

Kooperativität und Arbitrierung versus Autonomie: Grundsätzliche Überlegungen zur kooperativen Automation mit anschaulichen Beispielen

Frank Flemisch, Marcel Baltzer, Eugen Altendorf,
Daniel López & Claudia Rudolph

Zusammenfassung

Nach Jahrzehnten der Forschung an Assistenz- und Automationssystemen in vergleichsweise getrennten Domänen wie Robotik, Luftfahrt, Straßenfahrzeuge und *Smart Homes* / „smarten“ Infrastrukturen kristallisiert sich die Kooperation zwischen Menschen und intelligenten Maschinen als wichtiges, domänenübergreifendes Leitmotiv für die Forschung und Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen heraus.

Der Beitrag gibt eine kurze Übersicht des Kooperationsbegriffes, startend mit der Mensch-Mensch-Kooperation beim kooperativen Jagen z.B. mit den Schöninger Speeren, was Tomasello (2014) als wichtigen Meilenstein für die Entwicklung der menschlichen Intelligenz herausarbeitet, hin zur allmählichen Definition der Mensch-Maschine-Kooperation, z.B. über Rasmussen (1983) und Hollnagel & Woods (1983), Hoc (2000), Flemisch et al. (2003), Holzmann (2007), Biester (2008), Pacaux & Debernard (2007). Kooperativität wird kompetitivem Verhalten gegenübergestellt, wesentliche Faktoren von Kooperativität, wie ausreichende, aber nicht zu hohe Autonomie, äußere und innere Kompatibilität in Form von kompatiblen Ziele- und Wertesystemen sowie ein Minimum an Arbitrierungsfähigkeit zur Auflösung von Spannungen und Konflikten zwischen Kooperationspartner, beschrieben. Die theoretischen Aspekte werden an zwei praktischen Beispielen veranschaulicht: Einerseits die kooperative Fahrzeugautomatisierung, bei der sich Kooperationsnetzwerke aus vertikaler (Fahrer-Automations-) Kooperation und horizontaler Kooperation zwischen Fahrzeugsystemen herausbilden, und zu der gerade ein Schwerpunktprogramm der DFG „Kooperativ interagierende Fahrzeuge“ unter Mitwirkung der Autoren startet. Das zweite Beispiel der automatisierten Pariser Toiletten soll veranschaulichen, wie weit Automatisierung bereits in alle Lebensbereiche vorgedrungen ist. An einem Vorfall, den der Lead-Autor kürzlich in Paris beobachtet hat, wird – zugespitzt, aber immer politisch korrekt – herausgearbeitet, welche Auswirkungen es haben kann, wenn automatisierte Systeme nicht kooperativ genug ausgelegt sind.

1 Einleitung

Autonomie und Kooperativität in Verbindung mit Mensch und Technik erscheint auf den ersten Blick trivial: Ist es nicht völlig naheliegend, dass Technik so selbständig funktionieren sollte, dass man sie auch mal alleine lassen kann? Und ist es nicht klar, dass Mensch und Technik gut zusammenarbeiten sollen?

Bei näherem Hinsehen offenbart sich eine zumindest für neugierige Forscher und Entwickler faszinierende Komplexität und Tiefe der Konzepte Kooperativität, Autonomie und seiner angrenzenden Konzepte wie Konkurrenz, Arbitrierung etc.: Einerseits verfolgt uns als Menschheit die Frage von Kooperativität, wie gleich detaillierter beschrieben, schon lange, andererseits werden die grundlegenden Mechanismen und Bedeutung für *Homo Sapiens* offenbar erst seit wenigen Dekaden systematisch erforscht und verstanden. Einerseits ist die Forderung nach Kooperativität schnell ausgesprochen und intuitiv verständlich, andererseits ist Kooperativität von technischen Systemen nicht trivial herstellbar. Einerseits ist Autonomie von technischen Systemen herausfordernd, die Lösung dieser Herausforderungen z.B. in Form von automatisierten Fahrzeugen oder Robotern ist bewundernswert, andererseits kann zu hohe Autonomie auch Befremden oder Angst auslösen, und es kann eine bewusste Entscheidung sein, sie einzuschränken oder in eine Kooperation einzubringen. Aber der Reihe nach:

Wie wichtig Kooperativität für *Homo Sapiens* ist, beschreibt Tomasello (2014) in seinem Buch über die Geschichte des menschlichen Denkens. Dabei ist es offenbar nicht so sehr die operative Intelligenz, das autonome Verständnis von Raum, Mengen und Kausalität, die uns von Tieren unterscheidet – hier ähneln sich die Leistungen von Schimpansen und zweijährigen Menschen –, sondern die soziale Kompetenz, uns in andere hineinzudenken, mit ihnen zu kommunizieren und gemeinsam zu handeln. Tomasello nennt das „*Shared Intentionality*“, die Fähigkeit, mit anderen zusammen an kooperativen Aktivitäten mit geteilten Zielen und gemeinsamen Absichten teilzunehmen, und beschreibt detailliert die Entwicklung von Denken, Kommunizieren und Handeln auch in engem Wechselspiel mit dem kooperativen Einsatz von Artefakten.

Noch deutlicher wird hier (Marean, 2015): Er beschreibt die Hypothese, dass sich *Homo Sapiens* deswegen so deutlich gegen andere Homo-Arten wie *Homo Heidelbergensis* und gegen andere Tierarten durchgesetzt hat, da er neuartige Speer- und Pfeilwaffen einerseits selbständig und geschickt, weiterhin extrem kooperativ mit der eigenen Gruppe, andererseits extrem kompetitiv, um nicht zu sagen brutal, gegen alle Nicht-Mitglieder der Gruppe einsetzte. Ein möglicher Ursprungsort für diese Mischung aus Einfallsreichtum, Kooperativität und Brutalität wird eine Region in Afrika genannt, in der sich vor ca. 160.000 Jahren reiche Muschelbänke befanden, die eine wegen der globalen Abkühlung und dadurch ausgelösten Nahrungsmittelknappheit begehrte Energiequelle darstellten, die offenbar eine hohe Autonomie ermöglichten und von zunehmend besser organisierten Horden verteidigt und erobert wurden. Deren Abkömmlinge dann

von da aus ca. 70.000 bis 55.000 v.Chr. Afrika verlassen, den Rest der Welt erobern und dabei diverse Tierarten ausrotten. Obwohl diese Theorie nur eine von mehreren konkurrierenden ist, ist ihre Erklärungskraft z.B. der brutalen Kriege und der hohen Innovationsrate in kriegerischen Zeiten einerseits hoch und erschreckend, andererseits auch mit etwas Hoffnung belegt: Wir sind einerseits die Nachfahren dieser brutalen Wesen und waren offenbar immer dann besonders einfallsreich und kooperativ, wenn es gegen die andern geht. Andererseits scheinen wir Konkurrenz auch durch Kultur und Regeln zähmen zu können, haben zwar einen manchmal hart geführten Wettbewerb, z.B. in der Wirtschaft oder in der Forschung, aber schlagen uns nicht mehr ganz so oft die Köpfe ein, hoffentlich.

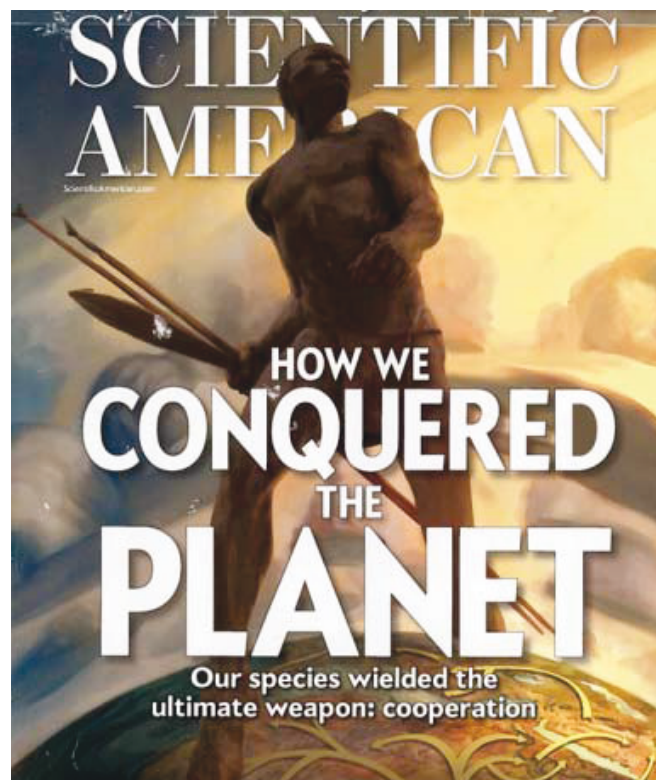


Bild 1: Die ultimative Waffe: Kooperation (Quelle: Scientific American)

Den Zusammenhang dieser Entwicklung mit der Technik beschreibt Brian Arthur sehr anschaulich in seinem epochalen Buch „*The nature of technology*“: Für ihn ist Technologie die Fortsetzung der Evolution mit anderen Mitteln, und gerade die neuartige Kombination oder Orchestrierung von Phänomenen die Quelle von Innovation. Ähnlich wie Tomasello und Marean streicht er heraus, dass es weniger Genetik oder Verhalten ist, sondern Technologie, die uns und unsere Zeit vom Mittelalter und von der Zeit vor 50.000 Jahren unterscheidet. Gleichzeitig beschreibt er die enge Verbindung zwischen Technologie und Natur: „*We are caught between two huge and unconscious forces: Our deepest hope as humans lies in technology; but our deepest trust lies in nature*“.

Wenn Kooperation offenbar unsere Natur ist und unsere tiefste Hoffnung in der Technologie liegt, liegt es umso näher, dass wir kooperative Technologie bauen.

Es liegt nahe, dass kooperative Technologie nur dann Sinn macht, wenn sie über ausreichende Fähigkeiten verfügt, die sie auch autonom handlungsfähig machen könnte. Wir sollten uns sehr genau anschauen, welche Kooperation wir in diese Maschinen einbauen, wer hier überhaupt mit wem kooperiert, und wer welche Autonomie haben sollte. Dazu kann es nützlich sein, zunächst eine abstraktere Sicht auf die Konzepte und Begriffe zu entwickeln:

2 Kooperativität vs. Autonomie und Arbitrierung

2.1 Autonomie

Unter Autonomie (von (alt-) griechisch *Autos* = selbst und *nomos* = Gesetz, d.h. Selbstgesetzgebung bzw. sich selbst Gesetze gebend) bezeichnet man bildungssprachlich „Selbständigkeit“ und „Unabhängigkeit“, eine philosophische Definition spricht von Willensfreiheit (Duden, 2015). Somit beschreiben beide Definitionen die Freiheit, selbst zu entscheiden, und die Freiheit, nach der eigenen Zielsetzung zu handeln. Bei näherer Betrachtung ist vollkommene Autonomie ein theoretischer Zustand, welcher in der Praxis nicht möglich ist: Autonomie ist nur möglich mit ausreichenden Ressourcen und Fähigkeiten, die die willensbildende Entität zur Existenz oder zum Überleben benötigt. Autonomie ist auch abhängig von zum weiteren Überleben und Handeln nötigen Ressourcen, z.B. Energie (beim Menschen Nahrung, bei der Maschine Strom oder Treibstoff), die im Machtbereich der autonomen Entität liegen. Im Umkehrschluss wird Autonomie dadurch beeinflusst, ob Ressourcen kooperativ oder im Wettbewerb (konkurrenzierend) mit anderen gewonnen werden können. Weiterhin ist wichtig festzuhalten, dass Autonomie überhaupt erst effizientes Handeln ermöglicht, also nicht per se schlecht ist, sondern etwas, das wir uns als *Homo Sapiens* beim Erwachsenwerden mühsam erwerben und bekommen.

2.2 Kooperation und Kooperativität

Unter Kooperation versteht man Zusammenarbeit hin zu einem gemeinsamen Ziel (Duden, weiter ausgeführt z.B. in Flemisch et al., 2008). Ein Beispiel für Kooperation zwischen Tieren ist das Verhalten von Feuerameisen im Amazonas bei Überschwemmungen (Bild 2).



Bild 2: Kooperative Entwicklung eines lebenden schwimmenden Floßes (©APA/dpa/Tim Nowack)

Einzelnen würden die Ameisen von Fluten überschwemmt und ertrinken. Dass sie sowohl die Fähigkeiten als auch das gemeinsame mentale Modell für ein lebendes schwimmendes Floß besitzen, führt dazu, dass fast alle Kooperationspartner überleben (Mlot et al., 2011). Kooperation in Form einer Mensch-Maschine-Kooperation wurde bereits von Rasmussen (1983) und Hollnagel & Woods (1983) beschrieben und von Hoc (2000), Onken (2002), Flemisch et al. (2003), Schulte et al. (2006), Holzmann (2007), Biester (2008), Pacaux et al. (2007) weiter ausgebaut. Am Beispiel der Fahrzeugführung können verschiedene Formen der Kooperation beobachtet werden. Zum einen kann die Kooperation des Fahrers mit seinem eigenen hochautomatisierten Fahrzeug (vertikal) und zum anderen die Kooperation mit anderen Verkehrsteilnehmern (horizontal) beschrieben werden (Bild 3).

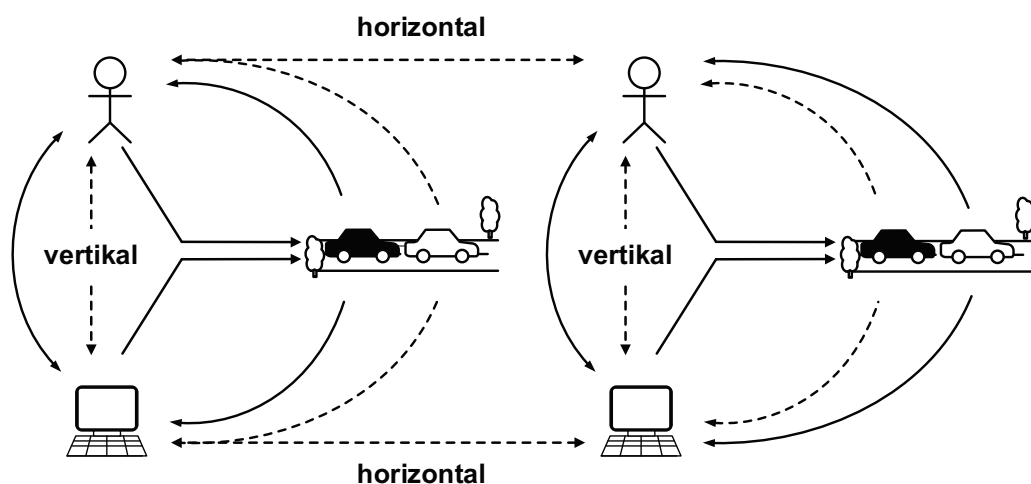


Bild 3: Vertikale und horizontale Kooperation in der Fahrzeugführung

Der Zugang zu einer für eine Entität nötigen Ressource ist, wie bereits beschrieben, in der Regel nur durch Handel oder Kooperation mit anderen Entitäten möglich, welche generell innerhalb von Rahmenbedingungen bzw. Regeln stattfindet: Damit der Mensch mit seinem Fahrzeug die Straße benutzen darf, sollte er sich an die Regeln des Straßenverkehrs halten. D.h. einen Führerschein besitzen, um nachzuweisen, dass er die Fähigkeiten und das Wissen besitzt, unter Rücksicht auf andere Verkehrsteilnehmer das Fahrzeug sicher durch den Verkehr zu führen. Zwar obliegt es seiner eigenen Autorität, sich an diese Regeln zu halten oder nicht, doch können durch Strafen einer anderen „mächtigeren“ Entität (z.B. des Staats) seine Autorität (Entzug der Fahrerlaubnis) bzw. auch seine Fähigkeiten (z.B. durch Gefängnis) eingeschränkt werden.

Entscheidend für Kooperativität sind somit ein gemeinsames Regelwerk, kompatible Zielvorstellungen und Schnittstellen sowie Entscheidungsfreiheit und Handlungsfähigkeit bei den Kooperationspartnern.

2.3 Kompatibilität

Um mit anderen Entitäten in Kooperation treten zu können, ist eine ausreichende Kompatibilität bzw. Passung der Kooperationspartner nötig. Diese beinhaltet zum

einen die äußere und zum anderen die innere Kompatibilität (Flemisch et al., 2008, 2014, auf der Basis von Bubb, 1993). Äußere Kompatibilität beschreibt die Passung der äußeren Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine wie z.B. Hand und Steuerteil. Innere Kompatibilität wiederum beschreibt eine ausreichende Passung der inneren Untersysteme des Menschen und der Maschine, z.B. eines kompatiblen Ziele- und Wertesystems.

2.4 Fähigkeiten, Autorität, Verantwortung und Kontrolle

Fähigkeiten sind die durch bestimmte Anlagen und Eigenschaften geschaffene Möglichkeit, gewisse Funktionen zu erfüllen, Anforderungen zu genügen oder etwas zu leisten (Duden, 2015). Autorität kommt vom lateinischen *auctoritas* (Duden, 2015), kann mit „Würde“, „Ansehen“ oder „Einfluss“ übersetzt werden, und beschreibt einen Sachverhalt, bei dem eine oder mehrere Entität(en), z.B. Menschen, einer anderen Entität, z.B. einem Menschen oder einer Maschine, Handlungsmöglichkeiten zugestehen (oder diese sich selbst zugesteht). Verantwortung beschreibt die Verpflichtung, Gewährleistung oder im weiteren Sinne die Haftbarkeit für etwas Geschehenes einzustehen (Duden 2015). Kontrolle ist die Beherrschung oder die Gewalt einer Entität, aber auch lediglich die Aufsicht oder die Überwachung über eine Aktivität (Duden, 2015). Präziser gefasst verstehen wir unter Kontrolle, dass eine Entität einen Sachverhalt bzw. eine Situation so beeinflussen kann, dass diese innerhalb beabsichtigter Grenzen bleibt und/oder sich in eine beabsichtigte Richtung entwickelt.

Wie in Bild 4 dargestellt, bestehen doppelte und dreifache Bindungen zwischen Fähigkeiten, Autorität, Verantwortung und Kontrolle. So motiviert Verantwortung dazu, Kontrolle auszuüben, was wiederum Verantwortung herbeiführt. Autorität sollte zunächst nicht kleiner sein als die Verantwortung, die eine Entität trägt und Kontrolle erlaubt. Weiterhin deutet Autorität bereits an, dass eine Entität auch die Verantwortung trägt. Letztlich sollten auch die Fähigkeiten einer Entität nicht kleiner als ihre Autorität sein. Fähigkeiten befähigen eine Entität dazu, Kontrolle auszuüben, und deuten wie die Autorität auch Verantwortung an.

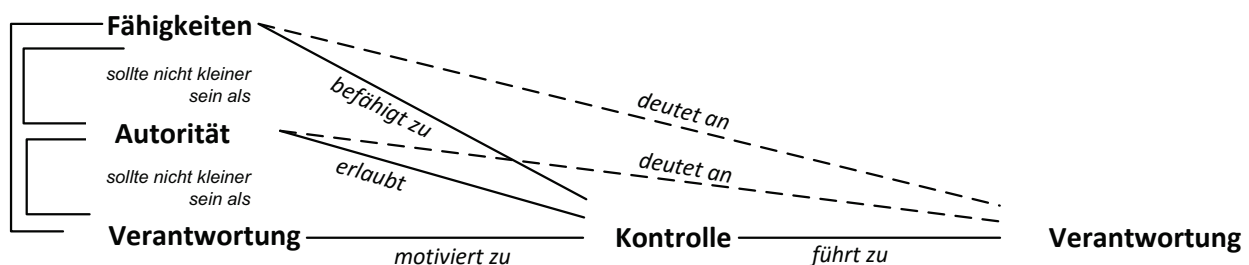


Bild 4: Doppel- und Tripelbindungen von Fähigkeiten, Autorität, Verantwortung und Kontrolle (Flemisch et al., 2011)

2.5 Werte und Ziele

Der Begriff des Ziels ist in zwei Bedeutungen (vgl. Duden, 2015) für den Bereich der Bewegungsführung relevant: In der ersten Bedeutung wird hier ein Punkt

bzw. Ort beschrieben, der von jemandem erreicht werden will. Dies kann als Resultat einer erfolgreichen Navigation von einem Startpunkt zu einem Endpunkt einer Bewegung angesehen werden. In einer zweiten Bedeutung kann ein Ziel etwas, z.B. eine Situation sein, auf die jemand bewusst sein Tun bzw. Handeln richtet. Bei einer Bewegung mag es mehr als das Navigationsziel geben. So sind z.B. Sicherheit, Komfort oder auch Kosten ebenfalls Qualitäten, die jemand durch sein Handeln entsprechend seiner Vorstellungen verändern oder in einer gewissen Ausprägung erreichen möchte. Beeinflusst werden kann dieses gezielte Handeln durch das mentale Modell, welches der Handelnde von dem System hat, mit bzw. in welchem er interagiert. Führen nun mehrere Beteiligte gemeinsam eine Handlung, wie die Führung einer Bewegung, durch, so beeinflussen neben den äußeren Zuständen ebenfalls die inneren Zustände und Repräsentationen die Handlungsdurchführung. Verfolgen zwei Entitäten, z.B. ein Mensch und eine Automation, kooperativ dieselbe Aufgabe, so sollten auch ihre Ziele in dieser Hinsicht kompatibel zueinander sein. Dies lässt sich genau dann gewährleisten, wenn die hiermit verbundenen Werte, also die den Zielen und dem hiermit verbundenen Handeln beigemessenen Qualitäten, zueinander passen (Flemisch et al., 2008). Dass die Werte und Ziele nicht nur zwischen Mensch und Automation, sondern auch zwischen den Menschen bzw. den Organisationen und einbettenden Systemen transparent und kompatibel sein sollten, ist nicht erst seit der Affäre um die VW-Dieselfahrzeuge wichtig (Bild 5).



Bild 5: Beispiel für unterschiedliche Ziele- und Wertesysteme auf Makro- und Mikroebene sowie fehlende innere Kompatibilität. Wahrscheinlich Abbruch der Kooperation (<http://starecat.com/talk-to-me-dirty-volkswagen-diesel/>)

2.6 Arbitrierung

Ein wichtiger Mechanismus für Kooperation ist die Verhandlung, bei der unterschiedliche Zielvorstellungen und Absichten aufgelöst werden können. Übertragen auf Mensch-Maschine-Systeme sprechen wir von (Mensch-Maschine)-Arbitrierung, eine strukturierte, oft zeitnahe Verhandlung zwischen einem Menschen und einer Automation mit dem Ziel, eine eindeutige Handlungsentscheidung herbeizuführen (Kelsch et al., 2006; Baltzer et al., 2014). Im

Spannungsfeld der Autonomie und der Kooperation bedeutet dies, dass sowohl Mensch als auch Automation selbständig Absichten, im Extrem sogar eigene Ziele, entwickeln. Diese Absichten werden anschließend gegeneinander abgewogen, sodass im besten Fall eine sowohl für die Automation als auch für den Menschen optimale Vorstellung entwickelt wird, die in einer gemeinsamen Handlungsentscheidung und -ausführung resultiert.

3 Kooperativität vs. Autonomie in der Fahrzeugautomation

Fahrzeuge verfügen immer mehr über die Möglichkeit, den Menschen bei der Fahrzeugführung zu unterstützen. Historisch begann diese Entwicklung bereits vor ca. 70 Jahren mit ersten technischen Systemen zur automatischen Geschwindigkeitsregelung (Teetor Meyer, 2011). Einige Jahrzehnte später gab es bereits deutlich weitreichendere Bestrebungen, Fahrzeuge mit autonomen Fähigkeiten auszustatten, wie z.B. in den 1970er Jahren in Japan (z.B. Tsugawa, 1993) oder ab Mitte der 1980er Jahre in Europa bzw. ab den 1990er Jahren in den USA. Insbesondere aus den Bemühungen im Rahmen des europäischen Prometheus-Programms (z.B. Dickmanns, 1998) sind zahlreiche Assistenzsysteme, wie z.B. die adaptive Geschwindigkeitsregelung (ACC), entstanden, welche heute in teilweise beträchtlicher Stückzahl in Serienfahrzeugen verbaut werden. Alle dieser Ansätze haben gemeinsam, dass sie selbstständig Teilaspekte der Fahrzeugführung, wie das Steuern der Längsdynamik beim ACC, ausführen. Durch die Automatisierung solcher Bereiche oder das gleichzeitige Verwenden mehrerer solcher Automatisierungslösungen erlangen entsprechende Fahrzeuge die Fähigkeit zu einer immer höheren Autonomie. Diese Fähigkeit kann, wie zuvor dargestellt, auch sinnvoll sein, um den Menschen sinnvoll und sicher unterstützen zu können.

Gleichzeitig sitzt auch bei der Mehrzahl der aktuellen Bestrebungen zum automatischen Fahren ein Mensch im Fahrzeug, um jederzeit bei einer Fehlfunktion die technische Autonomie überstimmen zu können, zumindest bei Fahrten im öffentlichen Raum. Sei dies in Form eines Übersteuerens oder in Form eines Aus-Knopfes. Hier wird anschaulich deutlich, dass bei aller autonomen Fähigkeit der technischen Systeme die menschliche Perzeption und Kognition nach wie vor eindeutige Vorteile in bestimmten Situationen gegenüber den rein computer-gesteuerten Systemen hat. Eine möglichst erfolgversprechende Kombination aus den Vorteilen dieser beiden „Systeme“, Mensch und Automation, bietet der Ansatz der kooperativen Fahrzeugführung (Flemisch et al., 2014). Eine von mehreren Instantiierungen der kooperativen Fahrzeugführung ist der H-Mode, eine intuitiv verstehbare, haptisch multimodale Bedienweise auf der Grundlage der *H(orse)*-Metapher (Flemisch et al., 2003) entwickelt und weiter ausgebaut (z.B. Flemisch et al., 2012; Altendorf et al., 2015). Hierbei dient die Interaktion zwischen Reiter und einem trainierten, gutmütigen Pferd als Vorbild für die kooperative und gemeinsame Fortbewegung. Das Pferd verfügt ebenfalls über die Fähigkeit, sich autonom zu bewegen. Trotzdem behält der geübte Reiter die Zügel

in der Hand, um jederzeit sein Tier führen und die Kontrolle behalten zu können. Auf die Führung teil- und hochautomatisierter Fahrzeuge übertragen, verhält es sich ähnlich. Insbesondere in komplexen Situationen, die für ein regelbasiertes technisches System nicht eindeutig auflösbar sind, ist der Mensch als Kontrollinstanz unverzichtbar. Oder anders ausgedrückt: auch beim automatisierten Fahren sollte der Mensch, wenn auch locker, die Zügel nach wie vor in der Hand behalten. Eine genauere Beschreibung solcher kooperativer Systeme zur Fahrzeugführung findet sich ebenfalls in diesem Band bei Flemisch et al. (2015).

4 Kooperativität vs. Autonomie am Beispiel eines Pariser WC



Bild 6: Beispiel eines Sanisette Toilettenhäuschens von außen (Quelle: wikimedia, 2015) und von innen (Quelle: parisii.fr)

Wie weit Automation schon in das Alltagsleben und selbst in intime Bereiche vorgedrungen ist, und wie wichtig hier Kooperativität sein könnte, macht das Beispiel der Pariser Toiletten deutlich.

Jeder Mensch kennt dieses Problem: Egal wie hoch-technisiert und kultiviert *Homo Sapiens* auch ist, er hat nach wie vor körperliche Bedürfnisse wie Atmen, Essen, Trinken, Fortpflanzung und ... das Ausscheiden von flüssigen und festen Reststoffen. Was in der freien Natur ein kleineres Problem darstellt, kann in Städten schon ein deutlich größeres Problem werden. In Paris und anderen Orten gibt es besondere Orte, um dieses Geschäft zu verrichten. In der ganzen Stadt verteilt befinden sich ca. 400 automatisierte Toiletten, die sogenannten „Sanisettes“ (Bild 6). Die Benutzung scheint zunächst simpel: auf Knopfdruck öffnet sich die Tür, und man geht in das kleine Toilettenhäuschen hinein. Die Türen schließen auf Knopfdruck, und man kann sein Geschäft verrichten. Klingt sehr einleuchtend und einfach, kann aber ziemlich schief gehen:

Auf einem wissenschaftlichen Austauschtreffen in Paris beobachtete der Erstautor folgenden Vorfall aus unmittelbarer Nähe: An einem der Toilettenhäuschen hatte sich eine kleine Schlange gebildet. Menschen gingen einzeln und offenbar unter einem gewissen Druck hinein und kamen nach ein paar Minuten erleichtert wieder heraus. So weit, so gut. Doch dann geschah etwas Unerwartetes: Nachdem ein weiterer Mensch das Häuschen betreten hatte, ging die Tür nur kurz zu, und

gleich darauf wieder auf. Ein verdutzter Blick des Notleidenden, wieder der Versuch, die Tür zu schließen, wieder geht die Tür auf. Der Blick wird verzweifelter, ein dritter Versuch, wieder geht die Tür auf, eine automatisierte Frauenstimme sagt etwas auf Französisch. Der Mensch, ein männlicher Vertreter von *Homo Sapiens*, schaut kurz in die Schlange, sieht dass kein weiblicher Vertreter von *Homo Sapiens* anwesend ist, und tut das offenbar Nötige und Naheliegende: Er wendet sich trotz offener Tür dem Ort der Erleichterung zu und schlägt, mit dem Rücken der wartenden Schlange zugewandt, politisch korrekt und offenbar erleichtert sein Wasser ab. Mittendrin sagt wieder eine französische Frauenstimme etwas, das offenbar keiner der Umstehenden versteht, und plötzlich kommt zusätzlich Bewegung in die Sache: Das Toilettenbecken klappt auf einmal wie von Geisterhand innerhalb weniger Sekunden in die Wand ein, der Delinquent kann offenbar gerade noch seinen biologischen Vorgang unterbrechen, oder vielleicht nicht mehr ganz unfallfrei unterbrechen, und zu allem Überfluss geht noch die Tür zu. Wassergeräusche werden hörbar und lautes Fluchen, aber nach wenigen Sekunden geht die Tür wieder auf und ein ziemlich verzweifelter männlicher *Homo Sapiens* geht schimpfend und offenbar nur halb verrichteter Dinge weg.

Tief verstört von diesem Erlebnis trommelt der Erstautor sein Forschungsteam zusammen und recherchiert folgenden erstaunlichen Sachverhalt:

Die Toiletten, die den „Prix de l'Autonomie“ gewonnen haben, sind hochautomatisiert. Betritt man die Toilette und verriegelt die Tür per Knopfdruck, hat man nun 15 Minuten Zeit, bevor sich die Türen (aus Sicherheitsgründen und zur Prävention illegaler Aktivitäten) automatisch öffnen. In der Regel wird man vorher fertig und kann über einen Knopfdruck die Türen zum Verlassen des Häuschens öffnen. Nach einigen Sekunden schließt sich die Tür wieder und der Reinigungsvorgang startet, bei dem nicht nur die Toilette, sondern ebenfalls der Boden gereinigt wird.

Dieser Zyklus kann nicht manipuliert werden, sodass es häufig Geschichten darüber gibt, dass sich die Türen öffnen und der Benutzer vor anderen, wartenden Gästen bloßgestellt wird, oder dass Leute in der Toilette eingesperrt sind, während der Reinigungsvorgang gestartet wird und somit nasse Füße kriegen. Dies sollte eigentlich durch Sensoren im Boden bzw. durch einen Radarsensor verhindert werden, aber die funktionieren nicht immer.

Was dem oben beschriebenen Nutzer jedoch zum Verhängnis wurde, war ein anderer Umstand: Die Toilettentür schließt nach jedem Besucher einmal ab, um sich automatisch zu reinigen. Der Nutzer war entweder nicht vertraut mit diesem Umstand, oder so unter Druck, dass er es vergessen hatte, und versuchte direkt nach dem Verlassen des Vornutzers den Raum zu betreten. Und die Toilette tat das, wozu sie programmiert war, versuchte erst, den Nutzer hinaus zu komplementieren, und schließlich in der irrigen Annahme, dass der Nutzer nicht mehr da sei, zu reinigen.

In diesem Beispiel wird klar, dass es nicht trivial ist, den richtigen Grad der Autonomie und Kooperativität zu finden, der nötig ist, um auftretende Probleme zu vermeiden und trotzdem die nötige Sicherheit zu gewährleisten. Ein Interface, das mehr Anteilnahme des Benutzers am Gesamtsystem vorsieht, kann zwar aufwändiger sein, aber das wäre absolut gerechtfertigt gewesen: Ein System in einem solchen „kritischen / unangenehmen“ Bereich muss unbedingt von allen Menschen, egal ob jung, alt, technikaffin oder eben nicht, verstanden werden.

Die Autonomie der Toilette war offenbar deutlich zu hoch und die Kooperativität durch fehlendes Situationsverständnis deutlich zu gering. Die Konstrukteure hatten offenbar nicht verstanden, wie Toiletten-Schlangen funktionieren, bei denen man sich „die Tür in die Hand gibt“, oder hatten das schlicht ignoriert. Der Arbitrierungsvorgang war offenbar nicht erfolgreich, der Nutzer hatte durch unzureichende innere Kompatibilität und die unzureichende Interaktion nur wenige Chancen. Der „Preis der Autonomie“ war gerechtfertigt, für den Preis für Kooperativität müsste man noch deutlich nacharbeiten:

Ein kooperatives System sollte sehr viel früher deutlich machen, dass es jetzt ohne Nutzer sein und die Selbstreinigung durchführen möchte. Wenn der Nutzer trotzdem aufgrund der hohen Dringlichkeit auf die Nutzung besteht, wäre es auch ohne größeren Schaden möglich, die Nutzung zuzulassen. In diesem Fall ist es sogar vergleichsweise leicht, die aktuelle Situation der Nutzung festzustellen und sich darauf einzustellen.

Das Design eines komplexen kooperativen Systems kann eine etwas längere und intensivere Forschung und Entwicklung benötigen, jedoch bessere Ergebnisse liefern. Auch wenn ein Restrisiko bleibt, erhöht ein auf Kooperation ausgelegtes Systemdesign die Chance, dass jeder damit gut umgehen kann.

5 Fazit und Ausblick

Wenn nach Tomasello (2014) Kooperation offenbar unsere Natur ist und nach Arthur (2011) unsere tiefste Hoffnung in der Technologie liegt, könnte kooperative Technologie ein wichtiger Schlüssel sein, um die Menschheit ein weiteres Stück voranzubringen. Kooperative Technologie braucht autonome Handlungsfähigkeit als Grundlage, gleichzeitig muss Autonomie immer in einen kooperativen Kontext eingebunden sein, eine nicht zu unterschätzende Herausforderung für Forschung, Entwicklung und Gesellschaft. Das Beispiel der Pariser Toiletten ist ein kleiner Vorgeschmack dessen, was kommen könnte, wenn wir falsch und zu wenig kooperativ automatisieren.

Marean (2015) weist darüber hinaus auf den Zusammenhang zwischen Kooperation und Wettbewerb hin, der in Form von Kriegen auch zerstörerisch sein kann. Was bei Toiletten noch auf den ersten Blick harmlos erscheint, kann sich in Form von bewaffneten Fahr- und Flugrobotern sowie von autonomen Internetagenten schnell zu existentiell bedrohlichen Risiken für den Menschen herausbilden.

Das Beispiel der Amazonas-Ameisen weist darauf hin, dass *Homo Sapiens* nicht losgelöst vom Rest der Schöpfung ist, sondern immer auch in kompetitiven und kooperativen Beziehungen in einem gemeinsamen Übersystem steht. Die globale Erwärmung der Erde stellt – unabhängig davon, ob sie vom Menschen ausgelöst wurde oder „nur“ natürliche Schwankungen vom Menschen verstärkt wurden – eine existentielle Herausforderung dar, für die wir *Homo Sapiens* alles in die gemeinsame Waagschale werfen sollten, was wir bisher gelernt haben, damit wir uns den Namen auch verdienen. Kooperativität deutet nicht nur in Richtung Mensch-Mensch- und Mensch-Technik-Kooperation, sondern auch hin zu einer intensiven Kooperation mit unserem gemeinsamen Übersystem.

Risiko und Chance der kooperativen Automation sollte durch intensive Forschung weiter systematisch ausgelotet werden, im inspirierenden Wettbewerb, aber immer auch kooperativ.

Literatur

- Altendorf, E., Baltzer, M., Kienle, M., Meier, S., Weißgerber, T., Heesen, M. & Flemisch, F. (2015). H-Mode 2D. In *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (S. 1123-1138). Wiesbaden: Springer Fachmedien. Wiesbaden.
- Arthur, B. (2011). *The Nature of Technology: What it is and How it evolves*. London: Penguin Group.
- Baltzer, M., Flemisch, F., Altendorf, E. & Meier S. (2014). Mediating the Interaction between Human and Automation during the Arbitration Processes in Cooperative Guidance and Control of Highly Automated Vehicles. In T. Ahram, W. Karwowski & T. Marek (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. AHFE 2014, Kraków.
- Biester, L. (2008). *Cooperative automation in automobiles*. Dissertation., Humboldt-Universität zu Berlin.
- Bubb, H. (1993). Systemergonomie. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie*. München: Carl Hanser.
- Dickmanns, E.D. (1998). Vehicles capable of dynamic vision: a new breed of technical beings?. *Artificial Intelligence*, 103(1), 49-76.
- Duden (2015). *Autonomie, online*. URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/...>
- Flemisch, F.O., Adams, C.A., Conway, S.R., Goodrich, K.H., Palmer, M.T. & Schutte, P.C. (2003). *The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction* (NASA/TM—2003-212672). Hampton, Virginia: National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center.
- Flemisch, F., Altendorf, E., Baltzer, M., Rudolph, C., Krasni A. & López D. (2015). Kooperative Führung teil- und hochautomatisierter Fahrzeuge am Beispiel H-Mode und StrAsRob: Stand 2015. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Kooperation und kooperative Systeme in der Fahrzeug- und Prozessführung* (57. Fachausschusssitzung DGLR L6.4 Anthropotechnik). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal - Oberth e.V.
- Flemisch, F.O., Bengler, K., Bubb, H., Winner, H. & Bruder, R. (2014). Towards cooperative guidance and control of highly automated vehicles: H-Mode and Conduct-by-Wire. *Ergonomics*, 57(3), 343-360.

- Flemisch, F., Heesen, M., Hesse, T., Kelsch, J., Schieben, A. & Beller, J. (2011). Towards a dynamic balance between humans and automation: Authority, Ability, Responsibility and Control in Shared and Cooperative Control Situations. *Int. Journal Cognition, Technology & Work online*, 18.11.2011.
- Flemisch, F., Kelsch, J., Löper, C., Schieben, A. & Schindler J. (2008). Automation spectrum, inner/outer compatibility and other potentially useful human factors concepts for assistance and automation. In D. de Waard, F.O. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid & K.A. Brookhuis (Eds.), *Human Factors for assistance and automation* (pp 1-16). Maastricht: Shaker Publishing.
- Flemisch, F., Meier, S., Baltzer, M., Altendorf, E., Heesen, M., Griesche, S., Weißgerber, T., Kienle, M. & Damböck, D. (2012). Fortschrittliches Anzeige- und Interaktionskonzept für die kooperative Führung hochautomatisierter Fahrzeuge: Ausgewählte Ergebnisse mit H-Mode 2D 1.0. In M. Grandt & S. Schmerwitz (Hrsg.), *Fortschrittliche Anzeigesysteme für die Fahrzeug- und Prozessführung* (54. Fachausschusssitzung DGLR L6.4 Anthropotechnik, DGLR-Bericht 2012-01, S. 91-110). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal - Oberth e.V.
- Hoc, J.M. (2000). From human-machine interaction to human-machine cooperation. *Ergonomics*, 43(7), 833-843.
- Hollnagel, E. & Woods, D.D. (1983). Cognitive systems engineering: New wine in new bottles. *International Journal of Man-Machine Studies*, 18(6), 583-600.
- Holzmann, F. (2007). *Adaptive Cooperation Between Driver and Assistant System: Improving Road Safety*. Springer Science & Business Media.
- Kelsch, J., Flemisch, F.O., Löper, C., Schieben, A. & Schindler, J. (2006). Links oder rechts, schneller oder langsamer? Grundlegende Fragestellungen beim Cognitive Systems Engineering von hochautomatisierter Fahrzeugführung. In M. Grandt & A. Bauch (Hrsg.), *Cognitive Systems Engineering i.d. Fahrzeug- und Prozessführung*. (48. Fachausschusssitzung DGLR L6.4 Anthropotechnik, DGLR-Bericht 2006-02, S. 227-240). Bonn: Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt - Lilienthal - Oberth e.V.
- Marean, C. (2015). The most invasive species of all. *Scientific American*, August 2015, USA.
- Mlot, N.J., Tovey, C.A. & Hu. D.L. (2011). Fire ants self-assemble into waterproof rafts to survive floods. In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(19), 7669-7673.
- Onken, R. (2002). Human Process Control and Automation - still compatible concepts?. In B.-B. Borys & C. Wittenberg (Eds.), *From Muscles to Music: A Festschrift to Celebrate the 60th Birthday of Gunnar Johannsen*. Kassel: Kassel University Press.
- Pacaux-Lemoine, M.P. & Debernard, S. (2007). Common work space or how to support cooperative activities between human operators: application to fighter aircraft. In *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics* (pp. 796-805). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC 13(3), 257-266.
- Schulte (2006). Co-operating Cognitive Machines - An Automation Approach to Improve Situation Awareness in Distributed Work Systems. *System Concepts and Integration (SCI) Panel Workshop on Tactical Decision Making and Situational Awareness for Defense against Terrorism*. Turin, Italy: NATO RTO.

- Stiller, C., Burgard, W., Deml, B., Eckstein, L., Flemisch, F., Köster, F., Maurer, M. & Wanielik, G. (2014). *DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1835 - Kooperativ interagierende Automobile - Auszüge des Antrages*. <http://www.mrt.kit.edu/spp1835/>
- Teetor Meyer, M. (2011). *One Man's Vision: The Life of Automotive Pioneer Ralph R. Teetor*. CreateSpace Independent Publishing Platform. May 16, 2011.
- Tomasello, M. (2014). *A natural history of human thinking*. Cambridge: Harvard University Press.
- Tsugawa, S. (1993). Vision-based vehicles in japan: the machine vision systems and driving control systems. In *Proceedings Industrial Electronics Conference, ISIE'93*, Budapest, Hungary.

Autoren

Prof. Dr.-Ing. F. Flemisch

RWTH Aachen
Institut für Arbeitswissenschaft
sowie
Fraunhofer-Institut für Kommunikation,
Informationsverarbeitung und Ergonomie
FKIE, Wachtberg

Dipl.-Wirt.-Ing. M. Baltzer
C. Rudolph, M.Sc.

Fraunhofer-Institut für Kommunikation,
Informationsverarbeitung und Ergonomie
FKIE, Wachtberg

Dipl.-Ing. E. Altendorf, B.Sc.
D. López, M.Sc.

RWTH Aachen
Institut für Arbeitswissenschaft

Kontakt: frank.flemisch@fkie.fraunhofer.de