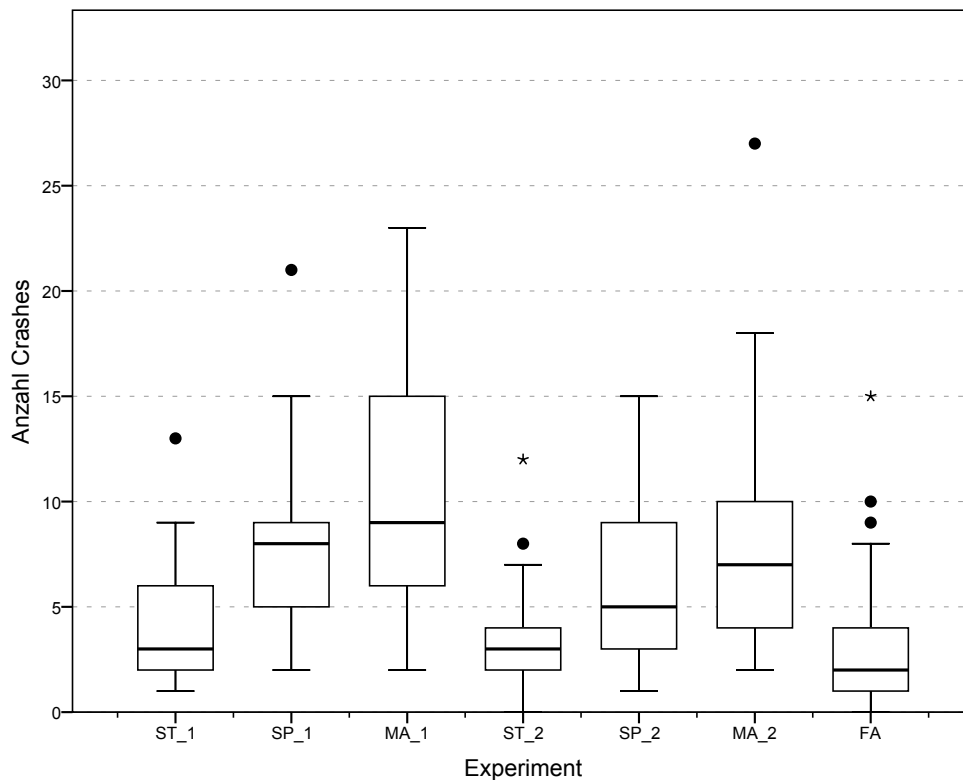


Abbildung 4: Darstellung der Anzahl der Crashes über alle Experimente verglichen mit der Anzahl Crashes je Modus: Besonders im Modus der manuellen Steuerung zeigt die Anzahl der Crashes eine große Streuung, was auf sehr unterschiedliche Steuerungsfähigkeiten der Probanden hindeutet.

übergestellt. Abgesehen von wenigen Ausreißern ist die Streuung der Rundenzahl gering. Auffällig ist die größere Streuung in Richtung weniger gefahrener Runden im manuellen Modus. Diese deutet darauf hin, dass die Probanden in dem Modus vorsichtiger gefahren sind oder aufgrund der komplexeren Steuerungsaufgabe die Anpassung auf eine nach unten geänderte Höchstgeschwindigkeit schneller vorgenommen haben. Ein Grund dafür könnte das Verhalten der Geschwindigkeitsanzeige im Cockpit sein, die bei Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit rot hinterlegt wird, bei Unterschreitung jedoch ihren Hintergrund nicht ändert. Interessant ist die Beobachtung, dass der Medianwert der Anzahl gefahrener Runden im Modus FAS-SPEED, in dem das Assistenzsystem die Geschwindigkeit erhöht und verringert, niedriger liegt als im Modus FAS-STEERING, in dem das Assistenzsystem die Links- und Rechtsaktionen übernimmt. Erklärbar wird dieser Effekt erst mit Auswertung der Fragebögen, die zeigen wird, dass die Probanden die Verantwortung für die Erhöhung und Verringerung der Geschwindigkeit oft gleichgesetzt haben mit der ausschließlichen Verfolgung des Ziels, die Geschwindigkeitsbegrenzung genau einzuhalten. Im Modus FAS-SPEED hat das Assistenzsystem die Geschwindigkeitsregulierung auch aktiv zur Vermeidung von Crashes eingesetzt,

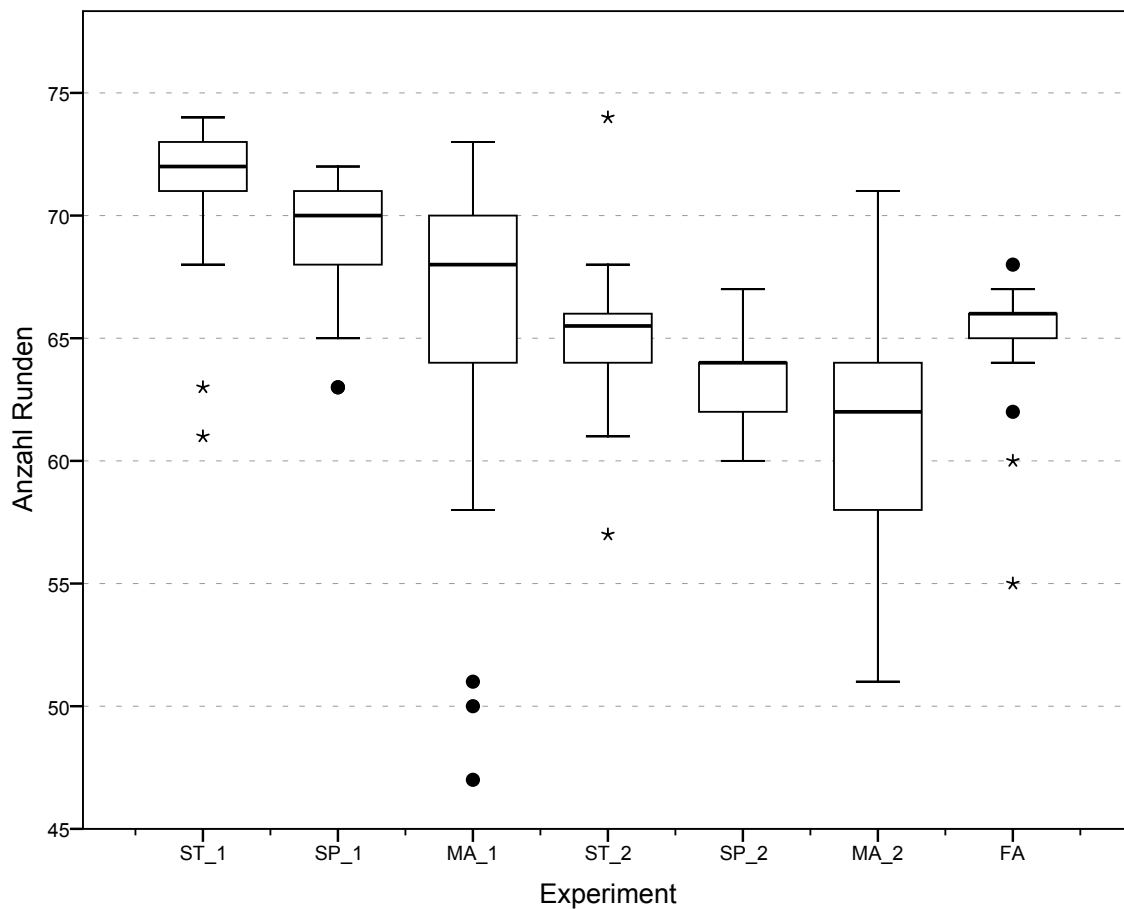


Abbildung 5: Boxplot der gefahrenen Runden differenziert nach Modus.

um anderen Fahrzeugen zu entkommen.

Geschwindigkeitsüberschreitungen: Die Leistungsgröße, die sich auf die *Geschwindigkeitsüberschreitungen* bezieht, gibt an, wie oft die Fahrzeuge bei Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit erwischt bzw. geblitzt wurden. Eine kurzzeitige Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit blieb in den meisten Fällen unentdeckt, da der Versuchsleiter beobachten konnte, dass die Probanden ausnahmslos bestrebt waren, die eigene Geschwindigkeit möglichst schnell an die zulässige Höchstgeschwindigkeit anzupassen. Dass trotz dieses Bestrebens bei einigen Probanden ein bis zwei Mal eine Geschwindigkeitsüberschreitung festgestellt wurde, ist als zu langsame Reaktion auf die Veränderung der Höchstgeschwindigkeit zu bewerten und nicht als bewusste Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit.

Überrascht waren einige Probanden darüber, dass im Modus FAS-SPEED, in dem das Assistenzsystem die Geschwindigkeitsregulierung übernimmt, auch die Geschwindigkeit über-

schritten wurde. Wie die Fragebogenauswertung zeigen wird, wurde diese Überschreitung häufig als Fehlfunktion des Assistenzsystems interpretiert. In Wirklichkeit war dem Assistenzsystem das Spielziel, Crashes zu vermeiden, wichtiger als das Spielziel, die Geschwindigkeit einzuhalten. Die Folge war, dass zum Entkommen aus einer Fahrzeugansammlung teilweise die zulässige Höchstgeschwindigkeit durch das Assistenzsystem bewusst überschritten wurde.

Punkte: Als letzte Leistungsgröße wird die aggregierte Statistik *Punkte* betrachtet. Gemäß der Definition auf Seite 35 liegt die Obergrenze für die erreichbare Punktzahl bei der Anzahl Runden, die gefahren wurden, die Untergrenze bei null Punkten.

In Abbildung 6 auf Seite 40 sind bereits Tendenzen hinsichtlich der erreichten Punktzahlen erkennbar. Es ist zu sehen, dass die Verteilung der Punkte in den jeweiligen Modi sehr unterschiedlich ist. Wie die Auswertung gefahrener Runden (s. Abbildung 5 auf Seite 38) zeigt, liegt die maximal mögliche Punktzahl bei etwa 75 Punkten.

Auffällig ist, dass die erreichten Punktzahlen, insbesondere im Modus FAS-STEERING und FULL-AUTO, stark nach oben und unten um den Median streuen. Zwar werden in den beiden Modi Punktzahlen nahe der Höchstpunktzahl erreicht, das Erreichen scheint allerdings in diesen Modi stark von den Probanden abzuhängen. Im manuellen Modus werden bis auf wenige Ausnahmen nur sehr geringe Punktzahlen erreicht. Gut 60 % aller Probanden erreichen im manuellen Modus gar keine Punkte. Die starke Streuung der Punktzahlen in den Modi FAS-STEERING und FULL-AUTO und ihre hohen Medianwerte im Vergleich zum manuellen Modus deuten auf die Wichtigkeit eines gut funktionierenden Zusammenspiels zwischen Fahrerassistenzsystem und Proband hin.

Die Leistungsgröße *Punkte* fasst die drei punkterelevanten Einzelgrößen *Crashes*, *Runden* und *Geschwindigkeitsüberschreitungen* zusammen und gewichtet sie gemäß der angenommenen Wichtigkeit. Wie sich bei der Auswertung des Gesamtfragebogens auf Seite 49 noch zeigen wird, stimmt die angenommene Gewichtung der Spielziele mit der Sichtweise der Probanden weitgehend überein. Die erreichten Punktzahlen stellen somit einen Indikator dafür dar, wie gut die Spielziele von dem Hybrid-Akteur bestehend aus Proband und FAS verfolgt wurden. Neben der Auswertung der punkterelevanten Leistungsgrößen ist die Auswertung der steuerungsrelevanten Leistungsgrößen von Interesse, weil sie Auskunft darüber gibt, wie die Probanden die ihnen gestellte Fahraufgabe gelöst haben.

Auf eine zusammenfassende Tabelle der steuerungsrelevanten Leistungsgrößen wird verzichtet, da sie nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Im Modus FAS-SPEED ist z. B. zu erwarten, dass kaum Erhöhungen und Verringerungen der Geschwindigkeit durch die Probanden vorgenommen wurden, weil das Assistenzsystem diese Aktionen übernommen hat. Werden für diese Aktionen Durchschnittswerte über *alle* Experimente gebildet, ist die Aussagekraft

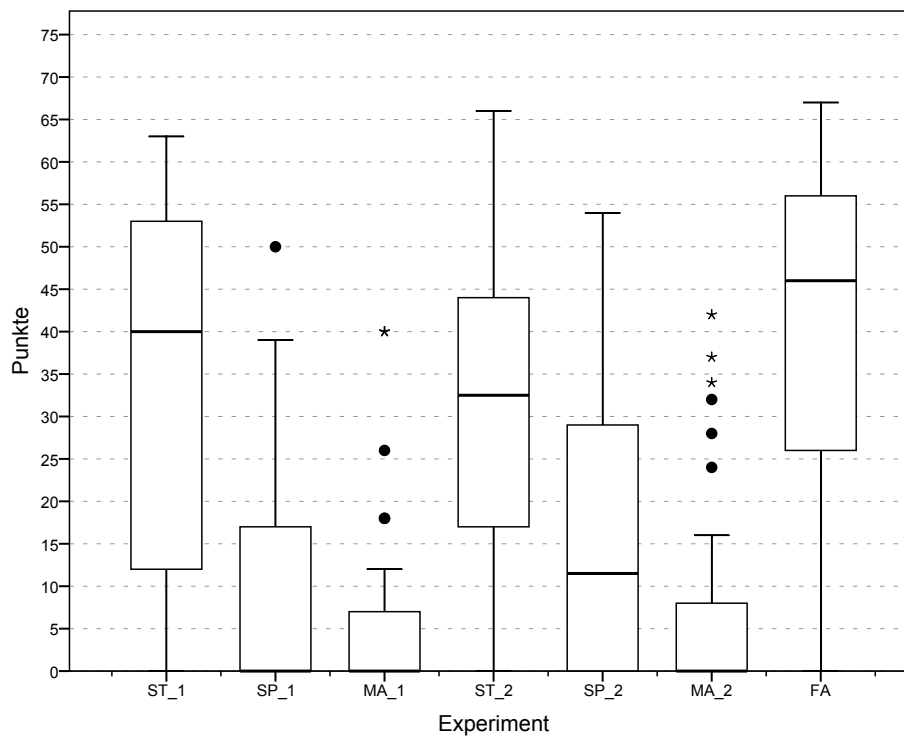


Abbildung 6: Die von den Probanden erreichte Punktzahl differenziert nach Modus.

entsprechend gering.

Bisher wurde jeweils zwischen den beiden Experimentierblöcken unterschieden und die betrachteten Leistungsgrößen nach Experimentierblöcken getrennt ausgewertet. Bei der Auswertung der Tastaturanschläge zeigte sich, dass diese Trennung nicht weiter notwendig ist, da sich die Verteilungscharakteristika zwischen den Blöcken nicht grundsätzlich voneinander unterscheiden haben. Daher werden lediglich die Geschwindigkeitsregulierungsaktionen und die Lenkaktionen differenziert nach Modus betrachtet.

Zum besseren Verständnis der absoluten Werte, die in den Auswertungen der steuerungsrelevanten Leistungsgrößen vorkommen, hilft der folgende Zusammenhang: Steuerungsrelevante Leistungsgrößen beziehen sich auf die Anzahl der Tastaturanschläge. Wie in Abschnitt 4.2 erläutert, dauerte ein Experiment 8000 Zeitticks. Die Simulationsumgebung wurde so kalibriert, dass 1000 Zeitticks etwa 23 Sekunden entsprachen. Wurden von einem Probanden z. B. 50 Lenkaktionen durchgeführt, entspricht das etwa 16 Tastaturanschlägen pro Minute.

Geschwindigkeitsregulierungsaktionen: Die Probanden konnten mit Hilfe der Pfeiltasten \uparrow und \downarrow die Geschwindigkeit erhöhen bzw. verringern. In Abbildung 7 auf Seite 41 ist die Anzahl dieser Regulierungsaktionen differenziert nach Modus dargestellt.

Auffällig ist, dass im Modus FAS-SPEED, in dem das Assistenzsystem die Geschwindigkeitsregulierungsaktionen übernommen hat, aktiv versucht wurde gegenzusteuern. 12 Gegensteuerungsversuche stellten in dem Zusammenhang zwar die Ausnahme dar, überraschten aber deswegen, weil die Gegensteuerung in dem Modus keine erkennbare Auswirkung auf das beobachtbare Fahrverhalten des Fahrzeugs hatte.

Die Ausreißer im Modus FAS-STEERING deuten an, dass Geschwindigkeitsregulierungen von wenigen Probanden nicht nur zum Abgleich von eigener Geschwindigkeit und Höchstgeschwindigkeit eingesetzt wurden, sondern auch zur Verfolgung weiterer Ziele, z. B. der Crashtvermeidung.

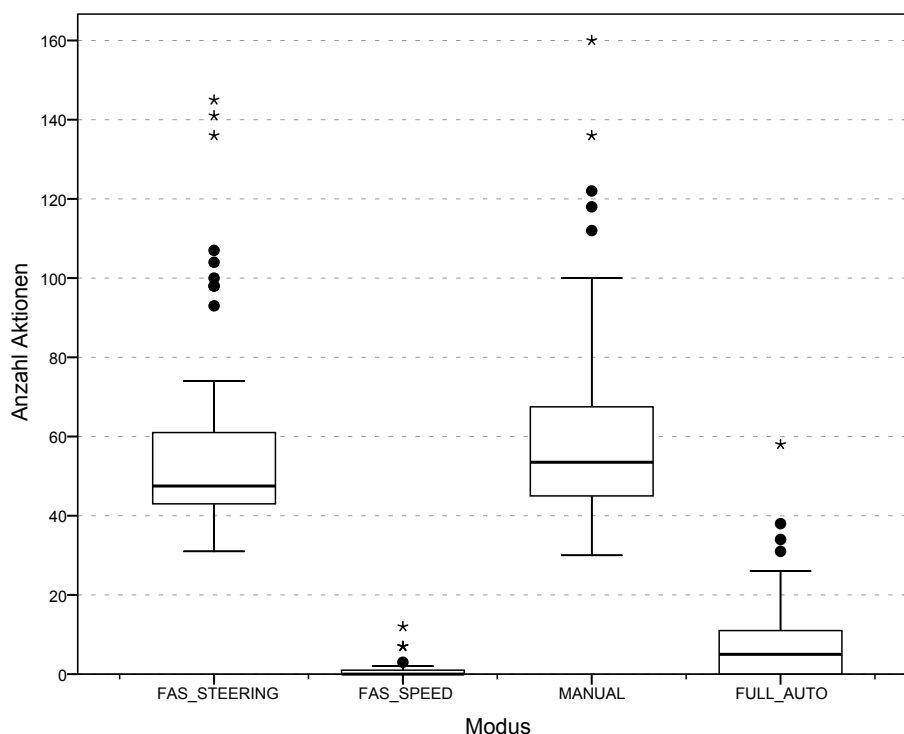


Abbildung 7: Geschwindigkeitsregulierungsaktionen je Modus: Ein Ausreißer im Modus FAS-STEERING (359) und einer im Modus MANUAL (198) wurde zur besseren Übersicht abgeschnitten.

Lenkaktionen: Wie in Abbildung 8 auf Seite 42 zu sehen ist, streut die Anzahl Lenkaktionen im manuellen Modus stärker als im Modus FAS-SPEED, in dem das Assistenzsystem die Geschwindigkeit reguliert. Überraschend ist, dass im Modus FAS-STEERING vereinzelt Gegensteuerungsaktionen, d. h. Links- und Rechtsaktionen, vorgenommen wurden, obwohl diese Aktionen vom Assistenzsystem übernommen wurden.

Im vollautomatischen Modus wurden abgesehen von einigen Ausreißern nur sehr wenig Lenk-

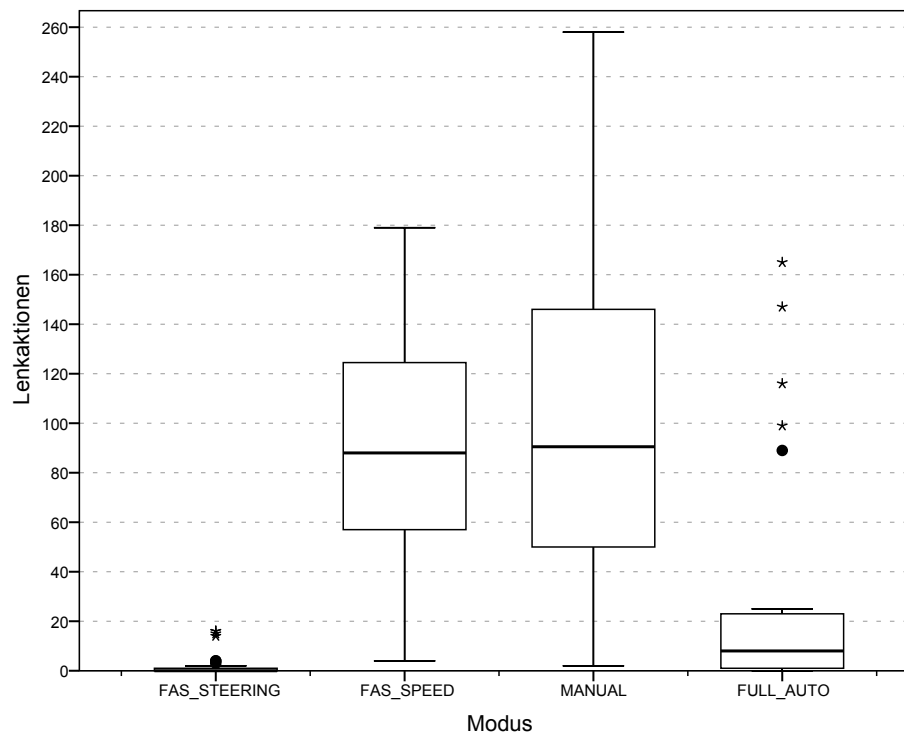


Abbildung 8: Lenkaktionen je Modus: Zwei Ausreißer im Modus FAS-SPEED (759, 559) und einer im manuellen Modus (500) wurden zur besseren Übersicht abgeschnitten.

aktionen von den Probanden ausgeführt. Trotz der geringen Anzahl Lenkaktionen haben nur sechs Probanden überhaupt keine Lenkaktionen ausgeführt. Die Ausreißer im vollautomatischen Modus liegen sogar über den Median-Werten des manuellen Modus und des Modus FAS-SPEED und lassen vermuten, dass die zwei Probanden dem Assistenzsystem hinsichtlich der korrekten Übernahme der Lenkaktionen wenig getraut haben. Die wenigen Probanden, die im Modus FULL-AUTO überhaupt keine Lenkaktionen durchgeführt haben, deuten an, dass dem vollautomatischen System möglicherweise mit einer gewissen Skepsis begegnet wurde. Diese Vermutung wird sich in der Auswertung der Fragebögen noch bestätigen.

4.4 Auswertung der Fragebögen und Interviews

Von den Probanden wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten drei unterschiedliche Typen von Fragebögen ausgefüllt (vgl. Abschnitt 4.1). Diese drei Fragebogentypen werden getrennt voneinander ausgewertet.

4.4.1 Fragebögen je Experiment

Die Fragebögen je Experiment wurden von jedem Probanden jeweils nach den Experimenten in den Modi FAS-STEERING und FAS-SPEED ausgefüllt.

Frage:

Wer hat das Fahrzeug gesteuert?

Antwortmöglichkeiten:

Ich; FAS; FAS und Ich

Die von den Probanden gegebenen Antworten sind in Tabelle 8 dargestellt.

	FAS-STEERING	FAS-SPEED
Ich	0 %	38 %
FAS	50 %	0 %
FAS und Ich	50 %	62 %

Tabelle 8: Wer hat das Fahrzeug gesteuert?

Auf diese Frage wurde von den Probanden für keinen Modus eindeutig geantwortet. Anhand der Antworten wird nur deutlich, dass die ausschließliche Regulation der Geschwindigkeit aus Sicht der Probanden nicht als Steuerung des Fahrzeugs aufgefasst wurde. Im Modus FAS-STEERING antwortete kein Proband damit, dass er das Fahrzeug alleine steuerte, ebenso antwortete im Modus FAS-SPEED kein Proband, dass das FAS das Fahrzeug alleine steuerte.

Frage:

Welche Ziele verfolgte das Assistenzsystem?

Antwortmöglichkeiten:

Crashvermeidung (c), Runden machen (r) und Geschwindigkeit einhalten (g); Mehrfachantworten möglich

Die Antworten auf diese Frage sind besonders aufschlussreich, weil sie Auskunft darüber geben, welche Eigenschaften dem Assistenzsystem zugeschrieben werden.

Wie Abbildung 9 auf Seite 44 zeigt, ist die Einschätzung der Zielverfolgung des FAS je nach Modus sehr unterschiedlich. Programmiertechnisch verfolgt das FAS zu jeder Zeit alle Spielziele. Es erfolgt lediglich eine Zuständigkeitsverteilung für einzelne Aktionen, nicht aber eine Entledigung von der Verfolgung bestimmter Ziele. Die einzelnen Fahrziele (c,g,r) sind in dem Diagramm jeweils mit *und* verknüpft. Der Balken bei *cr* bedeutet z. B., dass etwa 15% der Probanden im Modus FAS-STEERING behauptet haben, das Assistenzsystem verfolge die Ziele Crashvermeidung *und* Runden machen.

Im Modus FAS-STEERING, in dem das Assistenzsystem die Lenkaktionen übernimmt, hat ein

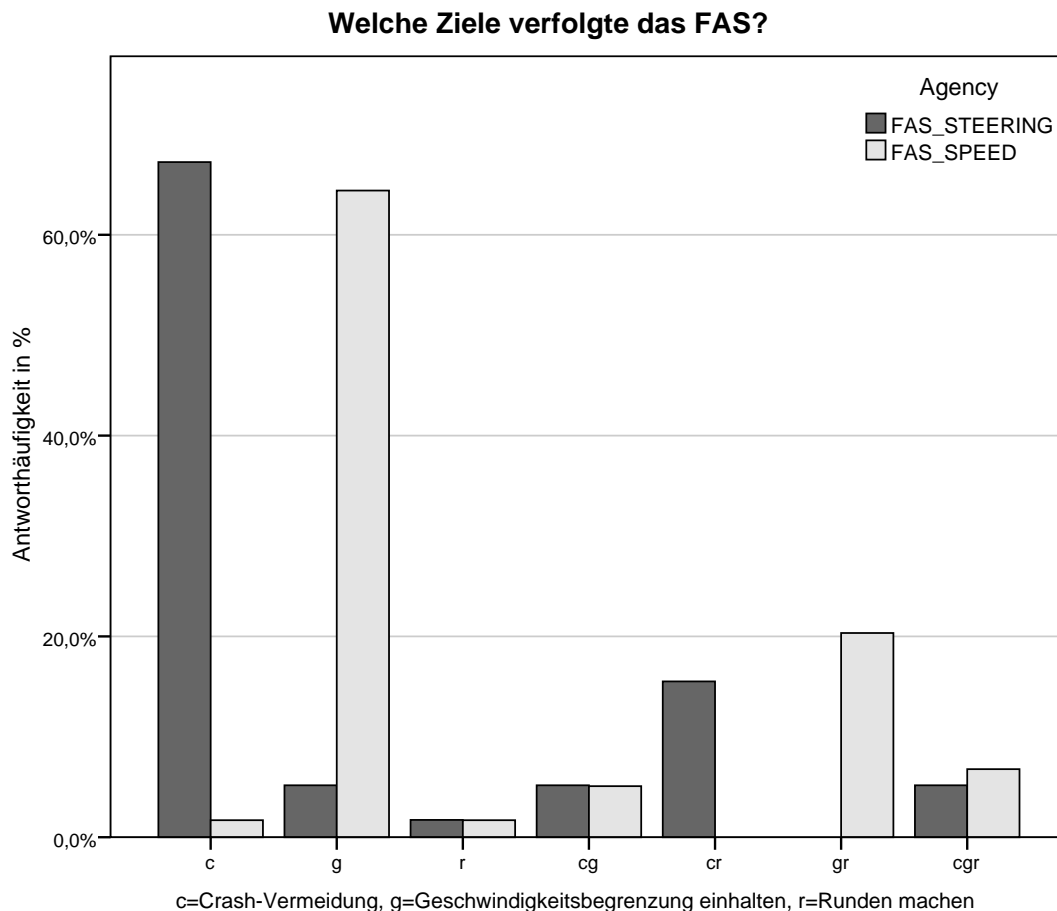


Abbildung 9: Die Attributierung von Zielen erfolgt in den Modi FAS-STEERING und FAS-SPEED sehr unterschiedlich.

Großteil der Probanden behauptet, dass das Assistenzsystem ausschließlich Crashes vermeidet (c). Während der Experimente wurden vor allem im Modus FAS-STEERING verwunderte Ausrufe der Probanden bemerkt, die sich über die Crashes ärgerten, die das Assistenzsystem vermeintlich verursacht hat.

Abbildung 9 zeigt zusätzlich, dass ein Großteil der Probanden nicht davon ausging, dass das Assistenzsystem im Modus FAS-SPEED auch das Ziel verfolgte, Crashes zu vermeiden. Seitens des Versuchsleiters wurde zum Modus FAS-SPEED lediglich geäußert, dass das Assistenzsystem in diesem die Geschwindigkeitserhöhung und Geschwindigkeitsverringern übernimmt. Es wurde seitens des Versuchsleiters bei der Erläuterung der unterschiedlichen Modi nur von Aktionen und nicht von Zielen gesprochen, die das Assistenzsystem in einem bestimmten Modus verfolgt. Die Idee, dass die Delegation von Aktionen in hybriden Systemen

sehr eng mit der Zuschreibung von Zielen zusammenhängt, wird in Kapitel 5 als Resultat (R3) noch mal aufgegriffen.

Frage:

Wie angenehm war die Zusammenarbeit mit dem FAS?

Antwortmöglichkeiten:

sehr unangenehm ... passabel ... perfekt

Die Zusammenarbeit mit dem FAS wurde von einem Großteil der Probanden als gut und teilweise sogar als perfekt bezeichnet (s. Abbildung 10).

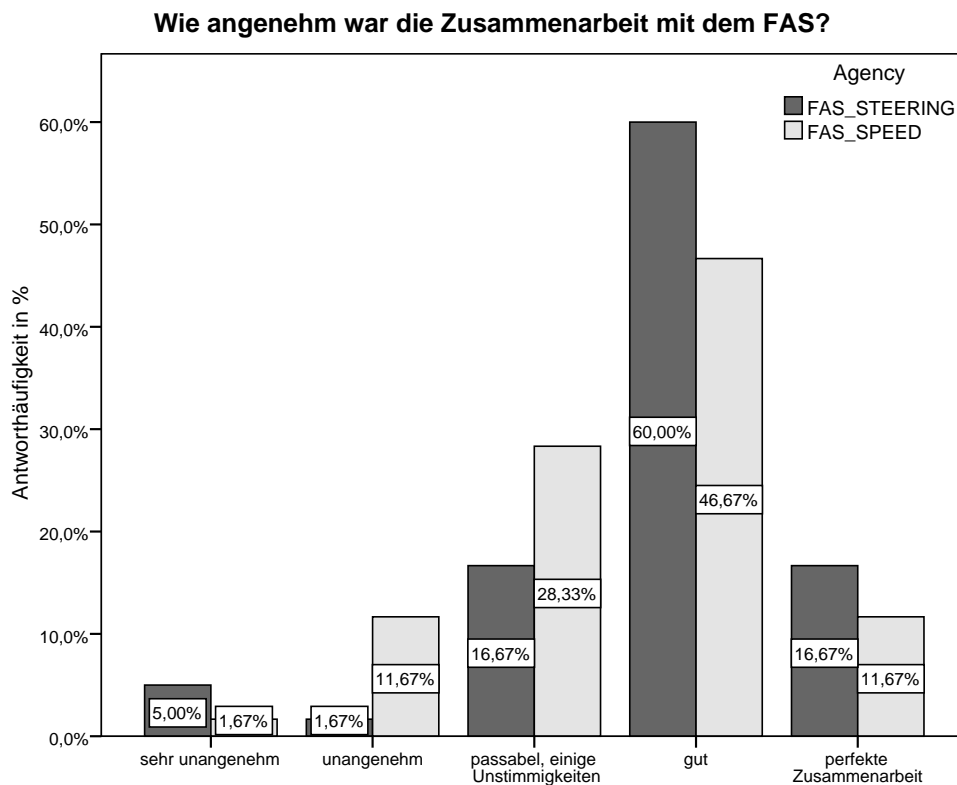


Abbildung 10: Die Zusammenarbeit mit dem Assistenzsystem wurde im Modus FAS-SPEED etwas schlechter beurteilt als Modus FAS-STEERING.

Im Modus FAS-STEERING, in dem das Assistenzsystem die Lenkaktionen übernimmt, wurde die Zusammenarbeit insgesamt als etwas angenehmer empfunden als im Modus FAS-SPEED. In Modus FAS-SPEED übernimmt das FAS die Geschwindigkeitsregulierung. Wie die Auswertung der Frage nach den Zielen des FAS je Modus in Abbildung 9 zeigt, gingen die meisten Probanden nicht davon aus, dass das Assistenzsystem in diesem Modus das Ziel verfolgte,

Crashes zu vermeiden.

Durch diese falsche Einschätzung konnten sich die Probanden bzgl. ihren eigenen Lenkaktionen nicht darauf einstellen, dass das Assistenzsystem bei vorausfahrenden Fahrzeugen abbremst und bei sich von hinten annähernden Fahrzeugen beschleunigt. Ob diese falsche Einschätzung dazu geführt hat, dass die Probanden in dem betreffenden Modus die Zusammenarbeit mit dem Assistenzsystem etwas schlechter beurteilten, kann aufgrund der kleinen Stichprobe nicht sicher konstatiert werden, könnte aber in einer größeren Versuchsreihe als eine mögliche Untersuchungshypothese dienen.

Auffällig an der Beurteilung der Zusammenarbeit ist, dass die Zusammenarbeit nur in wenigen Fällen als *sehr* angenehm beschrieben wurde. Trotz der insgesamt eher positiven Beurteilung durch die Probanden schienen Restschwierigkeiten in der Zusammenarbeit bestanden zu haben, sodass kaum eine sehr angenehme Beurteilung vorgenommen wurde.

Frage:

Wie sehr haben Sie selbst zum Spielziel beigetragen?

Antwortmöglichkeiten:

fünfstufige Skala von 0-20 % (sehr wenig) bis 80-100 % (sehr viel)

Die Ergebnisse für diese Frage sind in Tabelle 10 auf Seite 47 dargestellt. Im Experimentmodus FAS-SPEED, in dem die Probanden die Lenkaktionen übernommen haben, schätzen sie ihren Anteil, mit dem sie zum Spielziel beigetragen haben, größer ein als im Modus FAS-STEERING.

Die Aktionsmengen in den Modi FAS-STEERING und FAS-SPEED sind genau invers zueinander. Im Modus FAS-STEERING werden die Aktionen L und R vom FAS übernommen, im Modus FAS-SPEED die Aktionen $G+$ und $G-$. In der betrachteten Frage wurde die Einstellung der Probanden abgefragt, wie sehr sie selbst zum Spielziel beigetragen haben. Der subjektiv geschätzte Beigetragenheitsanteil wird als Grad der Handlungsträgerschaft, *Agency*, bezeichnet. Mit der subjektiven Einschätzung der Probanden über ihren eigenen Grad der Agency schätzen sie gleichzeitig den Grad der Agency des nicht-menschlichen Akteurs ein. In der Frage wurden Bereiche abgefragt, die zur vereinfachenden Rechnung ihren jeweiligen Mittelpunkten zugeordnet werden. Der Bereich 1: 0 – 20% erhält dann den Mittelpunkt $b_1 = 0.1$. Analog erhalten die weiteren Bereiche entsprechende Mittelpunkte b_i zugeordnet: 0.3, 0.5, 0.7, 0.9. Bezeichnet i die Bereichsnummer, b_i dem Bereich i zugeordneten Mittelpunkt und p_i die relative Antworthäufigkeit für den Bereich i , dann lässt sich eine Agency-Metrik für Human und Non-Human wie folgt definieren:

$$Agency_H = \sum_{i=1}^5 b_i \cdot p_i \qquad Agency_{NH} = \sum_{i=5}^1 b_{6-i} \cdot p_i$$

Die Definition der $Agency_H$ und $Agency_{NH}$ entspricht aus statistischer Sichtweise dem Erwartungswert für den Grad der Handlungsträgerschaft, der sich aus der vorliegenden Stichprobe ergibt. Auf Grund der Tatsache, dass die Aktionsbündel jeweils invers zueinander sind, kann $Agency_{NH}$ auch geschrieben werden als $Agency_{NH} = 1 - Agency_H$

Mit obigen Definitionen kann eine Auswertung der Frage getrennt nach Modus⁴ vorgenommen werden:

	$Agency_H$	$Agency_{NH}$
$\{L, R\}$	0.58	0.42
$\{G+, G-\}$	0.43	0.57

Tabelle 9: Agency-Maße aus Sichtweise des befragten Probanden in den Modi FAS-STEERING $\{G+, G-\}$ und FAS-SPEED $\{L, R\}$

Die Interpretation von Tabelle 9 ist hoch interessant: Die Zuschreibung von Handlungsträgerschaft erfolgt offenbar symmetrisch. Aktionsbündeln wird eine bestimmte Wertigkeit zugeschrieben, die kennzeichnend für den Grad der Handlungsträgerschaft ist. Den Aktionen L und R wird ein nahezu identischer Agency-Wert von 0.58 bzw. 0.57 zugeschrieben, ebenso den Aktionen $G+$ und $G-$: 0.43 und 0.42. Ob es sich bei dem Ergebnis um eine Überinterpretation aufgrund der kleinen Stichprobe handelt, oder ob die symmetrische Zuschreibung von Handlungsträgerschaft tatsächlich evident ist, kann erst in einer größeren Untersuchung statistisch fundiert beantwortet werden. Im Gegensatz zu dem ontologischen Symmetriebegriff von Latour handelt es sich bei dem hier gefundenen Ergebnis um eine attributionstheoretisch begründete Symmetrie.

	FAS-STEERING	FAS-SPEED
0-20 %	5 %	2 %
20-40 %	38 %	12 %
40-60 %	42 %	38 %
60-80 %	15 %	42 %
80-100 %	0 %	6 %

Tabelle 10: Wie sehr haben Sie selbst zum Spielziel beigetragen?

⁴Dabei wird in der Tabelle jeweils die Menge von Aktionen angegeben, die der menschliche Proband in dem jeweiligen Modus übernommen hat.

Aussage:

Ich war mir jederzeit im Klaren darüber, welche Aktionen das FAS übernimmt und habe diesem darin voll vertraut.

Antwortmöglichkeiten:

trifft gar nicht zu ... weiß nicht ... trifft voll und ganz zu

Die gegebenen Antworten sind in Tabelle 11 dargestellt. Der syntaktische Aufbau der Aussage auf dem Fragebogen ist etwas problematisch, weil diese zwei Teile (Klarheit über Aktionsverteilung und Vertrauen) enthält und nicht unmittelbar klar ist, in welchem Maß sich die Antworten auf die einzelnen Aussageteile beziehen. Auf Nachfrage einiger Probanden erklärte der Versuchsleiter, dass sich die Antworten auf beide Aussageteile in gleichgewichteter Weise beziehen.

	FAS-STEERING	FAS-SPEED
trifft gar nicht zu	3 %	5 %
trifft eher nicht zu	12 %	10 %
weiß nicht	7 %	3 %
trifft eher zu	30 %	34 %
trifft voll zu	48 %	48 %

Tabelle 11: Ich war mir jederzeit im Klaren darüber, welche Aktionen das FAS übernimmt und habe diesem darin voll vertraut.

Aussage:

Das Assistenzsystem hat zu jeder Zeit perfekt funktioniert.

Antwortmöglichkeiten:

trifft gar nicht zu ... weiß nicht ... trifft voll und ganz zu

Die Probanden schätzen die perfekte Funktionsfähigkeit des *FAS* im Modus *FAS-SPEED* etwas besser ein als im Modus *FAS-STEERING*. Auf Nachfrage des Versuchsleiters gaben die Probanden an, dass sie die perfekte Funktionsfähigkeit des Assistenzsystems im Modus *FAS-STEERING* etwas schlechter beurteilten, weil Crashes entstanden sind. Dabei wurde, wie auch schon bei einer anderen Frage, deutlich, dass mit der Delegation der Lenkaktionen an das *FAS* eine gleichzeitige Delegation des Spielziels Crashvermeidung stattgefunden hat, obwohl diese weder vom Versuchsleiter noch von der Spielstruktur so vorgegeben war. Im Vergleich zur vorherigen Frage, in der in beiden Modi 50 % der Probanden dem *FAS* voll vertraut haben, wird die Funktionsfähigkeit des Assistenzsystems im Modus *FAS-STEERING* von nur 11 % (s. Tabelle 12) der Probanden als perfekt beurteilt.

	FAS-STEERING	FAS-SPEED
trifft gar nicht zu	7 %	3 %
trifft eher nicht zu	20 %	22 %
weiß nicht	22 %	8 %
trifft eher zu	40 %	35 %
trifft voll zu	11 %	32 %

Tabelle 12: Das Assistenzsystem hat zu jeder Zeit perfekt funktioniert.

In Abbildung 11 sind die Antworten aufgeschlüsselt nach Modus und Experimentierblock. Auffällig ist, dass das *FAS* im zweiten Experimentierblock für beide Modi etwas besser beurteilt wurde als im ersten Experimentierblock, allerdings auch mit einer größeren Streuung. Ob diese Beobachtung auf Gewöhnungseffekte zurückzuführen ist oder mit den jeweils unterschiedlichen Fahraufgaben wegen der anderen Saatwerte des Zufallsgenerators im ersten und zweiten Experimentierblock zusammenhängt, kann bei der gegebenen Datenlage nicht beantwortet werden.

4.4.2 Gesamtfragebogen

Frage:

Wie wichtig waren Ihnen die jeweiligen Spielziele?

Antwortmöglichkeiten:

Eindeutige Zuordnung von Spielziel zu Wichtigkeit (1-3)

In Abbildung 12 ist das Antwortspektrum auf diese Frage in Form eines Boxplot-Diagramms angegeben.

Bei den Probanden ergab sich bis auf wenige Ausnahmen eine sehr einheitliche Zuordnung von Wichtigkeiten zu Spielzielen. Die in der Mehrzahl der Probanden vorgenommene Rangfolge der Spielziele entspricht der in Abschnitt 3.3 vorausgesetzten Modellannahme für die Implementierung des intelligenten Fahrers.

Frage:

In welchem Modus würden Sie fahren, wenn Sie die freie Auswahl hätten?

Antwortmöglichkeiten:

Die drei unterschiedlichen Spielmodi: FAS-SPEED, FAS-STEERING, MANUAL

26 % der Probanden würden im manuellen Modus fahren, 35 % im Modus FAS-SPEED und 39 % im Modus FAS-STEERING, in dem das *FAS* die Lenkaktionen übernimmt.

Die Antworten auf diese Frage sind interessant, insbesondere wenn sie mit der Auswertung

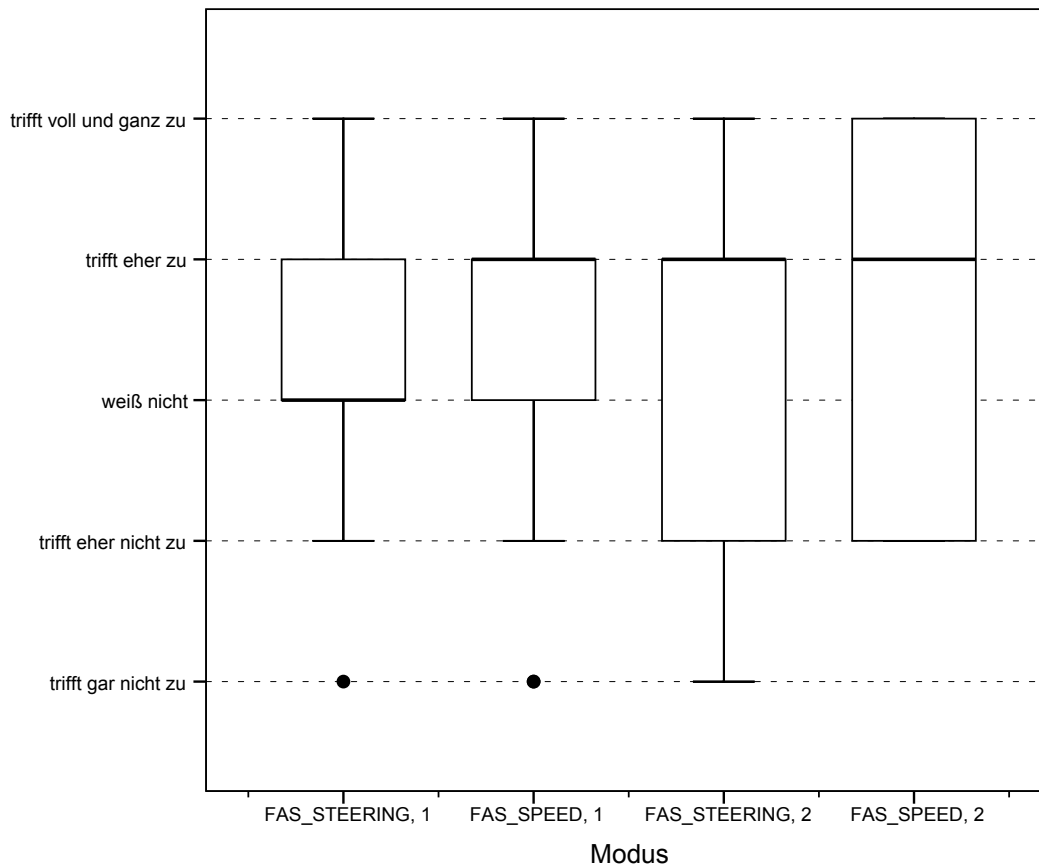


Abbildung 11: Die Einschätzung der Probanden bzgl. der perfekten Funktionsfähigkeit des FAS hat sich in den jeweils zweiten Experimentdurchläufen leicht verbessert.

Antwort	MANUAL	FAS-STEERING	FAS-SPEED
Häufigkeit	26 %	39 %	35 %

Tabelle 13: In welchem Modus würden Sie fahren, wenn Sie die freie Auswahl hätten?

der im Experiment erreichten Punkte (s. Seite 39) kombiniert werden. Die aggregierte Statistik *Punkte* ist ein Maß für die Qualität der seitens des Spieldaufbaus geforderten Zielverfolgung. Eine hohe Punktzahl bedeutet, dass das Gesamtspielziel besonders gut verfolgt wurde. Der Modus FAS-STEERING, in dem das Assistenzsystem die Links- und Rechtsaktionen übernimmt führte sowohl im ersten als auch im zweiten Experimentdurchlauf zu hohen Punktzahlen, während die Punktzahlen im manuellen Modus und im Modus FAS-SPEED deutlich darunter lagen. Gemäß Tabelle 13 würden also 61% der Probanden im Modus FAS-SPEED oder im manuellen Modus fahren, wenn sie die freie Auswahl hätten. Es hat sich gezeigt, dass über die

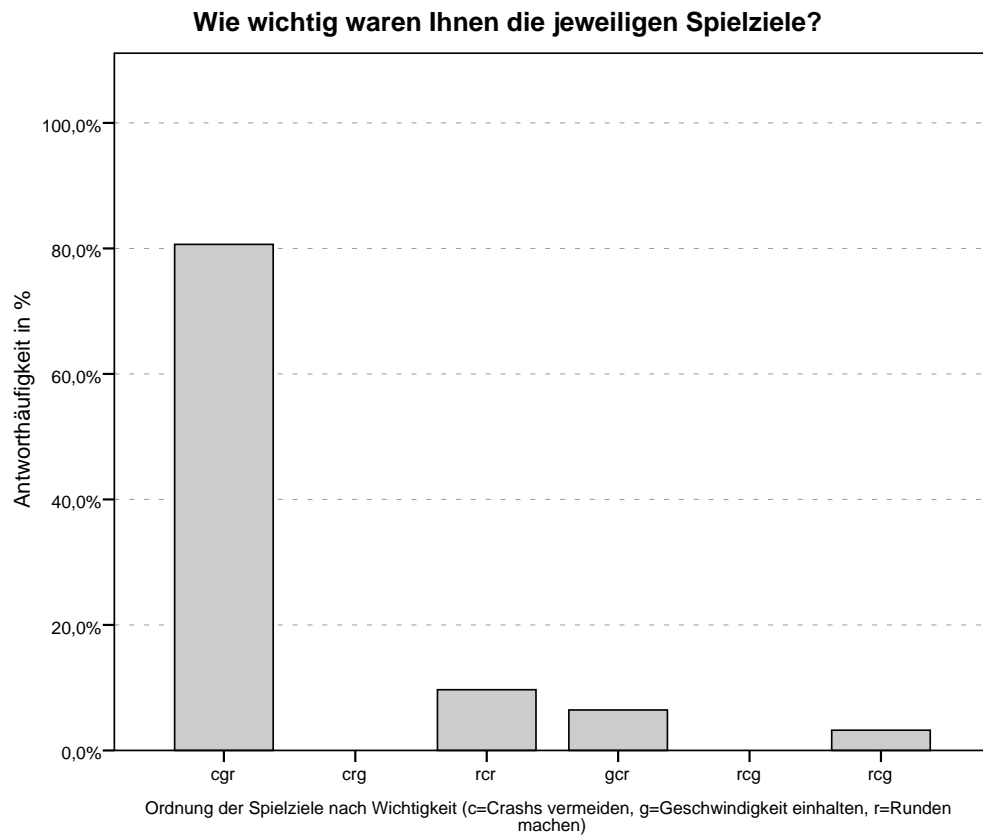


Abbildung 12: Die Zuordnung von Wichtigkeiten zu Spielzielen erfolgte bis auf wenige Ausnahmen bei allen Probanden sehr einheitlich.

Hälfte der Probanden einen Modus vorziehen, der aus objektiver Sicht (Punktzahl) schlechter ist als die beiden anderen Modi. In den Interviews und der Freitextantwort zur Begründung der Moduswahl deuteten sich vor allem zwei zusätzlich generierte Ziele an: Einige Probanden würden gerne die Kontrolle über das Fahrzeug behalten. Im Modus FAS-STEERING war die Kontrolle aus ihrer Sicht nicht mehr gegeben und sie hatten den Eindruck, kaum mehr Einfluss auf das Fahrverhalten des Fahrzeugs nehmen zu können (vgl. vor allem Tabelle 8). Von anderen Probanden wurde der manuelle Modus als „spannender“ oder „interessanter“ empfunden als die anderen Modi. Insgesamt ist zu konstatieren, dass für die Mehrzahl der Probanden nicht im Vordergrund stand möglichst viele Punkte zu erreichen, wie die Spielregeln eigentlich vorgegeben hatten, sondern die Kontrolle über das eigene Fahren zu behalten.

4.4.3 Fragebogen zum vollautomatischen Modus

Aussage:

Das Assistenzsystem hat die Spielziele wie erwartet verfolgt und seine Aufgabe wie erwartet erfüllt.

Antwortmöglichkeiten:

trifft gar nicht zu ... weiß nicht ... trifft voll und ganz zu

Für einen Großteil der Probanden hat das Assistenzsystem die Spielziele wie erwartet erfüllt (s. Tabelle 14). 45% der Probanden stimmen der auf dem Fragebogen angegebenen Aussage sogar voll und ganz zu. In den persönlichen Interviews beschrieben die Probanden die Zusammenarbeit mit dem vollautomatischen Assistenzsystem als sehr angenehm. Besonders positiv stellten einige Probanden heraus, dass es ihnen mit dem vollautomatischen Assistenzsystem besser möglich sei, auf den Verkehr zu achten. Gegenüber dem Modus FAS-SPEED, in dem sich die Probanden sehr stark auf die Geschwindigkeitsbegrenzung und deren Abgleich mit der eigenen Geschwindigkeit konzentriert haben, können sie sich im vollautomatischen Modus dieser als lästig empfundenen Aufgabe entledigen.

Antwort	trifft gar nicht zu	trifft eher nicht zu	weiß nicht	trifft eher zu	trifft voll und ganz zu
Häufigkeit	3.2 %	9.7 %	3.2 %	38.7 %	45.2 %

Tabelle 14: Für einen Großteil der Probanden hat das FAS im vollautomatischen Modus die Spielziele wie erwartet erfüllt.

Aussage:

Ich habe dem FAS voll vertraut und musste in keiner Situation eingreifen.

Antwortmöglichkeiten:

trifft gar nicht zu ... weiß nicht ... trifft voll und ganz zu

Auffällig ist die Diskrepanz der Antworten im Vergleich zur vorherigen Frage (vgl. Tabelle 14 und 15). Während 45% voll und ganz mit der Verfolgung der Spielziele durch das FAS zufrieden waren, stimmten nur 26% voll zu, dass sie dem Assistenzsystem vertraut haben und in keiner Situation eingreifen mussten.

Antwort	trifft gar nicht zu	trifft eher nicht zu	weiß nicht	trifft eher zu	trifft voll und ganz zu
Häufigkeit	6.5 %	25.8 %	9.7 %	32-3 %	25.8 %

Tabelle 15: Antworten auf die Aussage zum Fragebogen im vollautomatischen Modus: Ich habe dem FAS voll vertraut und musste in keiner Situation eingreifen.

Aussage:

Ich würde das vollautomatische Assistenzsystem jederzeit erneut einsetzen, um eine hohe Punktzahl zu erzielen.

Antwortmöglichkeiten:

trifft gar nicht zu ... weiß nicht ... trifft voll und ganz zu

In Tabelle 16 ist abzulesen, dass die Mehrheit der Probanden den vollautomatischen Modus erneut nutzen würde, um eine hohe Punktzahl zu erzielen. Auffällig ist, dass die Mehrheit der Probanden zwar voll und ganz zustimmt, den vollautomatischen Modus erneut zur Erzielung einer hohen Punktzahl zu nutzen, auf der anderen Seite dem *FAS* aber nicht gleichermaßen vertraut (s. Tabelle 15).

Antwort	trifft gar nicht zu	trifft eher nicht zu	weiß nicht	trifft eher zu	trifft voll und ganz zu
Häufigkeit	6.5 %	9.7 %	12.9 %	29 %	41.9 %

Tabelle 16: Antworten auf die Aussage: Ich würde das vollautomatische Assistenzsystem jederzeit erneut einsetzen, um eine hohe Punktzahl zu erzielen.

Die Auswertung der Experimente in diesem Kapitel erfolgte jeweils je Leistungsgröße und Frage getrennt. Auf Beziehungen zwischen einzelnen Auswertungsaspekten, die z. T. bereits angedeutet wurden, wird im folgenden Kapitel 5 durch eine zusammenfassende Darstellung der Teilergebnisse eingegangen.

5 Ergebnisse und Ausblick

Das vorliegende Arbeitspapier ist als Fortführung der Arbeit von [Fink \(2008\)](#) anzusehen, in der identische Computereperimente mit dem System SIMHYBS durchgeführt wurden. Die interaktive Simulationsumgebung wurde mit dieser Arbeit weitergehend getestet, zudem wurden die Ergebnisse aus der vorherigen Arbeit von Fink weiter erhärtet.

Der Ergebnisabschnitt gliedert sich in zwei Teile: methodische Ergebnisse und inhaltliche Ergebnisse. Der Abschnitt [5.1](#) beschäftigt sich damit, dass mit dem Simulationssystem SIMHYBS eine Umgebung geschaffen wurde, die es ermöglicht, künstliche hybride Systeme aufzubauen und Phänomene innerhalb dieser Systeme in unterschiedlichen Modi der Handlungsverteilung beobachtbar macht. Der zweite Ergebnisabschnitt [5.2](#) fasst einige inhaltliche Ergebnisse, die z. T. schon in den Auswertungs-Abschnitten angeklungen sind, kompakt zusammen.

5.1 Methodische Ergebnisse

Mit Hilfe des Systems SIMHYBS wurden unterschiedliche Experimente mit menschlichen Akteuren –Probanden– durchgeführt. Die Experimente haben sich darin unterschieden, dass unterschiedliche Modi der Handlungsverteilung konfiguriert wurden und je Modus zu dem Experiment gehörige Leistungsgrößen aufgezeichnet wurden. Zusätzlich wurden Antworten aus mündlichen Interviews und schriftlichen Befragungen zu erhobenen Leistungsgrößen in Beziehung gesetzt.

(R 1) Kann ein hybrides System teleologisch, d. h. nach zu verfolgenden Zielen, beschrieben werden, so können die Einschätzungen des menschlichen Akteurs über die vom nicht-menschlichen Akteur verfolgten Ziele mit Hilfe von SIMHYBS untersucht werden.

Durch die Kombination von Leistungsgrößenaufzeichnungen und Befragungen in mündlicher und schriftlicher Form werden Praktiken von Zuschreibungsprozessen beobachtbar.

(R 2) Das hybride Modell soziologischer Erklärung (s. Abschnitt [2](#)) ist als interaktive Computersimulation programmiertechnisch umsetzbar und liefert dabei plausible sowie interpretationsfähige Daten

5.2 Inhaltliche Ergebnisse

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Kapitel bemerkt, handelt es sich bei den inhaltlichen Ergebnissen um Ideen, die aus der Kombination von qualitativen und quantitativen Ergebnissen entstanden seien. Für eine umfangreichere empirische Untersuchung, die statistischen Tests standhalten soll, müssten die Fragestellungen fokussiert werden und in einer deutlich umfangreicheren Erhebung näher untersucht werden.

(R3) In einem nach Zielen beschriebenen hybriden System scheinen menschliche Akteure keine klare Abgrenzung von Ziel- und Aktionsdelegation vorzunehmen.

Bei der Auswertung der mit Hilfe des entwickelten Systems SIMHYBS durchgeführten Experimente hat sich gezeigt, dass Akteure bestimmte Aktionen als ausschließliches Mittel zur Verfolgung bestimmter Ziele begreifen und sich bei Aktionsdelegation an einen nicht-menschlichen Akteur der eigenen Verfolgung dieser Ziele entledigen.

Innerhalb der durchgeführten Experimente ging häufig mit der Delegation von Lenkaktionen an das Fahrerassistenzsystem gleichzeitig die vollständige Delegation des Ziels Crashvermeidung einher.

In einem anderen Betriebsmodus, in dem das Assistenzsystem Aktionen zur Geschwindigkeitsregulierung übernahm, äußerten Probanden Unverständnis darüber, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit, die auch als ein Ziel festgelegt war, überschritten wurde. Dabei ging den Probanden unter, dass sie durch die Übernahme bestimmter Aktionen durch das Assistenzsystem bei der Verfolgung aller Spielziele unterstützt wurden. Bewusste Geschwindigkeitsüberschreitungen durch das Assistenzsystem wären dann verständlich geblieben, weil sie zur Verfolgung weiterer Ziele, wie der Crashvermeidung, in speziellen Situationen notwendig waren.

Ein weiteres Resultat bezieht sich auf die subjektive Wahrnehmung von Kontrollverlust in hybriden Systemen:

(R4) Aus Beweggründen des Kontrollverlusts wird ein aus objektiver Sicht schlechterer Modus der Handlungsverteilung einem besseren vorgezogen.

Es hat sich gezeigt, dass für die Probanden bei freier Auswahl des Handlungsverteilungsmodus eine Präferenz für die Modi besteht, in denen ein subjektiv höheres Maß an Kontrolle über die Gesamtsituation empfunden wird. Dass sich der empfundene Kontrollverlust negativ auf die Akzeptanz eines hybriden Systems auswirkt, ist ein bekanntes Resultat aus der Akzeptanz- und Usability-Forschung (s. z. B. [Becker 2003](#)). Mit Hilfe von SIMHYBS konnte dieses Ergebnis bestätigt werden und zusätzlich gezeigt werden, dass trotz vorgegebener und bekannter Spielziele objektiv schlechtere Modi vorgezogen wurden.

Durch differenzierte Aufzeichnung externer Aktionen, also solcher, die von Probanden selbst ausgeführt wurden, hat sich gezeigt, dass in bestimmten Konstellationen immer wieder versucht wurde, in Aktionen einzugreifen, die an das Assistenzsystem delegiert waren. Die Software SIMHYBS war dabei so eingestellt, dass derartige Eingriffe keinerlei Wirkung zeigten. Trotzdem wurden z. T. immer wieder erneute Eingriffsversuche beobachtet.

Das letzte Resultat weist auf eine Symmetrie in der Zuschreibung von Handlungsträgerschaft hin:

(R5) Durch einen menschlichen Akteur erfolgt die Zuschreibung von Graden der Handlungsträgerschaft innerhalb hybrider Systeme für eine identische Aktionsmenge symmetrisch, ganz gleich, ob die Aktionen von dem menschlichen Akteur oder von einem technischen Delegierten übernommen werden.

Werden Aktionen aus einer Menge möglicher Aktionen innerhalb eines hybriden Systems vollständig unter einem menschlichen und einem nicht-menschlichen Akteur aufgeteilt, kann der menschliche Akteur nach seiner subjektiven Einschätzung befragt werden, wie sehr er mit dieser Aktionsverteilung zum Gesamtverhalten des hybriden Systems beiträgt. Beurteilt der menschliche Akteur in einer spezifischen Aktionsverteilung seinen eigenen Beitragsanteil, so beurteilt er gleichzeitig den Beitragsanteil des nicht-menschlichen Akteurs. Wird der eigene Beitragsanteil mit 40 % beurteilt, beträgt der Anteil des nicht-menschlichen Akteurs 60 %. Wird die Aktionsverteilung ausgetauscht, d. h. die zuvor durch den menschlichen Akteur übernommenen Aktionen werden vom nicht-menschlichen Akteur übernommen und umkehrt, wäre zu erwarten, dass der Beitragsanteil des menschlichen Akteurs jetzt auf 60 % geschätzt wird.

In den Befragungen zu den Experimenten sollten die Probanden beurteilen, zu welchem Anteil sie selbst zum Spielziel beigetragen haben. Es ließ sich im Rahmen der (relativ kleinen) Stichprobe tatsächlich zeigen, dass bestimmten Aktionsbündeln in dem hybriden System feste Agency-Werte zugeordnet sind, unabhängig von ihrer Zuordnung zu einem menschlichen oder nicht-menschlichen Akteur.

Ob es sich bei diesem Effekt aufgrund der geringen Probandenzahl nur um eine zufällige Beobachtung handelt, oder ob dieser auch im Rahmen einer größeren Untersuchung empirisch nachweisbar ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschließend geklärt werden.

5.3 Ausblick

Die bisherigen Experimente mit dem interaktiven Simulationssystem SIMHYBS hatten einen nahezu perfekt funktionierenden nicht-menschlichen Akteur zur Grundlage. Programmiertechnisch ist bereits ein einfacher Fehlermodus vorgesehen, der den technischen Teil des hybriden

Systems zufällig und unbemerkt ausschalten und auf diese Weise eine einfache Fehlfunktion herbeiführen kann. Weitere Untersuchungen könnten sich auf einen derartigen Fehlermodus beziehen und analysieren, wie menschliche Akteure auf unvorhersehbare Fehlfunktionen innerhalb des hybriden Systems reagieren und in welcher Weise diese perzipiert werden.

Neben einem einfachen Fehlermodus ließe sich das entwickelte hybride Modell soziologischer Erklärung, das in großen Teilen auf der Handlungstheorie von Hartmut Esser basiert, nach Vorschlägen von Thomas Kron (2004, 2006) um Fuzzy-Logik erweitern. Durch die Nutzung von Fuzzy-Logik könnten Unsicherheiten und Unschärfen, die sowohl auf Seiten menschlicher als auch auf Seiten nicht-menschlicher Akteure innerhalb hybrider Systeme auftreten, schon innerhalb des Modells explizite Berücksichtigung finden.

Anknüpfungspunkte bestehen auch zu aktuellen Forschungsarbeiten z. B. von Cummings u. Bruni (2009). Die dort vorgestellten Beschreibungsmöglichkeiten für hybride Systeme können als Verfeinerung zur Generierung von Handlungsalternativen in das Simulationssystem integriert werden.

Als letzter (aber nicht erschöpfender) Anknüpfungspunkt sind die mit hybriden Systemen einhergehenden steuerungstheoretischen Fragestellungen zu nennen. Johannes Weyer (2007) identifiziert dabei im Wesentlichen zwei Steuerungsmodi: zentrale Kontrolle und dezentrale Selbstorganisation. Seine zentrale These besteht darin, dass sich aktuell ein Governance-Regimewechsel hybrider Systemen vollzieht, der bisher weitgehend unerforscht ist und zunächst als „Mixed Governance“ bezeichnet wird. SIMHYBS könnte dahingehend erweitert werden, gerade diesen gemischten Governance-Modus experimentell näher zu untersuchen und seine Spezifika herauszustellen.

Literaturverzeichnis

Becker 2003

BECKER, Stefan: Usability und Produktakzeptanz. In: EBEL, Bernhard (Hrsg.) ; HOFER, Markus B. (Hrsg.) ; AL-SIBAI, Jumana (Hrsg.): *Automotive Management: Strategie und Marketing in der Automobilwirtschaft*, Springer, 2003, S. 250–270

Bortz u. Döring 2002

BORTZ, Jürgen ; DÖRING, Nicola: *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer, 2002

Cummings u. Bruni 2009

CUMMINGS, Mary L. ; BRUNI, Sylvain: Collaborative Human-Automation Decision Making. In: NOF, Shimon Y. (Hrsg.): *Handbook of Automation*. Springer, 2009

Esser 1991

ESSER, Hartmut: *Alltagshandeln und Verstehen. Zum Verhältnis erklärender und verstehender Soziologie am Beispiel von Alfred Schütz und "Rational Choice"*. Mohr Siebeck, 1991

Esser 1996

ESSER, Hartmut: *Soziologie - Allgemeine Grundlagen. 2.* Campus Verlag, 1996

Esser 1999

ESSER, Hartmut: *Soziologie - Spezielle Grundlagen. Bd. 1: Situationslogik und Handeln*. Campus Verlag, 1999

Esser 2001

ESSER, Hartmut: *Soziologie - Spezielle Grundlagen. Bd. 6: Sinn und Kultur*. Campus Verlag, 2001

Etzrodt 2000

ETZRODT, Christian: Alfred Schütz - Ökonom und/oder Soziologe? Eine Kritik an Hartmut Essers Interpretation der Theorie von Alfred Schütz und an seiner Definition der Situation. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* (2000), Nr. 4, S. 761–782

Fink 2008

FINK, Robin: *Untersuchung hybrider Akteurskonstellationen mittels Computersimulation*. TU Dortmund, Fakultät für Informatik / WiSo, FG Techniksoziologie, Diplomarbeit, März 2008

Kron 2004

KRON, Thomas: General Theory of Action? Inkonsistenzen in der Handlungstheorie von Hartmut Esser. In: *Zeitschrift für Soziologie* 33 (2004), Nr. 3, S. 186–205

Kron 2006

KRON, Thomas: Fuzzy-Logik für die Soziologie. In: *Österreichische Zeitschrift für Soziologie* (2006), Nr. 3, S. 51–88

Kroneberg 2005

KRONEBERG, Clemens: Die Definition der Situation und die variable Rationalität der Akteure. In: *Zeitschrift für Soziologie* 34 (2005), Nr. 5, S. 344–363

Kroneberg 2007

KRONEBERG, Clemens: Wertrationalität und das Modell der Frame-Selektion. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 59 (2007), Nr. 5, S. 215–239

Latour 1998

LATOUR, Bruno: Über technische Vermittlung. Philosophie. Soziologie, Genealogie. In: RAMMERT, Werner (Hrsg.): *Technik und Sozialtheorie*, Campus Verlag, 1998, S. 29–81

Moravec 2003

MORAVEC, Hans: Robots, after all. In: *Commun. ACM* 46 (2003), Nr. 10, S. 90–97

Rammert u. Schulz-Schaeffer 2002

RAMMERT, Werner ; SCHULZ-SCHAEFFER, Ingo: Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In: *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik* (2002), S. 11–64

Rohwer 2003

ROHWER, Götz: Modelle ohne Akteure. Hartmut Essers Erklärung von Scheidungen. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* (2003), Nr. 2, S. 340–358

Schulz-Schaeffer 2008

SCHULZ-SCHAEFFER, Ingo: Die drei Logiken der Selektion. Handlungstheorie als Theorie der Situationsdefinition. In: *Zeitschrift für Soziologie* 37 (2008), Nr. 5, S. 362–379

Tukey 1977

TUKEY, John W.: *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley, 1977

Weyer 2007

WEYER, Johannes: Autonomie und Kontrolle. Arbeit in hybriden Systemen am Beispiel der Luftfahrt. In: *Technikfolgenabschätzung - Theorie und Praxis* 16 (2007), Nr. 2, S. 35–42

Winner u. a. 2002

WINNER, H. ; WINTER, K. ; LUCAS, B. ; H.MAYER ; IRION, A. ; SCHNEIDER, H.-P. ; LÜDER, J. ; E.ZABLER ; V.DENNER ; WALTHER, M.: Adaptive Fahrgeschwindigkeitsregelung ACC / Robert Bosch GmbH. 2002. – Gelbe Reihe

Bereits erschienene Soziologische Arbeitspapiere

- 1/2003 Hartmut Hirsch-Kreinsen, David Jacobsen, Staffan Laestadius, Keith Smith
Low-Tech Industries and the Knowledge Economy: State of the Art and Research Challenges
(August 2003)
- 2/2004 Hartmut Hirsch-Kreinsen
"Low-Technology": Ein innovationspolitisch vergessener Sektor
(Februar 2004)
- 3/2004 Johannes Weyer
Innovationen fördern – aber wie? Zur Rolle des Staates in der Innovationspolitik
(März 2004)
- 4/2004 Konstanze Senge
Der Fall Wal-Mart: Institutionelle Grenzen ökonomischer Globalisierung
(Juli 2004)
- 5/2004 Tabea Bromberg
New Forms of Company Co-operation and Effects on Industrial Relations
(Juli 2004)
- 6/2004 Gerd Bender
Innovation in Low-tech – Considerations based on a few case studies in eleven European countries
(September 2004)
- 7/2004 Johannes Weyer
Creating Order in Hybrid Systems. Reflexions on the Interaction of Man and Smart Machines
(Oktober 2004)
- 8/2004 Hartmut Hirsch-Kreinsen
Koordination und Rationalität
(Oktober 2004)
- 9/2005 Jörg Abel
Vom Kollektiv zum Individuum? Zum Verhältnis von Selbstvertretung und kollektiver Interessenvertretung in Neue Medien-Unternehmen (Juli 2005)

- 10/2005 Johannes Weyer
Die Raumfahrtspolitik des Bundesforschungsministeriums
(Oktober 2005)
- 11/2005 Horst Steg
Transnationalisierung nationaler Innovationssysteme
(Dezember 2005)
- 12/2006 Tobias Haertel
UsersAward: Ein Beitrag zur optimalen Gestaltung von
Mensch-Maschine-Systemen in der Logistik
(Februar 2006)
- 13/2006 Doris Blutner, Stephan Cramer, Tobias Haertel
Der Mensch in der Logistik: Planer, Operateur und Problemlö-
ser
(März 2006)
- 14/2006 Johannes Weyer
Die Zukunft des Autos – das Auto der Zukunft. Wird der
Computer den Menschen ersetzen?
(März 2006)
- 15/2006 Simone Reineke
Boundary Spanner als Promotoren des Wissensmanagement-
prozesses
(Juli 2006)
- 16/2006 Johannes Weyer
Die Kooperation menschlicher Akteure und nicht-menschlicher
Agenten. Ansatzpunkte einer Soziologie hybrider Systeme
(Juli 2006)
- 17/2006 Jörg Abel/Sebastian Campagna/Hartmut Hirsch-Kreinsen (Hg.)
Skalierbare Organisation
- Überlegungen zum Ausgleich von Auftragsschwankungen -
(August 2006)
- 18/2006 Tabea Bromberg
Engineering-Dienstleistungen in der Automobilindustrie:
Verbreitung, Kooperationsformen und arbeitspolitische Konse-
quenzen
(Mai 2007)

- 19/2006 Hartmut Hirsch-Kreinsen
Lohnarbeit
(September 2007)
- 20/2008 Katrin Hahn
Der Lissabon-Prozess: Das Innovationskonzept und die
Auswirkungen auf die Politikgestaltung
(März 2008)
- 21/2008 Anja J. Lorenz, Johannes Weyer
Fahrerassistenzsysteme und intelligente Verkehrssteuerung.
Soziologische Analysen hoch automatisierter Verkehrssysteme
(Juni 2008)
- 22/2008 Hartmut Hirsch-Kreinsen
Innovationspolitik: Die Hightech-Obsession
(August 2008)
- 23/2008 Hartmut Hirsch-Kreinsen
Multinationale Unternehmen
(September 2008)
- 24/2009 Jörg Abel, Hartmut Hirsch-Kreinsen, Peter Ittermann:
Einfacharbeit in der Industrie – Status quo und Entwicklungs-
perspektiven
(Mai 2009)