

# **Die Zukunft des Autos – das Auto der Zukunft.**

**Wird der Computer den Menschen ersetzen?**

**Johannes Weyer**

**Arbeitspapier Nr. 14 (März 2006)**

überarbeitete Fassung eines  
Vortrags auf dem  
**"Branchenforum Freier Autoreparaturmarkt"**  
am 15. Januar 2006 in Dortmund

ISSN 1612-5355

## **Herausgeber:**

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

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

Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät  
Universität Dortmund  
D-44221 Dortmund

## **Ansprechpartnerin:**

Dipl.-Päd. Martina Höffmann, e-mail: [m.hoeffmann@wiso.uni-dortmund.de](mailto:m.hoeffmann@wiso.uni-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 Universität Dortmund vorzustellen. Anregungen und kritische Kommentare sind nicht nur willkommen, sondern ausdrücklich erwünscht.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung: Spielt die Technik verrückt? .....</b>	<b>1</b>
1.1	U-Bahn-Unglücke in Köln und Bangkok.....	1
1.2	Mitdenkende Technik?.....	2
<b>2</b>	<b>"Rechner auf Rädern" .....</b>	<b>4</b>
2.1	Fahrerassistenzsysteme.....	4
2.2	Vigilanzreduktion .....	5
<b>3</b>	<b>Visionen des Autos der Zukunft.....</b>	<b>6</b>
3.1	Verantwortung des Fahrers?.....	7
3.2	Unverantwortliche Assistenz?.....	7
3.3	Vollautomatisches Fahren? .....	8
<b>4</b>	<b>Autonomes Fahren – vernetzter Verkehr .....</b>	<b>10</b>
4.1	Transformationen des Systems Straßenverkehr.....	11
4.2	Passive Verkehrsbeeinflussung.....	12
4.3	Aktive Verkehrssteuerung .....	12
4.4	Rationale Egoisten und das Problem der sozialen Ordnung .....	13
4.5	Zwischenfazit.....	14
<b>5</b>	<b>Entwicklungspfade des Verkehrssystems.....</b>	<b>14</b>
5.1	Dezentrale Koordination in der Luftfahrt.....	15
5.2	Trends und Entwicklungskorridore .....	15
5.3	Kollisionsvermeidung durch dezentrale Koordination?.....	17
<b>6</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>19</b>
6.1	Technikzentrierte versus nutzerzentrierte Automationsstrategie .	19
6.2	Einführung neuer Technik als experimenteller Prozess.....	20
6.3	Die Rolle des Menschen in hochautomatisierten Systemen.....	20
<b>7</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>21</b>



## **1 Einleitung: Spielt die Technik verrückt?**

Probleme mit der Elektronik bis hin zu mysteriösen Totalausfällen, deren Ursache oftmals nicht rekonstruierbar ist, prägen seit einigen Jahren die Diskussion über das Automobil. Laut ADAC-Statistik waren 36 Prozent aller Pannen im Jahr 2003 durch Probleme mit der Elektrik und der Elektronik verursacht (vgl. Vašek 2004: 22) – ein Wert, der auch im Folgejahr wieder erreicht wurde.<sup>1</sup> Und der Ärger mit der elektrohydraulischen Bremse SBC, der Mercedes zur teuersten Rückrufaktion aller Zeiten veranlasste und einen gewaltigen Image-Schaden verursachte, ist noch in frischer Erinnerung (vgl. Haertel/Weyer 2005). Das Auto wird immer komplexer, und den eingefleischten Autofahrer beschleicht immer mehr ein beklemmendes Gefühl, dass er die Technik nicht mehr im Griff hat, vor allem wenn die Technik verrückt spielt.

Der folgende Text behandelt zwei Themen, und zwar:

- die Risiken einer technikzentrierten Automationsstrategie im Fahrzeugbau, in der der Mensch nur noch eine Nebenrolle spielt und schrittweise die Kontrolle über die Steuerung des Fahrzeugs verliert;
- die damit einher gehenden Entwicklungsperspektiven des Systems "Straßenverkehr", die durch einen Vergleich mit dem Schienenverkehr und der Luftfahrt ausgelotet werden soll, denn diese Verkehrssysteme nähern sich in ihren Technologien und ihrer Systemarchitektur immer stärker aneinander an.

Dabei wird die These verfolgt, dass sich mit der Einführung elektronischer Assistenzsysteme im Straßenverkehr ein schleichender Systemwechsel vollzieht, der die Option einer zentralen Steuerung eines vormals dezentral koordinierten Systems eröffnet. Thema werden neben den technischen Alternativen daher auch die Governance-Strukturen von Verkehrssystemen sein.

Zur Illustration sollen zu Beginn zwei Beispiele dienen, in denen die Elektronik versagt hat.

### **1.1 U-Bahn-Unglücke in Köln und Bangkok**

Am 23. August 1999 raste in der Kölner Innenstadt eine U-Bahn ungebremst mit hoher Geschwindigkeit in einen stehenden Zug; dabei wurden 42 Menschen verletzt, sieben davon schwer. Das Unglücksfahrzeug war ein Prototyp des von Siemens hergestellten, neuen High-Tech-Zuges "City Sprinter", der sich seit wenigen Wochen im Probeinsatz befand und mit

---

<sup>1</sup> [www.adac.de/Auto\\_Motorrad/pannenstatistik\\_maengelforum/pannenstatistik\\_2004/default.asp?ComponentID=113337&SourcePageID=9989](http://www.adac.de/Auto_Motorrad/pannenstatistik_maengelforum/pannenstatistik_2004/default.asp?ComponentID=113337&SourcePageID=9989) (27.03.06)

einer innovativen elektronischen Fahrzeugsteuerung ausgerüstet war (FAZ 24.08.1999: 9, Rhein-Zeitung 24.08.1999<sup>2</sup>). Diese hätte den Zug normalerweise automatisch abbremsen müssen. Sie war jedoch ausgefallen, was für sich genommen kein Problem gewesen wäre, weil für derartige Notfälle ein weiteres mechanisches Bremssystem vorhanden war, das den Zug auf konventionelle Weise hätte anhalten können. Der Fahrer versuchte jedoch zu lange, die neue elektronische Bremse zu aktivieren, statt den roten Nothalteknopf für die mechanische Bremse zu betätigen. Er befand sich in einer ungewohnten Stress-Situation; denn "die gewohnt hohe Verfügbarkeit der heutigen Fahrzeugtechnik macht derartige Vorfälle ... zur seltenen Ausnahme" (Rossberg 1999). Zudem stand ein weiteres, bewährtes Notfallsystem nicht zur Verfügung; denn in der Kölner U-Bahn gab es eine Vorkehrung, die bei Tunnelfahrten die Notbremse im Fahrgastraum deaktiviert, um zu vermeiden, dass ein brennendes Fahrzeug im Tunnel zum Halt kommt. Diese "Verkettung mehrerer unglücklicher Umstände" (Rossberg 1999) führte letztlich zu dem Unglück in Köln.

Ein ähnlicher Unfall ereignete sich am 16. Januar 2005 in Bangkok, wo bei einem Zusammenprall zweier U-Bahnen einhundert Menschen verletzt wurden; der glückliche Zufall, dass der Unglückszug nur mit geringer Geschwindigkeit in den Bahnhof einfuhr, hat dabei eine größere Katastrophe verhindert (FAZ 18.01.2005: 7). Auch hier war ein von der Firma Siemens entwickeltes System für den automatischen Fahrbetrieb namens Trainguard im Einsatz, dessen Funktion es ist, derartige Vorfälle zu vermeiden; Trainguard ist nach Angaben von Siemens sogar für den fahrerlosen Betrieb geeignet und ermöglicht u.a. eine "bessere Streckennutzung durch kürzere Zugfolgen".<sup>3</sup> ([www.transportation.siemens.com](http://www.transportation.siemens.com)).

Die beiden Vorfälle provozieren die Frage, ob die Technik verrückt spielt und ob wir die moderne Elektronik zur Steuerung komplexer Systeme noch im Griff haben. Zudem ist zu klären, welche Rolle der Mensch in derartigen Szenarien spielt, ob er Störungsursache oder Störfallmanager ist und ob wir eines Tages ganz auf ihn verzichten und uns ganz und gar einer hochautomatisierten Technik anvertrauen können.

## **1.2 Mitdenkende Technik?**

In Nürnberg wird im Laufe des Jahres 2006 Deutschlands erste vollautomatische U-Bahn in Betrieb gehen (Hersteller wiederum Siemens), die sogar

---

<sup>2</sup> "Crash im U-Bahn-Tunnel", <http://rhein-zeitung.de/on/99/08/24/topnews/u-bahn.html> (07.01.06)

<sup>3</sup> [www.transportation.siemens.com/ts/de/pub/products/ra/products/control\\_tec/vicos\\_oc\\_501\\_de.htm](http://www.transportation.siemens.com/ts/de/pub/products/ra/products/control_tec/vicos_oc_501_de.htm) (27.03.06)

für den Mischbetrieb von konventionellen und automatischen Verfahren ausgelegt ist – ein absolutes Novum, denn alle bisherigen Experimente mit fahrerlosen U-Bahnen in Lyon, Paris, Kopenhagen oder Singapur fanden auf separaten Strecken statt (FAZ 19.10.2004: T1). Als Vorzug der computer-gesteuerten Züge wird u.a. genannt, dass die Automatik "die Flexibilität beim Zügeinsatz" steigere und "dichtere Zugfolgen" sowie "optimierte Brems- und Beschleunigungsvorgänge" erlaube (ebd.).

Derartige Versprechungen erinnern (in fataler Weise) an die Werbe-Slogans, mit denen 1987 das erste computergesteuerte Flugzeug vermarktet wurde, der Airbus A320. "Das denkende Flugzeug verzeiht Pilotenfehler" (FAZ 14.10.1987) hieß es vollmundig; aber nach dem ersten Absturz des A320 bei einer Flugschau im Elsaß am 26. Juni 1988 – noch vor dem regulären Einsatz im Linienbetrieb – wurde der Pilot beschuldigt, dass er Fehler gemacht und so den Absturz verursacht habe (FAZ 28.06.1988).

Letztlich hatte jedoch das blinde Vertrauen in die überlegene Leistungsfähigkeit der neuen Technik den Piloten verführt, in Grenzbereiche zu gehen, in die man sich zuvor nicht gewagt hätte – das bekannte Titanic-Syndrom.

Auch der Unfall eines Lufthansa-Jets in Warschau am 14. September 1993 (mit zwei Toten) zeigt, wie schwer moderne Technik zu beherrschen ist, wenn sich unvorhergesehene kritische Situationen ergeben. Bei der Landung, die unter schlechten Witterungsbedingungen stattfand, versagten die Bremsen wegen Steamplaning (ähnlich dem Aquaplaning); die Piloten versuchten, die fehlende Verzögerung durch eine volle Schubumkehr der Triebwerke auszugleichen, doch der Bordcomputer regelte die Schubumkehr auf 71% herunter – ein starres Limit, das Airbus aus Gründen der Triebwerksschonung gesetzt hatte. Zudem funktionierten die Störklappen nicht, die nach der Landung den Auftrieb vernichten und so das Flugzeug an den Boden drücken, weil das Flugzeug wegen des starken Seitenwinds in leichter Schräglage aufsetzte und nur einer der beiden Sensoren in den Fahrwerken das Signal gab, dass der Airbus Bodenkontakt hatte. Im Bestreben, ein fehlerfreies Flugzeug zu bauen, hatte Airbus hier also eine Sicherung eingebaut, die sich in der Praxis als fatal erwies (vgl. u.a. Weyer 1997: 251). Bewährte Routinen, mit denen erfahrene Piloten ein Verkehrsflugzeug auch unter widrigen Umständen sicher zu Boden zu bringen, konnten beim A320 nicht mehr eingesetzt werden.

Ähnlich wie im Fall des Unglücks in der Kölner U-Bahn zeigt sich auch hier, dass hochautomatisierte Systeme zu schwer beherrschbaren Konflikt-Konstellationen führen können, in denen der Mensch mit all seinen Erfahrungen und Routinen einer Maschinerie gegenüber steht, die nach vorprogrammierten Szenarien operiert und bewährte Verfahren des Störfallmanagements außer Kraft setzt.

Eine ähnliche Entwicklung könnte sich in absehbarer Zukunft auch im Automobil-Bereich ergeben; denn die elektronische Revolution, die sich in der Luftfahrt seit den 1980er und im Schienenverkehr seit den 1990er Jahren vollzieht, greift seit einigen Jahren mit großer Macht auch auf den Straßenverkehr über.

## **2 "Rechner auf Rädern"**

Der Airbus A380 wird als "fliegendes Rechnernetz" (Ziegler/Benz 2005) bezeichnet; ähnlich spricht man vom Auto mittlerweile als "Rechner auf Rädern" (Vašek 2004). Aus "Fly-by-wire" wurde "Drive-by-wire", und Konzepte und Technologien der Luftfahrt finden sich nunmehr auch im Cockpit moderner Autos; dabei rückt die Vision des vollautomatischen Fahrens immer näher (vgl. u.a. Goroncy 2005: 48).

### **2.1 Fahrerassistenzsysteme**

Bereits heute ist das Auto mit einer Vielzahl elektronischer Assistenzsysteme ausgerüstet. In einem Wagen der Oberklasse arbeiten 60 bis 70 Rechner, die von der Motorsteuerung bis hin zur Klimaanlage wichtige Funktionen übernehmen, die sowohl den Komfort steigern als auch die Sicherheit erhöhen (Grell 2003, Vašek 2004). Zur Standard-Ausstattung gehören mittlerweile das Anti-Blockiersystem (ABS), das Elektronische Stabilitätsprogramm (ESP) sowie in zunehmendem Maße auch das Navigationsgerät. Nach und nach werden immer mehr Operationen, die ursprünglich der Mensch ausgeführt hat, von elektronischen Helfern übernommen – vom elektrischen Fensterheber über den automatischen Abblendspiegel bis hin zum Regensensor, der den Scheibenwischer je nach Regenintensität steuert und so ein permanentes Nachregulieren überflüssig macht. Das einzelne Fahrzeug ist so im Laufe Zeit immer sicherer und komfortabler geworden.

Doch bereits am Beispiel des Regensensors – eines recht unspektakulären Geräts – lassen sich einige Probleme aufzeigen, die mit der immer weiter vordringenden Automatisierung einhergehen. In einem Pkw der 1970er Jahre ohne Intervallschaltung ständig den Scheibenwischer ein- und auszuschaalten, war zweifellos lästig; aber es trug dazu bei, dass der Fahrer<sup>4</sup> wach und aufmerksam blieb. Zudem hatte er stets ein vollständiges Situationsbewusstsein ("situational awareness"), das heißt er konnte jederzeit sagen, in welchem Zustand das Gerät sich befand. Denn es gab ja nur zwei Zustände: "An" und "Aus".

---

<sup>4</sup> Dies gilt natürlich analog auch für die Fahrerin; aus Gründen der Schreibökonomie wird hier und im Folgenden nur die männliche Form verwendet.



Von derartiger trivialer Technik unterscheidet sich der Regensensor in mehrerer Hinsicht: Einmal aktiviert, regelt er selbsttätig eine Intervallschaltung mit situationsangepassten Wisch-Rhythmen. Die dafür nötigen Informationen liefert nicht mehr der Fahrer, sondern das technische Gerät erhält sie durch sensorischen Kontakt mit der Außenwelt. Dies hat jedoch zur Konsequenz, dass der Fahrer abschaltet und unaufmerksam wird, weil er zur Untätigkeit verdammt wird und lediglich als Beobachter eines Systems fungiert, das sich selbsttätig reguliert.

## 2.2 Vigilanzreduktion

Er wird vom Computer regelrecht eingelullt, was zur Folge hat, dass ihm in plötzlich auftretenden kritischen Situationen benötigt (z.B. beim Überholen eines Lkw auf nasser Straße) das erforderliche Situationsbewusstsein fehlt. Denn der Zustand des Geräts erschließt sich nicht mehr durch den bloßen Augenschein: Ist der Scheibenwischer inaktiv, kann dies entweder bedeuten, dass das Gerät nicht eingeschaltet ist oder dass es eingeschaltet ist, aber nicht genügend Feuchtigkeit registriert, um sich selbsttätig zu aktivieren.<sup>5</sup> Zudem hat der Regensensor – zumindest der von Volkswagen verwendete – einen echten "Defekt", der zu "mode confusion" führen kann: Wird die Zündung ausgeschaltet, bleibt die Einstellung nicht gespeichert, sondern das Gerät schaltet sich ebenfalls aus, obwohl der Hebel in der Stellung "Ein" steht. Dies steht im krassen Gegensatz zur gewohnten Praxis, dass die Scheibenwisch-Anlage beim erneuten Betätigen der Zündung in dem Modus verbleibt, der der Hebelstellung entspricht. Der Regensensor hingegen muss zunächst aus- und dann wieder eingeschaltet werden. Selbst in der Stellung "Ein" kann der Scheibenwischer also ausgeschaltet sein – eine nur schwer behebbare Quelle von Irritationen.

Selbst ein so simpler Vorgang wie die Betätigung des Scheibenwischers hat mittlerweile eine Komplexität erreicht, die für den Anwender nur schwer zu verstehen ist. Das Auto wird immer komplizierter, intransparenter und unverständlicher. Mit einfachen Bordmitteln sich selbst zu helfen, ist heute kaum noch möglich (und auch wegen der strengen Umweltvorschriften nicht mehr erwünscht). Das Auto mag immer sicherer werden, der Mensch wird jedoch unsicherer, weil seine Aufmerksamkeit nachlässt und weil er zunehmend Kompetenzen verliert und das System nicht mehr versteht.

Zu diesem neuartigen Risiko, das als Vigilanzproblematik bereits Gegenstand wissenschaftlicher Forschung ist (vgl. Schulz/De Filippis/Thüring 2005,

---

<sup>5</sup> Aus eigener Erfahrung sei hinzugefügt, dass der Regensensor in 95% der Fälle hervorragend funktioniert, in den restlichen Fällen jedoch für Irritation sorgt und ungewohnten Stress verursacht.

Blutner/Cramer/Haertel 2006), kommen noch die Ablenkungen hinzu, die sich aus der Vielzahl von Entertainment-Funktionen im Fahrzeug der Zukunft ergeben wie beispielsweise das Vorlesen von E-Mails oder das Downloaden von Musikstücken während der Fahrt, die allesamt die Aufmerksamkeit des Fahrers beanspruchen und ihn von der Beschäftigung mit dem Verkehrsgeschehen ablenken (vgl. Sterbak 2005). Ein weiterer neuartiger Risikofaktor ist die Überforderung durch zu viele Assistenzsysteme, die unkoordinierte Warnmeldungen abgeben und so den Fahrer in Stress-Situationen versetzen können (vgl. Goroncy 2005: 50); ein Bestreben der Ingenieure sowohl in der Luftfahrt- als auch der Autoindustrie ist es daher, Filtersysteme zu entwickeln, die in der Lage sind, die eingehenden Alarmmeldungen sinnvoll zu priorisieren (vgl. Vernaleken 2004). So soll z.B. die Warnung "niedriger Wischwasserstand" während eines kritischen Fahrmanövers (Einfädeln auf die Autobahn) unterdrückt werden.

### **3 Visionen des Autos der Zukunft**

Das Auto der Zukunft, wie es Bosch, Daimler-Chrysler, aber auch Siemens entwerfen, bedeutet eine nochmalige Steigerung der beschriebenen Problematiken, zum einen weil die elektronische Aufrüstung mit einer Vielzahl von Assistenzsystemen ungebrochen voran schreitet, zum anderen aber weil das individuelle Fahrzeug sich zunehmend mit anderen Verkehrsteilnehmern, aber auch mit Verkehrsleitzentralen oder Diensteanbietern vernetzt und so zum integralen Bestandteil eines komplexen Systems wird. Damit verändert sich die Rolle des einzelnen Fahrzeugs; und dies wird noch einschneidendere Konsequenzen für das Verhältnis von Mensch und Technik haben als die bislang diskutierte Entwicklung.

Zunächst zum ersten Punkt: Unter dem Titel "Clevere Beifahrer" beschreibt eine Siemens-Hauszeitschrift auf unterhaltsame Weise die Vision des Autos des Jahres 2020, das mit Fahrerassistenzsystemen aller Art sowie Nachsichtgerät, Spurwechselassistenten und Notbremsautomatik ausgerüstet ist. Stolz erklärt der junge Fahrer seiner Großmutter auf dem Beifahrersitz sein modernes Auto und verweist darauf, dass es "praktisch ausgeschlossen" ist, mit diesem Wagen "einen Unfall zu bauen" (Aschenbrenner 2005: 42). Als das Auto dann eine Reifenpanne hat, ist der junge Mann jedoch hilflos, und schmunzelnd zeigt ihm die alte Dame, wie man einen Reifen wechselt. Gegen den Strich gebürstet, kann man diesen Beitrag also auch als Hinweis darauf lesen, dass der Autofahrer der Zukunft immer weniger Möglichkeiten hat, eigene Erfahrungen zu sammeln, weil im Normalbetrieb alles automatisch geregelt wird und kritische Situationen zu selten auftreten, als dass er ein Krisenmanagement systematisch lernen könnte.

### 3.1 Verantwortung des Fahrers?

Obwohl mit einem Schuss Selbstironie präsentiert, bleibt hier also die Frage offen, wie die Fahrer von morgen die Qualifikationen und Kompetenzen erwerben sollen, die sie für das Störfallmanagement benötigen; denn auch im hochautomatisierten Auto der Zukunft wird, so Siemens, "der Fahrer nach wie vor die Verantwortung" (ebd.) haben. "Damit sich am Ende keiner rausreden und behaupten kann, die Elektronik habe versagt und ihm den Unfall eingebrockt." (ebd.) Doch hierbei wandeln die Ingenieure auf einem schmalen Grad, denn angesichts der sich abzeichnenden Entmündigung des Fahrers durch elektronische Assistenzsysteme wird es immer schwieriger werden, diese Verantwortung präzise zu definieren, es sei denn man macht den Fahrer pauschal zum Sündenbock für alle Fehler des Systems. Es ist zwar eine immer wieder zu beobachtende Praxis nach schweren Unfällen, dass zunächst die Schuld beim Bedienpersonal gesucht wird; doch sie verliert angesichts von Untersuchungsberichten, die detailliert auf die Mängel der Systemarchitektur hinweisen, immer mehr an Plausibilität. In etlichen Fällen ist nachgewiesen worden, dass das Bedienpersonal überfordert ist, wenn in einem komplexen System eine unerwartete Störung auftritt und unter hohem Zeitdruck eine Entscheidung gefällt werden muss. Im Fall des 1987 in Herborn verunglückten Tanklastzugs stellte sich beispielsweise im Nachhinein heraus, dass die elektronische Motorsteuerung EPS<sup>6</sup> einen wesentlichen Anteil an dem Unglück hatte (vgl. Weyer 1997: 251). In derartigen Stress-Situationen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Operateure des Systems auf bekannte Problemlösungsmuster (z.B. Motorbremse durch Zurückschalten) zurück greifen und dabei Fehler machen.

### 3.2 Unverantwortliche Assistenz?

In Systemen, in denen die elektronischen Assistenzsysteme an Entscheidungen beteiligt sind bzw. diese sogar autonom ausführen, wird es also immer schwieriger werden, die Verantwortung des Fahrers präzise zu definieren. Ein instruktives Beispiel ist die automatische Geschwindigkeitsregelung ACC (Adaptive Cruise Control), die seit dem Jahr 2000 im Einsatz ist und den erforderlichen Abstand zum Vordermann automatisch einhält.

In Fahrerberichten ist immer wieder die Rede davon, dass das System zwar als angenehm empfunden wird, dass es aber auch ein "Risiko darstellt", weil es oft zu spät warnt und somit "keinen zuverlässigen Schutz gegen Auffahrunfälle" bietet (Hack 2004). Die Aufmerksamkeit des Fahrer ist also

---

<sup>6</sup> Elektropneumatisches Schaltgetriebe, dass ein manuelles Zurückschalten ("Motorbremse") verhindern sollte, um zu hohe Drehzahlen zu vermeiden, die den Motor schädigen könnten.

in noch höherem Maße gefordert, weil die Zeiträume für Entscheidungen kürzer werden als zuvor – und dies in einer Situation, in der seine Wachsamkeit nachlässt, weil er "durch Assistenzsysteme eingelullt wird" (ebd.). Zudem entsteht eine neue Unsicherheit (zweiten Grades), die es zuvor nicht gab, denn der Fahrer hat nunmehr eine zweifache Aufgabe: Er ist nicht mehr nur dafür verantwortlich, den Wagen abzubremsen, sondern er muss zugleich das Assistenzsystem überwachen und blitzschnell eine Entscheidung treffen, ob der automatisch eingeleitete Bremsvorgang ausreicht oder ob er manuell eingreifen muss.

Dies ist eine geradezu paradoxe Situation: Einerseits wird der Mensch als Fehlerquelle identifiziert und durch Assistenzsysteme zunehmend verdrängt; andererseits soll er aber die Verantwortung für die Operationen eines komplexen Systems übernehmen, das er kaum durchschaut und das ihn mit neuartigen Entscheidungsproblemen konfrontiert, für deren Bewältigung er keine ausreichenden Kompetenzen besitzt. Denn derartige Situationen treten relativ selten auf, erfordern jedoch Entscheidungen unter hohem Zeitdruck und großer Unsicherheit. Der Mensch wird also unterfordert und überfordert zugleich. Zwar wird das Auto immer sicherer, aber das Risiko (von Fehlentscheidungen und Fehlhandlungen) steigt.

Mit der Einführung der automatischen Notbremse,<sup>7</sup> die für das Jahr 2009 geplant ist (und auf ACC und ESP aufbaut), geht der Hersteller Bosch noch einen Schritt weiter als mit dem Abstandsregler ACC (vgl. FAZ 02.03.05: 14). Während ACC im Modus des "verteilten Handelns" (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002) operiert, in dem Fahrer und Automatik gemeinsam eine Entscheidung herbeiführen, wird bei der automatischen Notbremse der Fahrer übergangen: Das System leitet "bei einem unvermeidbaren Unfall selbsttätig eine Notbremsung ein, wenn der Fahrer nicht rechtzeitig reagiert" (Bosch 2005). Hier handelt die Technik vollkommen autonom; und es ist absehbar, dass vor der Einführung derartiger Systeme gesetzliche Änderungen vorgenommen werden müssen. Denn der Mensch wird vollständig ausgegrenzt und kann konsequenterweise auch nicht für das Funktionieren der Elektronik verantwortlich gemacht werden.

### **3.3 Vollautomatisches Fahren?**

Wie befinden uns also momentan an der Schwelle vom elektronisch unterstützten (bzw. teilautomatisierten) Fahren zum vollautomatischen Fahren. Der Mensch als Bedienpersonal bzw. als Entscheider vor Ort wird in den entsprechenden Visionen und Systemkonzepten dabei immer mehr ver-

---

<sup>7</sup> Predictive Emergency Braking (PEB) als Bestandteil des Predictive Safety System (PSS) von Bosch.

drängt. Dabei gerät jedoch allzu leicht in Vergessenheit, dass der Mensch selbst in vollautomatischen Fahrzeugen Bestandteil des Systems bleibt, und sei es lediglich in Form der Programmierer, die die Systemarchitektur entwerfen und vorausschauend entscheiden, welche Aktion in welcher Situation erfolgen soll. Auch hier besteht das Risiko des Irrtums, aber auch die Gefahr, dass unter idealisierten Bedingungen Prozeduren entworfen werden, die sich im Alltagsbetrieb als untauglich erweisen (vgl. Herrtwich 2003: 73). Oftmals bedarf es schmerzhafter und kostspieliger Lernprozesse, um derartige Fehler herauszufinden; der Fall der SBC-Bremse mag hier ein mahnendes Beispiel sein (vgl. Haertel/Weyer 2005). Die Gesellschaft wird damit zum Labor, zum Experimentierfeld für neue Technologien (vgl. Krohn/ Weyer 1989).

Fortschreitende Automatisierung bedeutet also, dass die Mensch-Maschine-Schnittstelle immer weiter verschoben wird, ohne dass es jedoch möglich sein wird, sie jemals ganz zu eliminieren. Im Gegenteil: Die Problematik einer funktionierenden Interaktion zwischen Mensch und Technik spitzt sich eher noch zu, da immer mehr Abläufe antizipativ verplant werden und die Möglichkeiten zum flexiblen Eingriff vor Ort immer geringer werden.

Damit eröffnen sich im wesentlichen zwei Zukunftsperspektiven:

- Entweder das Auto entwickelt sich zu einem fahrerlosen Transportsystem für den Personentransport, in dem der Passagier lediglich Fahrgast ist, der sich mit einem Rest Individualität (in Form des eigenen Autos) in ein System einklinkt, das von seiner Struktur her eher öffentlichen Verkehrssystemen ähnelt. (Systemarchitektur des Schienenverkehrs)
- Oder der Fahrer behält einen Rest Autonomie und Entscheidungsfreiheit bei der Steuerung seines Fahrzeuges, muss dann aber eine intensive Ausbildung zum Störfallmanager absolvieren, die insbesondere das regelmäßige Training von Notfall-Situationen beinhaltet, auch wenn diese im Normalbetrieb kaum auftreten. (Systemarchitektur der Luftfahrt)

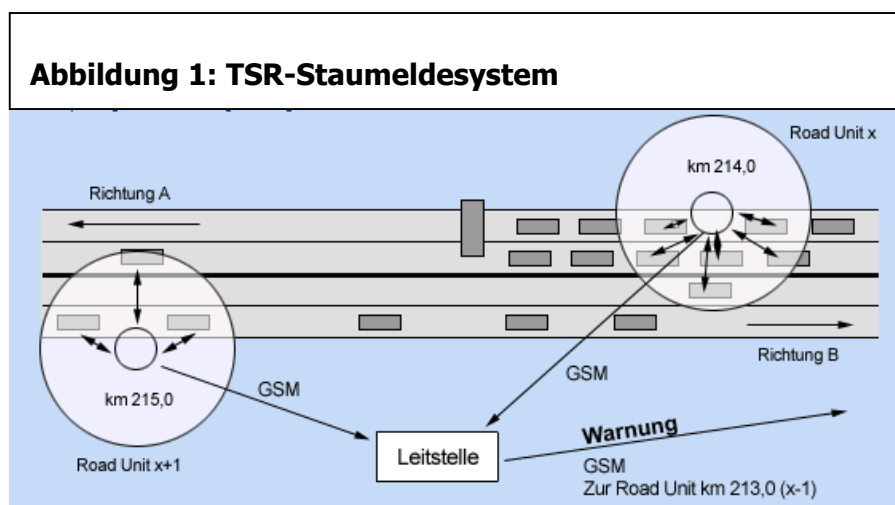
Möglicherweise gibt es noch eine dritte Variante einer deutlichen Verlangsamung der Entwicklung aufgrund sich verschärfender Akzeptanzprobleme. Dass Daimler-Chrysler an einigen Punkten nunmehr auf elektronische Spielereien verzichtet, könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich nicht alle Zukunftsvision im Selbstlauf durchsetzen, wenn der Kunde nicht mitspielt.

Zudem wird das intelligente Auto der Zukunft Bestrebungen Vorschub leisten, die Sicherheitsgewinne zu nutzen, um die Effizienz des Gesamtsystems zu steigern. In der Luftfahrt war dies der Fall, wo avancierte Navigationsverfahren eine Verringerung der Mindestabstände zwischen zwei Flugzeugen mit sich brachten; und auch im Schienenverkehr hat die Einführung der Linienzugbeeinflussung und des dynamischen Hochleistungsblocks dazu

geführt, dass ICEs nunmehr in Abständen auf die Strecke geschickt werden, die kürzer sind als der Bremsweg (vgl. TA-Swiss 2003: 10). Man muss nicht verworfene Konzepte wie die "elektronische Deichsel" bemühen, um sich vorstellen zu können, dass ein flächendeckender Einsatz der automatischen Notbremse (in Kombination mit ACC) dazu führen könnte, den Straßenverkehr extrem zu verdichten und so die vorhandenen Kapazitäten besser auszunutzen. Die Sicherheitsgewinne wären damit wieder aufgezehrt.

#### 4 Autonomes Fahren – vernetzter Verkehr

In den bisherigen Ausführungen wurde das intelligente Auto der Zukunft vornehmlich als ein singuläres Objekt dargestellt, das seine internen Prozesse in hohem Maße selbsttätig steuert und auf äußere Einflüsse lediglich *reagiert*, um Gefährdungen abzuwehren. Das Auto von morgen kann aber weit mehr, denn es bewegt sich in einem dichten Netz von Objekten, die ebenfalls mit Sensorik und Rechnerleistung ausgestattet sind. Dazu gehören nicht nur andere Verkehrsteilnehmer, die ebenfalls von Assistenzsystemen geleitet werden, sondern auch smarte Verkehrsschilder, Anlagen zur



[www.tsr-system.de/staumeldesystem.php](http://www.tsr-system.de/staumeldesystem.php)

Verkehrsbeeinflussung u.a.m. Das Fahrzeug der Zukunft ist also in viel stärkerem Maße als heutzutage Teil eines Systems; es wird zum "Knoten im Netz" (TA-Swiss 2003: 2) und befindet sich in ständiger *Interaktion* mit anderen Systemkomponenten, sei es um aktuelle Stauwarnungen und Umleitungsempfehlungen automatisch in die Routenplanung zu integrieren, sei es um Glatteiswarnungen an folgende Fahrzeuge zu übermitteln ("elektronisches Warnblinken", vgl. Herrtwich 2003: 75), sei es um Lösungen für

Konfliktsituationen zu generieren, wie sie sich beispielsweise an Straßenkreuzungen ergeben können.<sup>8</sup>

Beim heutigen Stand der Technik wäre etwa ein smartes Verkehrszeichen (z.B. Tempo 30) technisch machbar, das die erforderlichen Informationen an den Bordrechner eines vorbeifahrenden Fahrzeugs schickt, damit dieser ein entsprechendes Bild in das Head-up-Display einspielt. Die nächste Entwicklungsstufe wäre ein Warnton, der bei Überschreitung der gebotenen Geschwindigkeit ertönt; danach käme dann der Eingriff in die Motorsteuerung, der das Fahrzeug automatisch auf die gebotene Geschwindigkeit runterregelt (vgl. TA-Swiss 2003, Herrtwich 2003). Ähnlich wie bei anderen Innovationen in der Fahrzeugtechnik ließe sich die Verbreitung derartiger Technologien durch entsprechende Anreize bei der Gestaltung von Kfz-Steuer bzw. Versicherungsprämien vorantreiben; staatlicher Zwang wäre nicht unbedingt nötig.

#### **4.1 Transformationen des Systems Straßenverkehr**

Das Beispiel zeigt, dass sich die Logik des Handelns und Entscheidens umkehrt, sobald andere Mitspieler im Spiel sind. Im Straßenverkehr findet zurzeit ein *schleichender Systemwechsel* statt. Denn es geht in dem beschriebenen Fall nicht mehr in erster Linie um die Verfolgung der Ziele des betreffenden Autofahrers (und dessen optimale und gefahrlose Umsetzung mit Hilfe von Assistenzsystemen, die ihn dabei unterstützen), sondern die elektronischen Helfer entpuppen sich plötzlich als Agenten einer fremden Macht.

Sie werden "illoyal" und verräterisch; sie konspirieren hinter dem Rücken des Fahrers (Mattern 2003: 35). Denn im Prinzip spricht nichts dagegen, dass beispielsweise Verkehrsschild bei Nicht-Beachtung des Tempo-Limits die entsprechenden Informationen an die Verkehrsleitzentrale weiter leitet und so ein Bußgeld-Verfahren in Gang setzt?

---

<sup>8</sup> Dafür gibt es im Wesentlichen zwei technologische Grundlagen: Erstens ist die IT-Struktur des Autos kein geschlossenes System mehr, sondern offen für den Informationsaustausch (z.B. Software-Update, Fernwartung, Einspeisung von Navigations-Information, Übermittlung von Positionsdaten etc.); zweitens ermöglichen Sensoren aller Art in Kombination mit der GSM-Technik mittlerweile die Lokalisierung und Identifizierung auch mobiler Objekte. All diese Prozesse vollziehen sich weitgehend automatisch, d.h. ohne Kenntnis des Nutzers. Mit der Einführung des Galileo-Systems wird sich hier nochmals ein qualitativer Sprung vollziehen, weil Galileo eine höhere Präzision verspricht als GPS, was neue Anwendungen wie beispielsweise den automatischen Kollisionsschutz ermöglicht.

Mit dem intelligenten Auto verändert sich somit die gesamte Architektur des Systems Straßenverkehr, und man kann diesen Systemwechsel gut am Beispiel der Verkehrstelematik verdeutlichen:

#### **4.2 Passive Verkehrsbeeinflussung**

Die meisten der heute implementierten Systeme zur Verkehrslenkung und Verkehrsbeeinflussung sind passive Systeme, d.h. sie generieren aus der aktuellen Verkehrslage Empfehlungen, die den Autofahrern über stationäre Anzeigen, über den Verkehrsfunk oder auch über Navigationssysteme mit dynamischer Routenführung übermittelt werden. Im letzteren Fall errechnet das bordeigene Navigationssystem auf Basis der aktuellen Verkehrslage eine Ausweichroute, um beispielsweise einen Stau zu umfahren. Der große Nachteil derartiger Systeme ist die Nicht-Berechenbarkeit der Effekte, die auf der Ebene des Gesamtsystems Straßenverkehr entstehen. Denn je mehr Autofahrer ihre Route individuell optimieren, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass der Stau sich auf die Ausweichroute verlagert (vgl. TA-Swiss 2003, Spehr 2004).

Prognosen haben eine regelrecht "selbstzerstörende" Wirkung, weil "die Stauprognose den Stau ... verändert" (Spehr 2004). Es ergeben sich geradezu paradoxe Effekte, die auch als "Touristen-Dilemma" bekannt sind: Wenn es sich herum spricht, dass es auf einer griechischen Insel eine einsame Badebucht mit einem traumhaften Strand gibt, wird dieser Strand im nächsten Jahr garantiert überlaufen sein.

Es gibt offenbar keine "Invisible hand" (Adam Smith), die hinter dem Rücken der Akteure dafür sorgt, dass aus dem Streben nach individueller Nutzenmaximierung quasi automatisch Wohlstand und soziale Harmonie für alle entstehen (vgl. Vanberg 1975). Es existiert vielmehr ein schwer lösbarer Konflikt zwischen dem individuellen Interesse an möglichst ungebremseter Mobilität und dem kollektiven Interesse an einer möglichst optimalen Auslastung des Gesamtsystems (sowie an der Durchsetzung weiterreichender gesellschaftspolitischer Ziele wie Ressourcenschonung, Entlastung der Umwelt etc.). Die marktförmige Lösung des Verkehrsproblems stößt offensichtlich an ihre Grenzen.

#### **4.3 Aktive Verkehrssteuerung**

Aktive Systeme der Verkehrssteuerung, in denen die Aktionen der einzelnen Teilnehmer zentral koordiniert werden, sind marktförmigen Systemen der dezentralen Koordination offenbar überlegen; einer ihrer Vorzüge besteht nämlich darin, dass sie die Effekte, die auf der Systemebene entstehen, durch Computersimulation voraus berechnen können und, darauf aufbauend, Alternativ-Szenarien entwerfen können, die sich für die Steuerung



des Gesamtsystems nutzen lassen. Dies kann weder der individuelle Fahrer noch das einzelne Navigationssystem, da beide keine hinreichenden Informationen über den Zustand des Gesamtsystems haben.

Aus Systemperspektive wäre es optimal, wenn alle Fahrer ihre Fahrtwünsche – ähnlich wie in der Luftfahrt oder im Schienenverkehr – vor Fahrtantritt anmelden würden. "Das System würde dann die Wege der Fahrzeuge aufeinander abstimmen, so dass einer Überlastung der Verkehrswege vorgebeugt werden könnte." (TA-Swiss 2003: 4) Aus Verkehrssimulationen weiß man zudem, dass sich Verkehrsstaus auf Autobahnen wirkungsvoll verhindern ließen, wenn sich alle Verkehrsteilnehmer an die Vorgaben halten und so für einen gleichförmigen, "synchronisierten Verkehr" (Spehr 2004) sorgen würden. Michael Schreckenber, der Erfinder des Verkehrsinformationssystems "Ruhrpilot", kann sich daher sogar noch weiter gehende Konzepte vorstellen, etwa die "Zuteilung von Fahrtzeiten", ähnlich den Slots in der Luftfahrt, die in Internet-Börsen versteigert werden (Spehr 2004). Denkbar wäre es, dieses Slot-System mit einem variablen Road-Pricing zu koppeln, das als monetäres Anreizsystem dafür sorgen würde, dass Verkehrsspitzen gemieden werden und die Autofahrer auf die eher weniger frequentierten Zeiten ausweichen.

Ein derartiges System kann aber nur funktionieren, wenn die einzelnen Fahrzeuge elektronisch so ausgerüstet sind, dass ihre Aktionen in Echtzeit überwacht und gesteuert werden können (und die Zentrale wiederum von den Fahrzeugen die erforderlichen Informationen übermittelt bekommt). Es muss zum Beispiel möglich sein, dass einem nicht angemeldeten Fahrzeug die Zufahrt zu einer bestimmten Strecke verwehrt werden kann. (Zumindest aber müssten hohe Straf-Gebühren fällig werden, was nur über eine Pkw-Maut möglich wäre.)

Es ist offensichtlich, dass mit einem derartigen Übergang zu einer aktiven Verkehrslenkung ein Systemwechsel im Straßenverkehr eingeleitet würde, der mit weit reichenden Eingriffen in die Autonomie des einzelnen Fahrers verbunden wäre. Eine Akzeptanz für eine solche zentrale Koordination des Verkehrsgeschehens ist bislang nur in Notfällen bzw. in hoch belasteten Ballungszentren gegeben.

#### **4.4 Rationale Egoisten und das Problem der sozialen Ordnung**

Mit der zunehmenden (systemischen) Integration und (elektronischen) Vernetzung des Straßenverkehrs drehen sich die Verhältnisse – schleichend und kaum merkbar – um (vgl. TA-Swiss 2003: 2): Aus der "Freien Fahrt für freie Bürger" (ADAC-Slogan der 1980er Jahre) entwickelt sich in zunehmenden Maße ein integriertes sozio-technisches System (vgl. Gras 1994), das als Instrument der Verhaltens-Steuerung fungiert, indem es die einzel-

nen Teilnehmer durch sanften Zwang zu Handlungen veranlasst, die dazu beitragen, dass das Gesamtsystem seine Funktions- und Leistungsfähigkeit aufrecht erhalten kann. Dies erfordert von jedem einzelnen Teilnehmer jedoch eine hohe Anpassungsbereitschaft. Diese kann zwar durch monetäre Anreize gefördert werden; dennoch bleibt es ein motivationales Problem, ob die Individuen bereit sein werden, sich in der geforderten Weise zu integrieren und der Versuchung des Trittbrett-Fahrens widerstehen. Und es ist sozialtheoretisch eine höchst spannende Frage, ob die Autofahrer die neuen Verhaltensnormen freiwillig internalisieren werden oder ob sie durch harte Sanktionen dazu gezwungen werden müssen. Die Lkw-Maut kann insofern als ein Pilot-Projekt verstanden, in dem diese Fragen erstmals im "Freilandversuch" im großen Maßstab getestet werden. Bislang hat die Lkw-Maut eines ihrer Ziele erreicht, nämlich dem Finanzminister Geld in die Kasse zu spülen. Das zweite Ziel, das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu steuern, nämlich in Form der Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene, ist bisher jedoch nicht erreicht (vgl. FAZ 27.12.05).

Am Beispiel der Verkehrstelematik lassen sich also Grundfragen der Soziologie diskutieren: Wie entsteht soziale Ordnung im Sinne eines geregelten Miteinanders von Akteuren, die bei ihren Wahlhandlungen (choices) eigene Präferenzen verfolgen und ihren eigenen Nutzen maximieren? Auch scheinbar erledigte ordnungspolitische Fragen tauchen wieder auf: Kann man die Regulierung des Zusammenlebens rationaler Egoisten dem Markt überlassen, oder bedarf es eines (Interventions-)Staates, der regulierend eingreift und das Verhalten der individuellen Akteure steuert?

#### **4.5 Zwischenfazit**

Die informationstechnische Revolution im Straßenverkehr führt zu einem geradezu paradoxen Effekt: Die neuen Technologien, die ursprünglich die individuelle "Fitness" des einzelnen Autofahrers erhöhen und seine Autonomie steigern sollten, bewirken auf lange Sicht, dass er die Kontrolle über das Geschehen verliert und zu einem mehr oder minder passiven Bestandteil eines Systems wird, dessen Operationen er immer weniger versteht. Warum das Auto bremst statt zu beschleunigen oder warum es nach links abbiegt statt nach rechts, wird ihm immer weniger verständlich sein, je mehr die Elektronik den Wagen steuert und je mehr diese Steuerung von Eingriffen beeinflusst wird, die der Zentralrechner in der Verkehrsleitzentrale vornimmt.

### **5 Entwicklungspfade des Verkehrssystems**

Es scheint also einen unaufhaltsamen Trend zu geben, dass der Straßenverkehr sich zu einem zentral koordinierten System entwickelt, das immer

mehr dem Schienenverkehr oder der Luftfahrt ähnelt, wo eine strenge Normierung und Standardisierung, verbunden mit starker Kontrolle und Überwachung dazu dient, ein hohes Maß an Sicherheit und eine hohe Gesamteffizienz zu gewährleisten.

Gerade in der Luftfahrt gibt es jedoch seit einigen Jahren erstaunliche Gegenteilstendenzen, die ein einstmals starres, streng hierarchisch geordnetes System schrittweise verändern und die Freiheitsgrade der einzelnen Teilnehmer vergrößern (dazu detaillierter Weyer 2004).

### **5.1 Dezentrale Koordination in der Luftfahrt**

In der Luftfahrt wird das Gesamt-Geschehen zwar nach wie vor von der Bodenkontrolle (Air Traffic Control – ATC) gesteuert; die Kollisionsvermeidung bei gefährlichen Annäherungen zweier Flugzeuge erfolgt jedoch durch eine dezentrale Abstimmung der beiden Bordrechner, die ihre Intentionen austauschen und so automatisch eine Ausweichempfehlung generieren, die aufeinander abgestimmt ist. Dieses seit den 1990er Jahren eingeführte System heißt "Traffic Alert and Collision Avoidance System" (TCAS) und gilt als bewährt und zuverlässig, sieht man einmal davon ab, dass es den nächtlichen Zusammenstoß zweier Flugzeuge über dem Bodensee am 1. Juli 2002 nicht verhindern konnte. Der Trend in der Luftfahrt geht jedoch in Richtung "Free-Flight", d.h. dem einzelnen Flugzeug wird auf der Strecke eine größere Autonomie bei der Wahl seines Kurses gewährt, wobei Pilot und Bordrechner für das Konfliktmanagement zuständig sind, d.h. sie müssen selbständig dafür Sorge tragen, dass Kollisionen vermieden werden. In zunehmendem Maße wird die Verantwortung für den reibungslosen Flugbetrieb also an die (menschlichen wie nicht-menschlichen) Entscheider vor Ort delegiert.

Und zumindest im militärischen Bereich lässt sich eine kaum noch aufzuhaltende Entwicklung in Richtung Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) beobachten; derartige führerlose Flugzeuge werden vermutlich in etwa zehn Jahren auch im Frachtbereich eingesetzt werden, während bei der Passagierbeförderung die Anwesenheit eines Menschen im Cockpit wohl unabdingbare Voraussetzung für die Akzeptanz des Fliegens bleiben wird.<sup>9</sup>

### **5.2 Trends und Entwicklungskorridore**

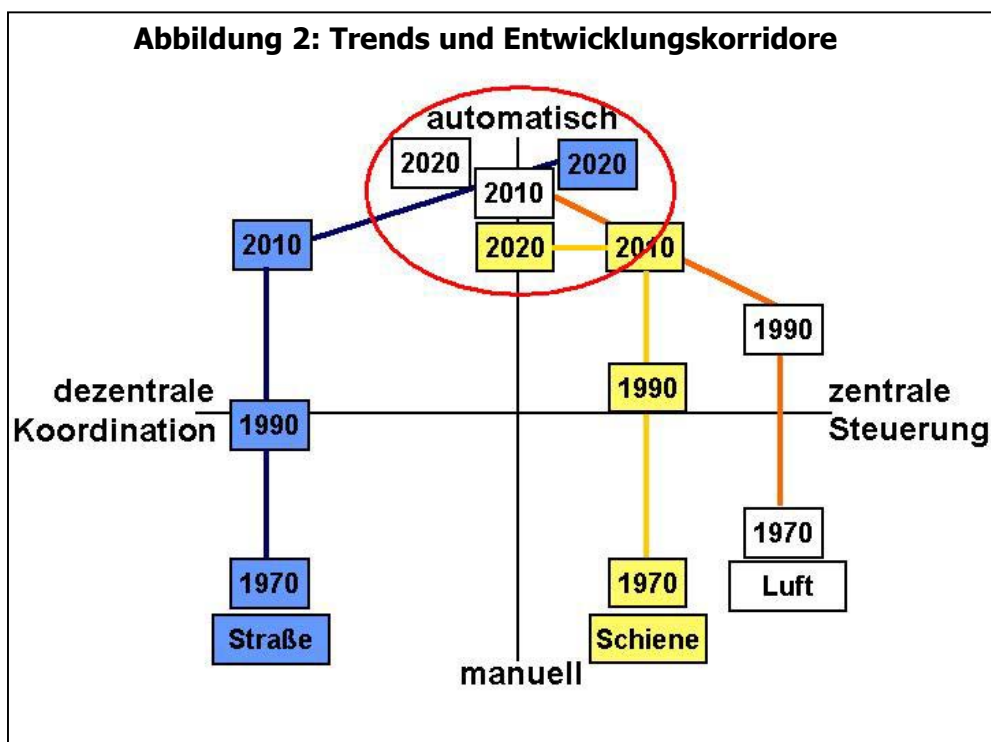
Da die Luftfahrt in vielen Dingen Trendsetter und Ideengeber für andere Verkehrssysteme war, drängt sich die Frage auf, ob diese neuartigen Ent-

---

<sup>9</sup> Aber möglicherweise sitzt dort dann nur noch ein Systembeobachter, der allenfalls im Störfall eingreift, während die Steuerung des Flugzeugs weitgehend automatisch durch den Bordcomputer erfolgt und vom Boden aus gemanagt wird.

wicklungen ein Modell bilden, das sich mit einer gewissen Zeitverzögerung auch im Straßenverkehr durchsetzen wird.

Zunächst fällt auf, dass alle Verkehrssysteme in nahezu gleicher Weise dem Trend (auf der vertikalen Achse) von einer manuellen zu immer stärker automatisierten Steuerung gefolgt sind. Die Systemarchitektur unterschied sich jedoch gravierend (horizontale Achse): Schienenverkehr und Luftfahrt waren hochgradig zentral gesteuerte Systeme, die praktisch keine Raum für individuelle Abweichungen kannten, vollziehen aber neuerdings eine Entwicklung, die Entscheidungen (z.B. in Sachen Navigation) von der Zentrale auf die dezentrale Ebene verlagert und so den einzelnen Komponenten (Fahrzeugen) mehr Autonomie einräumt.



Der Straßenverkehr der Vergangenheit (und auch der Gegenwart) ist hingegen das Paradebeispiel für eine hochgradig ungesteuertes bzw. durch dezentrale Interaktion sich selbst steuerndes Verkehrssystem. Betrachtet man jedoch die (spekulative) Extrapolation der Entwicklungen der drei Verkehrssysteme bis in das Jahr 2020, so scheint sich eine gewisse Konvergenz der Systeme abzuzeichnen, die zu neuartigen – und bislang wenig erprobten – Mischformen von zentraler Steuerung und dezentraler Koordination führt.

Allerdings sei vor einer voreiligen Übertragung der Erfahrungen und Konzepte von einem Verkehrssystem zum anderen gewarnt; denn der Straßen-

verkehr ist erheblich komplexer und vielschichtiger als der Schienenverkehr und die Luftfahrt, und zwar

- wegen der großen Zahl der Verkehrsteilnehmer, sowohl in Bezug auf das Gesamtsystem und die darin entstehenden emergenten Effekte als auch in Bezug die Beteiligung vieler Akteure an lokalen Interaktionen (z.B. an Straßenkreuzungen);
- wegen der wenig geordneten und normierten Strukturen des Straßennetzes, die es jedem Verkehrsteilnehmer erlauben, das Netz flexibel und individuell zu nutzen (in Bezug auf Route, Tempo, Wahl der Fahrspur etc.);
- wegen der unvergleichbar hohen Dichte und Enge des Systems (z.B. auf Autobahnen oder in Ballungsgebieten – mit relativ geringen Abständen zwischen den Verkehrsteilnehmern);
- wegen des (noch) geringen Grades an systemischer Vernetzung der Verkehrsteilnehmer, die anders als in der Luftfahrt oder im Schienenverkehr ihre Aktionen (noch) nicht untereinander abstimmen und sich auch nicht einem übergeordneten (Fahr-)Plan fügen.

Das Straßenverkehrs besitzt also gewisse Eigenheiten, die es gebieten, bei der Übertragung von Technologien und Steuerungskonzepten aus anderen Verkehrssystemen behutsam und vorsichtig vorzugehen. Mit der elektronischen Aufrüstung des Automobils eröffnen sich neuartige Optionen, die zu einer grundlegenden Transformation des Systems Straßenverkehr führen könnten. Welche Entwicklungsrichtung dabei eingeschlagen wird, ob sich der Straßenverkehr in seiner Systemarchitektur immer mehr dem Schienenverkehr oder der Luftfahrt annähert, ist zurzeit eine offene Frage. Wir befinden uns momentan in einer Experimentierphase, in der neue Konzepte entwickelt und zunehmend auch in der Praxis erprobt werden.

### **5.3 Kollisionsvermeidung durch dezentrale Koordination?**

Dazu gehört vor allem das Thema Kollisionsvermeidung im Straßenverkehr. Der Abstandsregler ACC und der Notbremsassistent stellen nur den Beginn einer Entwicklung dar, da beide Systeme mit den anderen Fahrzeugen nicht kommunizieren und interagieren, sondern sich ausschließlich auf ihre Sensordaten stützen. Weiter gehende Konzepte beinhalten hingegen die Vision eines koordinierten Vorgehens, das beispielsweise darin bestehen könnte, dass die Fahrzeuge ihre Koordinaten mittels GPS oder Galileo zentimetergenau bestimmen und auf diese Weise Konfliktsituationen rechtzeitig erkennen können (Herrtwich 2003: 72). Dabei ergeben sich alternative Optionen für das Konfliktmanagement, das entweder über eine Zentrale oder

direkt auf dem Wege der Peer-to-peer-Kommunikation erfolgen kann (vgl. Sterbak 2005: 57).

Doch auch hier bedarf es nur einer geringen Portion Fantasie, um sich den nächsten Schritt vorzustellen; denn die Entwicklung von Verkehrssystemen folgt immer zwei – tendenziell widersprüchlichen – Zielen: Der Erhöhung der Sicherheit und der Steigerung der Effizienz bzw. Auslastung.

Die Straßenkreuzung der Zukunft könnte auf stationäre Signale vollkommen verzichten und alle benötigten Informationen direkt in den Bordrechner der Fahrzeuge einspeisen. Auf dem Head-up-Display erschiene also eine rote Ampel, die freundliche Ansagerin im Navigationsgerät würde "Die Ampel ist rot" sagen, und bei einer zu rasanten Annäherung an die Kreuzung würde das Motormanagement eingreifen und eine Zwangsbremmung vorbereiten. All dies ist Stand der Technik im Schienenverkehr und wäre mit geringen Modifikationen in den Straßenverkehr zu übertragen, wobei lediglich das Probleme des Übergangs von einer Auto-Generation zur nächsten zu lösen wäre; denn für eine gewisse Zeit wären noch Fahrzeuge mit veralteter Technik unterwegs.

Dieses Konzept wäre von der Steuerungsarchitektur her jedoch ziemlich konventionell, weil hierarchisch und starr. Der nächste Schritt könnte eine flexible Gestaltung des Kreuzungsverkehrs sein, z.B. mit Priorität für Busse und Krankenwagen oder mit Ampelschaltungen, die sich der Verkehrslage anpassen und einen möglichst optimalen Verkehrsfluss ermöglichen. Um dies zu gewährleisten, müsste die Anlage jedoch interaktiv ausgelegt sein und Informationen von den herannahenden Fahrzeugen erhalten, um in Echtzeit eine möglichst optimale Lösung zu generieren, die z.B. die Wartezeiten und somit auch den Schadstoffausstoß verringert. Eine derartige *zentrale Steuerung* des Verkehrsflusses an einer Straßenkreuzung wäre mit weit reichenden Eingriffen in die Autonomie der einzelnen Fahrer verbunden, die sich den – bisweilen überraschenden – Anordnungen des Systems unterordnen müssten.

Alternativ wäre eine *dezentrale Koordination* der Verkehrsteilnehmer denkbar, wobei man auf eine zentrale Steuerung ganz verzichten könnte. Denn in Zukunft vernetzen sich die Fahrzeuge "untereinander und tauschen Informationen über die Verkehrslage aus"; sie "kommunizieren" und "können sich vor Gefahren warnen" (Sterbak 2005: 57) – so eine Vision der Siemens Verkehrsforschung.

Denkt man dies ein kleines Stück weiter – etwa unter Rückgriff auf die Technologie der Multi-Agenten-Systeme –, so wäre ein Koordinationsmodus denkbar, in dem die Fahrzeuge, die sich einer Kreuzung annähern, Verhandlungen miteinander beginnen, in welcher Reihenfolge die Kreuzung

passiert wird (vgl. Wagner 2003). Ziel der Verhandlungen wäre es nicht nur, eine Kollision zu vermeiden, sondern die Verluste der Beteiligten in Form von Wartezeiten etc. möglichst gering zu halten. In der Luftfahrt ist ein derartiges System bereits im operationellen Einsatz (TCAS, s.o.), und man darf davon ausgehen, dass auch im Straßenverkehr mit einer gewissen Zeitverzögerung solche Verfahren der elektronisch gestützten dezentralen Koordination Einzug halten werden.

Noch ist der Nachweis aber nicht geführt, dass dezentrale Koordinationsverfahren auch in einem extrem komplexen System wie dem Straßenverkehr funktionieren werden, wo meist mehr als zwei Fahrzeuge im Spiel sind; vor allem aber muss geprüft werden, ob es auf diese Weise möglich sein wird, zumindest das gleiche Niveau an Sicherheit und Effizienz zu erzielen wie mit tradierten Verfahren. Die Gesellschaft der Gegenwart befindet sich in einem Such- und Lernprozess, in dem mit verschiedenen neuen Konzepten experimentiert wird und auch neuartige Mischformen von zentraler Steuerung und dezentraler Koordination ausprobiert werden. (Dies ist – nebenbei – sowohl steuerungstheoretisch als auch ordnungspolitisch ein hoch interessanter Prozess.) Und es bleibt zu hoffen, dass dieser Lernprozess möglichst glimpflich verläuft und uns die vollautomatisch gesteuerte Massenkarambolage auf der Autobahn erspart bleibt.

## **6 Fazit**

Zum Schluss sollen noch einige Konsequenzen diskutiert werden, die sich aus den bisherigen Überlegungen ergeben.

### **6.1 Technikzentrierte versus nutzerzentrierte Automationsstrategie**

Viele der beschriebenen Beispiele sind Resultat einer technikzentrierten Automationsstrategie, die im Bestreben, ein perfektes und fehlerfreies technisches System zu entwickeln, den Menschen als vermeintliche Störquelle weitgehend ausgeschaltet hat. Es wurde gezeigt, dass auch intelligente Technik – auf einem hohen Sicherheitsniveau – Risiken mit sich bringt, und zwar teils altbekannte Risiken der Mensch-Maschine-Interaktion, teils aber auch neuartige Risiken, für die adäquate Formen des Umgangs erst noch gefunden werden müssen.

Zweifellos braucht die postindustrielle Gesellschaft Techniker und Ingenieure mit Fantasie, die kluge Ideen haben und innovative Produkte entwickeln. Aber nicht alles, was technisch machbar ist, ist auch gesellschaftlich wünschenswert. Das Tempo der Entwicklung darf nicht allein von den Technikern vorgegeben werden. Erforderlich ist vielmehr auch eine vorausschauende Technikbewertung, die die Ideen der Techniker auf den Prüfstand

stellt und alternative Szenarien vergleichend bewertet. Zudem muss in derartige Innovationsprozesse die Perspektive der Nutzer und Anwender eingebracht werden; denn ohne eine Akzeptanz neuer Technik bei den Nutzern läuft die Technikentwicklung ins Leere. Nutzergerechte Technik verheißt ein größeres Marktpotenzial als technikverliebte Spielereien, die niemand versteht und die den Anwendern das Gefühl vermittelt, einer undurchschaubaren Maschinerie hilflos ausgeliefert zu sein. Akzeptanz bei den Kunden schafft man durch Produkte, die einen erkennbaren Nutzen haben, aber auch durch Produkte, die das Gefühl vermitteln, dass sie durchschaubar und beherrschbar sind.

## **6.2 Einführung neuer Technik als experimenteller Prozess**

Die Einführung neuer Technik ist mehr als nur die Installation neuer elektronischer Geräte im Auto; sie beinhaltet vielmehr in der Regel auch fundamentale Veränderungen der Strukturen des Gesamtsystems, die aber nur zum Tragen kommen, wenn die einzelnen Technikanwender ihr Verhalten entsprechend anpassen. Die Interaktion mit smarterer Technik ist ein Neuland, in dem die Anwender zurzeit ihre ersten zaghaften Gehversuche, die mit erheblichen Überraschungen verbunden sind.

Die ist ein Lernprozess – sowohl für den Einzelnen als auch für die gesamte Gesellschaft –, der nicht in wenigen Wochen abgeschlossen ist, sondern sich über etliche Jahre hin ziehen wird. Wichtig wird es sein, gewohnte Routinen zu verlernen und neue Verhaltensmuster zu lernen – was bekanntermaßen schwierig ist, wenn die neuartigen Situationen nur sehr selten auftreten (Beispiel: ABS-Bremse versus Stotterbremse). Dazu bedarf es eines intensiven Trainings, um die Qualifikationen zur Steuerung intelligenter Systeme zu erwerben. Vor allem werden die Nutzer innovativer Technik die Fähigkeit entwickeln müssen, zwischen verschiedenen Steuerungs-Modi hin und her zu switchen, also zwischen automatischer und manueller Steuerung, zwischen zentraler Kontrolle und dezentraler Koordination. Davon sind wir aber noch sehr weit entfernt.

Die moderne Gesellschaft sollte also trotz aller Verheißungen der Automatisierungstechnik den Weg in die Zukunft behutsam gestalten und dabei jeden Schritt sorgfältig abwägen, um nicht leichtfertig in vermeidbare Gefahren und Risiken hineinzustolpern. Vor allem sollten die vorhandenen Sicherheitsreserven – im Vertrauen auf vermeintlich fehlerfreie Technik – nicht voreilig aufgegeben werden.

## **6.3 Die Rolle des Menschen in hochautomatisierten Systemen**

Last not least die – anfangs bereits ausgiebig diskutierte – Frage nach der Rolle des Menschen. In vielen der oben beschriebenen Zukunfts-Szenarien



wird der Mensch im Straßenverkehr immer mehr zum passiven Beobachter eines technischen Systems, das weitgehend autonom operiert, für ihn aber zugleich immer intransparenter wird, weil viele Prozesse hinter seinem Rücken ablaufen und nach Regeln gesteuert werden, die für ihn nicht nachvollziehbar sind. Die smarte Technik verdrängt den Menschen, weil er als Störquelle gilt, aber sie verzichtet auch – leichtfertig und voreilig – auf den Menschen als Störfallmanager. Der Mensch bleibt jedoch als Kunde, als Bediener (mit entsprechender Verantwortung), aber auch als Systemdesigner bzw. –programmierer unverzichtbarer Bestandteil selbst hochautomatisierter technischer Systeme bleibt. Wir benötigen daher dringend neue Konzepte für die Interaktion von (vernunftbegabten) Menschen und "intelligenter" Technik, um dafür zu sorgen, dass die Gesellschaft der Zukunft noch beherrschbar und menschlich bleibt.

## 7 Literatur

- [Bosch 2005] In letzter Sekunde vor dem Unfall, [www.bosch.de/start/content/language1/html/715\\_3979.htm](http://www.bosch.de/start/content/language1/html/715_3979.htm) (23.12.05)
- Aschenbrenner, Norbert, 2005: Clevere Beifahrer, in: *Pictures of the Future*, Herbst 2005: 40-42
- Blutner, Doris/Stephan Cramer/Tobias Haertel, 2006: Der Mensch als Problemlöser in logistischen Ketten (Universität Dortmund, Soziologische Arbeitspapiere Nr. 13)
- Grell, Detlef, 2003: Rad am Draht, in: *c't* 14/2003: 170-183, [www.heise.de/ct/03/14/170/default.shtml](http://www.heise.de/ct/03/14/170/default.shtml) (15.09.04)
- Goroncy, Jürgen, 2005: Das Auto bekommt Augen, in: *Pictures of the Future*, Herbst 2005: 46-50
- Gras, A./Moricot, C./Poirot-Delpech, S.L./Scardigli, V., 1994: *Faced with Automation. The Pilot, the Controller and the Engineer*, Paris: Publications de la Sorbonne
- Hack, Gert, 2004: Auf Distanz. Technik im Detail: Unterwegs im BMW 530d mit aktiver Geschwindigkeitsregelung, in: *FAZ* 09.11.2004: T3
- Herrtwich, R.G., 2003: Fahrzeuge am Netz, in: *Mattern* 2003, 63-83
- Krohn, Wolfgang/Johannes Weyer, 1989: Gesellschaft als Labor. Die Erzeugung sozialer Risiken durch experimentelle Forschung, in: *Soziale Welt* 40: 349-373
- Mattern, F., (Hg.), 2003: *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt* (7. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung), Heidelberg: Springer
- Rammert, W./Schulz-Schaeffer, I., (Hg.), 2002: *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik*, Frankfurt/M.: Campus
- Rossberg, Ralf Roman, 1999: Ausfall der Zugsteuerung ließ CitySprinter ins Unglück rollen. Stadtbahn-Unfall in Köln: Verkettung unglücklicher Umstände führte zum Zusammenstoß, in: *VDI-Nachrichten* 03.09.1999: 11, [http://ods.schule.de/bics/son/verkehr/presse/1999\\_2/v3292\\_06.htm](http://ods.schule.de/bics/son/verkehr/presse/1999_2/v3292_06.htm) (22.12.05)
- Schulz, Andreas/Monica De Filippis/Manfred Thüring, 2005: "Driving Without Awareness"? Eine experimentelle Untersuchung zum Vigilanzabfall während des Autofahrens, in: *Urbas/Steffens* 2005: 71-76

- Spehr, M., 2004: Die Physik des Staus. Neue Wege gegen den Kollaps auf der Straße, in: FAZ 14.09.2004: T1
- Sterbak, Rolf, 2005: Mein Auto versteht mich, in: Pictures of the Future, Herbst 2005: 56-58
- TA-Swiss (Hg.), 2003a: Auf dem Weg zur intelligenten Mobilität. Kurzfassung des TA-Arbeitsdokumentes "Das vernetzte Fahrzeug" (TA 43A/2003), Bern, [www.ta-swiss.ch/www-remain/reports\\_archive/publications/2003/KF\\_Verkehrstelematik\\_d.pdf](http://www.ta-swiss.ch/www-remain/reports_archive/publications/2003/KF_Verkehrstelematik_d.pdf) (06.10.03)
- Urbas, Leon/Christiane Steffens (Hg.), 2005: Zustandserkennung und Systemgestaltung. 6. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Düsseldorf: VDI Verlag
- Vanberg, V., 1975: Die zwei Soziologien. Individualismus und Kollektivismus in der Sozialtheorie, Tübingen: J.C.B. Mohr
- Vasek, T., 2004: Rechner auf Rädern, in: Technology Review 7/2004: 20-41
- Vernaleken, C., 2004: Forschen fürs Cockpit der nächsten Generation, in: Luft- und Raumfahrt 4/2004: 22-24
- Wagner, T./Göhner, P./Urbano, P.G. de A., 2003/04: Softwareagenten - Einführung und Überblick über eine alternative Art der Softwareentwicklung, in: Automatisierungstechnische Praxis 45 (2003), H. 10: 48-57 (Teil 1), H. 11: 57-65 (Teil 2) und 46 (2004), H. 2: 42-51 (Teil 3)
- Weyer, J., 1997: Die Risiken der Automationsarbeit. Mensch-Maschine-Interaktion und Störfallmanagement in hochautomatisierten Verkehrsflugzeugen, in: Zeitschrift für Soziologie 26: 239-257
- Weyer, J., 2004: Creating Order in Hybrid Systems. Reflexions on the Interaction of Man and Smart Machines (Universität Dortmund, Soziologische Arbeitspapiere Nr. 7)
- Wille, Walter, 2004: Die neuen Fahrer heißen Bit und Byte. Deutschlands erste vollautomatische U-Bahn, in: FAZ 19.10.2004: T 1-2
- Ziegler, Peter-Michael/Benz, Benjamin, 2005: Fliegendes Rechnernetz. IT-Technik an Bord des Airbus A380, in: c't 2005, H. 17: 84-91

## **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)  
erschieden in: Rasch, M./Bleidick, D., (Hg.): Technikgeschichte im Ruhrgebiet – Technikgeschichte für das Ruhrgebiet, Essen: Klartext Verlag 2004, 278-294
- 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 Problem-  
löser (März 2006)

## **Bereits erschienene Arbeitspapiere des Lehrstuhls Wirtschafts- und Industriesoziologie (vormals Technik und Gesellschaft)**

- 1/1998 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Industrielle Konsequenzen globaler Unternehmensstrategien  
(Juni 1998)
- 2/1998 Gerd Bender  
Gesellschaftliche Dynamik und Innovationsprojekte (Juli  
1998)
- 3/1999 Staffan Laestadius  
Know-how in a low tech company - chances for being com-  
petitive in a globalized economy (März 1999)
- 4/1999 Hartmut Hirsch-Kreinsen/Beate Seitz  
Innovationsprozesse im Maschinenbau (Juni 1999)
- 5/1999 Howard Davies  
The future shape of Hong Kong's economy: Why low tech-  
nology manufacturing in China will remain a sustainable  
strategy (November 1999)
- 6/2000 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Industriesoziologie in den 90ern (Februar 2000)
- 7/2000 Beate Seitz  
Internationalisierungsstrategien und Unternehmensreorgani-  
sationen (Februar 2000)
- 8/2000 Gerd Bender/Horst Steg/Michael Jonas/Hartmut Hirsch-  
Kreinsen  
Technologiepolitische Konsequenzen "transdisziplinärer" In-  
novationsprozesse (Oktober 2000)
- 9/2001 Marhild von Behr  
Internationalisierungsstrategien kleiner und mittlerer Unter-  
nehmen (März 2001)
- 10/2002 Gerd Bender/Tabea Bromberg  
Playing Without Conductor: the University-Industry Band in  
Dortmund – Networks, Spin-offs and Technology Centre (Ja-  
nuar 2002)

- 11/2002 Michael Jonas/Marion Berner/Tabea Bromberg/A. Kolas-  
sa/Sakir Sözen  
'Clusterbildung' im Feld der Mikrosystemtechnik – das Bei-  
spiel Dortmund (Januar 2002)
- 12/2002 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Wissensnutzung in dynamischen Produktionsstrukturen. Er-  
gebnisse eines Workshops am 15. Oktober 2002, Universität  
Dortmund (November 2002)
- 13/2002 Hartmut Hirsch-Kreinsen  
Knowledge in Societal Development: The Case of Low-Tech  
Industries (November 2002)

Die Arbeitspapiere sind über den Lehrstuhl erhältlich.

## **Bereits erschienene Arbeitspapiere des Fachgebiets Techniksoziologie**

- 1/2003      Johannes Weyer  
Von Innovations-Netzwerken zu hybriden sozio-technischen Systemen. Neue Perspektiven der Techniksoziologie (Juni 2003)  
erschieden in: L. Bluma et al. (Hg.), Technikvermittlung und Technikpopularisierung. Historische und didaktische Perspektiven, Münster: Waxmann 2004 (Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Bd. 23), 9-31
- 2/2003      Johannes Weyer/Stephan Cramer/Tobias Haertel  
Partizipative Einführung von Methoden und Techniken in der Projektorganisation eines Softwareherstellers (Juli 2003)  
(Projekt-Endbericht – nur zum internen Gebrauch)
- 3/2003      Stephan Cramer  
How safety systems made seafaring risky. Unintended acceleration in the 19<sup>th</sup> century (August 2003)