

Digitale Transformation und öffentliche Sicherheit

Johannes Weyer



Schriftenreihe Sicherheit
des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit

herausgegeben von

Lars Gerhold

Roman Peperhove

Helga Jäckel

AG Interdisziplinäre Sicherheitsforschung, Forschungsforum Öffentliche Sicherheit,

Freie Universität Berlin

Nr. 23



Forschungsforum Öffentliche Sicherheit

Schriftenreihe Sicherheit Nr. 23

Dezember 2017

Print: 978-3-96110-040-8 Online: 978-3-96110-041-5

Anschrift:	Tel: +49 (0)30 838 57367
Freie Universität Berlin	Fax: +49 (0)30 838 4 57367
Carl-Heinrich-Becker Weg 6-10	www.schriftenreihe-sicherheit.de
12165 Berlin	kontakt@schriftenreihe-sicherheit.de

Über den Autor

Johannes Weyer ist seit 2002 Professor für Techniksoziologie an der TU Dortmund. Er hat 1983 in Marburg promoviert und sich 1991 in Bielefeld habilitiert. Seine Arbeitsschwerpunkte sind die Steuerung und Um-Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme, die Mensch-Maschine-Interaktion in hochautomatisierten Verkehrssystemen sowie die Netzwerkanalyse. In den letzten Jahren hat er verstärkt die Methode der agentenbasierten Modellierung und Simulation (ABMS) eingesetzt, um die genannten Themen experimentell zu untersuchen.

Kontakt zum Autor

Technische Universität Dortmund
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Techniksoziologie
D-44221 Dortmund
Johannes.Weyer@tu-dortmund.de





Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung: Gegenstand, Aufbau und Methode der Studie.....	9
1.1	Öffentliche Sicherheit	9
1.2	Management von Unsicherheit.....	9
1.3	Digitale Transformation	10
1.4	Die Genese der Echtzeitgesellschaft	11
1.5	Technischer und sozialer Wandel	15
1.6	Modellierung und Simulation als Methode zur Erforschung von Systemdynamiken	18
1.7	Fazit.....	24
2	Mensch und Technik in der digitalen Gesellschaft.....	27
2.1	Die Digitalisierung des Alltags	27
2.2	Akzeptanz neuer Technik.....	33
2.3	Autonome Systeme	38
2.4	Simulation (Teil 1): Modellierung der Interaktion von Mensch und autonomer Technik.....	41
2.5	Vertrauen in Automation.....	44
2.6	Empirische Befunde (Teil 1): Autofahrer-Studie.....	48
2.7	Empirische Befunde (Teil 2): Pilotenstudie	51
2.8	Fazit.....	63
3	Technik und Gesellschaft im digitalen Zeitalter.....	65
3.1	Risiko-Management in komplexen Systemen.....	65
3.2	Fallbeispiele	68
3.3	Organisationale Strategien des Umgangs mit Unsicherheit	77
3.4	Simulation (Teil 2): SUMO-S.....	91
3.5	Fazit.....	99
4	Transformation kritischer Infrastruktur-Systeme.....	101
4.1	Das Mehrebenen-Modell sozio-technischen Wandels	101
4.2	Wandel durch Rückbau eines sozio-technischen Systems	105
4.3	Simulation (Teil 3): Der Simulator SimCo	106
4.4	Fazit.....	113
5	Die Politik der Echtzeitgesellschaft.....	115
5.1	Die mobile Echtzeitgesellschaft.....	115
5.2	Echtzeit-Steuerung komplexer Systeme.....	116
5.3	Politische Steuerung.....	120
5.4	Intelligente Regulierung der Echtzeitgesellschaft.....	123
5.5	Fazit.....	125
6	Zusammenfassung der Ergebnisse	127
7	Literatur	129





Vorwort

Der vorliegende Bericht ist im Auftrag des Forschungsforum Öffentliche Sicherheit der FU Berlin entstanden.

Er basiert auf einer Reihe von Texten, die ich im Laufe der letzten Jahre verfasst und veröffentlicht habe. Aufgrund mehrfacher Überarbeitungen, Verschiebungen, Kürzungen, Ergänzungen, Aktualisierungen etc. sind die einzelnen Abschnitte dieses Berichts nicht mehr in allen Fällen zweifelsfrei den Ursprungstexten zuzuordnen.

Etliche der Ursprungstexte sind zudem in Ko-Autorenschaft entstanden, und zwar unter Mitwirkung von Fabian Adelt, Marc Delisle, Robin Fink, Gudela Grote, Sebastian Hoffmann, Andreas Ihrig, Marcel Kiehl, Jens Kroniger, Georg Krücken, Tobias Liboschik, Jessica Longen, Ingo Schulz-Schaeffer und Maximiliane Wilkesmann (in alphabetischer Reihenfolge).





1 Einleitung: Gegenstand, Aufbau und Methode der Studie

1.1 Öffentliche Sicherheit

Die vorliegende Studie befasst sich mit den Auswirkungen der digitalen Transformation auf die öffentliche Sicherheit. Sie verwendet dabei einen erweiterten Begriff von öffentlicher Sicherheit, der nicht ausschließlich die Gefahren für die demokratische Rechtsordnung, die Funktionsfähigkeit des Staates und seiner Institutionen sowie die individuellen Rechtsgüter des Einzelnen umfasst, wie man sie in einschlägigen juristischen Definitionen findet.¹

Im Sinne einer eher umfassenden Definition von ziviler Sicherheit geht es im Folgenden vor allem um die Funktionsfähigkeit kritischer Infrastruktursysteme sowie die Verhinderung von Großschadensereignissen (Katastrophen), die erhebliche Auswirkungen nicht nur auf die Sicherheit des einzelnen Bürgers, sondern auch auf die Funktionsfähigkeit des Gemeinwesens haben können (Bundesministerium des Inneren 2009).

Der Fokus liegt hier auf der Sicherheit komplexer, digitaler sozio-technischer Systeme und insbesondere auf dem Umgang von Organisationen mit Unsicherheit, Ungewissheit und Risiko („Safety“). Fragen der Verletzlichkeit durch Angriffe von außen („Security“) werden hingegen nur am Rande gestreift (Beyerer & Geisler 2016).

1.2 Management von Unsicherheit

Im Mittelpunkt der folgenden Studie stehen die digitalen Transformationsprozesse, die sich in folgenden vier Bereichen vollziehen:

- in der Digitalisierung des Alltags und der damit einhergehenden Interaktion von Mensch und (immer autonomer agierender) Technik (Mikro-Ebene) – im Mittelpunkt stehen hier der Betrieb und die Nutzung digitalisierter, sozio-technischer Systeme, sei es in Form der Verwendung eines Smartphones, sei es in Form der Steuerung eines modernen Verkehrsflugzeugs, und damit auch Fragen des Vertrauens in und der Akzeptanz von Technik (Kap. 2);
- im Risikomanagement in Organisationen, die kritische Infrastruktursysteme betreiben (Meso-Ebene), beispielsweise in den Bereichen Energieversorgung oder Transport und Verkehr (Kap. 3);

¹ Vergleiche die entsprechenden Einträge im Rechtswörterbuch.de (2017a), Wikipedia (2017b) sowie dem Duden „Recht A-Z“ (2015).



- in der Transformation kritischer Infrastruktursysteme, beispielsweise in Richtung einer nachhaltigen Energieversorgung oder einer nachhaltigen Mobilität (Kap. 4);
- und schließlich in der politischen Regulierung der digitalen und mobilen Echtzeitgesellschaft (Makro-Ebene), die das Ziel einer Wahrung von Individual- und Gemeinschaftsgütern verfolgt und dabei moderne Formen „intelligenter Steuerung“ einsetzt (Kap. 5).

Alle vier genannten Bereiche sind durch vielfältige Unsicherheiten geprägt, die ihre Ursache unter anderem in fortschreitenden Prozessen der Digitalisierung sämtlicher gesellschaftlicher Teilbereiche haben. Tradierte Formen des Managements von Unsicherheit (auf Organisationsebene), aber auch der politischen Regulierung (auf staatlicher Ebene) reichen offenkundig nicht mehr aus; deshalb findet man in allen vier genannten Bereichen unterschiedliche Versuche, neue, „intelligente“ Formen des Risikomanagements und der Risikoregulierung zu entwickeln bzw. zu erproben.

Die folgende Studie gibt einen Überblick über die Debatten in den angesprochenen vier Themenfeldern, untermauert diese Analysen jedoch auch durch empirische Ergebnisse aus der Forschungswerkstatt der Dortmunder Techniksoziologie. Sie stellt zudem innovative Methoden der sozialwissenschaftlichen Technikforschung vor – wie etwa die agentenbasierte Modellierung und Simulation –, die dazu beitragen sollen, das Management komplexer, digitaler sozio-technischer Systeme sowie mögliche Zukunftsszenarien experimentell zu untersuchen.

1.3 Digitale Transformation

In geradezu atemberaubender Geschwindigkeit haben sich moderne Gesellschaften rund um den Globus in den letzten Jahrzehnten gewandelt. Die Digitalisierung nahezu aller Bereiche des Lebens und Arbeitens ist eine der fundamentalsten Veränderung in der Menschheitsgeschichte – vergleichbar mit der Renaissance des 15. Jahrhunderts oder der Industrialisierung des 18. Jahrhunderts, aber auch der Sesshaftwerdung des Menschen vor über 10.000 Jahren.

Ähnlich wie den Menschen der Renaissance (1400–1530), die von der Wucht, vor allem aber der Geschwindigkeit des Wandels regelrecht „erschlagen“ wurden, geht es uns heute. Neue Technik dringt unaufhörlich in unseren Alltag ein: Während Erfindungen wie z. B. die Eisenbahn, das Auto und sogar das Telefon noch Jahrzehnte brauchten, um sich flächendeckend durchzusetzen und selbstverständliche Bestandteile des Arbeits- und Privatlebens zu werden, schafften es Computer und das Internet in wesentlich kürzerer Zeit.

Das Internet ist seit gerade einmal 20 Jahren Bestandteil unseres beruflichen und privaten Alltags; und das erste Smartphone für das breite Publikum, das iPhone 2G, kam gerade einmal vor zehn Jahren auf den Markt, ist aber mittlerweile aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. In Verbindung mit dem mobilen Internet hat dieses Gerät binnen weniger Jahre einen fundamentalen Wandel unseres Informations- und



Kommunikationsverhaltens mit sich gebracht, der tiefgreifende Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Institutionen und Traditionen hat.

Die Sendungsverfolgung von Paketen, der WhatsApp-Chat der Großmutter mit dem Enkel, aber auch der Bedeutungsverlust des Fernsehens und traditioneller Medien angesichts von Facebook und YouTube sollen hier als Stichworte genügen, um die Dimensionen dieses Transformations-Prozesses zu illustrieren. Offenbar beschleunigt sich der technische Wandel und mit ihm der dadurch ausgelöste soziale Wandel.

Definition

Unter Digitalisierung sei hier – in Anlehnung an (Geisberger & Broy 2012, S. 22) – verstanden:

- die ubiquitäre Durchdringung der Arbeits- und der Lebenswelt mit avancierter, miniaturisierter, eingebetteter Informations- und Kommunikationstechnik;
- die dadurch ermöglichte Erfassung von Informationen (z. B. Wärme einer Maschine, Nähe eines Objekts, biometrische Daten einer Person) durch Sensoren aller Art;
- die Umwandlung dieser Informationen in digitale, maschinenlesbare Daten;
- die Übermittlung, Verbreitung und Speicherung dieser Daten in Datennetzen aller Art;
- die Verarbeitung der Daten durch Computerprogramme (Algorithmen) und deren Verdichtung zu Erkenntnissen, z. B. Mustern;
- die Verwendung dieser Erkenntnisse zur weitgehend automatischen Steuerung realweltlicher Prozesse;
- und schließlich die umfassende Dokumentation der Daten (und Meta-Daten) – verbunden mit der Möglichkeit, die erfassten Prozesse ex-post zu rekonstruieren, aber auch die Daten in anderen Kontexten und zu anderen Zwecken weiterzuverwerten.

1.4 Die Genese der Echtzeitgesellschaft

Um die gesellschaftspolitische Sprengkraft der digitalen Transformation zu erfassen, ist es sinnvoll, in größeren historischen Zusammenhängen zu denken und die Frage zu stellen, wie die Gesellschaft am Ende dieses Transformationsprozesses aussehen könnte. Der massive Technisierungsschub, den die Wissensgesellschaft momentan erlebt, führt nicht nur dazu, dass nahezu alle gesellschaftlichen Bereiche (bis hin zur Privatsphäre) in einem zuvor kaum vorstellbaren Maße von Technik durchdrungen sind, welche immer stärker autonom agiert und zum Knotenpunkt umfassender Datennetze wird (Mattern 2003). Er verändert auch unsere Vorstellungen von Raum und Zeit, und zwar derart, dass sich die Wissensgesellschaft der Gegenwart in hohem Tempo zur mobilen Echtzeitgesellschaft der Zukunft wandelt. In dieser künftigen Gesellschaft werden tradierte Konzepte nicht mehr greifen, weil die Grenzen von Planung und



Handlung, von Autonomie und Kontrolle, aber auch von Steuerung und Selbststeuerung zunehmend verschwimmen.

Ein kurzer Rückblick veranschaulicht die gesellschaftspolitische Brisanz dieser Entwicklungen.

Industriegesellschaft

Die Industriegesellschaft des 19. Jahrhunderts war durch den Gegensatz von Kapital und Arbeit gekennzeichnet, wie etwa Karl Marx ihn beschrieben hat. Technik spielte in dieser Epoche in zweierlei Hinsicht eine Rolle: zum einen als Produktionstechnik (mit der Dampfmaschine als Antrieb), zum anderen als Transporttechnik (in Form der Dampflokomotive oder des Dampfschiffs). Die Eisenbahn brachte eine „Vernichtung“ von Zeit und Raum mit sich (Schivelbusch 1977); sie wurde von den Zeitgenossen als eine Zeitmaschine empfunden, war es doch erstmals möglich, Waren und Personen innerhalb weniger Stunden von einem Ort zum anderen zu transportieren. Zudem verlor der Raum seine Wirkung als Medium sozialer Ungleichheit; denn mit den neuen Techniken war es nunmehr möglich, auch entlegene Gebiete zu erreichen und zu versorgen, was zu einer sukzessiven Angleichung des Lebensstandards führte (Popitz 1995).

Wissensgesellschaft

Die Wissensgesellschaft ab Mitte des 20. Jahrhunderts baute auf diesen Errungenschaften auf, entdeckte nunmehr aber in verstärktem Maße das Wissen als neue Produktivkraft (Bell 1985; Willke 1998). Technik spielte hier vor allem als Informations- und Kommunikationstechnik eine Rolle, die sich nicht nur in der Verbreitung von Massenmedien, sondern auch in vielfältigen Formen der Individualkommunikation (Telefon) niederschlug (Rammert 1990). Zudem vollzog sich eine Informatisierung weiter Teile der Gesellschaft, angefangen in Produktion, Logistik und Handel, später aber auch im Verkehr, im Bildungswesen, in der öffentlichen Verwaltung usw. (Mattern 2007).

Die mobile Echtzeitgesellschaft

Die mobile Echtzeitgesellschaft des 21. Jahrhunderts forciert diese Entwicklungen noch einmal, indem sie eine nahezu flächendeckende und allumfassende Digitalisierung sämtlicher Bereiche der Arbeitswelt, des öffentlichen Lebens und sogar des privaten Alltags betreibt. Mobile und (teil-)autonome Geräte wie das Smartphone bringen eine neue Qualität der Durchdringung mit Informationstechnik mit sich: Im „Internet der Dinge“ (Fleisch & Mattern 2005) sind sowohl Personen als auch Objekte Bestandteile eines umfassenden Datennetzwerkes, die „always online“ sind und permanent Daten generieren (Genner 2017). Die Daten werden damit zum neuen Rohstoff der Echtzeitgesellschaft (Weyer 2014).

Mobile, vernetzte Geräte, Sensoren, „intelligente“ Dinge, Maschinen etc. machen Informationen über Position und Identität von Objekten und Personen jederzeit und



überall verfügbar. Zeit und Raum werden damit wieder zu relevanten Größen – ganz im Gegensatz zur Industriegesellschaft, in der diese beiden Größen tendenziell an Bedeutung verloren hatten.

In der globalisierten Ökonomie des ausgehenden 20. Jahrhunderts war es zunehmend unwichtig geworden, an welchem Ort produziert wurde (in Deutschland oder in China); und die Just-in-time-Produktion trieb die Vernichtung der Zeit insofern auf die Spitze, als die Vorprodukte ohne zeitlichen Vorlauf ans Band geliefert wurden (Monse & Weyer 2000). Mithilfe moderner Verfahren der elektronischen Warenwirtschaft wurden aus sequenziellen *Zeit-Räumen* – mit Puffern und Spiel-Räumen für Unerwartetes – eng getaktete *Zeit-Fenster*, die durch immer perfektere Synchronisation zunehmend miteinander verschmolzen und parallel (statt zuvor sequenziell) abgearbeitet werden mussten. Charles Perrow (1987) hat diese Entwicklungen von linearen und lose gekoppelten Systemen zu komplexen und eng gekoppelten Systemen bereits beschrieben und auf die Risiken dieser Entwicklungen aufmerksam gemacht (ähnlich auch Rochlin 1997; vgl. Kap. 3.3.2). Zwar steigen die Produktivität und die Effizienz eng gekoppelter Systeme (z. B. durch Auflösung von Lagern, die als Puffer dienen); zugleich steigt jedoch das Risiko, dass unvorhergesehene Störfälle das gesamte System lahmlegen.²

Die Echtzeitgesellschaft setzt auf diesen Tendenzen der Synchronisation sozialer Interaktionen auf, treibt sie aber gewissermaßen auf die Spitze. Mobile Geräte wie beispielsweise das Smartphone ermöglichen die Kopräsenz der Akteure an mehreren Orten zugleich (Hanekop & Wittke 2010). Der Enkel, der bei der Feier des 80. Geburtstags seiner Großmutter per WhatsApp mit seinen Freunden online verbunden ist und nebenbei bei eBay mitbietet, sei hier nur als ein Beispiel genannt. Das Just-in-time-Denken, das ursprünglich aus den Bereichen Militär und Logistik stammt und auf einer Logik der Kontrolle basiert (Läpple 1985), prägt zunehmend auch unser Alltagshandeln. Die Dinge können nicht mehr warten, sondern müssen sofort erledigt werden (Rosa 2005). „Sofortness“ (Peter Glaser) ist das neue Zauberwort. Der Brief, der noch vor wenigen Jahrzehnten frühestens in acht Tagen beantwortet sein konnte (bei Laufzeiten pro Richtung von drei bis vier Tagen – international eher Wochen), muss heute, sofern er als Mail eintrifft, möglichst noch am selben Tag bearbeitet werden – egal an welchem Ort der Welt man sich gerade befindet (Turkle 2011).

Die Echtzeitgesellschaft ist also einerseits eine zeitlose Gesellschaft. Andererseits gewinnen die Faktoren „Raum“ und „Zeit“ jedoch eine neuartige Bedeutung, und zwar in Form der sogenannten Meta-Daten, die bei elektronischen Transaktionen quasi „nebenbei“ anfallen. Denn diese enthalten wertvolle Informationen wie beispielsweise die Identität und Position des Senders, die Adresse des Empfängers, den Zeitpunkt der Interaktion u. v. a. m. (Russell 2013). Bereits im 1. Weltkrieg wurde das Verfahren der Verkehrsdatenanalyse entwickelt. Dem deutschen Militär gelang es nicht, den verschlüsselten Funkverkehr des militärischen Gegners zu entschlüsseln. Man fand aber

² Das Beispiel der Deutschen Bahn demonstriert anschaulich, dass die immer engere Taktung des Zugverkehrs in den letzten Jahrzehnten zwar die Produktivität gesteigert, zugleich aber auch die Anfälligkeit für Störungen vergrößert hat.



heraus, dass allein die Verbindungsdaten (wer funkt wann wo und mit wem?) wichtige Informationen enthalten; denn sie ermöglichen es, Kommunikationsmuster zu dechiffrieren, die wertvoller sein können als der konkrete Inhalt der Kommunikation (Rieger 2010; Kurz & Rieger 2009).

Dies gilt im Zeitalter der digitalen Kommunikation umso mehr: Wo wir uns befinden, wenn wir mit unserem Smartphone (oder im smarten Fahrzeug) automatisiert eine Nachricht absetzen oder eine Transaktion tätigen, und wann wir dies tun, sind Daten, für die sich nicht nur die Nachrichtendienste interessieren. Auch eine Reihe neuartiger Geschäftsmodelle basiert auf Big-Data-Verfahren der Auswertung von Metadaten, beispielsweise in Form von „Location-based Services“ oder „Behavioural Targeting“, die individuell maßgeschneiderte Angebote unterbreiten (Christl & Spiekermann 2016). Nicht zuletzt nutzen Anbieter von Mobilitätsdienstleistungen Echtzeitdaten ihrer Kunden mit Zeitstempel und Raumkoordinaten, um ein Lagebild – beispielsweise des Verkehrssystems – zu generieren und Empfehlungen auszusprechen bzw. passgenaue Services anzubieten (vgl. Kap. 5.2.1).

Folgewirkungen der digitalen Transformation

Die digitale Transformation und die mit ihr einhergehende Herausbildung der mobilen Echtzeitgesellschaft werfen eine Vielzahl von Problemen auf, die für die öffentliche Sicherheit relevant sind, insbesondere die Frage nach der Beherrschbarkeit von datengetriebenen Prozessen, die mit hoher Geschwindigkeit ablaufen und sich damit tendenziell einer Kontrolle durch menschliche Akteure entziehen.

- Digitalisierung geht zumeist mit einer Steigerung der Komplexität einher, da viele Prozesse nunmehr von technischen Systemen übernommen werden und oftmals automatisiert ablaufen.
- Mit der digitalen Repräsentation von Wirklichkeit geht der direkte, unmittelbare Bezug zum operativen Geschehen verloren; die Operateure sitzen meist in Leitständen fernab des realen Geschehens (sei es in Kraftwerken, in Chemieanlagen oder in der Verkehrssteuerung, beispielsweise bei der Bahn) und sind auf das digitale Abbild auf ihren Computer-Bildschirmen angewiesen (Weyer 1997).
- Da viele Prozesse teil- bzw. vollautomatisiert ablaufen und Entscheidungen von technischen Systemen oftmals in sehr kurzen Zeiträumen und in hoher Geschwindigkeit getroffen werden, nimmt die Undurchschaubarkeit komplexer, digitalisierter Systeme zu. Wenn dann noch unklar ist, in welchem Betriebsmodus sich die digitalen Systeme befinden, kann es rasch zu Verwirrung (engl. „mode confusion“) und zu einer Einschränkung der Fähigkeit kommen, im Notfall ein effektives Störfallmanagement zu leisten.
- Die Datafizierung sämtlicher Prozesse hat darüber hinaus erhebliche Auswirkungen auf den Datenschutz und die Privatsphäre, weil nunmehr sämtliche Prozesse aufgezeichnet und überwacht werden können (Hoeren & Kolanyi-Raiser 2016).
- Mit der Digitalisierung hält eine Logik der Kontrolle in viele Bereiche des Arbeitens und Lebens Einzug, die ursprünglich aus den Bereichen Militär und Logistik stammt (s. o.), nun aber in gesellschaftliche Lebensbereiche transferiert wird, die durch eine



Balance von Autonomie und Kontrolle geprägt sind, deren Bewahrung ein Teil unserer freiheitlichen Grundordnung ist.

- Schließlich tangiert die Digitalisierung von Entscheidungsprozessen in komplexen sozio-technischen Systemen auch die politische Öffentlichkeit. Wenn Algorithmen Entscheidungen treffen, könnte dies tendenziell zu einer Erosion von Politik und deren Ersetzung durch eine „Algokratie“ führen (Lobe 2015).

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass die digitalisierte Gesellschaft zwar einerseits effizienter operiert und sicherer geworden ist, zugleich aber ihre Abhängigkeit von Technik und damit auch ihre Verletzlichkeit zugenommen hat. Moderne, digitale, oftmals sogar autonome Technik trägt dazu bei, die Sicherheit komplexer sozio-technischer Systeme zu erhöhen und „alte“ Risiken sowie damit einhergehende Unsicherheiten zu bewältigen. Ein Notbrems-Assistent im Pkw verhindert Auffahrunfälle zuverlässig, und ein Spam-Filter im Computer sortiert verdächtige Mails mit großer Sicherheit.

Zugleich ergeben sich aber auch neuartige Gefährdungen und Bedrohungen, beispielsweise im Falle eines Versagens der Technik (z. B. durch Fehler im System), sowie eine erhöhte Anfälligkeit (z. B. für Attacken von außen), die sich zu Katastrophen aufschaukeln können, weil kein Mensch mehr in der Lage ist, derartige Störfälle manuell zu beherrschen. Man denke nur an Börsen-Crashes, die vom „High-frequency Trading“ ausgelöst wurden, also Computerprogrammen, welche vollautomatisch und praktisch unaufhaltsam in die Katastrophe steuerten (vgl. Fink 2014, S. 101–103). Diese Risiken betreffen nicht nur den Einzelnen und dessen berechtigte Schutzinteressen, sondern auch das Gemeinwesen als Ganzes, ist die Gesellschaft doch auf das Funktionieren kritischer Infrastruktursysteme existenziell angewiesen.

So paradox es klingen mag: Digitalisierte sozio-technische Systeme sind sicherer, zugleich aber auch riskanter. In Erwartung einer hohen Zuverlässigkeit und perfekter Performance verlassen wir uns nämlich nicht nur auf derartige Systeme bei der Bewältigung bisheriger Aufgaben, sondern dehnen zudem die Grenzen unseres Handelns immer weiter aus (z. B. in Form vollautomatisierter Interkontinental-Flüge selbst nachts und bei schwierigen Wetterverhältnissen).

Diese Aspekte, die hier nur kurz angerissen werden konnten, werden in den folgenden Kapiteln eingehend vertieft. Zudem soll empirisch geprüft werden, ob die hier aufgestellten Vermutungen zutreffen.

1.5 Technischer und sozialer Wandel

Doch zunächst sollen einige grundlegende Erörterungen zum Verhältnis von technischem und sozialem Wandel angestellt werden, weil diese Hinweise geben können, ob und wie die Prozesse der Digitalisierung der Gesellschaft bewältigt und ggf. gesteuert werden können. Auch dieses Thema wird sich durch die gesamte Studie ziehen.



Betrachtet man das Tempo und die Wucht der digitalen Transformation, so könnte dies den Eindruck erwecken, technisch induzierter Wandel sei ein unentrinnbares Schicksal, dem die Menschheit mehr oder minder hilflos ausgeliefert sei.

Moderne Gesellschaften scheinen von technischen Neuerungen getrieben zu sein: Man kann sich ihnen kaum noch entziehen, sondern erlebt Technik als eine Art Sachzwang, der uns beherrscht und uns diktiert, wie wir die Technik zu nutzen haben (Schelsky 1965). Die ständige Erreichbarkeit durch E-Mail, SMS oder Messenger-Dienste nötigt uns auch im privaten Alltag permanent in Hab-Acht-Stellung zu sein und auf jede Nachricht sofort zu reagieren. Und auch Unternehmen sind scheinbar gezwungen, das enorme Tempo des technologischen Wetttrüstens mitzuhalten, das unaufhörlich innovative Produkte (wie etwa das autonome Auto) generiert.

So richtig diese Wahrnehmung auf den ersten Blick erscheint, so verkürzt ist sie, wenn man genauer hinschaut. Auch die digitale Transformation fällt nicht vom Himmel, sondern wird von Menschen gemacht, und zwar nicht nur von (mittlerweile) mächtigen Internet-Konzernen, sondern auch von uns allen, die wir das Spiel tagtäglich mitspielen. Nichts ist „alternativlos“: Zu jeder Innovation gab und gibt es Alternativen; und die Entscheidung, welche dieser Varianten sich letztlich durchsetzt, folgt keiner technischen, sondern einer sozialen Logik. Insofern sprechen wir Soziologen auch von der „sozialen Konstruktion von Technik“, deren Logik sich erschließt, wenn man die hinter der Technik-Entwicklung stehenden Interessengruppen betrachtet und verfolgt, wie sich aufgrund einer „sozialen Schließung“ – also eines Konsenses unterschiedlicher Interessengruppen – eine Alternative letztlich durchsetzt (Bijker et al. 1987).

Soziale Konstruktion von Technik

Ein gutes Beispiel für diese soziale Logik ist die Geschichte des Elektroautos: Um 1900 – zu Beginn der Ära der Automobilität – war der Elektromotor die meistverbreitete Antriebsform, bis er vom Verbrennungsmotor verdrängt wurde. Elektroautos waren zwar an die – zumeist städtischen – Stromnetze gebunden und damit nur eingeschränkt mobil. Dennoch sprach vieles für den Elektromotor: Es gab hinreichend technische Expertise und industrielles Know-how in der aufstrebenden Elektroindustrie.

Trotzdem setzte eine Allianz unterschiedlicher Interessengruppen schließlich den Verbrennungsmotor durch. Neben wohlhabenden Städtern, die das Auto für Vergnügungstouren nutzten, waren es vor allem Landwirte und Landärzte, die von der mobilen Kraftquelle profitierten. Die Erfindung des elektrischen Anlassers hat diesen Prozess beschleunigt, denn diese Technologie erleichterte den zuvor mühsamen und kraftraubenden Prozess des Startens des Motors. Hinzu kamen regulatorische Maßnahmen, die die Straße zur „Rennstrecke“ umdefinierten. Wo man zuvor flaniert hatte, raste nunmehr die Straßenbahn – und machte damit ungewollt den Weg für ihren ärgsten Konkurrenten frei: das Auto (Geels 2002).

Durch diese Schlüsselentscheidungen zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde ein sozio-technischer Pfad angelegt, der sich schrittweise verfestigt hat. Das große Beharrungsvermögen dieses Pfades war jedoch kein Naturgesetz, sondern wurde immer wieder neu „sozial konstruiert“, also durch Entscheidungen zementiert. In den



Nachkriegsjahren wurden beispielsweise die deutschen Autobahnen auf Kosten der Bahn ausgebaut, deren Vermögen dafür geplündert wurde. Man hätte die Weichen damals auch anders stellen und beispielsweise das Bahnnetz ausbauen können.

Heute erleben wir eine Renaissance des Elektroautos, das als ein Baustein einer nachhaltigen Verkehrswende betrachtet wird. Scheinbar versteinerte Pfade können also aufgebrochen werden, wenn die von ihnen erzeugten Probleme dazu führen, dass die gesellschaftliche Akzeptanz sinkt und wichtige Akteurguppen ihre Unterstützung entziehen. Noch ist der Verbrennungsmotor dem Elektromotor in etlichen Punkten (Komfort, Reichweite, Geschwindigkeit) überlegen; aber wir sind angesichts der negativen externen Effekte nicht mehr davon überzeugt, dass er in der Lage sein wird, die drängenden Zukunftsprobleme in den Bereichen Umwelt, Energie oder Verkehr zu lösen (Hoffmann et al. 2017).

Und so entstehen Alternativen, die das Potenzial haben, den Verbrennungsmotor abzulösen – vorausgesetzt, sie können sich auf ein breites Netzwerk starker Akteure stützen (vgl. Kap. 4.2). Welche dieser Alternativen sich im Bereich Mobilität und Verkehr langfristig durchsetzen wird und welche Rolle dabei der Elektromotor spielen wird, ist zurzeit eine offene Frage. Wir befinden uns zurzeit in der „Phase der Fermentation“ (Tushman & Rosenkopf 1992), in der das alte Mobilitäts-Regime schrittweise erodiert und neue Optionen (wie z. B. Carsharing) experimentell erprobt werden, aus denen sich auf längere Sicht ein neues Mobilitäts-Regime entwickeln könnte.

Ko-Evolution von Technik und Gesellschaft

Es ist daher wenig hilfreich, Technikentwicklung als einen evolutionären Prozess anzusehen und auf biologische Metaphern der Variation, Selektion und Retention zurückzugreifen – wie dies in der Technikgeschichte, aber auch der Techniksoziologie häufiger der Fall ist (Grundmann 1994). Anders als in biologischen Prozessen sind die Variation und die Selektion im Fall der Technikentwicklung „teilweise unabhängig und dennoch miteinander gekoppelt“ (Schot et al. 1994, S. 1064). Denn Technikkonstrukteure produzieren neue Artefakte nicht blind, sondern erzeugen strategisch Varianten – und zwar in Kenntnis der Selektionsumwelt, die sie sogar aktiv zu gestalten versuchen. Man kann also allenfalls von einer „Ko-Evolution von Technik und Selektionsumwelt“ (ebd.) sprechen, da die „technische Entwicklung zeitgleich mit der Konstruktion ihres Kontextes“ geschieht (Schot et al. 1994, S. 1063).

Im Zentrum soziologischer Analysen, die „Technik als sozialen Prozess“ (Weingart 1989) betrachten, stehen also immer die Akteure, deren Strategien sowie die Akteurkonstellationen (z. B. Innovations-Netzwerke), die sich durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure ergeben. Das Konzept des „sozio-technischen Systems“ (Hughes 1986) öffnet zudem den Blick für das komplexe Zusammenspiel sozialer, technischer, normativer, regulativer und anderer Komponenten, die erforderlich sind, um ein derartiges System „zum Laufen“ zu bringen. Und schließlich lenkt der Begriff des „sozio-technischen Regimes“ (Deuten 2003) die Aufmerksamkeit auf die Tatsache, dass oftmals unterschiedliche sozio-



technische Systeme miteinander konkurrieren (z. B. die fossile und die regenerative Energieversorgung) und in der Regel eines dieser Systeme dominant ist, also die Richtung des Pfades der sozio-technischen Entwicklung vorgibt (Tushman & Rosenkopf 1992; zum Regime-Konzept vgl. Kap. 4.1).

1.6 Modellierung und Simulation als Methode zur Erforschung von Systemdynamiken

Wie bereits erwähnt, erfordert die wissenschaftliche Analyse von Zukunftsszenarien des Managements komplexer, digitaler sozio-technischer Systeme den Einsatz neuartiger Methoden, die in der Lage sind, zukünftige Entwicklungen zu antizipieren. Die klassischen sozialwissenschaftlichen Methoden wie Fallstudien, teilnehmende Beobachtung, Interviews oder fragebogengestützte Einstellungserhebungen sind nur sehr bedingt in der Lage, die Frage zu beantworten, welche Auswirkungen der Einsatz neuer Technologien bzw. entsprechende Maßnahmen des Risikomanagements (von Seiten der betreffenden Organisationen oder des Staates) in Zukunft haben wird.

Mikro-Makro-Modelle sozio-technischer Systeme

Die agentenbasierte Modellierung und Simulation (ABMS) hat sich daher in den letzten Jahren als eine Methode entwickelt, die diese Lücke der soziologischen Forschung schließen will. Auch ABMS kann nicht in die Zukunft schauen, aber diese Methode ermöglicht es, Zukunfts-Szenarien experimentell zu erproben und am Computer durchzuspielen – ein entscheidender Vorteil gegenüber bestehenden Methoden. Mithilfe etablierter Verfahren wie der fragebogengestützten Erhebung von Einstellungen kann man beispielsweise versuchen herauszufinden, ob ein Befragter bereit wäre, vom Auto auf das Fahrrad oder den öffentlichen Personennahverkehr umzusteigen. Welche Folgen diese Einzel-Entscheidung hat, vor allem aber wie sich das „handelnde Zusammenwirken“ (Schimank 2010) *vieler Einzelner* auf die Dynamik des gesamten Verkehrssystems auswirkt, kann mithilfe traditioneller Verfahren jedoch nicht ermittelt werden. Auch ist es praktisch unmöglich herauszufinden, wie die Akteure – mit ihren sehr unterschiedlichen Einstellungen – auf externe Anreize reagieren (z. B. den Ausbau des Radwegenetzes) und wie dies sich wiederum auf die Systemdynamik auswirkt.

Die bekannten soziologischen Methoden und Verfahren sind praktisch nicht in der Lage, derartige Prozesse der Aggregation abzubilden, wie sie sich beim Übergang von der Mikro-Ebene der Akteur-Handlungen zur Makro-Ebene der sozialen Strukturen vollziehen (Coleman 1995, S. 14). Statistische Verfahren sowie formale Methoden der Netzwerkanalyse sind zwar in der Lage, statische Momentaufnahmen großer Kollektive zu liefern; aber die dynamischen Prozesse der Entstehung und Veränderung sozio-technischer Systeme können sie nicht abbilden – und erst recht nicht erklären.

Und hierin besteht ein weiterer Anspruch von ABMS-Konzepten, nicht nur Methode zu sein, sondern einen Beitrag zur soziologischen Theoriebildung zu leisten. Dieser besteht darin, die basalen sozialen Mechanismen herauszufinden, die die Dynamik komplexer sozio-technischer Systeme erklären können; aber diese Mechanismen werden nicht auf



der Makro-Ebene der gesellschaftlichen Strukturen, sondern auf der Mikro-Ebene des Handelns von Akteuren bzw. Agenten gesucht (Hedström & Swedberg 1996). Mit Blick auf die Komplexitäts-Thematik, die in den folgenden Kapiteln mehrfach behandelt werden wird, besteht die große Überraschung darin, dass sich mithilfe von ABMS erstaunlich komplexe Phänomene (auf der Makro-Ebene) generieren lassen, obwohl die zugrunde liegenden Regeln (auf der Mikro-Ebene) wenig komplex und relativ leicht zu explizieren sind.

In der Modellierung der Agenten, also der Mikro-Ebene, ist die ABMS-Community vor zwanzig Jahren mit dem KISS-Prinzip (**Keep It Simple, Stupid**) gestartet, das in der Lage war, auf Basis sehr einfacher Agentenregeln komplexe künstliche Gesellschaften entstehen zu lassen (Epstein & Axtell 1996). Die rasant gestiegene Rechnerleistung erlaubt es mittlerweile, auch Agentenmodelle zu implementieren, die auf soziologischen Handlungstheorien basieren und Entscheidungs-Algorithmen enthalten, die der Komplexität des Handelns und Entscheidens realer Entscheider nahekommen (Fink & Weyer 2011).

Beide Ansätze eint jedoch die Vermutung, dass man die sozio-technischen Systeme und deren Dynamik erst verstanden hat, wenn man sie nachbauen kann. „Can you grow it?“ – fragten Epstein und Axtell 1996 in ihrem wegweisenden Buch „Growing Artificial Societies“. Wenn man es schafft, reale Systeme am Computer so nachzubauen, dass das Verhalten künstlicher Systeme dem realer Systeme entspricht, hat man offenbar die Mechanismen verstanden, die Systemdynamik produzieren – so ihr Konzept, das „Bottom-up“ denkt, also von den konkreten Entscheidungen einzelner Akteure ausgeht, anstatt „Top-down“ die System-Funktionen in den Mittelpunkt zu rücken, wie es die Systemtheorie Luhmann'scher Prägung tut (Luhmann 1997).

Die Software NetLogo

Um ein agentenbasiertes Modell eines sozio-technischen Systems technisch zu implementieren, benötigt man eine Software. In den Sozialwissenschaften ist mittlerweile das Programm NetLogo³ weitverbreitet, unter anderem weil es einen intuitiven Einstieg ermöglicht und sich daher gut für die Lehre eignet. Es erlaubt aber auch die Entwicklung avancierter Programme, die Verfahren der objektorientierten Programmierung nutzen.

Mithilfe von NetLogo kann man biologische, chemische, mathematische, physikalische oder soziale Systeme konstruieren und die Ausbreitung von Waldbränden und Seuchen ebenso simulieren wie die Entwicklung künstlicher Sozialsysteme. Alle Modelle basieren auf der Prämisse, dass sich ein System aus den Interaktionen seiner Komponenten konstituiert und dass die Systemdynamik auf selbstorganisierten Prozessen basiert, die auch ohne Steuerung durch eine zentrale Instanz in Gang kommen – und im Modus der Selbstorganisation sogar erstaunliche Ergebnisse produzieren (Epstein & Axtell 1996; Resnick 1995; Krusch 2008).

³ Download unter <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>. NetLogo ist kostenlos und enthält bereits eine Vielzahl fertiger Modelle.



Die Computersimulation ermöglicht es, Prozesse, die sich in der Realität über Jahre bzw. Jahrzehnte erstrecken würden, binnen kurzer Zeiträume zu simulieren; ferner lassen sich die Parameter kontrolliert variieren, sodass unterschiedliche Szenarien untersucht werden können (z. B. ein Verkehrssystem mit bzw. ohne Förderung der Elektromobilität).⁴

ABMS-Modelle bestehen in der Regel aus drei Komponenten: den Agenten, dem Spielfeld, auf dem sie sich bewegen, sowie den Regeln, denen die Interaktionen der Agenten mit anderen Agenten, aber auch mit den Feldern des Spielfelds folgen (vgl. Epstein & Axtell 1996, S. 4).

Modellierung der Agenten

Die softwarebasierten Agenten sind durch interne Zustände wie Alter, Geschlecht etc. sowie durch Strategien charakterisiert, die sie verfolgen (z. B. schnell vorankommen oder die Umwelt schützen). Die Technik der objektorientierten Programmierung ermöglicht es, die Eigenschaften jedes einzelnen Agenten softwaretechnisch zu kapseln, sodass jeder Agent individuelle Eigenschaften hat; zudem können die Entscheidungsprozesse einer großen Zahl von Agenten nahezu simultan abgewickelt werden, sodass große Populationen *heterogener Agenten* am Bildschirm „gezüchtet“ und deren Interaktionsprozesse beobachtet werden können (vgl. Epstein & Axtell 1996, S. 14–15; Resnick 1995, S. 42–43.).

Jeder Agent orientiert sich bei seinen Entscheidungen an seinen individuellen Präferenzen und versucht, die aus seiner subjektiven Sicht optimale Lösung zu finden. (Die Entscheidungen können also ganz unterschiedlich ausfallen: Der eine fährt Rad, der andere Auto.) Die Agenten interagieren mit ihrer Umwelt (dem Spielfeld) sowie anderen Agenten. Sie verändern durch ihre Aktionen die Randbedingungen des Handelns der anderen Agenten, indem sie beispielsweise zur Entstehung eines Verkehrsstaus beitragen.

Modellierung der Systemdynamik

Das Spielfeld, auf dem die Agenten sich bewegen, ist meist als schachbrettartiges Muster aus Zellen (engl. „patches“) konstruiert, die jeweils acht Nachbarzellen haben. Zwischen den Zellen können Informationen fließen (z. B. über den Zustand der Nachbarzellen). Die Agenten bewegen sich über die Zellen und tauschen Informationen mit den Zellen sowie anderen Agenten aus (z. B. „dies ist ein Stück Radweg, das ich momentan belege“). Auf diese Weise ist das System stets in Bewegung.

⁴ Ob die Modelle dabei die Realität korrekt abbilden, mag dahingestellt sein (vgl. Resnick 1995, S. 49). Ähnlich wie in den Naturwissenschaften besteht der Anspruch der Computersimulation vor allem darin, die basalen Mechanismen zu beschreiben, mithilfe derer komplexe Phänomene beschrieben werden können (vgl. Krause et al. 2009). Das Modell muss dabei die Realität nicht hundertprozentig widerspiegeln, sondern soll, folgt man Mitchell Resnick, primär als Quelle der Inspiration dienen, um das Verhalten komplexer Systeme besser zu verstehen.



Durch die Interaktionen der Agenten entstehen emergente Effekte – überraschende und schwer vorhersehbare Systemzustände, die sich nicht aus den Eigenschaften der Systemelemente (also der Agenten) ableiten lassen, sondern das nicht-intendierte Ergebnis der intentionalen Handlungen einer Vielzahl autonom handelnder Agenten sind.

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel für einen derartigen emergenten Effekt ist der Verkehrsstau. Zwar führt ihn niemand absichtlich herbei, und dennoch entwickelt er sich nur deshalb, weil jeder an seiner Entstehung mitwirkt. Zudem hat er unerwartete emergente Eigenschaften, die in den Regeln auf der Mikro-Ebene nicht aufzufinden sind: Die Autos bewegen sich nämlich vorwärts, der Stau als Makro-Phänomen hingegen mit einer konstanten Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung – wobei die Teilnehmer wechseln (vgl. Resnick 1995, S. 74, 141; Epstein & Axtell 1996, S. 33–35 sowie das Modell „Traffic basic“ in Netlogo).

Das Ganze geschieht dezentral-selbstorganisiert, ohne dass es eines Dirigenten oder eines Steuermannes bedarf, und zwar durch das Wechselspiel von Mikro- und Makro-Ebene: Die Agenten sind in ihren Wahlhandlungen („Choices“) durch die strukturellen Bedingungen („Constraints“) geprägt, die jedoch ihrerseits das Resultat vorheriger (Inter-)Aktionen eben dieser Agenten sind – und sich daher dynamisch wandeln. Die *Dynamik* des sozio-technischen Systems – wie auch dessen Komplexität – ergibt sich daher aus den Interaktionen der Agenten untereinander sowie mit dem Spielfeld.

Dies eröffnet vielfältige Möglichkeiten, mit Interventions-Szenarien zu „spielen“, die beispielsweise verhindern sollen, dass Verkehrsstaus entstehen, also ein globales Optimum anstreben, das mehr ist als die Summe der lokalen Optima sämtlicher Agenten (mit Blick auf Stauvermeidung, CO₂-Ausstoß etc.).

Beispiel Segregation

Ein besonders anschauliches Beispiel, das die Leistungsfähigkeit der Computersimulation verdeutlicht, ist das Simulations-Modell „Segregation“ aus der Modellsammlung von NetLogo, das auf den Arbeiten Thomas Schellings (1969) zur ethnischen Segregation in US-amerikanischen Städten basiert (vgl. Epstein & Axtell 1996, S. 3; Resnick 1995, S. 81–88). Schelling hatte behauptet, dass bereits eine geringe Präferenz jedes einzelnen Bürgers, zumindest einige Nachbarn der gleichen Hautfarbe zu haben, zu einer vollständigen Trennung der Bevölkerung in nahezu „gleichfarbige“ Viertel führen würde – also zu einem Ergebnis, das eigentlich die meisten nicht wollten.

Das NetLogo-Modell erlaubt, mir verschiedenen Toleranz-Leveln zu experimentieren: Bei einem niedrigen Toleranz-Level von 25 Prozent (zwei von acht Nachbarn dürfen eine andere Farbe haben) gelangt man rasch zu einer Segregation von über 99 Prozent; d. h. praktisch alle Nachbarn haben dieselbe Farbe wie der betreffende Agent. Erhöht man den Toleranz-Level auf liberale 50 Prozent, so landet man immer noch bei ca. 87 Prozent. Und selbst wenn man es akzeptiert, dass 75 der Nachbarn (also sechs von acht) eine *andere* Farbe haben, landet man bei ca. 60 Prozent, d. h. bei einer Verteilung, bei der knapp fünf von acht Nachbarn die *gleiche* Farbe haben.



Schelling hatte eine Erklärung für diesen überraschenden Befund, dass der Toleranz-Level der Mikro-Ebene der Agenten nicht mit dem Segregations-Level auf der Makro-Ebene des Systems übereinstimmt, und zwar in Form des folgenden Mechanismus: Jeder, der abwandert, weil der Toleranz-Level überschritten ist, verändert die Balance – und zwar an zwei Stellen zugleich: Dort, wo er abwandert, verschlechtert sich die Situation für die verbleibenden Bewohner der gleichen Farbe; und dort, wo er zuwandert, verschlechtert sich die Situation für die bereits ansässigen Bewohner der anderen Farbe. Auf diese Weise entsteht eine Dynamik, die die Randbedingungen des Handelns aller beteiligten Agenten so lange verändert, bis sich alle in einem Zustand befinden, in dem sie sich, ihren Präferenzen entsprechend, wohlfühlen.

Dies bedeutet, dass Segregation – als das aggregierte Ergebnis der Entscheidungen autonomer Agenten – in einem selbstorganisierten Prozess auch dann zustande kommt, wenn niemand rassistisch denkt, sondern lediglich das Bestreben hat, von der anderen Hautfarbe nicht dominiert zu werden. Segregation ist also ein emergenter Effekt, der sich als nicht-intendiertes Produkt intentionaler Handlungen ergibt.

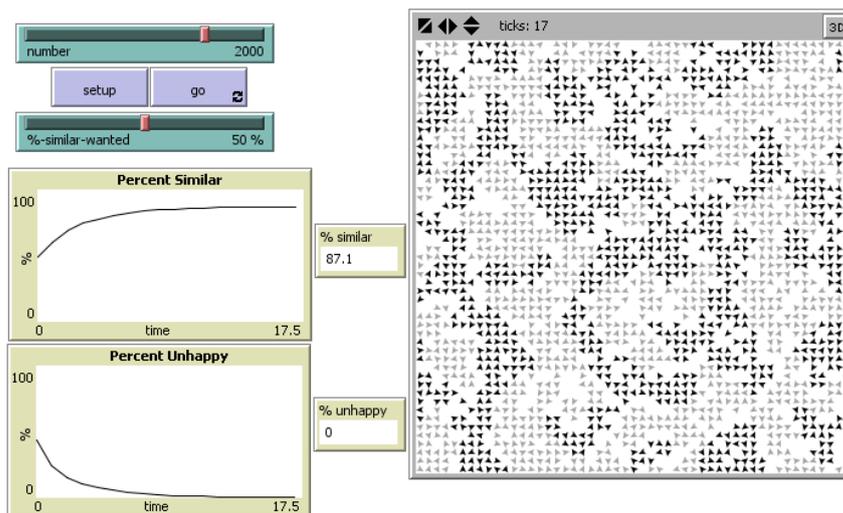


Abbildung 1: Segregations-Simulation mit NetLogo (Quelle: Screenshot NetLogo)



```
globals [ percent-similar percent-unhappy ]
turtles-own [ happy? similar-nearby other-nearby total-nearby ]
to setup
  ...
  ...
to go
  ...
  ...
to move-unhappy-turtles
  ask turtles with [ not happy? ] [ find-new-spot ]
end
to find-new-spot
  rt random-float 360
  fd random-float 10
  if any? other turtles-here [ find-new-spot ]
  move-to patch-here
end
to update-variables
  update-turtles
  update-globals
end
to update-turtles
  ...
to update-globals
  ...
to do-plots
  ...
```

Abbildung 2: Auszug aus dem Programmcode „Segregation“ (Quelle: NetLogo)

Auch in diesem Fall steckt die Komplexität, die sich auf der Makro-Ebene ergibt, nicht in den Regeln auf der Mikro-Ebene, die erstaunlich einfach sind (siehe den Code in Abb. 2). Die Regeln, die das Verhalten der Agenten steuern („to move-unhappy-turtles“, „to find-new-spot“ und „to update-variables“), umfassen nur wenige Programmzeilen; der Rest sind der Aufbau des Spielfelds („Setup“) sowie die Auswertung mittels globaler Variablen und Plots, was hier aus Platzgründen ausgespart wurde.

Zwischenfazit: Mikrofundierung und Systemdynamik

Die agentenbasierte Modellierung und Simulation (ABMS) sozialer Systeme hat also drei Eigenschaften, die sie von anderen sozialwissenschaftlichen Methoden unterscheidet:

- Sie ermöglicht eine *Mikrofundierung* sozialer Prozesse, indem sie die Agenten mit Eigenschaften, Präferenzen und Strategien ausstattet, die individuell verschieden sein können. Zudem sind die Interaktionen auf der Mikro-Ebene der entscheidende Motor der Systemdynamik, welcher die Entstehung emergenter Strukturen auf der Makro-Ebene des sozio-technischen Systems *systematisch* erklären kann.
- Sie ermöglicht zudem eine *dynamische Modellierung* sozio-technischer Systeme, die es – wie keine andere Methode – erlaubt, Prozesse der Veränderung und des gesellschaftlichen Wandels zu beobachten und wissenschaftlich zu analysieren, die durch die Wechselwirkung von Mikro- und Makro-Ebene ausgelöst werden.
- ABMS ist zudem eine *experimentelle Methode*. Sie erlaubt es also, bestimmte Parameter (wie beispielsweise die Präferenzen der Agenten) gezielt zu variieren und die Auswirkungen dieser Variationen zu beobachten. Computersimulation ist ein Verfahren, um die Gesellschaft ins Labor zu holen, also gezielt Experimente durchzuführen, die im Realmaßstab entweder aus ethischen Gründen verboten wären oder einen viel zu hohen Zeitaufwand erfordern würden (vgl. Epstein & Axtell 1996, S. 4).



ABMS als Methode zur Erforschung des digitalen Wandels (neu)

Die agentenbasierte Modellierung und Simulation eignet sich in vielfältiger Weise, um den Prozess der digitalen Transformation der Gesellschaft experimentell zu untersuchen:

- Die Interaktion von Mensch und autonomer Technik lässt sich mithilfe von Experimenten untersuchen, in denen menschliche Probanden in eine Computersimulation steuernd eingreifen können, was es den Experimentatoren ermöglicht, das Zusammenspiel von menschlichen Akteuren und technischen Agenten zu beobachten und unterschiedliche Versuchsanordnungen systematisch zu vergleichen (siehe die Experimente mit dem Simulator SimHybS in Kap. 2.2).
- Das Risikomanagement in Organisationen lässt sich beispielsweise mit einer Verkehrs-Simulation studieren, in der Risiken wie beispielsweise Verkehrsstaus mit unterschiedlichen Maßnahmen bewältigt werden können (siehe die Experimente mit dem Simulator SUMO-S in Kap. 3.2).
- Die Transformation komplexer sozio-technischer Systeme, etwa im Sinne einer Verkehrs- oder Energiewende, lässt sich mithilfe von Simulationsmodellen besonders gut abbilden, da diese sich zum Durchspielen unterschiedlicher Zukunftsszenarien besonders gut eignen (siehe die Experimente mit Simulator SimCo in Kap. 4.3).
- Und schließlich lassen sich die Wirkungen steuernder Eingriffe in komplexe, digitale sozio-technische Systeme ebenfalls mit Simulationsexperimenten gut erforschen, denn sie ermöglichen es, „Was-wäre-wenn“-Szenarien durchzuspielen, also beispielsweise die Frage zu beantworten, welche Auswirkungen unterschiedliche staatliche Eingriffe für die Transformation des Energiesystems haben (siehe wiederum die Experimente mit SUMO-S und SimCo).

1.7 Fazit

Das einleitende Kapitel 1 hat den Rahmen für das Gutachten gespannt, das sich im Folgenden mit der Digitalisierung des Alltags (Kap. 2), dem Risikomanagement in Organisationen, die kritische Infrastruktursysteme betreiben (Kap. 3), der Transformation derartiger Systeme (Kap. 4) sowie Fragen der Steuerung und Regulierung komplexer Systeme befassen wird (Kap. 5). Eine wesentliche Grundlage bildet dabei die Diagnose, dass wir uns momentan in einer Phase der Transformation befinden, in der sich die Wissensgesellschaft zur mobilen Echtzeitgesellschaft wandelt (Kap. 1.4). Aber sie tut dies nicht von selbst, sondern es sind vielfältige soziale Prozesse, die diesen Wandel vorantreiben (Kap. 1.5).

Die mobile Echtzeitgesellschaft ist von smarten, digitalen, vernetzten Geräten geprägt und zeichnet sich durch eine enorme Verdichtung sämtlicher Prozesse aus, welche von Algorithmen gesteuert werden. Die hiermit verbundenen Unsicherheiten und Risiken werfen die Frage der Beherrschbarkeit der digitalen Transformation auf – und damit auch die Frage nach den Methoden, mithilfe derer die Sozialwissenschaften solche Transformationsprozesse studieren und deren Auswirkungen analysieren können.



Kapitel 1.6 leistet ein Plädoyer für die agentenbasierte Modellierung und Simulation sozio-technischer Systeme als eine (komplementäre) Methode, die einen Beitrag dazu leisten kann, Systemdynamiken zu simulieren und somit in die Zukunft zu schauen, indem Szenarien „durchgespielt“ und deren Folgen für Mensch und Gesellschaft, aber auch für die öffentliche Sicherheit, studiert werden.





2 Mensch und Technik in der digitalen Gesellschaft

Zivile Sicherheit beginnt im Kleinen, im Umgang von Menschen mit digitaler Technik. Das folgende Kapitel beleuchtet die Digitalisierung des Alltags (Kap. 2.1) und das Thema Technikakzeptanz (2.2). Es fragt nach der neuen Qualität der Interaktion von Menschen und autonomen Systemen (2.3) sowie dem Vertrauen in avancierte Technik (2.5) und stellt dann empirische Befunde zur hybriden Interaktion von Mensch und Technik vor, die zum Teil durch Simulationsexperimente (2.4), zum Teil durch Befragungen von Autofahrern (2.6) und Piloten (2.7) gewonnen wurden.

2.1 Die Digitalisierung des Alltags

Die Durchdringung des privaten Alltags mit einer Vielzahl digitaler Geräte hat dazu geführt, dass in nahezu allen Bereichen digitale Interaktionen getätigt werden und dabei große Menge Daten generiert werden, die Rückschlüsse auf das Verhalten einzelner Individuen zulassen.

Datenquellen

Digitale Daten fallen insbesondere in folgenden Bereichen an:

- Auf sozialen Netzwerkplattformen erfassen Anbieter wie Facebook & Co. Daten, die weitreichende Rückschlüsse auf individuelle Eigenschaften, Präferenzen und Beziehungsnetzwerke zulassen; sie werden für Werbezwecke genutzt, aber auch mit Dritten gehandelt (Federal Trade Commission 2014).
- Beim Online-Shopping hinterlassen Nutzer Daten, die von Anbietern genutzt werden, um individuelle Kaufmuster zu erstellen, die für personen- und standortbezogene Werbung genutzt werden können. Der Nutzer wird so zum „gläsernen“ Kunden.
- Das intelligente Auto der Zukunft kommuniziert mit anderen Verkehrsteilnehmern (Car-2-Car), den Verkehrsleitzentralen, Herstellern und Versicherern. Es übermittelt dabei Daten über den Zustand von Straße und Fahrzeug, aber auch über den Fahrstil des Fahrers. So ist möglich, personalisierte Versicherungstarife anzubieten, Werkstatt-Aufenthalte besser zu planen, aber auch Routen effizient und möglichst intermodal zu planen (Geisberger & Broy 2012).
- Das smarte Haus der Zukunft verfügt über Sensoren zur Steuerung von Heizung, Beleuchtung oder Haushaltsgeräten, die miteinander – und mit der Außenwelt – vernetzt sind (Suryadevara & Mukhopadhyay 2015). Dies soll den Komfort und die Sicherheit steigern, öffnet aber auch die Privatsphäre für Dritte. Zukunftsszenarien einer intelligenten Netzsteuerung sehen zudem vor, dass über „Smart Meter“ das Energieverbrauchsverhalten gemessen wird, damit der den Stromanbieter auch in kritischen Situationen ein effizientes Netzmanagement betreiben kann.
- Das Smartphone hat bei der Datafizierung des sozialen Lebens (Mayer-Schönberger & Cukier 2013) eine entscheidende Rolle gespielt. Der „Spion in der Hosentasche“ (Kurz 2011) hat sich nicht nur zum Wegweiser durch das mobile Internet (wie auch



die Realwelt) entwickelt, sondern sammelt zugleich Daten über das individuelle Verhalten in nie dagewesener Menge und Qualität und übermittelt diese an Dritte. Zudem fungiert das Smartphone als das Endgerät, über das die Nutzer gesteuert werden („beweg dich mehr“, „bieg links ab“, „nimm deine Tablette“ usw.).

- Wearables schließlich sind am Körper getragene Geräte (Smartwatches, Fitnessarmbänder u. a. m.), die Körperdaten (Puls), Verhaltensdaten (Schrittzahl) sowie Gewohnheiten (Schlafrythmus) vermessen und damit erstmals auch eine Datafizierung der körperlichen Gesundheit und Fitness möglich machen (Lupton 2015). Dies ist insofern interessant, als die Nutzer sich mit dieser Form der Selbstvermessung aktiv und bewusst an der Produktion sensibler Daten beteiligen (Zillien et al. 2015).

Das Big-Data-Prozessmodell

Um zu verstehen, was mit diesen Daten geschieht, haben wir im Rahmen des ABIDA-Projekts das Big-Data-Prozessmodell entwickelt, das im Wesentlichen aus drei Schritten besteht: der Datengenerierung, der Datenauswertung und der Steuerung individuellen Verhaltens sowie komplexer sozio-technischer Systeme (vgl. Abb. 3).

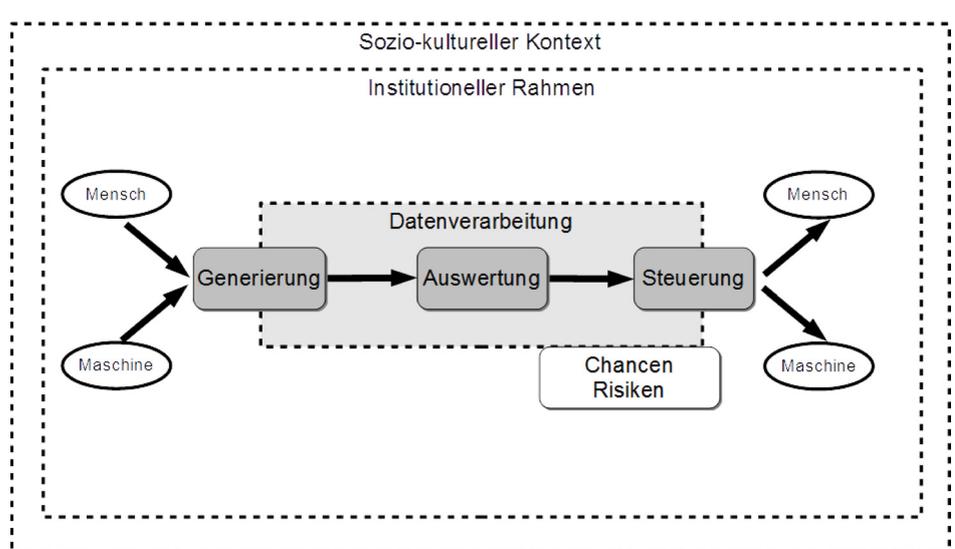


Abbildung 3: Das Big-Data-Prozessmodell (Quelle: Weyer et al. 2016)

Der gesamte Prozess ist in einen sozio-kulturellen Kontext eingebettet, der nicht nur die politische Dimension von Big Data, sondern auch den institutionellen Rahmen staatlich-regulativen Handelns umfasst. Zudem sei unterstellt, dass mit Big Data Chancen, aber auch Risiken einhergehen – für einzelne Unternehmen bzw. Privatpersonen, aber auch für die gesamte Ökonomie bzw. Gesellschaft. Das Prozess-Modell ist als eine sich wiederholende Sequenz gedacht: Der Output, also das Verhalten von Mensch und/oder Maschine, wird wiederum zum Input für den nächsten Zyklus der Datenverarbeitung.



Datengenerierung

Am Beginn des Prozesses steht die Generierung von Daten durch Menschen oder Maschinen, beispielsweise in Form von Bewertungen, die Nutzer von Online-Plattformen abgeben, bzw. von Diagnosedaten, die Flugzeuge oder Fahrzeuge automatisch an die Service-Zentrale senden. Diese Daten fallen in bislang kaum vorstellbaren Mengen an („Volume“), stammen aus unterschiedlichsten Quellen wie Texten, Bildern, Videos etc. („Variety“) und werden in hoher Geschwindigkeit – oftmals im Moment des Ereignisses – generiert und übertragen („Velocity“). Deshalb spricht man häufig von den drei V's als Charakteristikum von Big Data (Delisle et al. 2016).

Auch der private Bereich ist mittlerweile von einer gigantischen Welle der Selbstvermessung erfasst. Ernährungs- oder Fitness-Apps erfassen Vitaldaten, Ernährungsgewohnheiten, sportliche Aktivitäten etc. Auch Routenplaner für das Auto oder das Fahrrad senden permanent Positionsdaten an Datendienstleister. In ähnlicher Weise sind die smarten Maschinen im Szenario Industrie 4.0 Knoten im gigantischen Datennetz, welches große Datenmengen von Menschen und Maschinen erhält, und zwar in Echtzeit (Hirsch-Kreinsen 2014). Schließlich fallen auch im Bereich der öffentlichen Verwaltung, die sich zum „Smart Government“ wandelt, immer mehr Daten an.

Vergleicht man traditionelle Verfahren der Datenerhebung (in der empirischen Sozialforschung oder im Marketing) mit den neuartigen Verfahren der Selbstdiagnose und Selbsttortung durch Smartphones, Smartwatches und andere Begleiter des Alltags, so wird die neue Qualität der Echtzeitgesellschaft erkennbar. Eine fragebogengestützte Erhebung von Einstellungen, Verhaltensgewohnheiten oder Kaufabsichten war eine langwierige Prozedur, die nur mit einem gewissen Zeitverzug Ergebnisse lieferte. Zudem lagen die Rücklaufquoten oftmals nur im einstelligen Prozentbereich, und das Problem der subjektiven Verzerrung der Antworten ließ sich nur schwer bewältigen (Bortz 2005), was die Validität der Schlussfolgerungen beeinträchtigte.

Die Datengenerierung durch smarte Geräte bringt demgegenüber eine neue Qualität mit sich; denn hier fallen nicht-responsive Verhaltensdaten an, die das reale Verhalten von Personen widerspiegeln und nicht durch einen subjektiven Bias gefärbt sind (Salganik et al. 2006). Kann ein Befragter bei der Frage mogeln, ob er gelegentlich das Geschwindigkeitslimit ignoriert, so ist dies bei Daten nicht mehr möglich, die das Smartphone oder das smarte Auto per Sensorik erfasst und über Mobilfunknetze automatisch an den Provider übermittelt.

Zudem werden auf diese Weise nicht mehr bloß Stichproben gezogen, sondern tendenziell die Gesamtheit aller Daten und damit nahezu vollständige Samples erfasst – der Traum eines jedes Sozialforschers bzw. Marketing-Experten.

Allerdings stellt sich die Frage nach der Verlässlichkeit und der Vertrauenswürdigkeit der Daten. Wenn ein Nutzer (wie etwa der Autor dieses Textes) sein Smartphone nicht mit ins Fitness-Studio nimmt, weil es dort gestohlen werden könnte, stellt sich die Frage, wie aussagekräftig die persönlichen Daten sind, wenn sie beispielsweise an Krankenkassen übermittelt werden.



Datenauswertung

Die so gewonnenen Daten werden im Zeitalter des Big Data maschinell verarbeitet. Dabei kommen sowohl traditionelle Methoden der Statistik und der Netzwerkanalyse als auch innovative Techniken der Echtzeit-Datenverarbeitung zum Einsatz.

Moderne Verfahren des maschinellen Lernens ermöglichen es, große Datensätze in hoher Geschwindigkeit bzw. in Echtzeit zu verarbeiten, selbst wenn die Daten aus sehr unterschiedlichen Quellen stammen (Kersting & Natarajan 2015). Auf diese Weise können Verhaltensregelmäßigkeiten und Muster in den Daten erkannt werden, wie Eagle und Pentland bereits 2006 mithilfe eines Experiments gezeigt haben.

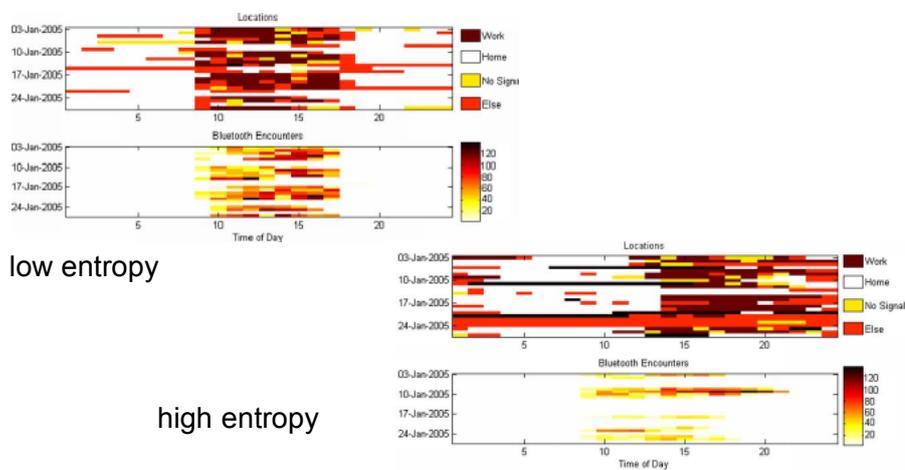


Abbildung 4: Vergleich unterschiedlicher Verhaltensmuster (Quelle: Eagle & Pentland 2006)

Auf Basis der Daten, die einhundert Freiwillige mit ihren mobilen Geräten generiert hatten, konnten sie zum einen individuelle Verhaltensmuster erkennen, mit denen sich beispielsweise Personen mit hohen Anteilen von Routine-Tätigkeiten von solchen mit eher chaotischen oder anderweitig auffälligen Tagesstrukturen unterscheiden ließen (2006, S. 259). Darüber hinaus konnten sie auch das kollektive Verhalten von Gruppen und damit die Strukturen komplexer Sozialsysteme identifizieren. Dabei kamen bewährte Verfahren der Netzwerkanalyse wie beispielsweise Proximitätsmaße zum Einsatz (Eagle & Pentland 2006, S. 264; vgl. Abb. 4).

Die Community des „Data-Mining“ und „Machine Learning“ ist noch uneins, welche Verfahren und Methoden beim „Reality-Mining“ zum Einsatz kommen. Ginsberg et al. (2009) waren mit der aufsehenerregenden These an die Öffentlichkeit getreten, dass sie auf Basis von Daten der Suchmaschine Google den Verlauf von Grippe-Epidemien viel genauer beschreiben (und so den weiteren Verlauf auch frühzeitiger vorhersagen) könnten als die staatliche Gesundheitsbehörde. Letztere verwendete konventionelle Verfahren der Datensammlung und -aggregation und hatte so stets einen gewissen



zeitlichen Rückstand. Unter dem Namen Google Flu Trends wurden Prognosen für etliche Länder angeboten, bis der Dienst 2014 eingestellt wurde.⁵

Lazer et al. (2014) hatten nämlich den Nachweis geführt, dass Google Flu Trends regelmäßig Fehlprognosen abgegeben hatte. Zudem hatte dieser Dienst einige Grippewellen komplett ignoriert und letztlich sogar schlechtere Prognosen generiert als die staatliche Gesundheitsbehörde (Lazer et al. 2014, S. 1203). Lazer et al. werfen Google eine maßlose Selbstüberschätzung vor, vor allem aber eine systematische Vernachlässigung der Grundregeln traditioneller Statistik, was die vollmundigen Versprechungen, Big Data könne die bewährten wissenschaftlichen Methoden und Verfahren ablösen, in einem etwas anderen Licht erscheinen lässt.

Es lohnt sich, die Kritikpunkte von Lazer et al. im Einzelnen zu betrachten: Ein zentraler Punkt ist die mangelnde Replizierbarkeit der Analysen, da Google weder die Daten noch die Algorithmen veröffentlicht. Zudem leide die Qualität der Daten unter den permanenten Veränderungen des Suchalgorithmus, die das Unternehmen (aus unternehmerischen Gründen der Profilierung gegenüber Wettbewerbern) in sehr kurzen Abständen vornimmt; dies mache es nahezu unmöglich, vorherige Analysen nachzuvollziehen. Neben dieser internen Dynamik könnten zudem gezielte Manipulationen – von „campaigns and companies“ (Lazer et al. 2014, S. 1204), die beispielsweise die Suchmaschine Google via Twitter füttern – zu einer Verzerrung beitragen, ganz zu schweigen von Googles eigenen kommerziellen Interessen, die zu einer gezielten – und schwer nachweisbaren – Manipulation der Suchergebnisse beitragen können.

Ungeachtet einer Vielzahl noch offener methodisch-konzeptioneller Fragen treten etliche Verfechter des Big Data mit Visionen und Utopien auf den Plan, die von einem enormen Fortschrittsoptimismus geprägt sind (vgl. Kap. 5.1). Ihnen geht es darum, die Welt nicht nur zu beschreiben und zu verstehen, sondern auch sie zu verändern bzw. zu verbessern – und zwar durch steuernde Eingriffe in das menschliche Verhalten, die sozialen Interaktionen sowie die sozialen Strukturen (vgl. McCue 2014).

Echtzeitsteuerung

Die Techniken und Verfahren des „Data-Minings“ basieren auf dem Dreischritt von Beschreiben, Vorhersagen und Verändern. Zunächst werden Muster und Trends in großen Daten-Sets identifiziert, um auf dieser Basis Prognosen und Abschätzungen künftiger Ereignisse abgeben zu können. Diese sind dann die Grundlage für gezielte Eingriffe, mit deren Hilfe das Verhalten einzelner Individuen oder ganzer Kollektive in die gewünschte Richtung gesteuert bzw. unerwünschtes Verhalten verhindert werden soll (Russell 2013).

Die Echtzeitgesellschaft bringt also eine neue Qualität der Steuerung komplexer sozio-technischer Systems mit sich. Zweifelsohne wurden auch in den Zeiten vor Big Data Daten dazu genutzt, Wissen zu generieren, das zur Steuerung sozialer Systeme oder ganzer Gesellschaften verwendet werden konnte. Man denke etwa an die periodischen

⁵ www.google.org/flutrends/about [08.02.2016]



Volkszählungen. Aber diese Verfahren waren sehr langwierig, und die Analysen waren zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung oftmals bereits veraltet. Die Echtzeitgesellschaft eröffnet Potenziale, die weit über die traditioneller Verfahren hinausgehen.

Vertrauen in der Echtzeitgesellschaft

Die Echtzeitgesellschaft ist darauf angewiesen, dass ein Mindestmaß an Vertrauen zwischen den beteiligten Akteuren existiert. Allein die technische Digitalisierung sämtlicher Prozesse reicht nicht aus, damit Wirtschaft und Gesellschaft im digitalen Zeitalter funktionieren. Vertrauen ist der „Kitt der Gesellschaft“ (Weyer 2008b, S. 261), ohne den auch die Industriegesellschaft nicht hätte funktionieren können. Wie wichtig das Vertrauen der Kunden in die Güte und Qualität von Waren und umgekehrt das Vertrauen der Händler in die Bonität des Kunden ist, stellt man fest, wenn man institutionell gefestigte Marktwirtschaften mit Schwarzmärkten bzw. Wirtschaften in „Failed States“ vergleicht. Dadurch wird zudem evident, dass neben dem Vertrauen der Marktakteure ineinander auch das Vertrauen in eine dritte Instanz, den institutionellen Rechtsrahmen, eine wichtige Rolle spielt, an den man sich in Konfliktfällen wenden kann.

Analog spielt auch in der Echtzeitgesellschaft Vertrauen in vielerlei Hinsicht eine zentrale Rolle. Denn der Nutzer muss darauf vertrauen, dass der Provider mit seinen Daten verantwortungsvoll umgeht; ansonsten könnte seine Bereitschaft versiegen, weiterhin Daten zur Verfügung zu stellen. Zudem muss er dem institutionellen Rahmen vertrauen, beispielsweise derart, dass das Rechtssystem Regelungen zum Schutz der Privatsphäre vorhält und bei Bedarf auch durchsetzt. Da der Staat und das Rechtssystem nicht in der Lage sind, sämtliche Abläufe großer Datendienstleister kleinschrittig zu kontrollieren, ist auch hier Vertrauen unerlässlich – als Bestandteil eines mehrstufigen Regulierungs-Regimes (vgl. ausführlich Kap. 5.4).

Umgekehrt müssen die Provider auch den Nutzern trauen. Wenn die bereitgestellten Daten nicht verlässlich, sondern unvollständig oder manipuliert sind, kann dies die Analysen verfälschen und zu fehlerhaften Schlussfolgerungen verleiten. Schließlich basiert die Bereitschaft der Nutzer, den Hinweisen und Empfehlungen großer Datendienstleister zu folgen, auf dem Vertrauen, dass diese hilfreich und nützlich sind, um ihre persönlichen Interessen zu befriedigen. Auch die Echtzeitgesellschaft baut demnach auf einem komplexen Geflecht von Vertrauensbeziehungen auf.

Zwischenfazit

Die Digitalisierung des privaten Alltags ist kein rein technischer Prozess, sondern wird begleitet von der Entwicklung der sozialen Dimensionen von Technik sowie des erforderlichen institutionellen Gefüges. Insbesondere der Aspekt des Vertrauens verweist auf Fragen der Technikakzeptanz, die im nächsten Abschnitt behandelt werden.



2.2 Akzeptanz neuer Technik

Wenn neue, digitale Technik immer stärker in die Gesellschaft und vor allem in den privaten Alltag eindringt, stellt sich die Frage nach der Technikakzeptanz, also nach der Einstellung von Individuen zu neuer Technik und deren Bereitschaft, sie auch zu nutzen. Immer wieder ist die Klage von der Technikfeindlichkeit zu hören, die besonders in Deutschland herrsche, die sich aber empirisch kaum nachweisen lässt (Hennen 1994). Auch die Tatsache, dass Smartphones und andere technische Geräte der Unterhaltungselektronik weitverbreitet sind, lässt Zweifel daran aufkommen, dass die Deutschen generell technikfeindlich sind. Offenbar stoßen manche moderne Technologien auf eine große Akzeptanz, während andere Widerstand provozieren und gesellschaftliche Kontroversen auslösen.

Technikakzeptanz in Europa

Es lohnt daher, einen Blick in die Daten des Eurobarometers zu werfen, das seit 1991 im Auftrag der Europäischen Kommission regelmäßig die Einstellungen der Europäer zu Wissenschaft und Technik erhebt, zuletzt im Jahr 2013 (Eurobarometer 2013).

Der Frage, ob Wissenschaft und Technologie unser Leben gesünder, leichter und bequemer machen, stimmten im EU-Durchschnitt zwei Drittel der Befragten (66 %) zu, nur 9 Prozent lehnten diese Aussage komplett ab, wie Abbildung 5 zeigt. Die Zustimmung war gegenüber der letzten Befragung im Jahr 2010 unverändert, die Ablehnung hatte sich sogar um 3 Prozentpunkte von 12 auf 9 Prozent verringert.

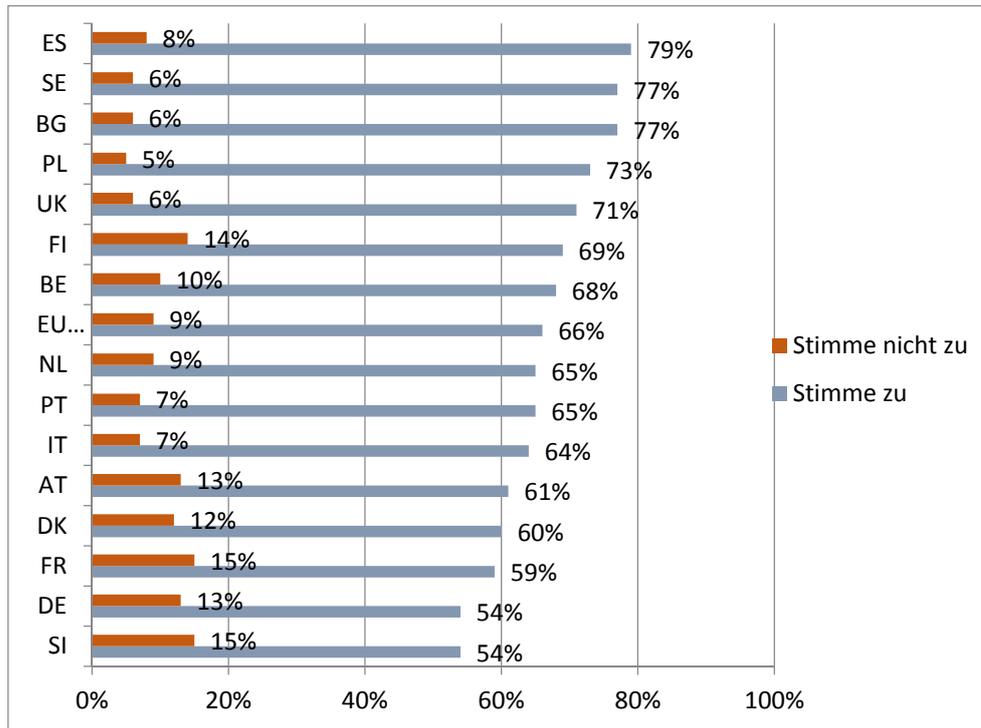


Abbildung 5: Wissenschaft und Technologie machen unser Leben gesünder, leichter und bequemer – Frage QD6.1. (Quelle: Eurobarometer 2013, S. 79 – ausgewählte Länder)

Auffällig ist, dass insbesondere in Spanien, Schweden und Bulgarien die Zustimmung mit 70 und mehr Prozent deutlich über dem Durchschnitt liegt, während Deutschland gemeinsam mit Slowenien und Frankreich mit Werten unter 60 Prozent das Schlusslicht bildet. Auffällig sind im Fall Deutschlands die Veränderungen gegenüber 2010, die bei der Zustimmung minus 3 (auf jetzt 54 %) und bei der Ablehnung minus 1 Prozentpunkte (auf jetzt 13 %) betragen. Ein klares Muster – etwa in Bezug auf den technologischen oder wirtschaftlichen Entwicklungsstand oder die geografische Lage – ist in diesen Zahlen allerdings nicht zu erkennen.

Obwohl Deutschland im europäischen Vergleich das skeptischste Land ist, steht dennoch eine (knappe) Mehrheit der Deutschen der Wissenschaft und der Technik positiv gegenüber und verbindet mit dem technologischen Fortschritt die Erwartung, dass sich das Leben verbessert.

Vergleicht man allerdings die Ergebnisse der Jahre 2010 und 2013 mit denen der Eurobarometer-Studie aus dem Jahr 2005, so fällt auf, dass die Zustimmung der Europäer in den Jahren 2005 bis 2010 von 78 Prozent auf 66 Prozent deutlich gesunken und die Ablehnung von 6 auf 12 Prozent gestiegen ist (Eurobarometer 2010, S. 37–38). Im Fall Deutschlands war diese Entwicklung noch krasser, denn der Spitzenwert von 86 Prozent Zustimmung im Jahr 2005 hat sich radikal um 29 Prozentpunkte auf 57 Prozent im Jahr 2010 und dann noch einmal auf 54 Prozent im Jahr 2013 reduziert. Offenbar hat in der Folge der Finanzkrise 2008, die erhebliche Verwerfungen der globalen Wirtschaft mit sich brachte, die europäische, vor allem aber die deutsche



Bevölkerung eine skeptischere Haltung gegenüber Wissenschaft und Technik eingenommen.

Chancen und Risiken

Bei anderen Fragen, mit denen die Einstellungen der Europäer detaillierter erfragt wurden, zeigt sich allerdings ein differenzierteres Bild. Die Frage, ob Wissenschaft und Technik den zukünftigen Generationen mehr Möglichkeiten geben (QD9.5, Eurobarometer 2013, S. 89), bejahten 75 Prozent der Europäer (unverändert gegenüber 2010), aber sogar 80 Prozent der Deutschen. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Frage nach dem positiven Einfluss von Wissenschaft und Technik auf die Gesellschaft (QD5, ebd., S. 57) mit Werten von 77 Prozent für Europa und 76 Prozent für Deutschland.

Bei der Frage, ob die Geschwindigkeit des technischen Wandels zu hoch sei (QD 9.4, ebd., S. 96), liegen die Deutschen mit 53 Prozent (+ 6 gegenüber 2010) jedoch klar unter dem EU-Durchschnitt von 62 Prozent (+ 4) und signalisieren damit eine deutlich gelasseneren Haltung als Bürger ost- und südosteuropäischer Staaten, die Werte bis 93 Prozent (Zypern) erreichen.

Auch bei der Frage nach möglichen negativen Nebenwirkungen von Wissenschaft und Technik (QD9.8, ebd., S. 97) liegen die Werte für Deutschland mit 80 Prozent über dem EU-Durchschnitt von 74 Prozent, aber deutlich entfernt von Spitzenreitern wie Zypern (90 %), Luxemburg und Schweden (beide 88 %).

Diese Zahlen bieten also keinerlei Belege für eine übermäßige Technikskepsis der Deutschen. Die Europäer wie auch die Deutschen haben, wie die Eurobarometer-Studie zusammenfassend feststellt, ein rundweg positives, aber differenziertes Bild von Wissenschaft und Technik (ebd., S. 160).

Gute Technik – schlechte Technik?

Um zu verstehen, warum immer wieder der Eindruck einer deutschen Technikfeindlichkeit entsteht, muss man zwischen unterschiedlichen Technologiefeldern differenzieren. Eine ältere Eurobarometer-Studie „Europeans and biotechnology in 2010. Winds of change?“ (Gaskell et al. 2010), die seitdem nicht repliziert wurde, listet auf, ob die Befragten acht kontrovers diskutierten Technologien einen positiven oder einen negativen Effekt auf unser Leben in zwanzig Jahren zuschreiben (vgl. Abb. 6). Die aggregierten Werte, welche die Autoren als einen groben Indikator für Technik-Optimismus bzw. -Pessimismus betrachten, sind unspektakulär: Hier liegt Deutschland mit einem Wert von 4,7 Technologien dicht am europäischen Durchschnitt von 4,9. Der Vergleich der Zustimmungswerte für die acht Technologien zeigt jedoch eindrücklich, dass die Deutschen der Solar- und Windenergie sowie der Computer- bzw. IT-Technik sehr positiv gegenüberstehen, die Kernkraft und die Bio-/Gentechnologie hingegen kritischer betrachten – womit sie vom europäischen Durchschnitt deutlich abweichen (vgl. auch Eurobarometer 2013, S. 18, 20).

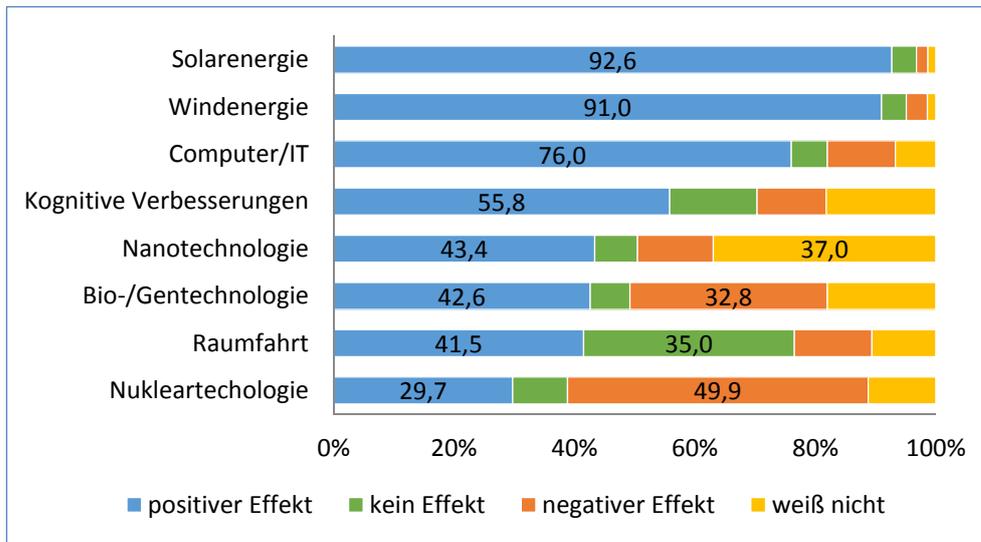


Abbildung 6: Die Einstellung der Deutschen zu acht Schlüsseltechnologien (Quelle: Gaskell 2010, S. 16, 132–133)

Auch eigene Studien zur Akzeptanz der Chemieindustrie und ihrer Produkte (Weyer et al. 2012) belegen, dass es wenig Sinn macht, pauschal von Technikakzeptanz bzw. Technikskepsis zu sprechen, dass man vielmehr technologie- und branchenspezifische Aussagen treffen muss.

Alltagstechnologien wie das Smartphone, die leicht zu bedienen sind und einen großen individuellen Nutzen haben, stoßen – trotz bekannter Risiken – auf eine höhere Akzeptanz als Technologien wie die Kernkraft oder die Gentechnik, deren Nutzen sich aus Sicht des einzelnen Verbrauchers nur schwer erschließt, die aber unbekannte und für Laien nur schwer abschätzbare Risiken mit sich bringen.

Exkurs: Das TAM-Modell

Dies verweist auf das in der Markt- und Innovationsforschung weitverbreitete „Technology Acceptance Model“ (TAM) von Davis (1989) bzw. die erweiterte Version von Venkatesh & Davis (2000). Demzufolge speist sich Akzeptanz vor allem aus zwei Quellen:

- der wahrgenommenen Nützlichkeit eines Produkts („Perceived Usefulness“) sowie
- der wahrgenommenen Einfachheit der Bedienung („Perceived Ease of Use“).

Beide Faktoren werden ihrerseits durch externe Variablen beeinflusst wie etwa die Einschätzung der eigenen Kompetenz, bereits gemachte Erfahrungen oder wahrgenommene Risiken.

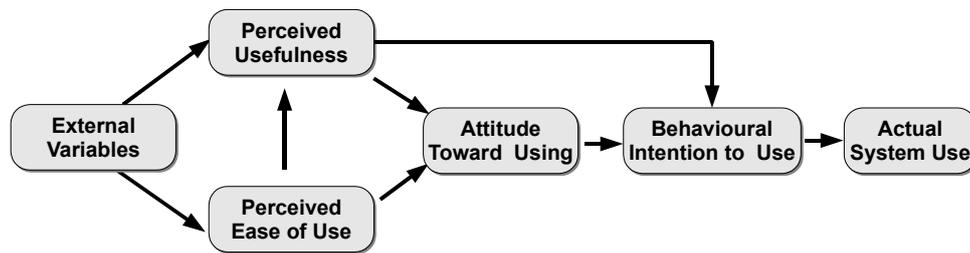


Abbildung 7: Das Technologie-Akzeptanz-Modell „TAM 2“ (in Anlehnung an Venkatesh & Davis 2000, S. 188)

Das TAM-Modell wurde entwickelt, um individuelle Konsumententscheidungen zu analysieren, kann aber auch verwendet werden, um die gesellschaftliche Akzeptanz von Technik zu studieren. Sein größter Nachteil ist, dass es nur Einstellungen misst, nicht aber reales Verhalten; und Letzteres kann sich bekanntlich erheblich von Ersterem unterscheiden (Best 2009).

Akzeptanz autonomer Systeme

Die zitierten Akzeptanz-Studien bezogen sich im Wesentlichen auf konventionelle Technik. Im Zuge der Digitalisierung sind wir jedoch zunehmend mit avancierter, z. T. sogar autonomer Technik konfrontiert. Auch hierzu gibt es aktuelle Daten, und zwar in Form einer Eurobarometer-Studie aus dem Jahr 2015, die belegt, dass die Europäer eine grundsätzlich positive Einstellung gegenüber Robotern haben, die sich allerdings seit 2012 von 70 auf 64 Prozent verringert hat (Eurobarometer 2015b, S. 7). Deutschland liegt hier mit 66 Prozent (minus 3) knapp über dem Durchschnitt (Eurobarometer 2015a, S. T5). Die Bereitschaft, Roboter bei der Arbeit (48 %), in der Erziehung (41 %), in der Altenpflege (29 %) oder bei medizinischen Operationen (25 %) zu akzeptieren, liegt aber europaweit deutlich unter der 50-Prozent-Marke (Eurobarometer 2015b, S. 11).

Autonome Autos würde nur ein Drittel (35 %) gerne nutzen (Eurobarometer 2015b, S. 12); und zivile Drohnen sehen zwei Drittel (66 %) als eine Gefahr für die Privatsphäre (Eurobarometer 2015b, S. 15).

Bei diesen Angaben muss allerdings berücksichtigt werden, dass nur ein Siebtel der Befragten (14 %) eigene Erfahrungen mit Robotern (bei der Arbeit, im Haushalt etc.) vorweisen konnte (Eurobarometer 2015b, S. 6). Befragungen stoßen im Fall neuer, noch nicht breit eingeführter Technik an ihre Grenzen, da sie die Einstellungen von Personen erheben, die überwiegend keinerlei Erfahrungen im Umgang mit autonomen Systemen haben und oftmals dazu tendieren, lediglich ihre Ängste und Befürchtungen zu artikulieren. Über die Einstellungen, die sich aus dem realen Umgang von Menschen mit autonomer Technik ergeben, sagen derartige Befragungen nichts aus.

Deshalb werden wir im Folgenden Verfahren und Methoden beschreiben, mit denen man die reale Interaktion von Menschen und autonomer Technik erforschen kann.



2.3 Autonome Systeme

Zunächst aber soll die Frage gestellt werden, was autonome technische Systeme kennzeichnet, denn in einer zunehmend digitalen Welt werden wir zunehmend derartigen Systemen begegnen, sei es als Haushaltsroboter, als Serviceroboter, als Industrieroboter oder als Autopilot von Fahrzeugen, mit denen wir uns vorwärtsbewegen.

Definition „Autonomie“

Unter Autonomie soll die Fähigkeit eines menschlichen Akteurs oder eines technischen Agenten verstanden werden, eigenständig Entscheidungen zu treffen, also nicht nur Routinen abzuspielen, die eine andere Person programmiert hat, sondern ggf. davon abzuweichen. Der Begriff „Autonomie“ steht also in engem Zusammenhang mit dem Begriff „Kontrolle“, also der Fähigkeit, sich der Kontrolle durch eine andere Person zu entziehen (vgl. Grote 2009). Diese Kontrolle kann unmittelbar wirksam sein, beispielsweise in Form eines Befehl-Gehorsam-Verhältnisses im Rahmen hierarchischer Beziehungen; sie kann aber auch mittelbar in Software implementiert sein, die zum Beispiel verhindert, dass man bei Regen oder Sturm die Fenster öffnen kann.

Autonomie im Sinne der Fähigkeit zur Selbstkontrolle macht sich insbesondere in zuvor unbekanntem Situationen bemerkbar, die durch die Fremdprogrammierung nicht abgedeckt sind, sondern eine flexible Anpassung an die gegebene Situation bzw. einen kreativen Umgang mit dem Unerwarteten verlangen. Akteure (bzw. Agenten), die autonom sind, zeigen dann unter Umständen spontan ein nicht-vorhersehbares Verhalten. Gerade dieser Punkt macht allerdings auch klar, dass Autonomie ein Resultat von Zuschreibungen (durch andere Akteure) ist und es kein absolutes Maß gibt.

Autonomie von Technik?

Auf den ersten Blick erscheint es somit widersinnig, von autonomer Technik zu reden, denn selbstverständlich werden technische Geräte durch vorprogrammierte Algorithmen gesteuert und haben keine „echten“ eigenen Entscheidungsspielräume. Sie können nur im Rahmen dessen agieren, was menschliche Programmierer in sie einprogrammiert haben. Eine Paketdrohne kann sich nicht entscheiden, ein Türöffner in einem Hotel zu sein; der Postbote hingegen könnte diesen Rollenwechsel zum Portier problemlos vollziehen. Den Zustand der „idealen Autonomie“, in dem der handelnde Agent seine Ziele selbst definiert und sich moralisch selbstbestimmt, wird Technik also nie erreichen können (Sturma 2001). Aber trotzdem tut Technik mehr, als mechanisch auf die Befehle menschlicher Operateure zu reagieren, wenn sie selbsttätig Aktionen ausführt wie beispielsweise das Filtern von Spam-Mails oder das Steuern von Flugzeugen.

Avancierte Technik besitzt also offenbar innerhalb des durch die Programmierung gesetzten Rahmens erstaunliche Freiheitsgrade, die mehr beinhalten als ein bloßes



schematisches, technisches Funktionieren – nach dem Muster: wenn A, dann B. Autonome Technik kann sich unter Umständen auch für C entscheiden; und damit wird ihr „Handeln“ (ab jetzt ohne Anführungszeichen) dem menschlichen Handeln immer ähnlicher.

Avancierte Technik operiert nicht auf Basis vorgefertigter Pläne, die für jede Situation die passende Lösung parat haben; sie verfügt vielmehr über „künstliche Intelligenz“, also die Fähigkeit, eigenständig situationsadäquate Lösungen zu generieren. Moderne technische Geräte sind kontext-sensitiv, d. h. sie verfügen über eine Vielzahl von Sensoren, mit denen sie Informationen aus der Umwelt aufnehmen und bei der Entscheidungsfindung verarbeiten (Mattern 2003). Sie lernen durch die Erfahrungen, die sie in ihrer Umwelt machen, und entwickeln so ein erstaunlich komplexes Verhalten.⁶ Avancierte Technik hat zudem reichlich Rechenleistung und kann daher eine Vielzahl von Optionen durchspielen, um schließlich die passende Alternative zu wählen.

Obwohl im technischen Sinne rein deterministisch, wirkt autonome Technik damit auf den menschlichen Betrachter, als ob sie Intentionen hätte und in der Lage wäre, Entscheidungen in einer Weise zu treffen, wie sie bislang ausschließlich dem Menschen vorbehalten waren. Ein Bremsassistent im Auto „will“ einen Unfall vermeiden und „entscheidet“ daher in einer brenzigen Situation, die Bremse (mit voller Kraft) zu betätigen, bevor der Fahrer dies (in der Regel viel zu zaghaf) tut.

Ob man dies alles in Anführungszeichen setzen muss oder nicht, ist letztlich Haarspalterei; denn faktisch trifft autonome Technik in immer mehr Bereichen selbstständig Entscheidungen, die zuvor ausschließlich Menschen getroffen haben. Und die Soziologie hat viel zu lange über die Frage debattiert, *ob* Maschinen handeln können, statt sich damit zu befassen, *wie* das Zusammenspiel von Mensch und autonomer Technik konkret funktioniert.

Studien zur Interaktion von Mensch und autonomer Technik

Statt Fundamentaldebatten über den ontologischen Status von Mensch und Technik (und Dingen und Tieren und der Natur usw. ...) zu führen, macht es also Sinn, reale Interaktionsprozesse von Menschen und „intelligenten“ Maschinen zu untersuchen. Dabei kann man Verhaltensweisen beobachtet, die darauf schließen lassen, dass Menschen avancierten technischen Geräten in einer Weise begegnen, die sich nicht von ihrem Umgang mit menschlichen Interaktionspartnern unterscheidet. Das CASA-Modell („Computers As Social Actors“, (Reeves & Nass 1996)) basiert auf Analysen von Interaktionen in unterschiedlichen Konstellationen (Mensch/Mensch, Mensch/Computer); es postuliert, dass Menschen in ihrer Interaktion mit Computern „tatsächlich die gleiche Art sozialer Reaktionen zeigen, die sie im Umgang mit Menschen verwenden“ (Takayama & Nass 2008, S. 174). Und sie schreiben dabei der Technik

⁶ Die von Rodney Brooks (2002) entwickelten künstlichen Lebewesen wie der Laufroboter „Genghis“ sind Prototypen dieses Konzepts, das es Technik ermöglicht, selbstständig Entscheidungen zu treffen und ein Verhalten zu zeigen, das auf den Betrachter lebendig wirkt.



ebenfalls Handlungsträgerschaft (engl. „agency“) zu, also die Fähigkeit (auch) nicht-menschlicher Agenten, etwas Praktisches zu leisten (wie das Öffnen einer Tür bei Annäherung einer autorisierten Person) oder beim menschlichen Gegenüber etwas zu bewirken (wie die Revision des Vorhabens, an der nächsten Kreuzung links abzubiegen) – und bei diesen Handlungen ihre Umwelt, aber auch ihre menschlichen Mitspieler einzubeziehen.

Avancierte Technik begegnet uns also immer stärker als ein autonomer Partner, dem wir die gleiche Handlungsfähigkeit – und damit auch die Fähigkeit zu spontanen, nicht vorhersehbaren Handlungen – zuschreiben wie anderen menschlichen Akteuren; und dies ist, so Rammert und Schulz-Schaeffer (2002), wichtiger als die Frage nach dem ontologischen Status von Technik.

Definition „autonome Technik“

Unter autonomer Technik seien daher avancierte technische Systeme verstanden, die Operationen auf Basis algorithmischer Programmierung durchführen und dabei Funktionen (z. B. das Abbremsen eines Autos) auf Basis definierter Ziele (z. B. Unfallvermeidung) erfüllen. Bei ihren – oftmals mobilen – Operationen begegnen sie anderen (technischen) Agenten und (menschlichen) Akteuren in „natürlichen“ Umgebungen.⁷ Sie sind in der Lage, auch in komplexen Situationen eigenständige, situationsadäquate Entscheidungen, also eine Auswahl mehrerer verfügbarer Alternativen, zu treffen und sich dabei an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen – oftmals in Abstimmung mit anderen Agenten bzw. Akteuren. Autonome Technik trägt dabei verhaltensähnliche Züge und provoziert damit beim menschlichen Gegenüber soziale Reaktionen, die sich nicht von den Reaktionen in der zwischenmenschlichen Interaktion unterscheiden, mit der Folge, dass Menschen autonomer Technik Handlungsträgerschaft zuschreiben.

Diese Definition verdeutlicht nochmals, dass „Autonomie“ keine objektive Gegebenheit ist, sondern an Zuschreibungen gekoppelt ist. Zudem ist Technik kein willfähiges Instrument eines menschlichen Bedieners mehr, das dessen Befehle stur ausführt, sondern sie entwickelt sich zunehmend zum Interaktions-Partner bzw. Team-Player in hybriden Konstellationen.

Und damit wird zugleich klar, dass wir uns in soziologischer Perspektive nur selten ausschließlich mit autonomer Technik befassen, sondern mit hybriden Systemen, in denen die Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik verteilt ist, wobei der Grad und die Reichweite dieser Verteilung variieren können.

Der nächste Abschnitt geht der Frage nach, wie man derartige hybride Konstellationen empirisch untersuchen kann.

⁷ Die Grundzüge dieser Definition wurden gemeinsam mit Robin Fink entwickelt.



2.4 Simulation (Teil 1): Modellierung der Interaktion von Mensch und autonomer Technik

Wie der vorherige Abschnitt gezeigt hat, bedeutet das Mit-Handeln von Technik für die Soziologie eine große Herausforderung, war sie doch bislang gewohnt, ihre handlungstheoretischen Kategorien und Modelle ausschließlich auf menschliche Akteure anzuwenden und das „Handeln“ von Technik durch das Setzen von Führungszeichen auszugrenzen. Angesichts der fortschreitenden Digitalisierung sämtlicher Bereiche der Gesellschaft benötigt jedoch auch die Soziologie – ähnlich wie andere Disziplinen – eine Theorie der Interaktion von Mensch und autonomer Technik, und zwar eine dezidiert *soziologische*, um diesen Gegenstand adäquat verstehen, beschreiben und modellieren zu können. Erst mithilfe einer derartigen Theorie wäre sie dann in der Lage, praxisrelevante Aussagen über mögliche gesellschaftliche Folgen des Einsatzes und der Nutzung autonomer Technik zu treffen.

Das Modell soziologischer Erklärung hybrider Systeme

Wir nehmen Bruno Latours (1998) Provokation als Ausgangspunkt, der eine symmetrische Ontologie gefordert hatte, die menschliche Akteure und nicht-menschliche Aktanten als gleichberechtigte Mitspieler auffasst. Die bislang ungelöste Aufgabe besteht allerdings darin, ein theoretisch stimmiges Modell hybrider Akteurkonstellationen zu entwickeln, das beschreibt, wie die Interaktion von Mensch und autonomer Technik konkret funktioniert, und zudem die Möglichkeit eröffnet, die Frage der Handlungsträgerschaft von Technik empirisch zu untersuchen – eine Forderung, die schon Werner Rammert und Ingo Schulz-Schaeffer (2002, S. 50), aber auch Lucy Suchman in der Neuauflage ihres Buches „Plans and Situated Actions“ (2007, S. 2) gestellt, aber selbst nicht eingelöst hatten. Wir gehen im Folgenden davon aus, dass im Mittelpunkt einer empirischen Studie a) die Handlungsverteilung zwischen Mensch und Technik in hybriden Systemen sowie b) die damit verbundenen Prozesse der Zuschreibung von Handlungsträgerschaft stehen sollten.

Unsere Modellierung hybrider Systeme rekurriert auf das Modell soziologischer Erklärung (MSE) von Hartmut Esser (1991, 1999), das wir zum Modell soziologischer Erklärung hybrider Systeme (HMSE) erweitert haben (Fink & Weyer 2011). Das Esser'sche MSE beansprucht, emergente Effekte auf der Makroebene sozialer Systeme durch Bezug auf die Handlungen von Akteuren auf der Mikroebene erklären zu können. Esser hatte dabei jedoch ausschließlich Handlungen menschlicher Akteure im Sinn.

Wir erweitern diesen Ansatz für die Analyse hybrider Interaktion, indem wir – ganz im Sinne der Latour'schen Symmetriethese – auch die nicht-menschlichen Agenten mithilfe handlungstheoretischer Konzepte modellieren. Für menschliche Akteure wie für technische Agenten gilt in unserem Modell gleichermaßen, dass sie aus einer Menge zur Verfügung stehender Handlungsoptionen stets die Aktion mit dem größten *subjektiven* Nutzen wählen – also die Aktion, die dem jeweiligen Entscheider auf Grundlage seiner individuellen Präferenzen in der konkreten Situation am sinnvollsten erscheint.



SimHybS

Um die Interaktion von Mensch und autonomer Technik in kontrollierten Experimenten unter Laborbedingungen untersuchen zu können, haben wir auf Grundlage des HMSE einen Simulator namens SimHybS (Simulation of Hybrid Systems) entwickelt, der ein einfaches Verkehrs-Szenario auf dem Computerbildschirm darstellt, in dem sich ein Fahrzeug befindet, das von einem menschlichen Probanden und einem Fahrerassistenz-System gemeinsam gesteuert wird (vgl. Abb. 8).

Weitere „dumme“ Fahrzeuge kommen als „Störfaktoren“ hinzu (zu den Details siehe Fink & Weyer 2011). Dieses Vorgehen ermöglicht uns, soziologisches Wissen in das Interaktionsmodell hineinzustecken, und Versuche durchzuführen, in denen nicht nur die realen Interaktionen, sondern auch die Zuschreibungen beobachtet, aufgezeichnet und analysiert werden konnten.

Das Zusammenspiel von Mensch und Technik wurde in drei Ebenen folgendermaßen implementiert:

Die Handlungslogik der *Mikro-Ebene* wurde für das autonome technische System so konstruiert, dass es rationale Wahlhandlungen trifft, die von der aktuellen Konfiguration des Systems, den eigenen Zielen und Präferenzen sowie der momentanen Situation, so wie die Sensorik sie wahrnimmt, geprägt sind. Ein Bremsassistent wird demzufolge in einer brenzigen Situation die Entscheidung „Bremsen“ treffen und nicht eine andere Aktion, mit der sich er sich schlechter stellt. Dem menschlichen Probanden haben wir ebenfalls unterstellt, dass er subjektive rationale Entscheidungen trifft.

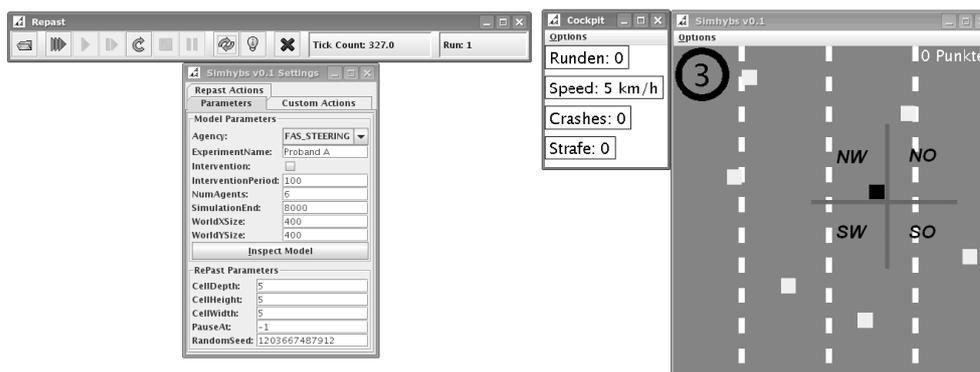


Abbildung 8: Screenshot der Simulation SimHybS mit Versuchsleiter- (links) und Probanden-Bildschirm (rechts)

(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Handlungen beider Mitspieler erzeugen auf der *Meso-Ebene* des hybriden Systems einen aggregierten Effekt (also z. B.: der Bremsassistent warnt, der Fahrer reagiert nicht,



das Fahrzeug fährt folglich mit unverminderter Geschwindigkeit weiter). Die beiden Mitspieler generieren also ein Gesamtverhalten des hybriden Systems, das ein außenstehender Betrachter kaum noch in die Teilbeiträge zerlegen kann.

Das hybride System der Meso-Ebene interagiert dann wiederum mit anderen Fahrzeugen, was aggregierte Effekte auf der *Makro-Ebene* des Systems Straßenverkehr erzeugt wie beispielsweise Verkehrsstaus. Der aktuelle (und sich dynamisch verändernde) Systemzustand bildet wiederum die Randbedingung der Handlungen in den folgenden Sequenzen, und zwar sowohl des menschlichen Akteurs als auch des nicht-menschlichen Agenten.

SimHybS ermöglicht es, nicht nur die Perspektive der menschlichen Mitspieler zu erfassen (mittels Beobachtung, Interview etc.), sondern auch die Entscheidungen und die Aktionen der nicht-menschlichen Mitspieler aufzuzeichnen (durch Protokollieren der Daten). Zudem können wir die Zuschreibungen, welche die menschlichen Probanden vornehmen, mit den aufgezeichneten Daten, aber auch mit den softwaretechnisch implementierten Rollenverteilungen abgleichen. Und hier haben die Experimente mit SimHybS die überraschendsten Resultate erzeugt.

Experimente

Die Probanden wurden instruiert, beim Steuern des Fahrzeugs drei – sich partiell widersprechende – Ziele zu verfolgen: Runden machen, Geschwindigkeits-Limits einhalten und Unfälle vermeiden. Jeder Proband musste zudem sieben Versuchsläufe (à ca. zwei Minuten) absolvieren, in denen die Handlungsverteilung zwischen Mensch und Technik unterschiedlich eingestellt war, und zwar:

- Im Querführungs-Modus übernimmt das Assistenzsystem das Lenken des Fahrzeugs.
- Im Längsführungs-Modus übernimmt das Assistenzsystem die Erhöhung und Verringerung der Geschwindigkeit.
- Im manuellen Modus greift das Assistenzsystem nicht ein, sondern warnt lediglich.
- Im Automatik-Modus übernimmt das Assistenzsystem alle Aktionen.

Zunächst konnten wir nachweisen, dass die Probanden eine symmetrische Zuschreibung der Handlungsträgerschaft auf Mensch und Technik vornahmen, also bestimmten Aktionsbündeln die gleiche „Wertigkeit“ zuordneten – egal ob sie selbst oder das Assistenzsystem die Zuständigkeit für dieses Aktionsbündel hatten. Dies ist ein deutlicher Hinweis auf die Gültigkeit der Symmetriethese: menschliche Akteure sehen ihre nicht-menschlichen Mitspieler (zumindest im Rahmen unseres experimentellen Settings) als ebenbürtige Partner an und schreiben ihnen Handlungsträgerschaft zu – und zwar in einer symmetrischen Weise.

Ein zweites Ergebnis hat uns überrascht: Wir hatten die Probanden instruiert, dass sie stets alle drei Ziele verfolgen sollten, erhielten aber bei der Befragung, die nach jedem der sieben Versuchsläufe stattfand, extrem unterschiedliche Antworten auf die Frage „Welche Ziele verfolgte das Assistenzsystem?“. Offenbar ging ein großer Teil der Versuchspersonen davon aus, dass mit einer Verteilung der Aktionen (Quer-/Längsführung) auch eine Verteilung der Zuständigkeiten für die Verfolgung der Ziele



(Runden, Unfälle, Limits) einhergeht. Sie konstruierten also eine Rollenverteilung, in der sie sich der Verfolgung einzelner Ziele, für die sie eigentlich auch zuständig waren, entledigen konnten. Dieser Befund hat gravierende Konsequenzen für die Konstruktion von Mensch-Maschine-Schnittstellen in hochautomatisierten Systemen, muss man doch davon ausgehen, dass das, was sich in den Köpfen der beteiligten Akteure abspielt, sich nicht mit der technisch implementierten Rollenverteilung deckt.

Zwischen-Fazit

Unsere Experimente mit SimHybS haben gezeigt, dass es möglich ist, das Zusammenspiel von Mensch und autonomer Technik experimentell zu untersuchen, und zwar auf Basis eines soziologischen Modells und mithilfe der Methode der Computersimulation. Dieser Ansatz gewährt Einblicke in die Funktionsweise hybrider Konstellationen, die mit anderen Methoden nicht gewonnen werden können. Er erlaubt es zudem, die Handlungsverteilung kontrolliert zu variieren und so herauszufinden, wie das Zusammenspiel von Mensch und autonomer Technik am besten funktioniert.

2.5 Vertrauen in Automation

Die Experimente mit SimHybS haben auch gezeigt, wie wichtig es ist, nicht nur die reale Handlungsverteilung zu betrachten, sondern auch die mentalen Modelle in den Köpfen der Menschen, die mit Technik interagieren. Ein wesentlicher mentaler Aspekt ist das Vertrauen, das Menschen der Technik entgegenbringen. Dieser Aspekt ist Gegenstand des folgenden Kapitels, in dem wir zunächst einen Schritt zurück von autonomen Systemen der 2000er-Jahre zu den automatischen Systemen der 1980er- und 1990er-Jahre machen.

In der Automationsforschung ist die Frage, inwiefern Vertrauen in Automation möglich ist, in zahlreichen Studien untersucht worden, häufig in Form von Laborexperimenten (Moray et al. 2000; Lee & See 2004; Dzindolet et al. 2003). Dabei ging es oft um die Frage, warum die Operateure der Automation nicht vertrauen und sie daher unzureichend nutzen („Disuse“) oder aber ihr übermäßig vertrauen und sie daher fehlerhaft nutzen („Misuse“).

Übersteigertes Vertrauen (engl. „overtrust“, auch mit „complacency“ – Selbstgefälligkeit – umschrieben) schlägt sich in einer Vernachlässigung der Überwachungs- und Kontrollaufgaben nieder. In der Folge werden kritische Systemzustände zu spät entdeckt (engl. „automation surprises“) und/oder fehlerhafte Anweisungen ungeprüft akzeptiert (Manzey 2008, S. 314–315). Die Ursachen übersteigerten Vertrauens verweisen auf eine Ironie der Automation: Je zuverlässiger die Systeme werden, desto weniger Konsequenzen hat eine nachlässige Kontrolle der automatischen Systeme und desto seltener werden die Risiken eines derartigen Verhaltens sichtbar. Damit wächst aber die Gefahr, dass die Operateure sich in falscher Sicherheit wiegen.

Mangelndes Vertrauen hat seine Ursachen hingegen in einer „Unterschätzung der ‚wahren‘ Zuverlässigkeit der Automation“ (Manzey 2008, S. 314). Fehlfunktionen der Automation sowie enttäuschte Erwartungen können zum Zusammenbruch des



Vertrauens führen, zumindest wenn der Nutzer nicht versteht, wieso derartige Fehler auftreten konnten.

Diese Problematik spitzt sich bei automatisierten Warnsystemen zu (wie z. B. etwa dem Ground Proximity Warning System, GPWS⁸), die eine hohe Sensitivität haben und daher zwangsläufig immer wieder Fehlalarme auslösen können. Damit dies nicht zum Verlust des Vertrauens führt, ist ein Verständnis der Funktionsweise des Systems unentbehrlich (ebd., S. 314–315). Ansonsten wird nämlich das Potenzial der Automation nicht genutzt und beispielsweise ein automatisches Warnsystem abgeschaltet, das Leben retten kann.

Zuverlässigkeit, Nachvollziehbarkeit und Nützlichkeit sind daher, Manzey zufolge, die drei Faktoren, die das Vertrauen in Automation positiv beeinflussen und dazu beitragen, dass sich ein angemessener Vertrauenslevel (engl. „appropriate level of trust“) entwickeln kann.⁹

Kontrollverlust: Ist die Technik noch beherrschbar?

Gerade angesichts des unaufhörlichen Vordringens autonomer Technik stellt sich jedoch die Frage, ob die erforderliche Transparenz gegeben ist und ob der Mensch noch in der Lage ist, die Entscheidungen autonomer Systeme nachzuvollziehen. Unvollständige und schwer interpretierbare Information sowie unklare und schwer bewertbare Handlungsalternativen können die Entscheidungsfindung erschweren. Die Gefahr besteht, dass der menschliche Bediener aus dem Regelkreis fällt („Out-of-the-Loop“) und die Kontrolle über das komplexe sozio-technische System zusehends verliert.

Vertrauen in (autonome) Technik kann definiert werden als die Bereitschaft, Kontrolle über Dinge oder Prozesse – zumindest zeitweise – abzugeben und sich darauf zu verlassen, dass eine andere Person oder ein technisches Gerät die betreffenden Aufgaben zuverlässig ausführt. Vertrauen ist also mit der Erwartung verbunden, dass diese Delegation von Verantwortung und der damit eingehende Verzicht auf Kontrolle nicht enttäuscht werden.

Wie oben bereits erwähnt (vgl. Kap. 2.1.2) ist Vertrauen Bestandteil nahezu aller wirtschaftlichen und sozialen Transaktionen; denn nur in den allerwenigsten Fällen werden wir in der Lage sein, eine vollständige Kontrolle auszuüben. Beim Fahren eines Autos vertrauen wir darauf, dass der Motor technisch einwandfrei funktioniert und wir nur „Gas geben“ müssen; und beim Kauf von Waren vertrauen wir darauf, dass das gekaufte Produkt die behauptete Qualität hat und seinen Preis wert ist. Diese beiden Beispiele zeigen jedoch, dass Vertrauen nicht nur auf einer dyadischen Beziehung von Treugeber und Treunehmer basiert, sondern auch ein institutionalisiertes Vertrauen in eine dritte Instanz (z. B. den TÜV oder die Rechtsprechung) umfasst (Fink 2014).

Besonders im Falle autonomer technischer Systeme sind die menschlichen Operateure (z. B. Piloten) bzw. die Nutzer von Dienstleistungen (z. B. Online-Käufer), kaum noch

⁸ Das GPWS warnt vor gefährlichen Annäherungen von Flugzeugen an den Boden.

⁹ Man kann hier durchaus Ähnlichkeiten mit den Kernaussagen des TAM feststellen; vgl. Kap. 2.2.1.



in der Lage, eine vollständige Kontrolle auszuüben bzw. die Kontrolle im Notfall komplett zu übernehmen. Das immer wieder zitierte Beispiel der – wenig transparenten – Reihung der Suchergebnisse von Suchmaschinen mag hier zur Illustration genügen (Lazer et al. 2014).

Somit stellt sich die Frage, ob das unaufhörliche Vordringen autonomer Technik in nahezu alle Arbeits- und Lebensbereiche nicht notwendigerweise zu einem Gefühl des Kontrollverlusts aufseiten des Menschen führt. Denn die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung steigert die Komplexität und Intransparenz sozio-technischer Systeme in einem Maße, das die Fähigkeit des Menschen zur Kontrolle derartiger Systeme übersteigen könnte.

Fallbeispiel: Das digitalisierte Flugzeug

Den Trend zur Digitalisierung und Automatisierung und dessen mögliche Folgen kann man besonders gut am Beispiel der Luftfahrt ablesen, die bereits seit einigen Jahrzehnten von diesen Entwicklungen erfasst ist. Getrieben von technikzentrierten Automationsstrategien wurde hier die Mensch-Maschine-Interaktion zunächst sehr einseitig zugunsten der Technik optimiert.

Im Airbus A320, der 1988 auf den Markt kam, werden die Daten, welche die Systeme an Bord des Flugzeugs generieren, zunächst vom Bordcomputer verarbeitet und erst dann dem Piloten in aufbereiteter Form präsentiert. Und umgekehrt werden die Steuerbefehle, die der Pilot gibt, vom Bordcomputer zunächst auf ihre Zulässigkeit hin überprüft und erst danach an die Systeme weitergeleitet. Die Interaktion zwischen dem menschlichen Operateur und dem technischen System wird also über elektronische Steuerungssysteme vermittelt. Dies erhöht die Sicherheit und den Komfort, kann aber auch eine Quelle neuartiger Risiken sein.

Wie Interviews zeigen, die wir mit Piloten geführt haben, sehen diese sich nicht mehr in der Rolle des „Fliegers“, sondern des „Managers“ eines komplexen Systems, dessen Aufgabe in erster Linie darin besteht zu überwachen, dass die Systeme korrekt funktionieren (Weyer 2007; 2008). Ihre Tätigkeit lässt sich als Gewährleistungs- und Deutungsarbeit beschreiben: sie deuten und interpretieren die Informationen, die auf den verschiedenen Anzeigegegeräten erscheinen, und sorgen durch ihre Maßnahmen dafür, einen reibungslosen Ablauf des Geschehens zu gewährleisten (vgl. Weyer 1997 sowie die dort angegebene Literatur).

Auf diese Weise geraten sie jedoch in eine geradezu paradoxe Situation; denn die Befugnisse der menschlichen Operateure werden immer weiter eingeschränkt. Allerdings wird von ihnen auch erwartet, dass sie im Störfall eingreifen und rasch eine Lösung finden. In derartigen Krisensituationen sollen sie also über die Kompetenzen verfügen, die sie im Normalfall nicht benötigen und somit auch kaum trainieren können. Der Mensch wird hiermit zum Lückenbüßer und damit zu einer Quelle potenzieller Risiken. Die Strategie der Risikovermeidung durch Automation birgt also ihrerseits neuartige Risiken.



Das Gefühl eines Kontrollverlusts kann entstehen, wenn dem Bediener die gewohnten Eingriffsmöglichkeiten nicht mehr zur Verfügung stehen und/oder er das System nicht mehr hinreichend versteht, um von bestehenden Eingriffsmöglichkeiten sinnvoll Gebrauch zu machen. Das vielfach zitierte Unglück eines Lufthansa-Airbus in Warschau im Jahr 1993 illustriert diesen Sachverhalt: Es war den Piloten unmöglich, das Flugzeug auf gewohnte Weise abzubremsen, weil Airbus einen automatischen Sicherheitsmechanismus eingebaut hatte, der verhinderte, dass die Bremsen aktiviert werden konnten. In Warschau wurde dies aufgrund äußerer Umstände, die die Konstrukteure beim Design des Systems nicht bedacht hatten, jedoch zur tödlichen Falle (vgl. Weyer 1997, S. 251; Grote 2009, S. 104). Ein flexibles Störfallmanagement, wie es gut ausgebildete Piloten beherrschen, war somit unmöglich.

Diese Problematiken verschärfen sich, wenn autonome Technik zum Einsatz kommt, die in der Lage ist, Entscheidungen in einer Weise zu fällen, wie es bislang ausschließlich der Mensch konnte (vgl. Kap. 2.3). Der Unterschied lässt sich am Beispiel des Autopiloten gut veranschaulichen: Während ein automatisches System stur die voreingestellte Flughöhe einhält, kann ein autonomes System, beispielsweise aufgrund einer TCAS-Warnung, *entscheiden*, in den Sink- bzw. Steigflug zu gehen. Smarte Systeme sind somit in der Lage, je nach Situation unterschiedlich zu reagieren, z. B. das eine Mal in den Steigflug, das andere Mal in den Sinkflug zu gehen.¹⁰

Wie das Beispiel Airbus zeigt, kann sich eine technik-getriebene Automatisierung als gefährliche Sackgasse erweisen. Human-zentrierte Ansätze sind zwar in der Design-Phase aufwendiger und gelegentlich schwerfälliger; sie haben jedoch den unbestreitbaren Vorteil, dass auf diese Weise Lösungen generiert werden, die auf dem Know-how der Nutzer aufbauen und von ihnen akzeptiert werden, die zudem praxistauglich und deren Risiken besser beherrschbar sind.

Objektive versus subjektive Komplexität

Bislang habe ich Komplexität als eine feststehende Tatsache – und als geradezu zwangsläufige Folge von Automatisierung und Digitalisierung – behandelt und zudem unterstellt, dass menschliche Operateure tendenziell überfordert sind, wenn die Komplexität eines sozio-technischen Systems zunimmt. Ganz so einfach ist es leider nicht. Karl Weick (1990) zufolge sollte man nämlich zwei Sichtweisen von Komplexität unterscheiden:

- Mit der Formel „technology on the floor“ beschreibt er die objektive Systemkomplexität, also strukturelle Faktoren wie nicht-lineare Interaktionen, die zu einem schwer durchschaubaren bzw. nicht-vorhersehbaren Systemverhalten führen können;
- mit der Formel „technology in the head“ beschreibt er hingegen die mentalen Modelle in den Köpfen des Bedienpersonals, die bestimmte Vorstellungen entwickeln, wie die Prozesse innerhalb des Systems funktionieren, die aber vom tatsächlichen Geschehen – teils erheblich – abweichen können.

¹⁰ Das Kollisionsvermeidungs-System TCAS wird ausführlich in Kap. 3.2.2 vorgestellt.



Wahrgenommene Komplexität wäre also nicht zwangsläufig eine Eigenschaft des betreffenden Systems, sondern könnte auch Resultat individueller Überforderung oder mangelnder individueller Fähigkeit zur Komplexitätsbewältigung sein (z. B. aufgrund mangelnden Wissens oder fehlenden Trainings) (vgl. Weyer 2009). Komplexität entstünde demnach im Kopf; und sie nimmt mit steigendem Stresslevel weiter zu, womit die Fähigkeit zum flexiblen Komplexitäts- und Krisenmanagement nochmals abnimmt. (Die Fallbeispiele Air France AF-447 und Deepwater Horizon, die in Kapitel 3.2 diskutiert werden, sprechen eine deutliche Sprache.) Damit zeichnet sich aber auch eine Lösung zur Behebung des Problems ab, nämlich die Ausbildung und das Training zu verbessern, um dem Bedienpersonal Gelegenheit zu geben, Erfahrungen im Umgang mit komplexen Systemen zu sammeln, und schließlich ausreichend Ressourcen zur Verfügung zu stellen, also den Zeit- und Kostendruck zu reduzieren.

Diese Überlegungen machen jedoch auch klar, dass man mit abstrakt-konzeptionellen Überlegungen an gewisse Grenzen stößt und es durchaus Sinn macht, die Frage nach der Beherrschbarkeit komplexer Systeme empirisch zu untersuchen. Dies geschieht in den folgenden beiden Abschnitten, in denen zwei Befragungen von Autofahrern (2.6) und Piloten (2.7) vorgestellt werden, die insbesondere die subjektive Wahrnehmung von Komplexität thematisiert haben.

2.6 Empirische Befunde (Teil 1): Autofahrer-Studie

Der These des Kontrollverlusts sind wir mithilfe einer Befragung von Autofahrern nachgegangen (N = 118), die im Jahr 2010 durchgeführt wurde, also in einer Phase, in der die Ausstattung von Neufahrzeugen mit Fahrerassistenzsystemen unterschiedlichster Art deutlich zunahm (Weyer et al. 2015b).

Wir fanden zunächst heraus, dass die Fahrzeuge im Durchschnitt mit sechs Assistenzsystemen ausgestattet waren, die meisten mit ABS und ESP, aber auch Navigationssystemen (fest installiert bzw. portabel), darüber hinaus mit Tempomat (64,3 %), Regensensor (62,9 %), Parkassistent (48,6 %), aber nur wenige mit avancierten Systemen wie Adaptive Cruise Control (18,3 %) oder Spurhalteassistent (9,6 %).

Die Vermutung, dass das Kontrollempfinden der Fahrer mit der Zahl der Fahrerassistenzsysteme abnimmt, ließ sich nicht bestätigen. Eher trifft das genaue Gegenteil zu: Abbildung 9 zeigt für sogenannte „Führungssysteme“ (beispielsweise Adaptive Cruise Control), bei denen Mensch und Technik intensiv interagieren, das Kontrollempfinden auf der y-Achse und die Anzahl der Assistenzsysteme auf der x-Achse. Und sie belegt: Je mehr Assistenzsysteme an Bord des Autos sind, desto höher ist die wahrgenommene Kontrolle.

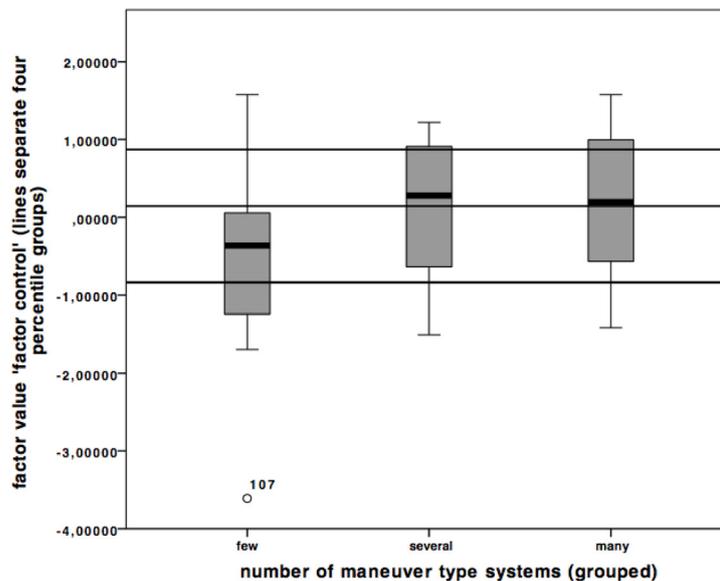


Abbildung 9: Kontrollempfinden in Bezug auf die Anzahl der Assistenzsysteme (Quelle: Weyer et al. 2015b)

Ganz im Sinne der „Automation Surprises“ haben wir zudem nach negativen Erfahrungen gefragt und waren überrascht, dass nur 15,5 Prozent der Befragten von gelegentlichen oder häufigen Fehlfunktionen ihrer Assistenzsysteme berichteten. Der Zusammenhang von Fehlfunktionen und Kontrollempfinden ist zwar statistisch signifikant (-,314**), verweist aber vor allem auf die kleine Gruppe mit negativen Erfahrungen und einem sehr niedrigen Kontrollempfinden.

Eine viel größere Rolle als negative Erfahrungen scheint die allgemeine Einstellung zu Technik zu spielen, die mit der wahrgenommenen Kontrolle stark korreliert (,326**). Abbildung 10 zeigt das Kontrollempfinden auf der y-Achse und die generelle Einstellung zu Technik auf der x-Achse; sie zeigt deutlich, dass technikaffine Personen (Perzentilgruppe 4) ein deutlich höheres Kontrollempfinden haben als technikaverse (Perzentilgruppe 1). Es sind also vorrangig systemunabhängige Faktoren, die zur Wahrnehmung eines Kontrollverlustes führen, und weniger die Eigenschaften des konkreten technischen Systems.

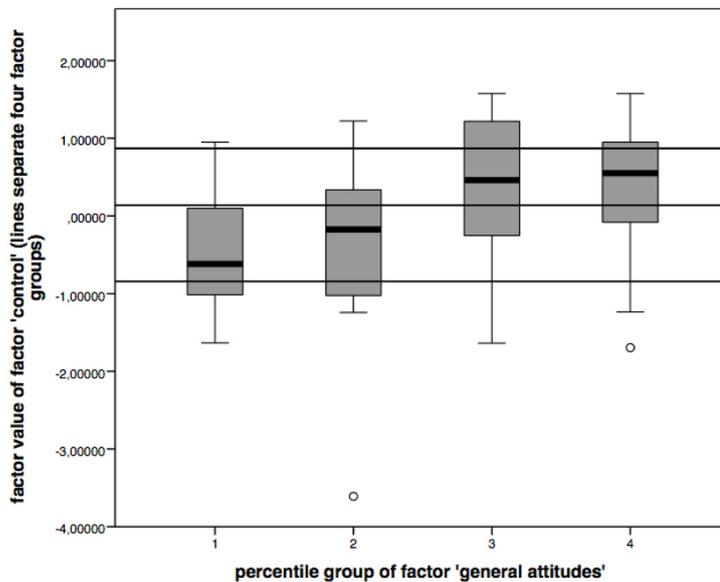


Abbildung 10: Kontrollempfinden in Bezug auf die Einstellung zur Technik (Quelle: Weyer et al. 2015b)

Schließlich haben wir noch nach der Rollenverteilung zwischen Mensch und Technik gefragt, und zwar bezogen auf die drei Funktionen Lenken, Bremsen und Einparken, die in 25er-Schritten auf Mensch und Technik verteilt werden konnten. Für das Auto der Gegenwart ergaben sich folgende Werte:

Mensch	100	75	50	25	0
FAS	0	25	50	75	100
Wer steuert das Auto?	64,8 %	32,4 %	1,9 %	1,0 %	0,0 %
Wer bremst das Auto?	37,1 %	49,5 %	9,5 %	2,9 %	1,0 %
Wer parkt das Auto ein?	65,4 %	28,8 %	3,8 %	1,9 %	0,0 %
Durchschnitt	55,8 %	36,9 %	5,1 %	1,9 %	0,3 %

Tabelle 1: Rollenverteilung im Auto der Gegenwart (Quelle: Weyer et al. 2015b)

Nimmt man die Kategorie 100/0 als manuelles und die Kategorie 75/25 als assistiertes Fahren, so wird deutlich, dass die Befragten die Fahraufgaben Steuern und Einparken überwiegend als Domäne des Menschen sehen, während das Bremsen insofern eine Ausnahme darstellt, als sich hier ein größerer Anteil eine Delegation an die Technik vorstellen kann.



Bei der Frage nach dem Auto der Zukunft (im Jahr 2020) ergaben sich bemerkenswerte Verschiebungen:

Mensch	100	75	50	25	0
FAS	0	25	50	75	100
Wer steuert das Auto?	29,2 %	40,6 %	18,9 %	11,3 %	0,0 %
Wer bremst das Auto?	12,3 %	34,9 %	30,2 %	21,7 %	0,9 %
Wer parkt das Auto ein?	12,3 %	21,7 %	28,3 %	25,5 %	12,3 %
Durchschnitt	17,9 %	32,4 %	25,8 %	19,5 %	4,4 %

Tabelle 2: Rollenverteilung im Auto der Zukunft (Quelle: Weyer et al. 2015b)

Hier konnte sich bereits ein wesentlich größerer Teil der Befragten ein assistiertes Fahren (insbesondere im Fall des Einparkens) vorstellen. Der Rückgang in der Kategorie des manuellen Fahrens (100/0) beträgt bei den Durchschnittswerten 37,9 Prozentpunkte, während die beiden Kategorien des teil-autonomen (75/25) bzw. autonomen Fahrens (0/100) zusammen im Schnitt bei 23,9 Prozent liegen (zuvor 2,2 %). Dies belegt, dass die Probanden eine deutliche Veränderung der Rollenverteilung von Mensch und Technik erwarten. Ein Vergleich der Funktionen zeigt aber auch, dass das Steuern die Aktivität ist, die Menschen nur ungern an Technik delegieren wollen.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten: Die zunehmende Automation steigert zwar die Komplexität sozio-technischer Systeme; aber das Zusammenspiel von Mensch und autonomer Technik führt nicht zwangsläufig zu einem Kontrollverlust aufseiten des menschlichen Bedieners. Die These des Kontrollverlusts lässt sich nicht bestätigen; die Zukunftsprojektion auf das Auto in zehn Jahren zeigt sogar, dass die meisten Probanden sich vorstellen können, einen Teil der Kontrolle abzugeben.

2.7 Empirische Befunde (Teil 2): Pilotenstudie

Die Luftfahrt war eine der ersten (zivilen) Branchen, in denen hochautomatisierte Systeme zum Einsatz kamen; sie kann auf langjährige Erfahrungen mit dem computergestützten Fliegen zurückblicken, das Mitte der 1980er-Jahre mit den Flugzeugen der 4. Jetgeneration eingeführt wurde und seitdem die Arbeitswelt der Piloten prägt. Insbesondere die Einführung der Fly-by-wire-Technik sowie die Reduktion der Crew auf zwei Piloten hatten in den 1980er-Jahren heftige Debatten über die Risiken dieses revolutionären Sprungs ausgelöst; diese erhielten durch etliche spektakuläre Unfälle Nahrung, welche auf ein unzureichendes Design der Mensch-Maschine-Schnittstelle zurückzuführen waren.

Mittlerweile ist das computergestützte Flugzeug zum dominanten Design der Zivilluftfahrt geworden; und das Fliegen ist, blickt man in die entsprechenden Unfallstatistiken, insgesamt sicherer geworden. Einige spektakuläre Zwischenfälle bzw.



Unfälle jüngerer Zeit werfen jedoch Fragen auf, die scheinbar gelöst schienen, etwa nach Kontrollverlust des menschlichen Bedieners an Bord hochautomatisierter Flugzeuge.

25 Jahre nach Einführung des computergestützten Fliegens haben wir daher – mit Unterstützung des „Forschungsnetzwerks für Verkehrspilotenausbildung“ (FHP) sowie der „Vereinigung Cockpit“ (VC) – eine Befragung von Piloten durchgeführt, um herauszufinden, wie die Mensch-Maschine-Interaktion im Cockpit moderner Flugzeuge funktioniert.

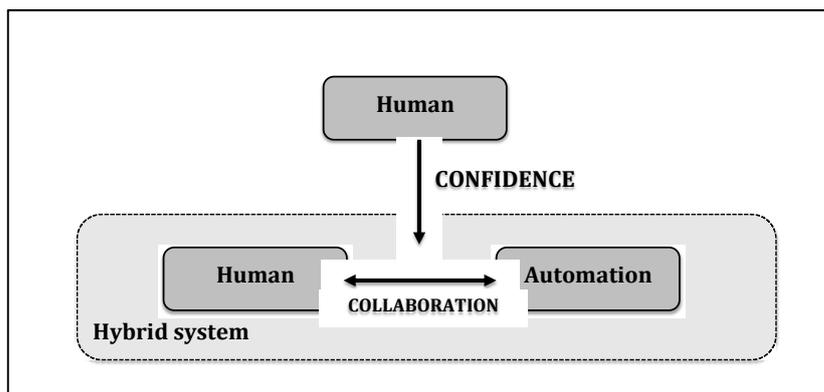


Abbildung 11: Vertrauen in hybride Kollaboration (Quelle: Weyer 2016)

Dabei haben wir uns von einer neuen Perspektive der Automationsforschung leiten lassen, die sich vom traditionellen „Entweder-oder“-Denken (entweder der Mensch *oder* die Technik) (vgl. Fitts 1951) löst und die Kollaboration von Mensch *und* Automation in den Mittelpunkt rückt (Hutchins 1995; Sarter & Woods 2000; Manzey 2008; Cummings & Bruni 2009; Inagaki 2010). In diesem Sinne verstehen wir das Flugzeug als ein hybrides sozio-technisches System, das vom Menschen und von (teil-)autonomer Technik gesteuert wird, die in einer symmetrischen Beziehung zueinanderstehen und sich wechselseitig als Team-Partner betrachten (vgl. Kap. 2.3 und 2.4 sowie Abb. 11).

Aus diesen konzeptionellen Vorüberlegungen leiten sich die zwei Hypothesen ab, die das Vertrauen in die hybride Kollaboration als abhängige Variable betrachten und nach Faktoren suchen, die dieses Vertrauen – positiv oder negativ – beeinflussen:

(H1) Ein hohes Maß an *wahrgenommener Symmetrie* geht mit einem hohen Maß an Vertrauen in die hybride Kollaboration einher.

Und im Umkehrschluss vermuten wir:

(H2) Je mehr Piloten die *ultimate Autorität* für sich beanspruchen, desto geringer ist ihr Vertrauen in die hybride Kollaboration.



Stand der Forschung

Es gibt eine große Zahl von Publikationen zur Automation in der Luftfahrt. Dabei kamen unterschiedliche Methoden zum Einsatz, beispielsweise

- Befragungen von Piloten (Wiener 1989),
- Fallstudien, die teilweise auf Sekundäranalysen offizieller Unfalluntersuchungsberichte basieren (Brooker 2005),
- Analysen der „Self-reports“ von Piloten (Sarter & Woods 1997),
- teilnehmende Beobachtung, beispielsweise auf dem „Jumpseat“ (Hutchins 1995), auch in Form der „Workplace Studies“ (Suchman et al. 1999),
- Simulatorexperimente (Sarter et al. 1997) und schließlich
- Simulationsexperimente (Schmitt & Tallec 2007).

Alle diese Methoden haben Vor- und Nachteile. Fallstudien öffnen die Blackbox und ermöglichen tiefe Einblicke in (oftmals verborgene) Zusammenhänge, sind aber oftmals auf den konkreten Einzelfall beschränkt, was eine Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse erschwert. Befragungen erreichen hingegen eine große Zahl von Personen, können aber nur deren Einstellungen und Wahrnehmungen abfragen. Die Methode der teilnehmenden Beobachtung, aber auch Simulatorexperimente kommen demgegenüber viel näher an das reale Verhalten der Probanden, sind aber oftmals auf eine kleine Zahl beschränkt, was statistische Auswertungen verunmöglicht. Ein Mix unterschiedlicher Methoden erscheint also sinnvoll, um sich dem Thema zu nähern.

Betrachtet man ausschließlich Befragungen von Piloten, so ergibt sich zudem ein überraschender Befund: Seit der viel zitierten Studie von Earl Wiener aus dem Jahr 1989 sind weltweit lediglich vier weitere Befragungen durchgeführt worden (McClumpha et al. 1991; BASI 1998; Hutchins et al. 1999; Naidoo 2008), die jedoch allesamt lediglich als Report, Dissertation oder in Proceedings erschienen sind, nicht aber in akademischen Fachzeitschriften.

Zudem wurden unterschiedliche Methoden (bivariat, multivariat) verwendet, und insgesamt findet man nur wenig Übereinstimmung, z. B. in Bezug auf eine generell positive Haltung der Piloten gegenüber der Automation. Auch wurde die Frage nach „Mode Confusion“ überwiegend verneint (zu den Details siehe Weyer 2016). Aber bereits bei der Frage, ob Erfahrung das Systemverständnis erhöht, liegen die Aussagen unterschiedlicher Studien weit auseinander. Das Thema Vertrauen in Automation hat zudem lediglich Naidoo (2008) untersucht, jedoch mit uneindeutigen Ergebnissen, etwa bezüglich des Zusammenhangs von Erfahrung und Vertrauen.

Insgesamt ergibt sich also ein lückenhaftes und teilweise widersprüchliches Bild. Zudem lagen kaum aktuelle Daten vor, sodass eine erneute Befragung von Piloten sinnvoll erschien, die von drei weiteren, aus dem Stand der Forschung deduzierten Hypothesen geleitet war:

(H3) Je stärker ein *Wandel der Rollen- und Kompetenzverteilung* (von Mensch und Technik) wahrgenommen wird, desto höher ist das Vertrauen in die hybride Kollaboration.



(H4) Je mehr *Komplexität* wahrgenommen wird, desto geringer ist das Vertrauen in die hybride Kollaboration.

(H5) *Boeing-Piloten* haben mehr Vertrauen in die hybride Kollaboration als andere Piloten.

Methoden

Die Studie verfolgte einen Mixed-Methods-Ansatz. In einer qualitativen Vorstudie wurden im Jahr 2007 Interviews mit PilotInnen geführt, die wesentliche Erkenntnisse über deren Wahrnehmungen und Einstellungen, insbesondere zur Rollenverteilung im Cockpit, ergaben (Weyer 2008a). Im Sommer 2008 wurde ein Online-Fragebogen mithilfe von FHP und VC verbreitet, der 278-mal ausgefüllt wurde und letztlich – nach Datenbereinigung – zu 199 verwertbaren Datensätzen führte.

Das Sample

Die befragten PilotInnen waren zwischen 22 und 73 Jahren alt (im Schnitt 39,9); nur 6 Prozent (N = 11) waren weiblich – mit einem Altersschnitt von 29,7 Jahren. Der größere Teil der Befragten war bei Lufthansa (45,1 %) bzw. Eurowings (31,7 %) beschäftigt, nur 10,3 Prozent bei Low-Cost-Airlines und anderen Wettbewerbern (sowie 13,0 % sonstige). Im Schnitt hatten sie 7.254 Stunden Flugerfahrung (20t MTOW), davon 3.490 auf dem aktuell geflogenen Typ. Die Positionen verteilten sich nahezu zu gleichen Teilen auf FO/SFO (48,7 %) und CPT (51,3 %, davon keine weibliche Pilotin).

Bei der Lizenz für das Flugzeugmuster, welche die Piloten aktuell besaßen (engl. „type rating“), ergab sich eine Verteilung, die wir nicht erwartet hatten (vgl. Abb. 12).

Die stärksten Gruppen waren Canadair regional jet (CRJ, 21,0 %), Boeing 737 (15,4 %), AVRO/BAE 146 (14,9 %) sowie Airbus A 320 (13,3 %). Auch bei den Herstellern dominieren unterschiedliche Regionaljets (39,0 %) vor Boeing (29,2 %) und Airbus (26,7 %). Bei der Reichweite sind am häufigsten die Kurz- und die Mittelstrecke vertreten (73,0 %) vor der Langstrecke (27,0 %). Leider erlauben unsere Daten es nicht, exakt zwischen Flugzeugen der dritten und der vierten Jet-Generation zu unterscheiden (vgl. Scheiderer & Ebermann 2010: 3).

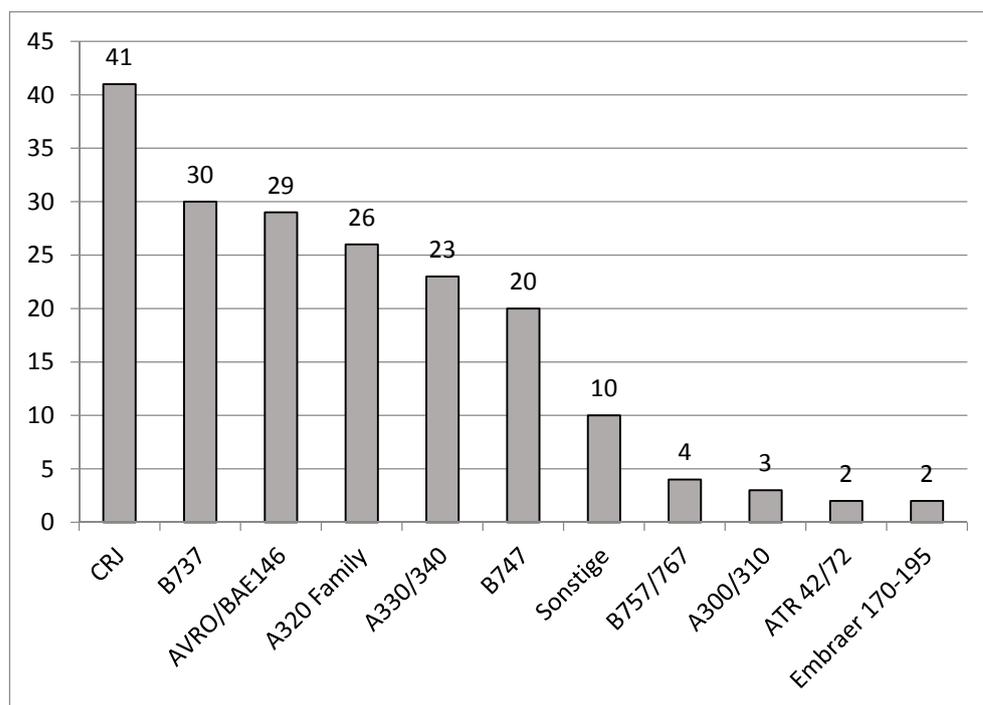


Abbildung 12: Type Rating (Flugzeugmuster – absolute Werte) (Quelle: Weyer 2016)

Auswertungsmethoden

Am Beispiel der abhängigen Variable „Vertrauen in hybride Kollaboration“ sei kurz die Auswertungsmethode erläutert. Für diese Variable wurde eine Skala mit sechs Items gebildet (vgl. Tabelle 3).

Das Flugzeug zu fliegen, beruht heute überwiegend auf Routinen.
Ohne die technischen Unterstützungssysteme fühlt man sich als Pilot heute ungeschützt.
Als Pilot überwacht man das System und übernimmt nur dann die direkte Kontrolle, wenn etwas Unerwünschtes passiert.
Piloten werden zunehmend zu Systemmanagern.
Die Aufgabe des Piloten ist es eher, das Flugzeug zu navigieren (d. h. das Flight-Management-System zu programmieren), als es direkt manuell zu steuern.
Als Pilot wird man zunehmend zum Maschinenbediener („Operator“).

Tabelle 3: Abhängige Variable „Vertrauen in hybride Kollaboration“ (Quelle: Weyer 2016)

Mithilfe einer Faktorenanalyse wurde die Reliabilität dieses Konstrukts getestet – mit zufriedenstellenden Ergebnissen (KMO .762; erklärte Varianz 39,57 %; Cronbach's Alpha .685). Anschließend wurden vier Perzentilgruppen mit jeweils 25 Prozent der



Befragten gebildet, die von sehr großem bis sehr geringem Vertrauen reichen (vgl. Tabelle 4).

Faktorwert	Perzentil	Perzentilgruppe
2.09188 (Maximum)	100	4 – sehr großes Vertrauen
0.799907	75	3 – großes Vertrauen
0.0450369	50	2 – geringes Vertrauen
-0.6462669	25	1 – sehr geringes Vertrauen
-3.02093 (Minimum)		

Tabelle 4: Perzentilgruppen des Faktors „Vertrauen“ (Quelle: Weyer 2016)

Dieses Verfahren wurde ebenfalls bei den vier unabhängigen Variablen „Symmetriewahrnehmung“, „ultimative Autorität“, „Wandel der Rollenverteilung“, „Komplexitätswahrnehmung“ angewandt (vgl. Tabelle 5), die – gemeinsam mit den Kontrollvariablen Type Rating, Reichweite und Alter – für den Test der fünf Hypothesen verwendet wurden.

Variable	Items	KMO	Varianz	Cronbach's Alpha
Symmetriewahrnehmung	3	.639	60.69 %	.674
Ultimative Autorität	4	.694	51.65 %	.682
Wandel der Rollenverteilung	4	.753	54.82 %	.726
Komplexitätswahrnehmung	2			.714

Tabelle 5: Unabhängige Variablen (Quelle: Weyer 2016)



Ergebnisse (Teil 1): Regressions-Rechnung

Die Regressions-Rechnung in Tabelle 6 bietet einen ersten groben Überblick darüber, ob die vermuteten Zusammenhänge zutreffen.

Vertrauen in hybride Kollaboration		Beta	
(H1) Symmetriewahrnehmung		.232**	bestätigt
(H2) Ultimative Autorität		-.082	nicht bestätigt
(H3) Wandel der Rollenverteilung		.372**	bestätigt
(H4) Komplexitätswahrnehmung		-.029	nicht bestätigt
(H5) Type Rating (Dummy-Variable: 1=Boeing)		-.095	unklarer Befund
Reichweite (Dummy-Variable: 1=Langstrecke)		-.160*	
Alter (metrisch)		.096	
	N		185
	Adjusted r ²		.312
**p<0,01 *p<0,05 +p<0,1			

Tabelle 6: OLS-Regression „Vertrauen in hybride Kollaboration“ (Quelle: Weyer 2016)

Auf diese Weise ergaben sich starke Anhaltspunkte, dass insbesondere die beiden Hypothesen H1 und H3 zutreffen. Diese Befunde müssen allerdings durch eine deskriptive Analyse erhärtet und vertiefend interpretiert werden.

Ergebnisse (Teil 2): Deskriptive Analyse

Vertrauen in hybride Kollaboration (abhängige Variable)

Die befragten PilotInnen haben ein großes Vertrauen in die hybride Kollaboration, ablesbar an einem Mittelwert von 4.37, der deutlich über dem Mittel von 3.50 auf der von 1 (stimme nicht zu) bis 6 (stimme voll zu) reichenden Skala liegt. Der überwiegende Teil hat ein großes (56,0 %) bzw. sehr großes Vertrauen (32,1 %); die Gruppe mit geringem Vertrauen (11,5 %) ist sehr klein, und sehr geringes Vertrauen ist überhaupt nicht vertreten. Es gibt keine Korrelation von Vertrauen mit Alter oder Erfahrung.



Symmetrie-Wahrnehmung (H1)

In Bezug auf die Symmetrie-Wahrnehmung finden wir annähernd eine Gleichverteilung zwischen Zustimmung und Ablehnung (Mittelwert 3.54). Diese Variable korreliert weder mit Alter noch Erfahrung; es finden sich jedoch auffällige Unterschiede beim Type Rating: Piloten von Regionaljets haben eine deutlich höhere Symmetriewahrnehmung als Airbus- und Boeing-Piloten (vgl. Abb. 13 mit Linien für die vier Perzentilgruppen).

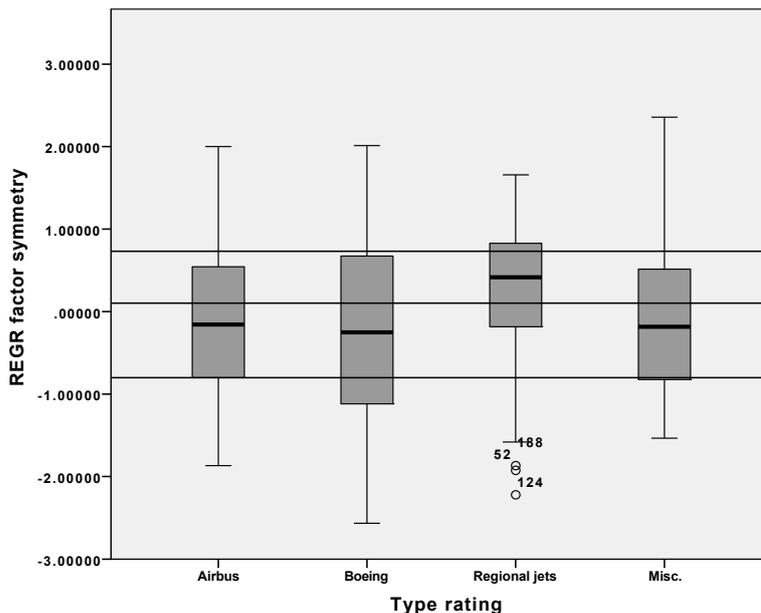


Abbildung 13: Symmetrie-Wahrnehmung und Type Rating (N = 195) (Quelle: Weyer 2016)

Dies liegt vermutlich daran, dass sie aufgrund ihres Tätigkeitsprofils mehr Starts und Landungen durchführen und daher mehr Erfahrungen in der hybriden Kollaboration haben als andere Piloten.

Wie die Regressions-Rechnung bereits gezeigt hat, gibt es einen positiven und signifikanten Zusammenhang zwischen der Symmetriewahrnehmung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration. Je stärker die technischen Komponenten des sozio-technischen Systems Flugzeug als gleichberechtigter Partner wahrgenommen werden, desto höher ist das Vertrauen. Hypothese H1 kann also bestätigt werden.

Ultimative Autorität

Nahezu alle befragten PilotInnen sprechen sich dafür aus, dass der menschliche Entscheider immer das letzte Wort haben sollte (Mittelwert 5.75). Interessanterweise hat dies jedoch keine negativen Auswirkungen auf das Vertrauen in hybride Kollaboration – im Gegenteil: Wie die Regressionsrechnung gezeigt hat, gibt es einen

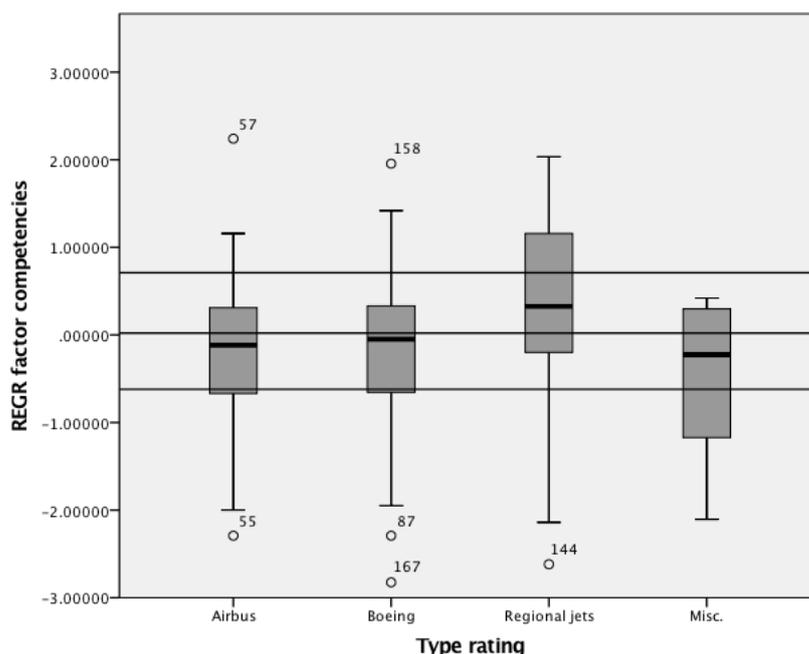


schwach negativen, jedoch nicht signifikanten Zusammenhang. Die Hypothese H2 muss also als widerlegt gelten.

Auf den ersten Blick scheint es sich zu widersprechen, dass PilotInnen einerseits der traditionellen Rollenverteilung verhaftet sind, andererseits ein hohes Vertrauen in hybride Kollaboration haben. PilotInnen, mit denen wir unsere Ergebnisse diskutiert haben, sahen jedoch keinen Konflikt darin, für sich die letzte Entscheidungsgewalt zu reklamieren, zugleich aber auf dieses Recht temporär zu verzichten, um mit automatischen Systemen auf gleichberechtigter Basis zu kooperieren.¹¹

Wandel der Rollenverteilung

In diesem Punkt streuen die Antworten um einen Mittelwert von 3.86. Gut 60 Prozent der PilotInnen haben einen starken oder sehr starken Wandel wahrgenommen, knapp 40 Prozent einen geringen oder sehr geringen. Auch hier gibt es einen deutlichen Zusammenhang zum Type Rating: Wiederum sind es die PilotInnen von Regionaljets, die deutlich mehr Wandel wahrgenommen haben als ihre Kollegen in Airbus- oder Boeing-Jets, die schon seit Jahrzehnten Flugzeuge der vierten Generation fliegen (vgl. Abb. 14). Bei den Regionaljets hat der Wechsel von älteren zu neueren Modellen hingegen erst in den letzten Jahren stattgefunden; zudem hat die Automation eine geringere Eingriffstiefe, wie uns PilotInnen bestätigten.



¹¹ Man kann hier also – im Sinne von Grote (vgl. Kap. 3.3.1) – von einer Autonomie zweiter Ordnung sprechen.



Abbildung 14: Wandel der Rollenverteilung und Type Rating (N = 195) (Quelle: Weyer 2016)

Der Zusammenhang zwischen dem wahrgenommenen Wandel der Rollenverteilung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration ist zudem statistisch hochsignifikant ($,372^{**}$). PilotInnen, die einen starken Wandel der Rollenverteilung zwischen Mensch und (teil-)autonomer Technik wahrnehmen, haben ein deutlich positiveres Verhältnis zu dieser neuartigen Form der hybriden Kollaboration im sozio-technischen System Flugzeug. Hypothese H3 kann also als bestätigt gelten.

Wahrgenommene Komplexität

Knapp 40 Prozent der PilotInnen sehen die Komplexität moderner Flugzeuge als hoch oder sehr hoch an; 60 Prozent nehmen eine geringe oder sehr geringe Komplexität wahr (Mittelwert 3.31). Die Variable „Komplexität“ korreliert stark mit Alter ($,192^{**}$) und Erfahrung ($,228^{**}$), was bedeutet, dass ältere, erfahrene PilotInnen – subjektiv – mehr Komplexität wahrnehmen als jüngere, weniger erfahrene. Dies lässt sich folgendermaßen erklären:

- Ältere PilotInnen haben im Laufe ihrer Karriere mehr Gelegenheiten gehabt, Automationsversagen zu erleben.
- Da sie teilweise auch als Ausbilder arbeiten, haben sie eine eher reflexive Einstellung gegenüber Automationsfragen entwickelt.
- Da sie den Übergang von der dritten zur vierten Flugzeuggeneration erlebt haben, sind ihre Einstellungen gegenüber Automation reservierter als die jüngerer PilotInnen, die in einer Welt voller Computer groß geworden sind und nichts anderes kennen als „Atari-Flieger“.

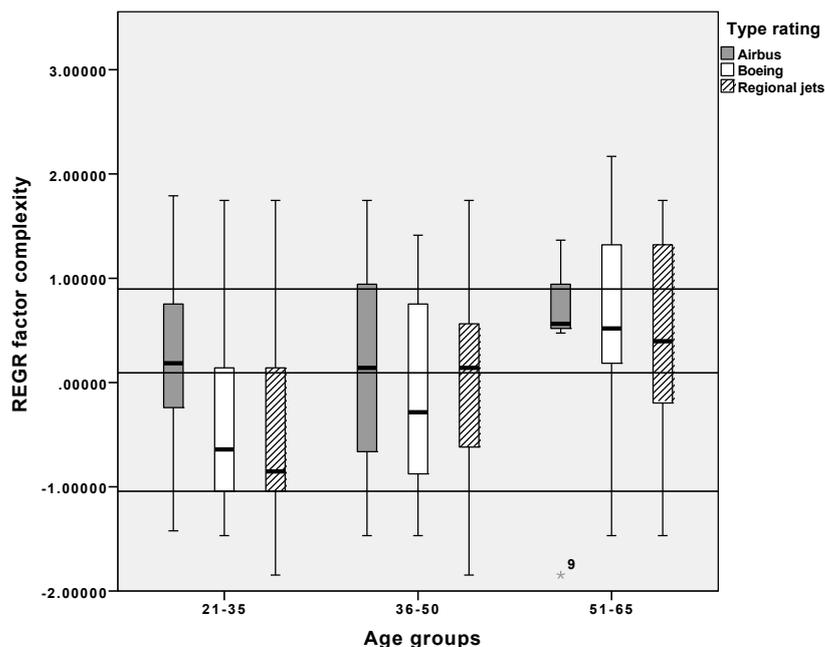




Abbildung 15: Komplexität in Bezug zu Alter (N = 80, 76, 32) und Type Rating (Quelle: Weyer 2016)

Zudem gibt es offenbar Unterschiede zwischen den Flugzeugherstellern: Airbus-PilotInnen haben eine deutlich höhere Komplexitätswahrnehmung als PilotInnen von Boeing-Flugzeugen und Regionaljets. Kombiniert man zudem die beiden Variablen „Alter“ und „Type Rating“, so ergibt sich folgendes Bild (vgl. Abb. 15).

Wie bereits erwähnt, nehmen jüngere PilotInnen weniger Komplexität wahr als ältere; aber innerhalb der Gruppe der Jüngeren weichen Airbus- PilotInnen mit einer deutlich höheren Komplexitätswahrnehmung von ihren Altersgenossen ab. Offenbar bereitet es gerade in den ersten Berufsjahren einige Probleme, mit diesem Flugzeugtyp klarzukommen.

In der Gruppe der PilotInnen mittleren Alters sind es hingegen die Boeing-Piloten, die sich von ihren Altersgenossen durch eine geringere Komplexitätswahrnehmung abheben, was darauf verweist, dass die Zusammenarbeit von Mensch und Technik an Bord von Boeing-Flugzeugen offenbar besser funktioniert als bei anderen Flugzeugmustern. Die immer wieder diskutierten Unterschiede zwischen den Automations-Philosophien der beiden Hersteller Airbus und Boeing lassen sich hier also gut nachweisen.

Das überraschendste Ergebnis unserer Analysen ist jedoch, dass es zwischen der Komplexitätswahrnehmung und dem Vertrauen in hybride Kollaboration *keinen* Zusammenhang gibt. Hypothese H4, die diesen Zusammenhang postuliert hat, ist also widerlegt.

Type Rating

Wie die bisherigen Analysen gezeigt haben, spielt das Type Rating in vielerlei Hinsicht eine Rolle, zum Beispiel bei der Symmetriewahrnehmung oder beim wahrgenommenen Wandel der Rollenverteilung. Auch das Vertrauen in hybride Kollaboration hängt in starkem Maße mit dem Type Rating zusammen (vgl. Abb. 16).

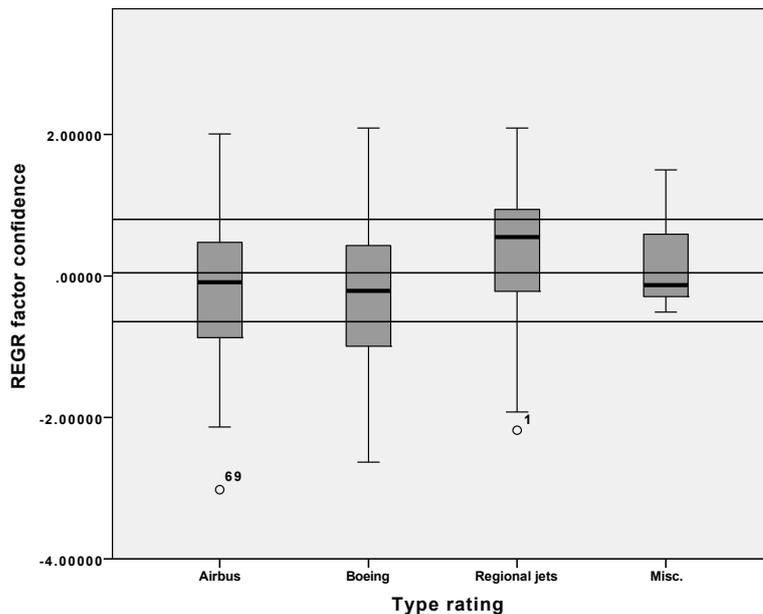


Abbildung 16: Vertrauen in hybride Kollaboration und Type Rating (Quelle: Weyer 2016)

PilotInnen von Regionaljets haben ein deutlich höheres Vertrauen als Airbus- und Boeing-PilotInnen, die sich diesbezüglich nicht unterscheiden. Die Hypothese H5, die besagt, dass Boeing-PilotInnen ein größeres Vertrauen haben als andere, kann also nicht bestätigt werden. Die Reichweite scheint sich stärker auf die Wahrnehmungen von PilotInnen in puncto Automation auszuwirken als die Differenz zwischen Airbus und Boeing.

Kontrollvariablen Reichweite und Alter

Dies belegen auch weitere Berechnungen, die zeigen, dass PilotInnen von Kurzstrecken-Flugzeugen deutlich mehr Vertrauen in hybride Kollaboration haben als andere – vermutlich wegen des oben bereits erwähnten Zusammenhangs zwischen der Häufigkeit von Starts und Landungen und der damit verbundenen Möglichkeit, Erfahrungen in der Kollaboration mit Automation zu machen.

Wie die Regression-Rechnung bereits gezeigt hat, spielt das Alter überraschenderweise keine Rolle. Es gibt keine Korrelation zwischen Alter und Vertrauen oder Komplexitätswahrnehmung.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie sind teilweise überraschend: Das Vertrauen in die hybride Kollaboration ist sehr hoch und hängt stark mit der wahrgenommenen Symmetrie von Mensch und Technik (H1) sowie mit dem wahrgenommenen Wandel der Kompetenzen und der Rollenverteilung (H3) zusammen. Im Gegensatz dazu ergab die Frage nach der wahrgenommenen Komplexität (H4) nur mittlere Werte; die größte Überraschung war jedoch, dass sich dies nicht auf das Vertrauen in die hybride Kollaboration auswirkt.



Die Unterschiede zwischen Airbus- und Boeing-PilotInnen sind geringer als erwartet (H5). PilotInnen von Regionaljets, die zumeist Kurz- oder Mittelstrecke fliegen, heben sich jedoch von den beiden anderen Gruppen deutlich ab, vermutlich aufgrund des spezifischen Aufgabenprofils mit häufigen Starts und Landungen, das viele Gelegenheiten zur Kollaboration mit den automatischen Systemen mit sich bringt.

2.8 Fazit

Die Digitalisierung des privaten Alltags wie auch der Arbeitswelt schreitet in großen Schritten voran. Was in der Luftfahrt mit dem computergestützten Fliegen begann, setzt sich im Straßenverkehr und mittlerweile auch im Bereich „Gesundheit und Fitness“ fort. Smarte Geräte werden immer mehr zu unseren Begleitern, die uns bei vielfältigen Prozessen unterstützen bzw. unsere Handlungen ersetzen. Menschliche Bediener bzw. Nutzer befinden sich zunehmend in hybriden Konstellationen, in denen die Handlungsträgerschaft auf Menschen und (zunehmend) autonome Technik verteilt ist. Wie genau dieses Zusammenspiel funktioniert, ist noch unzureichend erforscht. Empirische Studien, die am Fachgebiet Techniksoziologie der TU Dortmund durchgeführt wurden, verweisen darauf, dass die Einstellung zu autonomer Technik, aber auch das Vertrauen recht hoch sind und dass Erfahrungen im Umgang mit autonomer Technik eine wichtige Rolle spielen.





3 Technik und Gesellschaft im digitalen Zeitalter

Nachdem in Kapitel 2 das Zusammenspiel von Mensch und autonomer Technik, also die Mikro-Perspektive der digitalisierten Echtzeitgesellschaft, beleuchtet wurde, sollen in den folgenden Kapiteln das Risikomanagement komplexer Systeme (Kap. 3), deren Transformation in Richtung Nachhaltigkeit (Kap. 4) sowie Fragen der operativen Steuerung und politischen Regulierung (Kap. 5) der Echtzeitgesellschaft im Mittelpunkt stehen – also eher die Meso- und die Makro-Perspektive.

Die damit zusammenhängenden Fragen nach angemessenen Formen des Managements und der Steuerung komplexer, digitalisierter Infrastruktursysteme lenkt den Blick auf die besonderen Herausforderungen des Komplexitätsmanagements (3.1), die anhand einiger Fallbeispiele erläutert werden (3.2). Nach einem Überblick über die wichtigsten Konzepte der organisationssoziologischen Sicherheitsforschung (3.3) wird gezeigt, dass die Bearbeitung dieser Themen ebenfalls den Einsatz neuartiger Methoden der Computersimulation erfordert (3.4).

3.1 Risiko-Management in komplexen Systemen

Kritische Infrastruktursysteme

Kritische Infrastruktursysteme in den Bereichen Information und Kommunikation, Energieversorgung, Transport und Verkehr oder Gesundheitsversorgung sind eine lebenswichtige Grundlage moderner Gesellschaften. Nahezu jeder Bereich des Lebens und Arbeitens ist darauf angewiesen, dass diese Systeme reibungslos funktionieren (Bundesministerium des Inneren 2009). Störfälle und Unfälle in einzelnen kritischen Infrastruktursystemen können gravierende Auswirkungen haben, die sich lawinenartig auch auf andere Systeme ausbreiten und letztlich sämtliche Funktionen von Wirtschaft und Gesellschaft zum Erliegen bringen. Eine Studie des ITAS Karlsruhe hat vor einigen Jahren ein derart „schwarzes Szenario“ durchgespielt und ist zu dem Schluss gekommen, dass insbesondere eine stabile Energieversorgung zentral für das Funktionieren anderer gesellschaftliche Funktionen wie Krankenhäuser, Supermärkte, Tankstellen etc. ist, die ohne Strom auf Dauer nicht arbeiten können (Orwat et al. 2010). Ein Blackout würde binnen kurzer Zeit sämtliche Bereiche des öffentlichen Lebens lahmlegen.

In deregulierten Märkten ist also die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit kritischer Infrastruktursysteme eine wichtige Aufgabe des Staates, der damit seine Rolle neu definieren muss. Denn der Staat tritt weniger als Betreiber von Telekommunikations- oder Energieversorgungssystemen auf, sondern vielmehr als Regulierer, der Sorge für die Stabilität der Infrastruktursysteme tragen muss. In diesen Infrastruktursystemen sind privatwirtschaftliche Betreiber tätig, deren Handeln von partikularen Interessen und marktwirtschaftlichen Prinzipien geprägt ist, die nicht per se gemeinwohlförderlich sein müssen.



Kritische Infrastruktursysteme stehen momentan vor zwei Herausforderungen, die ihre Funktionsfähigkeit zwar langfristig verbessern sollen, aber auch neue Unsicherheiten und Risiken mit sich bringen: die umfassende Digitalisierung (z. B. in Form des „Smart Grids“) und die Transformation in Richtung Nachhaltigkeit (z. B. Energiewende; dazu mehr in Kap. 4).

Beispiel Stromversorgung

Dies lässt sich gut am Beispiel des Stromnetzes veranschaulichen, dass gegenwärtig – ähnlich wie andere technische Infrastruktursysteme – einen „Paradigmenwechsel“ (Dehen 2010, S. 70; VDE 2007) vollzieht, der nicht nur die Netzstrukturen, sondern auch die Steuerung dieser komplexen Systeme radikal verändern wird (Mautz et al. 2008). Die technische Basis dieses Paradigmenwechsels ist die Ausstattung (sämtlicher) Systemkomponenten mit Rechnerkapazitäten, Sensorik und Kommunikationstechnik sowie deren Vernetzung in Echtzeit.

Bislang war das Stromnetz ein zentralistisches System, das durch wenige zentrale Großkraftwerke sowie die großflächige Verteilung des Stroms an die Endkunden geprägt war (zur Genese dieser Strukturen siehe Carr 2009). Die erneuerbaren Energien stellen dieses System nunmehr radikal infrage, da Solaranlagen, Windkraftwerke und Biogasanlagen es ermöglichen, Strom und Wärme dezentral zu erzeugen und zu verbrauchen (vgl. Fuchs & Wassermann 2008; Mautz 2007; Garud & Karnøe 2003; Markard & Truffer 2006). Zudem erfordert das volatile Einspeiseprofil von Solar- und Windkraftanlagen auch radikale neue Betriebsführungsstrategien, neue Speichermedien wie auch eine neue Form der Koordination zwischen den verschiedenen Akteuren.

Das bisherige System funktioniert nach der Logik der *verbrauchsorientierten Erzeugung*, das künftige System nach der Logik des *erzeugungsorientierten Verbrauchs*. Im Gegensatz zur bisherigen Funktionslogik soll Energie daher immer nur dann genutzt werden, wenn sie tatsächlich zur Verfügung steht (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie 2009).

Der umfassende Umbau der Energieversorgung und -produktion generiert neuartige Unsicherheiten und Risiken, vor allem weil die Stromproduktion und der Stromverbrauch immer schwerer geplant werden können und schwer vorhersehbare Schwankungen im Netz wahrscheinlicher werden (Deutsche Energie-Agentur GmbH 2012). Zudem verschärfen sich Zielkonflikte zwischen der ökonomischen Effizienz, der ökologischen Qualität, der sozialen Akzeptanz und schließlich der operativen Beherrschbarkeit eines komplexen sozio-technischen Systems.

Komplexe Systeme

Die Infrastruktursysteme der Zukunft sind also durch vielfältige und teils neuartige Interaktionen technischer, sozialer, organisationaler, regulatorischer und normativer Komponenten geprägt; sie gewinnen dadurch beträchtlich an Komplexität.

Komplexe Systeme bestehen typischerweise aus einer großen Zahl von Komponenten, deren Interaktionen nur schwer zu durchschauen sind. Zwar sind in den meisten Fällen



die Mechanismen auf der Mikro-Ebene bekannt; dennoch ergeben sich auf der Makroebene oftmals überraschende und nicht vorhersagbare Effekte (Richter & Rost 2004; Weyer 2009).

Ein illustratives Beispiel ist der Verkehrsstau: Obwohl sich die Aktionen auf der Mikroebene des Fahrzeugs mit einfachen Algorithmen beschreiben lassen und obwohl die Regeln der Interaktion zwischen den Fahrzeugen bekannt sind, ist es schwer, die Entstehung von Makrophänomenen wie Staus präzise vorherzusagen. Oftmals entstehen sie praktisch aus dem Nichts. Zudem entwickeln sie ein eigentümliches, emergentes Verhalten: Obwohl sich die Fahrzeuge allesamt vorwärtsbewegen, bewegt sich der Stau mit einer konstanten Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung, wobei die Teilnehmer stetig wechseln (Resnick 1995; Epstein & Axtell 1996).

Neben dem emergenten – und für Beobachter oftmals überraschenden – Verhalten spielt auch die Nicht-Linearität der systemischen Interaktionen eine wichtige Rolle, mit dem oftmals erklärt wird, warum komplexe Systeme so schwer beherrschbar sind.

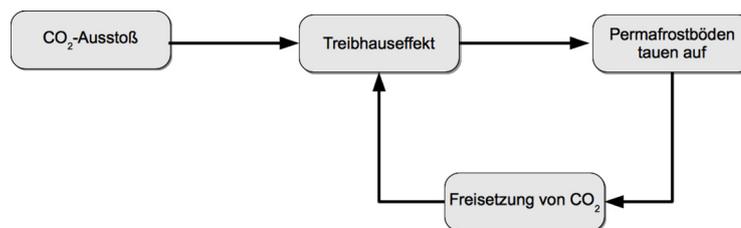


Abbildung 17: Nicht-Linearität am Beispiel des Treibhauseffekts (Quelle: Eigene Darstellung)

Nicht-Linearität entsteht unter anderem durch Rückkopplungsschleifen, wie sie etwa bei Klimaphänomenen bekannt sind: Der erhöhte Ausstoß von CO₂ lässt die Permafrostböden in Sibirien auftauen, wodurch wiederum große Mengen CO₂ freigesetzt werden, die ihrerseits den Treibhauseffekt beschleunigen usw. (vgl. Abb. 17). Derartige Prozesse sind rekursiv und irreversibel; zudem beschleunigen sie sich eigendynamisch.

Komplexe Systeme sind daher nur schwer zu beeinflussen beziehungsweise zu steuern. Eingriffe von außen führen oftmals zu unerwünschten beziehungsweise gegenteiligen Effekten oder verpuffen vollkommen.

Diese Unvorhersehbarkeit des Verhaltens komplexer Systeme wie auch die Nicht-Kontrollierbarkeit der ablaufenden Prozesse sind wesentliche Merkmale, auf die die sozialwissenschaftliche Komplexitätsforschung immer wieder verweist.¹²

¹² Zur Unterscheidung zwischen objektiver und subjektiver Komplexität siehe auch Kap. 2.5.3.



Komplexitätsmanagement

Charles Perrow hatte in seinem Buch „Normale Katastrophen“ (1987) die viel diskutierte These aufgestellt, dass bestimmte Typen von Hochrisiko-Systemen, deren Prozesse eng gekoppelt und durch komplexe Interaktionen gekennzeichnet sind, nahezu zwangsläufig scheitern müssen (vgl. Kap. 3.3.2). Und dennoch erwartet die Gesellschaft von den Organisationen, die derartige Systeme (der Luftfahrt oder der Energieversorgung) betreiben und managen, nicht nur eine hohe Performance, sondern zugleich die Gewährleistung eines großen Maßes an Sicherheit, Zuverlässigkeit und Fehlervermeidung (de Bruijne 2006).

Damit stellt sich die Frage, wie Organisationen, die komplexe, hochtechnisierte sozio-technische Systeme betreiben, mit diesen – z. T. widersprüchlichen – Erwartungen umgehen. Wie müssen sie strukturiert sein, damit sie den an sie adressierten Erwartungen gerecht werden, beispielsweise dafür zu sorgen, dass die Gesundheitsversorgung in Krankenhäusern auf einem hohen Niveau gewährleistet werden kann oder der Luftverkehr störungsfrei funktioniert? Und wie funktionieren derartige Organisationen, wenn immer mehr autonome Technik im Spiel ist, deren Zweck es ist, die Abläufe zu vereinfachen und Entscheidungen zu unterstützen, die aber oftmals das Problem der Intransparenz und Komplexität zusätzlich verschärft?

3.2 Fallbeispiele

Der folgende Abschnitt beleuchtet zunächst anhand einiger Fallbeispiele die Risiken komplexer Systeme, die sich unter anderem als Folgen von Digitalisierung und Automatisierung ergeben. Dies legt die Grundlage dafür, im nächsten Abschnitt (3.3) die Frage aufzugreifen, wie eine Organisation beschaffen sein muss, die ihre Mitglieder in die Lage versetzt, in kritischen Situationen das „Richtige“ zu tun.

Der Air-France-Flug AF-447 von Rio de Janeiro nach Paris

Am 31. Mai 2009 startete ein Langstrecken-Flugzeug vom Typ Airbus A330 von Rio de Janeiro nach Paris mit 216 Passagieren und zwölf Crew-Mitgliedern an Bord, davon drei Piloten im Cockpit, wie es bei Langstreckenflügen üblich ist. Nach Mitternacht schaltete sich beim Durchfliegen eines tropischen Gewittersturms der Autopilot ab, weil die Pitot-Röhrchen vereist waren und widersprüchliche Geschwindigkeitsangaben lieferten (BEA 2012) – ein nicht ungewöhnlicher und keineswegs kritischer Vorgang, der den Piloten bekannt gewesen sein muss.

Zu diesem Zeitpunkt hatte sich der Kapitän bereits zur Ruhe begeben und die beiden Co-Piloten im Cockpit hinterlassen, ohne jedoch zuvor eine Strategie zur Durchquerung des Gewittersturms abzusprechen. Zudem hatte er versäumt, die Autoritätsverhältnisse im Cockpit zu regeln, also unmissverständlich festzulegen, ob der „Pilot Flying“ (PF) oder der „Pilot Nonflying“ (PNF) die Aufgaben des Kapitäns übernehmen sollte. Diese



fehlende Rollenverteilung sollte sich als fatal erweisen; denn sie hat maßgeblich zum Absturz des A330 beigetragen.

Als sich der Autopilot abschaltete, übernahm der PF die manuelle Steuerung; seine Strategie zum Umgang mit dem Gewittersturm, die er sich individuell zurechtgelegt hatte, bestand darin, die riskante Zone zu überfliegen, was nicht ganz ohne Risiko war, weil in Höhen von 13.000 Metern die Luft ziemlich „dünn“ wird und das Flugzeug nicht mehr trägt. Aber dieses mentale Bild hat sein Handeln maßgeblich gesteuert, nämlich die Nase des Flugzeugs immer weiter hochzuziehen und auch die Stall-Warnung, die einen fatalen Strömungsabriss ankündigt, zu ignorieren. (Je steiler der Anstellwinkel wird, desto langsamer wird ein Flugzeug – bis zu dem Punkt, wo die Strömung an den Flügeln abreißt.) Der rapide Geschwindigkeitsverlust war letztlich der technische Grund für den Absturz des A330.

Fatal war aber auch, dass die Crew sich blind darauf verließ, dass der Bordcomputer eines Airbus-Jets riskante Flugzustände erkennt und stets zuverlässig verhindert, dass man kritische Grenzen überschreitet. Der Bordcomputer hatte jedoch längst auf „Alternate Law“ umgeschaltet, einen Modus, der den Piloten zwar größere Freiheiten lässt und mehr Möglichkeiten zum manuellen Eingreifen eröffnet, dafür aber auch weniger Sicherungen beinhaltet. Die Piloten hatten das Umschalten in diesen Zustand, der eine erhöhte Wachsamkeit erfordert hätte, jedoch offenkundig nicht registriert.

Was hätte die Crew in dieser Situation machen können (bzw. machen müssen)? Wie uns ein pensionierter Lufthansa-Pilot berichtet hat, der lange Zeit A330 geflogen ist, wäre es durchaus möglich gewesen, diese Situation zu meistern. (Ähnlich äußert sich der offizielle Untersuchungsbericht.) Man hätte in den entscheidenden zwei Minuten, als der Autopilot sich abgeschaltet hatte und das Display irreführende Daten anzeigte, auf manuelle Steuerung umschalten und stur geradeaus fliegen müssen. Denn die Flugdaten zeigen, dass das Flugzeug sich zu keiner Zeit in einer außergewöhnlichen Situation befunden hat; alle anderen Flugzeuge, die in der gleichen Nacht die gleiche Route geflogen sind, sind unbeschadet angekommen.

Es erstaunt, dass die Crew nicht in der Lage war, ein Flugzeug zwei Minuten lang manuell zu fliegen, was konkret bedeutet hätte, dass der PF die Maschine fliegt und der PNF sich um die Fehlerdiagnose und -behebung kümmert. Der Grund ist verblüffend einfach – und tragisch zugleich: Die Crew war auf diesen Fall schlecht vorbereitet und wurde von der Situation überrascht. Sie hatte keine gemeinsam erarbeitete Strategie, sondern agierte – vor allem in Person des PF – von Angst und Stress getrieben. Ihre mentalen Kapazitäten waren so stark absorbiert, dass sie nicht zu einem kontrollierten Krisenmanagement in der Lage war. In dieser Situation wurde fliegerische „Basics“ ignoriert, beispielsweise den Anstellwinkel und die Geschwindigkeit des Flugzeugs am „Primary Flight Display“ abzulesen.



Dennoch bleibt die Frage, warum eine Cockpit-Crew in einer Situation, die man gut hätte meistern können, derart die Kontrolle über ihr Flugzeug verloren hat? Die Antwort lautet (wie in anderen vergleichbaren Fällen, s. u.): mangelnde Kommunikation und unzureichendes Training. Das Problem des Strömungsabrisses („Stall“) wird zwar in den ersten Flugstunden trainiert, aber nur in Bodennähe und nicht in großen Höhen (und erst recht nicht im Modus des „Alternate Law“). Dass es auch in 12.000 Metern Höhe zu einem Strömungsabriss kommen kann, gehörte offenkundig nicht zu dem Wissen, das die Piloten in Stress-Situationen abrufen konnten. Sie hatten offenbar nicht verstanden, in welche kritische Lage sie ihr Flugzeug durch ein ständiges Hochziehen der „Nase“ gebracht hatten.

Und sie haben nicht ausreichend kommuniziert und so versäumt, ein gemeinsames Lagebild sowie eine abgestimmte Strategie zu entwickeln, was sie in die Lage versetzt hätte, in einer Krisensituation besonnen zu handeln. Den Kapitän trifft zweifellos eine große Schuld, denn die unklaren Autoritätsverhältnisse im Cockpit hatten beispielsweise zur Folge, dass der PF neben seiner eigentlichen Aufgabe, das Flugzeug zu fliegen, auch durch die Probleme abgelenkt war, die der PNF beim Ablesen von Meldungen des ECAM-Diagnosegeräts hatte. Eine klare Rollenverteilung im Cockpit hätte es wesentlich vereinfacht, mit diesen Problemen umzugehen.

Die Ergebnisse des Untersuchungsberichts (BEA 2012) sind erschütternd, und sie stehen im Widerspruch zu Mutmaßungen, die in den Jahren nach dem Unfall in der Presse geäußert wurden, bevor der Flugschreiber gefunden wurde; hier wurde der Unfall auf die bekannten Tücken der Automation zurückgeführt, nämlich dass der Autopilot sich wegen der vereisten Pitot-Röhrchen abgeschaltet und den Piloten die unmögliche Aufgabe übertragen hatte, ein instabiles Flugzeug ohne jegliche Information über Flugzustand, Geschwindigkeit etc. durch einen tropischen Gewittersturm zu manövrieren. Wenn man dem offiziellen Untersuchungsbericht Glauben schenkt, ist diese Interpretation offenkundig unhaltbar.

Vor dem Hintergrund der Frage nach der Beherrschbarkeit komplexer Systeme zeigt der Absturz der Air-France-Maschine mehrere Facetten: Zum einen wird deutlich, dass moderne Gesellschaften es sich angewöhnt haben, im Vertrauen auf das Funktionieren automatisierter Systeme Grenzen zu überschreiten und beispielweise Interkontinental-Nachtflüge durch Tropengewitter durchzuführen. Die Erwartung hoher Sicherheit – und damit das Risiko – sind also gestiegen.

Zum anderen wird deutlich, dass Piloten in der Lage sein müssen, in kritischen Situationen „automatisch“ auf manuelle Steuerung umzustellen und ein Flugzeug eine Weile manuell zu fliegen – eine Fähigkeit, die offenkundig verloren gegangen ist. Und schließlich muss jede Cockpit-Besatzung vor (und während) jedem Flug ein



gemeinsames Lagebild und eine Strategie zum Umgang mit Krisensituationen entwickeln, was eine funktionierende Kommunikation erfordert.

Das mag zunächst trivial und altbekannt klingen; aber es wird gerade in hochautomatisierten Flugzeugen immer dringlicher, diese beiden Voraussetzungen zu schaffen, damit Crews Situationen der Unsicherheit und des Risikos auch in komplexen sozio-technischen Systemen erfolgreich bewältigen können.

TCAS und das Flugzeugunglück bei Überlingen 2002

Das zweite Beispiel stammt ebenfalls aus dem Bereich der Luftfahrt, und das Unglück ereignete sich wiederum nachts. Es beleuchtet zum einen das Zusammenspiel von menschlichen Entscheidern und automatisierten Warn- und Assistenzsystemen (und hätte daher auch in Kap. 2 gepasst), zum anderen aber die Organisation des Risikomanagements im Luftraum, die Thema dieses Kapitels ist.

In der Nacht des 1. Juli 2002 stießen über dem Bodensee bei Überlingen zwei Flugzeuge zusammen, die beide mit einem „intelligenten“ Kollisionsvermeidungssystem namens TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) ausgerüstet waren, das derartige Zwischenfälle eigentlich zuverlässig vermeiden sollte. Neben einer Reihe menschlicher Fehler, unverantwortlicher Schlampereien, organisationaler Versäumnisse etc., die Ähnlichkeiten mit anderen Unfällen aufweisen, stellte sich als eine zentrale Unglücksursache bei den folgenden Untersuchungen heraus, dass die Piloten der russischen Maschine widersprüchliche Anweisungen erhalten hatten: Während das TCAS-System, das sich automatisch mit der anderen Maschine koordinierte, empfahl, in den Steigflug zu gehen, gab der Fluglotse am Boden genau das entgegengesetzte Kommando, nämlich eine Sinkflug-Anweisung. Der tiefere Grund für diese Verwirrung am nächtlichen Himmel war eine widersprüchliche Organisation des Risiko-Managements, die es dem Fluglotsen und den beiden Crews unmöglich machte, in dem extrem knappen Zeitraum von lediglich 50 Sekunden, welche für das Störfallmanagement blieben, die kritische Situation zu bewältigen (vgl. ausführlich Weyer 2006).

Die Steuerung des Luftverkehrs basiert seit den 1960er-Jahren auf einem hierarchischen Modus der zentralen Kontrolle, die vom Fluglotsen exekutiert wird und der die Piloten blind folgen müssen (vgl. Deuten 2003). Blind im wahrsten Sinne des Wortes, denn ein Pilot hatte bis zur Einführung von TCAS an Bord des Flugzeugs keinerlei Instrumente, mittels derer er sich ein eigenes Lagebild hätte verschaffen können. Vor dem Hintergrund einer Zunahme der Beinahe-Kollisionen in überfüllten Lufträumen sowie einiger tragischer Unglücke in den USA in den 1970er-Jahren wurde eine Art Nahbereichs-Kollisionsschutz für Flugzeuge entwickelt, die unter dem Namen TCAS seit 1994 in den USA und seit 2000 in Europa zur Pflichtausstattung von



Verkehrsflugzeugen gehört und die Piloten immer dann warnt, wenn eine gefährliche Annäherung droht. TCAS ist ein hochentwickeltes technisches Agentensystem, das dem Piloten erstmals ein unabhängiges Lagebild verschafft; zudem ermöglicht es eine dezentrale Koordination zweier Flugzeuge im Luftraum, die ihre Ausweichmanöver untereinander, aber nicht mit dem Fluglotsen abstimmen.

TCAS ist ein Assistenzsystem, das den Piloten bei der Wahl einer Handlungsalternative unterstützt, ihm die Handlung aber nicht abnimmt. Es operiert autonom und generiert durch Koordination mit dem TCAS des anderen Flugzeugs automatisch einen Vorschlag zur Konfliktlösung, der dann vom Piloten praktisch umgesetzt werden muss. Dabei sieht die in amerikanischen Flugzeugen praktizierte Sicherheitskultur vor, dass in einer Notsituation, die durch die Aktivierung von TCAS entstanden ist, der Pilot blind den Anweisungen des technischen Systems folgt und die Kommandos des Fluglotsen ignoriert, weil man unterstellt, dass TCAS nur aktiv wird, wenn der Fluglotse eine kritische Annäherung zweier Flugzeuge übersehen hat.

An Bord russischer Flugzeuge existierte hingegen eine andere Sicherheitskultur (die sich in Übereinstimmung mit den damaligen – und mittlerweile geänderten – Vorgaben der internationalen Luftfahrtorganisation ICAO befand): Hier hatte der Fluglotse die oberste Autorität, weil nur er den vollständigen Überblick über den gesamten Luftraum besitzt; TCAS hingegen galt als unzuverlässig und lückenhaft, weil beispielsweise Frachtflugzeuge oder kleinere Passagierflugzeuge nicht verpflichtet waren, dieses System als Standardausrüstung an Bord zu haben, man also immer davon ausgehen musste, dass sich weitere Flugzeuge im Luftraum befinden könnten, die von TCAS nicht entdeckt werden konnten.

Ohne hier auf weitere Details eingehen zu können, wird deutlich, dass die Implementation eines neuen Sicherheitssystems (TCAS) parallel zu dem bestehenden System der traditionellen Flugsicherung neuartige Unsicherheiten produziert hatte. Diese resultierten zum einen daraus, dass TCAS nicht störungsfrei funktionierte, sondern immer wieder Fehlalarme auslöste, was den Piloten zu erhöhter Aufmerksamkeit zwang. Zum anderen war ein neues Risiko derart entstanden, dass nunmehr im Luftraum zwei miteinander nicht vernetzte Sicherheitssysteme im Einsatz waren, die nach völlig unterschiedlichen Steuerungslogiken operierten: dem Modus der zentralen Kontrolle bzw. dem der dezentralen Selbst-Koordination.

Dieses unkoordinierte Nebeneinander zweier technischer Systeme, die unterschiedliche Sicherheitsphilosophien enthalten, führt zu neuartigen Entscheidungsproblemen: Früher musste der Pilot die Frage beantworten, ob sich ein anderes Flugzeug auf Kollisionskurs befand (Entscheidung 1. Ordnung); heute muss er die Entscheidung fällen, welchem der beiden technischen Systeme, die ihn vor einer möglichen Kollision warnen, er vertrauen und Folge leisten soll (Entscheidung 2. Ordnung). Trotz hochgradig automatisierter



Prozesse erleben wir hier also ein – geradezu paradoxes – Re-entry des menschlichen Entscheiders in Prozesse, die sich auf einem höheren Level der Unsicherheit abspielen als zuvor. Der sich gegenwärtig vollziehende radikale Wechsel der Sicherheitsarchitektur in der Luftfahrt führt so zu schwer lösbaren Konflikten.

Bei der Kollision über dem Bodensee spielte eine Reihe von Faktoren eine Rolle, deren zufälliges Zusammentreffen erst die Katastrophe auslöste. Zentrale Ursache war jedoch Organisationsversagen aufseiten der Schweizer Flugsicherung Skyguide, vor allem aber in der Organisation des internationalen Luftraums, in dem eine neu eingeführte Sicherheits-Technik zusätzliche Risiken produziert hatte.

Fukushima 2011

Der nukleare GAU im Atomkraftwerk Daiichi nahe Fukushima wurde ausgelöst durch ein starkes Seebeben am 11. März 2011, das einen Tsunami nach sich zog, der mit bis zu 15 Meter hohen Wellen das an der Ostküste Japans gelegene Kraftwerk überflutete, weil dessen Schutzmauern zu niedrig waren. Die sechs Reaktoren hatten sich zu diesem Zeitpunkt bereits automatisch abgeschaltet.¹³

Insgesamt hat die Atomanlage sowohl das Erdbeben als auch den Tsunami zunächst überstanden; die Überflutung hatte lediglich die externe Stromversorgung sowie Teile der Notstromversorgung und der Kommunikationseinrichtungen zerstört. Es wäre daher durchaus möglich gewesen, den GAU zu vermeiden, wenn man rasch dafür gesorgt hätte, dass die Stromversorgung wieder funktioniert und die Reaktorblöcke ausreichend gekühlt werden. Bis zur Kernschmelze am 13. März und der dadurch bedingten Freisetzung von Radioaktivität vergingen ganze zwei Tage, in denen zu wenig getan wurde, um den GAU zu vermeiden. Dies ist die bittere Lehre aus Fukushima, die im Widerspruch zu Perrows These der normalen Katastrophen (vgl. Kapitel 3.3.2), wie auch im Widerspruch zur öffentlichen Wahrnehmung nicht beherrschbarer Risiken der Atomkraft stehen (der auch der Autor dieses Berichts zugeneigt ist).

Dass ein angemessenes Krisenmanagement nicht zustande kam, hat (wie immer) mehr als eine Ursache:

- Im Vorfeld war versäumt worden, höhere Schutzmauern zu errichten und die Atomanlage an das Tsunami-Warnsystem anzuschließen; damit hatte man leichtsinnig auf Puffer verzichtet, die die Folgen des Tsunamis hätten abmildern können, und so den eigenen Handlungsspielraum eingeschränkt (vgl. Abb. 18).
- Es gab nur unzureichende Notfallplanungen, die insbesondere die Möglichkeit paralleler Unglücke in mehreren Reaktorblöcken nicht berücksichtigt hatten; Maßnahmen zur schnellen Wiederherstellung der Stromversorgung wurden daher nicht zu einem Zeitpunkt ergriffen, als es noch gefahrlos möglich gewesen wäre.

¹³ Die Darstellung folgt dem Wikipedia-Artikel „Nuklearkatastrophe von Fukushima“ (2017) sowie (Perrow 2011).



- Insgesamt wurden zu wenig Einsatzkräfte mobilisiert, was darauf verweist, dass bei Tepco, dem Betreiber der Anlage, ein Worst-Case-Denken nicht vorhanden war.
- Hinzu kamen politische Interventionen seitens der japanischen Regierung, die verhinderten, dass rasch umfassende Maßnahmen zur Störfallbehebung (auch unter Nutzung von Angeboten aus dem Ausland) in die Wege geleitet wurden.

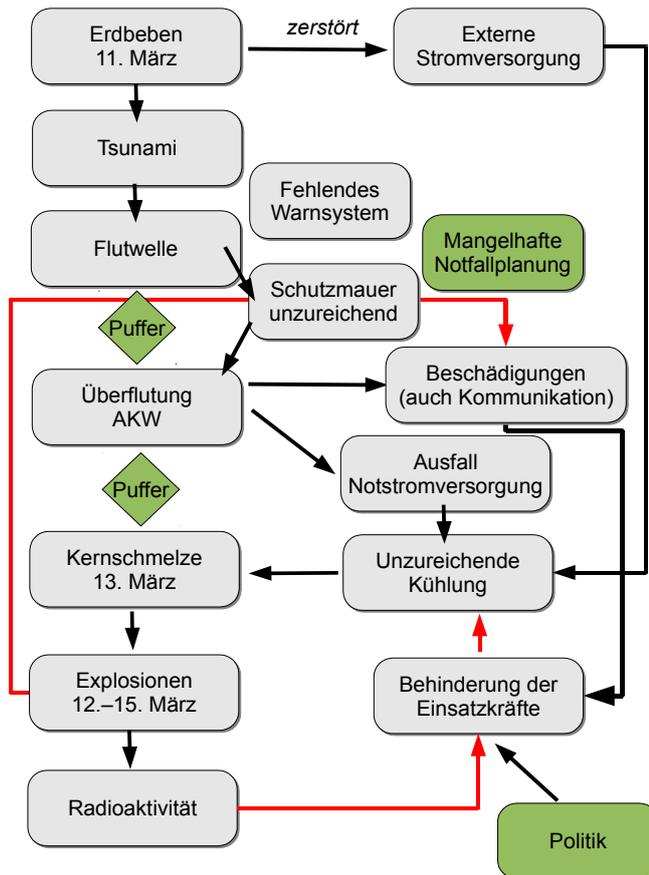


Abbildung 18: Die Abläufe in Fukushima im März 2011 (Quelle: Eigene Darstellung)

So verstrichen bis zur Kernschmelze am 13. März zwei volle Tage und damit wertvolle Zeit, die hätte genutzt werden können, um die Katastrophe zu vermeiden. Nach der Kernschmelze nahmen die Dinge dann jedoch ihren verhängnisvollen Lauf. Abbildung 18 zeigt die beiden Rückkopplungsschleifen, durch die sich das gesamte Szenario beschleunigte und irreversibel in die Katastrophe führte:

- Die Explosionen in mehreren Reaktorblöcken zwischen dem 12. und dem 15. März beschädigten die Anlage, aber auch die Kommunikationseinrichtungen zusätzlich, was die Einsatzkräfte behinderte und damit zu einer unzureichenden Kühlung der Reaktoren führte, welche die Kernschmelze beschleunigte (1. Feedback-Loop).
- Die dadurch freigesetzte Radioaktivität war ein weiterer Faktor, der die Einsatzkräfte behinderte und damit die Katastrophe beschleunigte (2. Feedback-Loop).



Zusammenfassend kann man also feststellen, dass das Unglück in Fukushima seine Ursache vor allem in der mangelhaften Vorbereitung und Planung für den Ernstfall hatte, also in einem Versagen einer Organisation, die es nicht vermocht hatte, die spezifischen Risiken eines Hochrisiko-Systems Atomkraftwerk in ihrem Krisenmanagement ausreichend zu berücksichtigen.

Deepwater Horizon 2010

Am 20. April 2010 explodierte die Ölplattform Deepwater Horizon im Golf von Mexiko aufgrund des explosionsartigen Ausströmens von Gas („Blowout“) aus einer frisch erschlossenen Ölquelle. Elf Menschen kamen bei der Explosion ums Leben; und in der Folge entwickelte sich eine gigantische Umweltkatastrophe, bei der 800 Millionen Liter Öl ins Meer flossen, die erst am 16. Juli 2010 gestoppt werden konnte. Die Firma Transocean hatte im Auftrag von BP mit der Deepwater Horizon eine Tiefseebohrung in 6.000 Metern Tiefe durchgeführt und war dabei auf eine lukrative Ölquelle gestoßen.

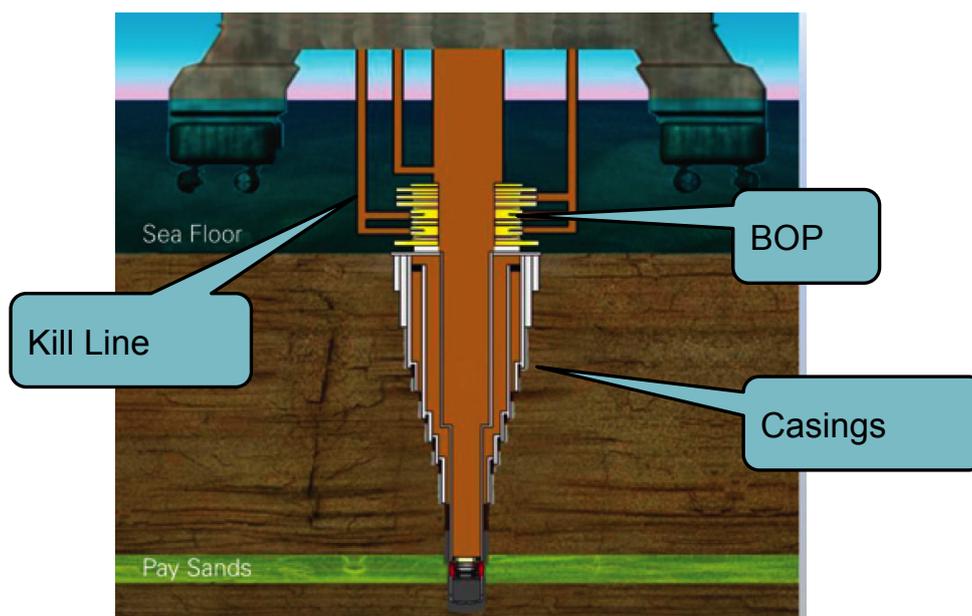


Abbildung 19: Funktionsprinzip einer Ölbohrplattform (Quelle: Report to the President 2011, S. 103)

Um die Vorgänge zu verstehen, muss man sich ein paar technische Details einer Tiefseebohrung vergegenwärtigen (vgl. Abb. 19). Das Bohrgestänge trifft in einigen 1.000 Metern Tiefe auf den Meeresboden und bohrt dort einen senkrechten, wiederum mehrere 1.000 Meter tiefen Schacht, der sukzessive mit einem System ineinander verschachtelter, sich nach unten verjüngender Röhren (den „Casings“) ausgekleidet wird. Die Zwischenräume werden mit Zement versiegelt; zudem wird beim Erreichen der ertragreichen Schichten („Pay Sands“) am Ende des Bohrlochs ein Zementpfropfen gesetzt. Denn die Deepwater Horizon war eine Explorations-Plattform, die potenzielle



Ölquellen lediglich erkunden sollte, die eigentliche Förderung des Öls jedoch anderen Plattformen überließ.

Ein wichtiges Element der Sicherheitsstrategie ist der sogenannte Blowout-Preventer (BOP) – ein gigantisches Ventil, das im Notfall das Fördergestänge durchtrennt und das Bohrloch automatisch verschließt. Zudem können über spezielle Röhrensysteme („Kill Line“) Materialien nach unten befördert werden.

Gebohrt wird mit einem Bohrgestänge, das sich in dem Röhrensystem befindet (und später durch die Produktionsröhre ersetzt wird). Dabei kommt ein spezieller Bohrschlamm zum Einsatz, der nicht nur die Bohrung kühlt, sondern auch dafür sorgt, dass das Material in dem Bohrloch zirkuliert. Denn nur so kann das gelöste Gestein nach oben transportiert werden. Der Bohrschlamm dient auch dazu, den Druck und damit die Dichtigkeit des Bohrlochs zu messen; denn einen „Lost Return“ – also eine Differenz zwischen dem, was hineingepumpt und anschließend wieder nach oben gefördert wird – ist ein Alarmsignal, weist es doch auf eine undichte Stelle im Bohrloch hin.

Fehler und Versäumnisse

Auf der Deepwater Horizon wurden eine Menge Fehler gemacht, die sich letztlich zu einer gigantischen Katastrophe aufschaukelten (National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling 2011):

- Um das Röhrensystem zu zentrieren, wurden lediglich sechs statt der vorgeschriebenen 15 Zentrierkörbe verwendet; bei dieser Entscheidung spielte Zeitdruck eine große Rolle.
- Bei der Montage der Produktionsröhre (die in den fertigen Bohrschacht eingesetzt wird) wurden erhebliche Fehler gemacht; dabei wurden fehlerhafte Angaben eines defekten Druckmessgerätes schlicht „weginterpretiert“.
- Bei der Anfertigung des Zementpfropfens wurde zu wenig und nicht ausreichend getesteter Zement verwendet; zudem wurde mit zu wenig Druck gearbeitet, sodass nicht sichergestellt werden konnte, ob der Zementpfropfen am richtigen Platz war. Dabei hat die Angst vor dem Aufbrechen eines möglicherweise instabilen Bohrlochs eine große Rolle gespielt.
- Die widersprüchlichen Daten, welche die anschließenden Drucktests lieferten, wurden ignoriert.
- Schließlich wurden die Warnsignale kurz vor dem „Kick“ nicht ernst genommen.

Auch hier stellt sich wiederum die Frage, wie dies auf einer Öl-Bohrplattform passieren konnte, deren Operation mit einem hohen Risiko verbunden ist und von deren Crew man daher eine erhöhte Wachsamkeit erwarten kann.

Ursachen der Katastrophe

Der Bericht der Untersuchungskommission, die der US-Präsident eingesetzt hatte, sieht „systemische Fehler im Risikomanagement“ als eine der wesentlichen Ursachen der



Katastrophe, die – ihrer Einschätzung zufolge – vermeidbar gewesen wäre (National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling 2011, S. 7). Sie attestiert den beteiligten Organisationen eine mangelnde Sicherheitskultur (S. VII) und eine Selbstgefälligkeit, die dazu führte, dass man sich in falscher Sicherheit wähnte (S. IX). Zudem verweist der Bericht darauf, dass „Entscheidungen durch das BP-Team in einer Ad-hoc-Manier und ohne eine formale Risikoanalyse vorgenommen worden sind“ (S. 122–123).

Die Katastrophe der Deepwater Horizon verweist aber auch auf das – oben bereits angesprochene (Kap. 2.5.3) – Phänomen der fehlerhaften mentalen Modelle, die hier offenbar eine entscheidende Rolle gespielt haben. Bei einer Ölbohrplattform gibt es keinen direkten Zugang zu Informationen vor Ort – weder analog noch digital. Das einzige „Messinstrument“, das dem Bohrteam zur Verfügung steht, um zu verstehen, was sich in mehreren 1.000 Metern Tiefe abspielt, ist der Bohrschlamm, genauer: der Druck, der mithilfe des Bohrschlammes gemessen wird. Der Bohrschlamm ist also Arbeitsgerät und Messgerät in einem. Dies verlangt von der Bohr-Crew ein erhebliches Fingerspitzengefühl und eine Menge Erfahrung, um die schwachen Signale richtig zu interpretieren. An Bord einer Ölbohrplattform gibt es also keine objektiven Fakten; stattdessen ist jede Menge Interpretations- und Deutungsarbeit erforderlich.

Und hier wurden offenbar entscheidende Fehler gemacht, und zwar nicht individuelle Fehler, sondern Fehler im Kollektiv. Ein Zitat aus dem Untersuchungsbericht verdeutlicht, dass das Bohrteam so lange nach Interpretationen für widersprüchliche Signale und Daten suchte, „bis sie *sich selbst überzeugt* hatten, dass ihre Annahmen richtig waren“ (S. 119, Hervorh. d. Verf.). Die fehlerhaften Interpretationen entstanden also in den Köpfen der Mitarbeiter (engl. „in the head“) bzw. präziser: zwischen den Köpfen der Beteiligten.

Der Untersuchungsbericht macht jedoch auch deutlich, dass dies nicht lediglich ein Versagen des Bohrteams der Deepwater Horizon war, sondern dass es erhebliche Defizite in der Kommunikation zwischen den beteiligten Firmen sowie in der Ausbildung und dem Training der Bohrteams, aber auch in der staatlichen Regulierung gab, die für das Unglück mit verantwortlich zu machen sind.

3.3 Organisationale Strategien des Umgangs mit Unsicherheit

Die vier Beispiele werfen die Frage auf, wie Organisationen beschaffen sein müssen, um ein hohes Maß an Sicherheit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Was können bzw. müssen sie tun, um derartige Katastrophen zu vermeiden? Welche Struktur und welche (Sicherheits-)Kultur muss geschaffen werden, und wie müssen die Mitglieder



darauf vorbereitet werden, dass unerwartete Situationen auftreten können, in denen ein kompetentes und flexibles Störfallmanagement erforderlich ist?

Eine Antwort lautet: Es wird ein intensiveres Training benötigt – typischerweise im Simulator –, das die Mitarbeiter in die Lage versetzt, derartige Situationen zu antizipieren und gedanklich durchzuspielen. Chesley Sullenberger, der nur wenige Monate zuvor einen verunglückten Airbus A320 sicher auf dem Hudson River gelandet hatte, ist ein Beispiel für einen Piloten, der sich sein Leben lang in unterschiedlichen Kontexten gedanklich auf eine Situation vorbereitet hat, die dann kurz vor Ende seiner Dienstzeit erstmals eintrat und die er daher souverän meistern konnte. Weder Air France, noch BP, noch Tepco haben hier genug getan, um ihre Mitarbeiter darauf vorzubereiten, in unerwarteten Situationen das Richtige zu tun.

Eine zweite Antwort, die vor allem auf die Beispiele aus der Luftfahrt zutrifft, lautet: Gerade in Zeiten des hochautomatisierten Fliegens ist es extrem wichtig, dass Piloten über die Fähigkeit verfügen, „automatisch“ in den manuellen Modus umzuschalten und ein Flugzeug einige Minuten manuell zu steuern. Wie Lufthansa-Ausbilder kritisch anmerken, verbringen junge Flugschüler viel zu viel Zeit damit, den Autopiloten zu „reparieren“, also mit Versuchen ihm beizubringen, dass er das tut, was er tun sollte, statt einfach auf manuelle Steuerung umzuschalten und so Zeit zu gewinnen, um das Problem in Ruhe zu lösen. Wenn autonome Fahrzeuge vermehrt auf den Markt kommen, wird dieses Problem vermutlich auch in anderen Kontexten auftreten.

Eine dritte Botschaft lautet: Das gemeinsame Lagebild einer Crew ist eine wesentliche Voraussetzung für ein erfolgreiches Krisenmanagement. Es hilft, mit Nichtwissen und Unsicherheit umzugehen, und es bildet die Grundlage für ein flexibles Krisenmanagement, in dem jeder ein Maximum an Kräften mobilisieren kann, weil sie/er instinktiv weiß, was die anderen wissen. Diese Fähigkeit zur kollektiven Improvisation wird vor allem in Zonen des Nichtwissens benötigt, für die es keine vorgefertigten Routinen gibt (Weick & Sutcliffe 2007).

Und viertens schließlich: Eine Organisation, die ein kritisches Infrastruktursystem betreibt, muss eine Sicherheitskultur, vor allem aber eine Kultur der Achtsamkeit entwickeln, auf deren Grundlage sich die drei bereits genannten Faktoren entwickeln und entfalten können.

Die vier Fallbeispiele zeigen, wie wichtig es ist, den Mitarbeitern Spielräume für die Bewältigung von Unsicherheit vor Ort zu belassen, sie zugleich aber intensiv darin zu trainieren, mit unerwarteten Situationen flexibel und kreativ umzugehen.

Im den Abschnitten 3.3.2 bis 3.3.4 werden unterschiedliche Konzepte des organisationalen Umgangs mit Unsicherheit vorgestellt, die sich in ihren theoretisch-



konzeptionellen Grundannahmen, aber auch in ihren praktischen Handlungsempfehlungen zum Teil erheblich unterscheiden. Zunächst soll jedoch in Abschnitt 3.3.1 ein allgemeiner Rahmen aufgespannt werden, innerhalb dessen sich die organisationssoziologische Debatte abspielt.

Minimierung versus Bewältigung von Unsicherheit

Im Prinzip lassen sich zwei Ansätze zum Umgang mit Unsicherheit unterscheiden: die Minimierung von Unsicherheit durch antizipative Planung und die Bewältigung von Unsicherheit durch flexibles Handeln am Ort des Geschehens (Grote 2009).

Minimierung von Unsicherheit

Der erste Ansatz eignet sich insbesondere für geschlossene, mechanische Organisationen, deren Abläufe leicht vorhersehbar sind und deren Umwelt wenig turbulent ist (bzw. für Organisationen, die unterstellen, dass dem so sei). Hier gibt es eine zentrale Instanz, die (vorab) einen strategischen Plan entwirft, der im operativen Geschäft dann strikt abgearbeitet wird. Auf diese Weise soll jedwede Unsicherheit von vornherein eliminiert werden.

Was in dieser Kurzform wie ein Zerrbild vergangener Tage wirken mag, ist gängige Praxis in Organisationen, in denen die Prozesse IT-gestützt ablaufen. Denn die Implementierung organisationaler Prozesse in Form von Software bedeutet ja nichts anderes, als dass die Abläufe vorab geplant werden und dass alle Eventualitäten im Design bereits berücksichtigt sind. Dies kann entweder bedeuten, dass die Software sehr umfangreich und daher tendenziell komplex ist, weil sie eine große Zahl von Eventualitäten abbildet. Oder sie ist zwar einigermaßen „schlank“ und überschaubar, bietet aber in unerwarteten Fällen keine praktikable Lösung und behindert evtl. sogar ein flexibles Umgehen mit Störungen, weil die Prozesse derart verriegelt sind, dass keine Spielräume für ein flexibles Eingreifen existieren (etwa im Fall des Lufthansa-Airbus, der 1993 in Warschau verunglückte).

Eine Automatisierung organisationaler Prozesse beinhaltet also immer die Unterstellung, dass die Organisation mechanisch funktioniert und zentral geplant werden kann – und dass zudem sämtliche Prozesse durch einen Soll-Ist-Abgleich leicht kontrolliert werden können. Ein derartiger Kontrollwahn zeigt spätestens in nicht-antizipierten Situationen seine Schwächen, wenn sich die Grenzen des Wissens auftun und flexible Strategien des Umgangs mit Nicht-Wissen gefragt sind.

Bewältigung von Unsicherheit

Ein flexibles Krisenmanagement erfordert eine andere Organisationsstruktur und eine andere Form der Koordination und Planung. Der zweite Ansatz zum Umgang mit



Unsicherheit akzeptiert daher zunächst die Tatsache, dass vielfältige Unsicherheiten bestehen, die nicht vorab weggeplant werden können, sondern im praktischen Handeln am Ort des Geschehens bewältigt werden müssen. Unsicherheit wird hier also durchaus als Chance gesehen, als mögliche Quelle von Lernprozessen und Innovationen. Um in schwer planbaren Situationen flexibel agieren zu können, benötigen die Operateure jedoch die erforderlichen Ressourcen für situationsadäquate Entscheidungen und Handlungen sowie das nötige Erfahrungswissen (Bauer et al. 2002). Dieser Ansatz setzt also auf lokale Autonomie und ein wesentlich geringeres Maß an Kontrolle. Die Planung vollzieht sich also viel stärker dezentralisiert. Es versteht sich von selbst, dass dieser Ansatz sich nicht mit Automationsstrategien verträgt, die auf eine weitgehende Verdrängung oder Ersetzung des Menschen zielen. Der Mensch ist in einem derartigen Szenario die wichtigste Ressource, die das reibungslose Funktionieren eines komplexen Systems auch in nicht-antizipierten Situationen gewährleisten kann.

Allerdings bleibt die Frage offen, ob man ein komplexes, sicherheitskritisches System ausschließlich mit Verfahren der dezentralen, flexiblen Selbstorganisation (z. B. Schwarmintelligenz) betreiben kann oder ob nicht doch ein Minimum an Abstimmung und Planung erforderlich ist. Schwärme können in die falsche Richtung fliegen und Ergebnisse produzieren, die wir als nicht akzeptabel betrachten. Das Unglück bei der Love Parade 2010, die immer wiederkehrenden krisenhaften Zuspitzungen an den Finanzmärkten, aber auch der alltägliche Verkehrsstau seien hier als Beispiele für emergente Effekte schwarmförmigen Verhaltens zitiert, die wir zu verhindern wünschen.



	Minimierung	Bewältigung	Lose Kopplung
Umgang mit Unsicherheit	Vermeidung	Nutzung	(Kombination von beidem)
Organisation als ...	geschlossenes System (Stabilität)	offenes System (Flexibilität)	dynamische Balance von Stabilität und Flexibilität
Koordination durch ...	zentrale Planung	dezentrale Selbstorganisation	flexibler Wechsel zwischen Planung und Improvisation
Autonomie/Kontrolle	zentral	lokal	Autonomie zweiter Ordnung

Tabelle 7: Die drei Modi der Organisation (Quelle: Grote 2009, S. 31 mit Modifikationen)

Lose Kopplung

Hier setzt das Konzept der losen Kopplung von Karl Weick an, welche die Stärken der beiden Ansätze kombiniert und deren Schwächen zu vermeiden sucht.¹⁴ Weicks Idee einer Kombination von Planung und Selbstorganisation zielt auf die Fähigkeit einer Organisation, unterschiedliche Modi des Umgangs mit Unsicherheit zu beherrschen und zwischen ihnen flexibel wechseln zu können (vgl. auch Kap. 3.3.3 zu HROs). Lose Kopplung bedeutet also, eine produktive Balance zwischen Stabilität und Flexibilität zu finden. Die Integration dieser scheinbar widersprüchlichen Anforderungen geschieht durch eine starke Organisationskultur, die den Organisationsmitgliedern die nötigen Orientierungen vermittelt und ihr lokales Handeln an die globalen, konsentierten Ziele rückbindet. Eine zentrale Voraussetzung für die Realisierung dieses neuartigen Ansatzes einer kollaborativen Planung ist eine Autonomie zweiter Ordnung („higher order autonomy“), die den Beteiligten gestattet, nicht nur autonom zu entscheiden, was in einer konkreten Situation zu tun ist, sondern auch mitzuentcheiden, wie operative Autonomie durch das Design der Organisation und die Rollenverteilung zwischen Mensch und Technik realisiert wird.

¹⁴ Weicks Begriff der losen Kopplung sollte nicht mit dem Perrow'schen Begriff der losen (gleichgesetzt mit geringer) Kopplung verwechselt werden (vgl. Kap. 3.2.2).



Normal Accidents Theory

Dieser Ansatz steht in klarem Gegensatz zur „Normal Accidents Theory“. Charles Perrow (1987) hatte in den 1980er-Jahren – ausgelöst durch die Unfälle in Three Miles Island (1979) und Tschernobyl (1986) – die Risikoforschung durch eine dezidiert organisationssoziologische Perspektive bereichert, die auf das Design des gesamten Systems mit seinen sozialen und technischen Komponenten fokussiert, statt es bei dem üblichen Verweis auf menschliches oder technisches Versagen zu belassen. Dies ist – bei aller berechtigter Kritik – Perrows große Leistung (Shrivastava et al. 2009). Anders als die technische Sicherheitsforschung schaute er nicht primär auf Ausfallwahrscheinlichkeiten und Schadenshöhe, sondern nahm das Gesamtdesign des sozio-technischen Systems in den Blick und rückte die Interaktion der Systemkomponenten in den Mittelpunkt, die „Art und Weise, wie die Teile ineinander greifen [sic] und interagieren“ (Perrow 1987, S. 410).

Perrow stellte die These auf, dass Unfälle in komplexen technischen Systemen unvermeidlich sind, und verband dies mit der Forderung, auf Hochrisiko-Systeme ganz zu verzichten, weil sie nicht beherrschbar seien. Perrow benutzte zwei Indikatoren zur Vermessung der Risiken komplexer technischer Systeme:

Die *lose bzw. enge Kopplung* der Systemkomponenten: Bei loser Kopplung existieren Puffer sowie Spielräume für alternative Verhaltensweisen (Beispiel: Postamt). In eng gekoppelten Systemen ist diese Flexibilität hingegen nicht gegeben; die Betriebsabläufe sind weitgehend vorprogrammiert, sodass Abweichungen und Verzögerungen nur begrenzt möglich sind (Beispiel: Schienenverkehr). Eng gekoppelte Systeme sind somit störanfälliger als lose gekoppelte Systeme.

Die *lineare bzw. komplexe Interaktion* der Systemkomponenten: Bei linearen Interaktionen ist der künftige Zustand des Systems aus den Ausgangsbedingungen ableitbar (Beispiel: Fließband). Komplexe Interaktionen sind hingegen gekennzeichnet durch Rückkopplungen, d. h. die Ergebnisse eines Prozesses werden wiederum zum Input, was unkontrollierbare Selbstverstärkungen und Kettenreaktionen zur Folge haben kann (Beispiel: Chemieanlage, Kernkraftwerk). Typisch sind auch Mehrfachfunktionen: Eine Komponente bedient mehrere Prozesse gleichzeitig, was im Falle einer Störung zu unerwarteten Interaktionen führen kann. Das Verhalten komplexer Systeme ist somit schwer durchschaubar und nur partiell vorhersehbar. Das Bedienungspersonal ist zudem meist auf indirekte Indikatoren angewiesen, wodurch die Steuerung und Kontrolle eines komplexen Systems zusätzlich erschwert wird; dies gilt insbesondere für den Störfall.

Auf Basis dieser Typologie hat Perrow eine Vierfelder-Matrix entwickelt und eng gekoppelte *und* komplexe Systeme als Hochrisiko-Systeme eingestuft – verbunden mit



der Forderung, sie entweder grundlegend zu verändern oder – wo dies nicht möglich ist – auf sie ganz zu verzichten.

Bei genauerer Betrachtung erweist sich Perrows Ansatz allerdings als unhaltbar. Seine Kategorien sind nicht präzise und objektiv definiert, die Fallbeispiele haben eher illustrativen Charakter, und sein Wissen über die Risiken komplexer Systeme bezieht er im Wesentlichen aus der Analyse bereits eingetretener Unfälle, also ex-post – ein methodisch höchst fragwürdiger Zirkelschluss, der Systeme dann als riskant einstuft, wenn bereits ein Unfall passiert ist.

Auch die Zuordnung ganzer Branchen zu einem Quadranten des Vierfelder-Schemas ist immer wieder kritisiert worden, verbunden mit der Forderung, das spezifische Risikomanagement in den jeweiligen Organisationen detaillierter zu analysieren (Leveson 2009). Atomwaffen (eng/komplex) sind nun einmal deutlich sicherer als Bergwerke (lose/linear), zumindest wenn man Unfallstatistiken zu Rate zieht.

Alternativ-Konzept von Komplexität

Trotz aller Kritik ist die organisationssoziologische Perspektive, die Perrow einnimmt, ein wertvoller Ansatz. Deshalb unterbreite ich hier einen Alternativ-Vorschlag, der auf einer systematischen Trennung von drei Ebenen basiert:

- Die Ebene des *Systems*, das – im Fall linearer Systeme – aus trassenförmigen Pfaden mit wenigen Verzweigungen bestehen kann (Beispiel: Schienennetz der Deutschen Bahn) oder – im Fall komplexer Systeme – eine netzwerkförmige Architektur mit einer großen Zahl von vielfach verknüpften Kanten und Knoten besitzen kann (Beispiele: Internet, AKW, Flugzeug, Chemieanlage). In komplexen Systemen sind somit Rückkopplungen möglich (der Output eines Teils wird zum Input desselben, vgl. Kap. 3.1.3) – beispielsweise in Form einer Kettenreaktion, die schließlich zum GAU führt, während der Störfall in linearen Systemen typischerweise der Stau ist;
- die Ebene des *Nutzers*, dem die Topologie eines komplexen Systems eine große Zahl an Alternativoptionen eröffnet (z. B. Routing von Mails), was bei linearen Systemen meist nicht der Fall ist (z. B. im Fall einer Zugverspätung);
- schließlich – und davon völlig getrennt – die Ebene des *Systemsteuerers* (Operator), der im Fall eines linearen Systems zwar leichter erkennen kann, wo die Störung zu lokalisieren ist, aber auch weit weniger Möglichkeiten hat, die Abläufe zu verändern als im Fall eines komplexen Systems, das einerseits schwer zu durchschauen ist, andererseits aber auch mehr Optionen beinhaltet.



		Lineares System	Komplexes System
SYSTEM	Topologie	trassenförmige Pfade ohne Verzweigungen (bzw. mit wenigen Verzweigungen)	vielfach verknüpfte Systeme; netzwerkförmige Architektur mit vielen Verzweigungen
		wenige Kanten, wenige Knoten	viele Kanten, viele Knoten
	Rückkopplungen	nicht möglich	möglich
	Störungstypus	Stau	GAU („Crash“)
	Regeneration	einfach	unterschiedlich (Internet vs. AKW)
NUTZER	Art der Interaktion	sequenziell	sequenziell und rekursiv
	Wahlmöglichkeiten	keine Alternativen (bzw. geringe Zahl)	große Zahl an Alternativen
OPERATOR	Eingriffsmöglichkeiten	wenige Optionen	alternative Optionen
	Durchschaubarkeit	einfach	schwer
	Lokalisierung von Störungen	einfach	schwer
	Substitution von Komponenten	einfach	schwer
BEISPIELE		Fließband (eng/lose), Schienenverkehr (eng/lose)	AKW, Flugzeug, Chemieanlage, Börse (alle eng), Universität (lose)

Tabelle 8: Alternativ-Konzeption von Komplexität (Quelle: Eigene Darstellung)

Das Schema hat den Vorteil, objektive Dimensionen der Systemebene und subjektive Faktoren der Nutzer- bzw. Operator-Ebene deutlich zu trennen und so den Komplexitätsbegriff besser handhabbar zu machen. Zudem verzichtet es auf normative Wertungen und versucht zunächst, objektive Maßstäbe zur Vermessung von Systemeigenschaften zu entwickeln.



Alternativ-Konzeption von Kopplung

Während Perrow den Begriff „Komplexität“ zumeist im Sinne von „Undurchschaubarkeit“ verwendet, steht für ihn „enge Kopplung“ für Unausweichlichkeit bzw. „Zwangsläufigkeit“. Auch hier macht es Sinn, die Kategorien von normativem Ballast zu befreien und auf das Wesentliche zuzuspitzen (vgl. Tabelle 9).

Mein Alternativ-Vorschlag zur Konzeption des Risiko-Indikators Kopplung ist relativ schlicht und fokussiert primär auf das Vorhandensein von Puffern und Spielräumen bei lose gekoppelten Systemen, die Veränderungen oder Verzögerungen der Abläufe möglich machen. Bei enger Kopplung breiten sich Störungen rasch aus, sodass wenig Zeit für die Krisenbewältigung bleibt.¹⁵

		Lose Kopplung	Enge Kopplung
SYSTEM	Puffer (zeitlich, räumlich)	vorhanden	nicht (bzw. nur in geringem Maße) vorhanden → rasche Ausbreitung von Störungen
NUTZER / OPERATOR	Spielräume	vorhanden	kaum vorhanden
	Abläufe	veränderbar	kaum veränderbar
	Verzögerungen	möglich	kaum möglich
BEISPIELE		Post, Handel, Schienenverkehr 1980 (alle linear), Universität (komplex)	eCommerce, Schienenverkehr 2016 (alle linear), AKW, Flugzeug, Börse (alle komplex)

Tabelle 9: Alternativ-Konzeption von Kopplung (Quelle: Eigene Darstellung)

Unfälle in komplexen Systemen wären demnach nicht zwangsläufig, sondern hingen vom konkreten Systemdesign (vgl. Kap. 3.3.4), aber auch von der Organisations- und Sicherheitskultur ab, die ein flexibles Risiko- und Krisenmanagement ermöglicht. Letzteres verweist auf das folgende Modell.

High-Reliability Organizations

Perrows Modell erzeugte eine große Resonanz und wurde breit rezipiert. Kritisch wurde allerdings die These der Normalität von Katastrophen diskutiert, denn es gibt einen

¹⁵ Auch hier zeigen die Beispiele, dass jede beliebige Kombination der beiden Indikatoren möglich ist.



bestimmten Typus von High-Reliability Organizations (HRO), die komplexe, eng gekoppelte Systeme managen und – selbst in hochdynamischen und komplexen Umwelten – Spitzenlasten unter Zeitdruck bewältigen, ohne dass es zu Katastrophen kommt (vgl. LaPorte & Consolini 1991; Clarke & Short 1993; Sagan 1993; auch Weick 1987). Derartige „perfekte“ Organisationen seien zwar – zumindest aus der Perspektive herkömmlicher Organisationstheorien – *theoretisch* unmöglich, sie funktionierten aber *in der Praxis* recht gut. Im Gegensatz zu fehlertoleranten Organisationen, die durch Versuch und Irrtum lernten, müssten HROs nahezu fehlerfrei arbeiten, da die Kosten von Irrtümern nicht akzeptabel seien. Die Luftverkehrskontrolle, die Operationen eines Flugzeugträgers und der Betrieb eines Energieversorgungssystems dienen den kalifornischen Organisationssoziologen Todd LaPorte und Gene Rochlin als empirische Belege für hochkomplexe Systeme, die hohe Priorität für Sicherheit haben und in denen es daher so gut wie nie zu Katastrophen kommt. Damit stellen sie Perrows Thesen der Unvermeidbarkeit von Systemunfällen infrage.

HROs verfügen über eine Kultur der Achtsamkeit im Sinne von Karl Weick (Weick & Sutcliffe 2007), die es ihnen erlaubt, ein gemeinsames Lagebild („big picture“) zu entwickeln und auf alle möglichen Eventualitäten vorbereitet zu sein. Sie können einerseits als geschlossene, rationale Systeme charakterisiert werden. Denn es herrscht ein großer Konsens über die Ziele, es existieren formale Prozeduren (die sogenannten „Standard Operation Procedures“), und – dies ist zweifellos der wichtigste Punkt – es findet ein intensives Training aller nur erdenklichen Situationen statt. Andererseits versetzt das regelmäßige Durchspielen des Ernstfalls unter realistischen Bedingungen die Organisation in die Lage, mit Störungen flexibel umzugehen und diese souverän zu meistern. Der eigentliche „Trick“ von HROs besteht allerdings darin, dass sie eine flexible Rollenstruktur haben, die es ihnen erlaubt, sowohl zu planen als auch zu improvisieren (vgl. Kap. 3.3.1).

HROs verfügen über verschiedene Operationsmodi, zwischen denen sie je nach Anforderungen wechseln können: den Routine-, den Hochleistungs- und den Notfall-Modus.

- Der *Routine-Modus* ist durch bürokratische Verfahren gekennzeichnet; d. h. die Organisation folgt den Standardprozeduren, die sich in hierarchischen Entscheidungsketten und diszipliniertem Verhalten der Mitarbeiter niederschlagen.
- Dies ändert sich im *Hochleistungsmodus*, etwa bei Spitzenlasten im Flugverkehr oder bei dicht gestaffelten Landungen auf einem Flugzeugträger. Die Hierarchien flachen sich zugunsten eines mehr teamförmigen Arbeitsstils ab. In Situationen, in denen rasches Reagieren erforderlich ist, werden die Entscheidungen dezentralisiert, und das Fachwissen zählt mehr als der formale Rang. Es bilden sich spontan Gruppen von Mitarbeitern, die ihre Tätigkeiten selbstständig koordinieren und auf diese Weise zur Bewältigung der Spitzenlasten beitragen.
- Dies ändert sich nochmals im *Notfall-Modus*, in den die Organisation wechselt, wenn eine bedrohliche Situation entsteht. Dann greifen wiederum vorprogrammierte Szenarien, die jedem Mitarbeiter bestimmte Rollen klar und eindeutig zuweisen. Diese Szenarien werden sorgfältig einstudiert und regelmäßig trainiert. (Dies unterscheidet HROs von fehlertoleranten Organisationen.)



Die hohe Priorität von Sicherheit und die Fähigkeit zur Flexibilität betrachten LaPorte und Rochlin als die entscheidenden Faktoren, die dazu beitragen, dass Hochsicherheitsorganisationen Katastrophen vermeiden.

Wie das mehrschichtige System unterschiedlicher Operationsmodi genau funktioniert, lässt das HRO-Konzept allerdings offen. Unbeantwortet bleibt beispielsweise die Frage, wie der „Switch“ von einem Modus in den anderen vor sich geht und woher die Mitarbeiter wissen, in welchem Modus sie sich gerade befinden. Problematisch bleibt auch das Verhalten der Organisation in nicht-antizipierten Störfällen; denn erst in nicht erwarteten und zuvor einstudierten Situationen erweist sich die Fähigkeit einer Organisation zum Krisenmanagement.¹⁶

Das HRO-Konzept legt seinen Schwerpunkt also auf Fragen der Organisationskultur und blendet das Design des sozio-technischen Systems, das bei Perrow im Mittelpunkt stand, nahezu vollständig aus. Kritisch diskutieren lässt sich auch der Anspruch einer „hohen Priorität für Sicherheit“, denn es gebe, so Leveson et al. (2009) immer einen Zielkonflikt von Sicherheit und Zuverlässigkeit, den man nicht einseitig in eine Richtung auflösen kann – es sei denn durch Stilllegung der Anlage. Zudem seien HROs atypische Organisationen, die über vollständiges Wissen und stabile technische Prozesse verfügten (z. B. Flugzeugträger der US Navy, auf denen sich in den letzten 50 Jahren nichts Grundsätzliches geändert hat); dies sei jedoch in der Praxis innovativer Unternehmen, die nicht in derart geschützten Räumen operierten, nur selten der Fall.

Risiko-Debatte in der Sackgasse?

Sowohl die Normal-Accidents- (NAT) als auch die High-Reliability-Theorie (HRO) haben offenkundige Schwächen und Mängel. Beide sind nicht falsifizierbar, denn ihre Verfechter können sich bei gegenteiligen Evidenzen immer rausreden (Shrivastava et al. 2009, S. 1358, vgl. S. 1375):

- Wenn ein komplexes System einen Unfall vermeiden kann, werden NAT-Anhänger immer behaupten, dass das System nicht komplex genug war.
- Wenn ein Unfall in einer HRO geschieht, werden HRO-Anhänger immer darauf verweisen, dass der Unfall geschehen ist, weil die Organisation in ihren Bemühungen, hochreliabel zu sein, nachgelassen hatte (z. B. im Fall der NASA).

Beide Konzepte eint zudem, dass sie unpräzise und unsystematisch sind und mit vagen Definitionen und nicht mit objektiv definierten Kategorien operieren (Leveson et al. 2009, S. 241). Als Ausweg aus dieser Sackgasse bietet sich der STAMP-Ansatz an, der hier abschließend kurz vorgestellt werden soll.

STAMP

¹⁶ Ausgerechnet Rochlin (1991) lieferte in seiner Studie zum Abschuss eines iranischen Airbus durch das US-Kriegsschiff Vincennes den anschaulichen Beleg, dass die Strategie der präventiven Fehlervermeidung zum Auslöser von Katastrophen werden kann.



Eine Forschergruppe unter Leitung der Computer-Wissenschaftlerin Nancy Leveson hat in den letzten Jahren neuen Schwung in die erlahmte sozialwissenschaftliche Debatte um Hochrisiko-Systeme gebracht. Sie gehen das Problem des Risikomanagements in komplexen Systemen gänzlich anders an – und verfolgen dabei eine dezidiert ingenieurwissenschaftliche Herangehensweise.

Konzeption

Leveson et al. beschreiben folgende drei Kernpunkte ihres Konzepts „Systemic Theoretic Accident Modeling and Processes“ (STAMP):

- Es begreift „Sicherheit als eine emergente Systemeigenschaft“ und nicht – wie Perrow – als eine „Bottom-up-Aufaddierung verlässlicher Komponenten und Handlungen“.
- Es fokussiert „auf das integrierte sozio-technische System als Ganzes und die Beziehungen zwischen den technischen, organisationalen und sozialen Aspekten“.
- Es sucht nach Wegen, „spezifische organisationale Sicherheitsstrukturen zu modellieren, zu analysieren und zu designen“ – u. a. mithilfe der Methode der Computersimulation –, anstatt „allgemeine Prinzipien zu spezifizieren, die für alle Organisationen Gültigkeit“ beanspruchen (2009, S. 241).

Leveson et al. betrachten – sicherlich ein wenig ungewöhnlich – komplexe Systeme als eine *hierarchische* Anordnung von Organisations-Ebenen, bei denen jede Ebene komplexer ist als die Ebene darunter (S. 241). Zudem besitzt jede Ebene emergente Eigenschaften, die wiederum Restriktionen („Constraints“) für die Ebene darunter enthält.

Fragen der Sicherheit komplexer Systeme lassen sich somit nur beantworten, wenn man das gesamte System und die Beziehungen zwischen den verschiedenen Ebenen betrachtet (S. 242). Dabei spielen vor allem die Sicherheitsanforderungen („Safety Constraints“) eine wichtige Rolle, beispielsweise derart, dass der Strom abgeschaltet sein muss, wenn ein Wartungstrupp einen Transformator inspiziert, oder dass zwei Flugzeuge einen gewissen Sicherheitsabstand einhalten müssen (ebd.).

Modell der Steuerung sozio-technischer Systeme

Die hierarchische Struktur des Sicherheitsmanagements („Safety Control“) hat die Aufgabe, „die Sicherheitsanforderungen effektiv umzusetzen“ (S. 242). In Frontstellung zu Perrow, der ganze Branchen pauschal einem Typus zuordnet, insistieren Leveson et al. darauf, dass „jeder Industriesektor und jedes Unternehmen ... eine einzigartige Kontrollstruktur“ (ebd.) hat, die jeweils für sich sorgsam analysiert und modelliert werden muss.

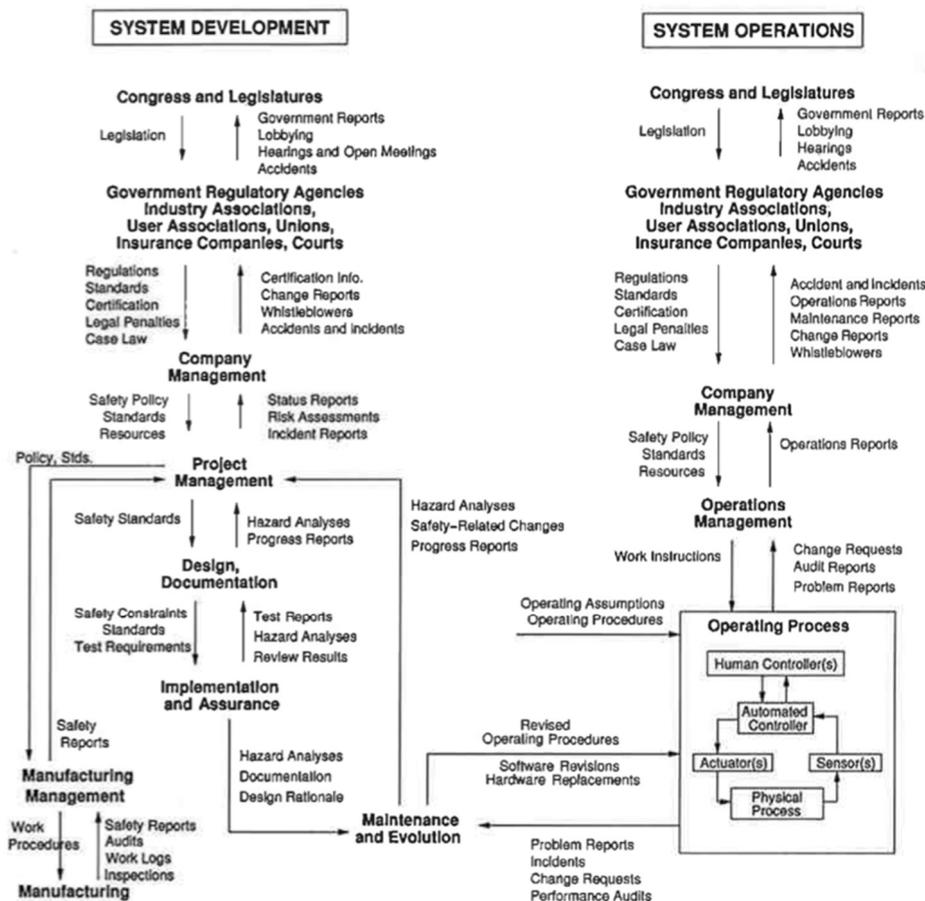


Abbildung 20: Modell der Systementwicklung und des Systembetriebs (Quelle: Leveson et al. 2009, S. 244)

Als allgemeines Modell bieten sie dennoch das in Abbildung 20 dargestellte Schema an, das die Systementwicklung und den Systembetrieb als zwei getrennte (aber miteinander verknüpfte) hierarchische Anordnungen mehrerer Ebenen betrachtet. Für den Systembetrieb (rechter Teil der Abbildung) unterscheiden sie fünf Ebenen:

1. Den politischen Prozess der Gesetzgebung;
2. die Verhandlungen von Verbänden und Behörden (bei der Umsetzung regulativer Maßnahmen);
3. die Unternehmensführung;
4. das betrieblich-operative Management;
5. die eigentliche Durchführung der Operation im Zusammenspiel von Mensch und Technik.

Das Schaubild lässt zudem klar erkennen, dass der Informationsfluss von unten nach oben, die Kontrolle hingegen von oben nach unten verläuft (S. 243).



Systemunfälle

Jede Komponente dieser hierarchischen Kontrollstruktur hat die Funktion, Sicherheitsanforderungen für einen bestimmten Bereich durchzusetzen, und trägt so zur Sicherheit des gesamten Systems bei (S. 243). Die starke These des STAMP-Konzept lautet nunmehr:

„Unfälle haben ihre Ursache in Interaktionen zwischen Systemkomponenten, die gegen diese Sicherheitsanforderungen verstoßen.“ (S. 242)

Entscheidend ist also, ob es gelingt, die Sicherheitsanforderungen auf den unterschiedlichen Ebenen – Design, Produktion, Betrieb usw. – effektiv durchzusetzen, was voraussetzt, dass sie auch entsprechend kommuniziert werden (S. 243).

Sicherheit wird also als ein „Kontrollproblem“ und nicht als ein „Problem des Komponentenversagens“ (S. 242) aufgefasst. Damit grenzen sie sich von Perrow und anderen Organisationssoziologen ab, die sich – kurioserweise – mehr mit den Details des (sozio-)technischen Systemdesigns als mit dem Management, der Steuerung und der Kontrolle des Systems befassen als die Informatikerin Leveson. Man hätte es eigentlich andersherum vermutet ... Und weiter:

„Unfälle geschehen, wenn Ausfälle von Komponenten, externe Störungen und/oder dysfunktionale Interaktionen zwischen Systemkomponenten nicht angemessen verarbeitet (handled) bzw. beherrscht (controlled) werden.“ (S. 242)

Das Versagen einzelner Komponenten bzw. deren unvorhergesehene Interaktion spielt also für Leveson et al. nicht die entscheidende Rolle, sondern die Fähigkeit des Risikomanagements, diese Probleme in den Griff zu bekommen.

Der Kontroll-Begriff hat dabei eine vielschichtige Bedeutung: Er kann auf allen Ebenen angewandt werden, sei es bei der Kontrolle eines technischen Prozesses durch ein Bauteil (z. B. O-Ringe beim Shuttle), bei der Kontrolle der Entwicklung, Herstellung, Einführung und/oder Anwendung sozio-technischer Systeme, aber auch bei Management-Prozessen in Organisationen, die komplexe Systeme betreiben, und schließlich auf der Ebene der Politik, der Werte und der Organisationskultur (S. 242). All diese Aspekte steuern das Verhalten der – menschlichen und technischen – Systemkomponenten:

„Jegliches Verhalten wird von dem sozialen und organisationalen Kontext, in dem es stattfindet, beeinflusst und zumindest teilweise ‚gesteuert‘.“ (S. 242)¹⁷

Modellierung und Simulation

Dieses – eher statische – Modell, das seine Affinität zu ingenieurwissenschaftlichem Denken gar nicht erst zu verbergen sucht, ergänzen Leveson et al. durch ein Prozess-

¹⁷ Als Soziologe ist es mir – offen gestanden – ein wenig peinlich, dass ich diesen Basis-Satz soziologischer Theorie, den man in der organisationssoziologischen Literatur zu komplexen Systemen vergeblich suchen wird, bei einer Informatikerin lesen musste.



Modell. Ausgangspunkt ist die These, dass jeder Controller, sei es ein Mensch oder ein Automat, über ein Modell des kontrollierten Prozesses verfügen muss. Unfälle geschehen oftmals, weil es zu einem „Mismatch“ zwischen dem mentalen Modell der beteiligten Manager und dem aktuellen Systemzustand gekommen war (wie im Fall der Deepwater Horizon geschehen, vgl. Kap. 3.2.4 sowie 2.5.3). Dies hat insbesondere dann gravierende Konsequenzen, wenn in verteilten Systemen unterschiedliche Entscheider voneinander unabhängig Entscheidungen treffen, die zu unlösbaren Konflikten führen. Kommunikation, so Leveson et al., spielt daher eine entscheidende Rolle. Hiermit nähern sie sich stark dem HRO-Konzept an (allerdings ohne dies zu reflektieren). Auch kleine Veränderungen der Sicherheitsstruktur können sich im Laufe der Zeit zu gravierenden Problemen aufhäufen, die erst nach der Katastrophe bewusst werden (S. 244).

Leveson et al. schlagen daher vor, ein „statisches Modell der Sicherheits-Kontrollstruktur“ (S. 245) sowie ein dynamisches Prozess-Modell zu entwickeln, welche die Spezifika der jeweiligen Organisation abbilden und darüber hinaus sowohl den kulturellen und politischen Kontext einbeziehen als auch die spezifischen Dynamiken und Sachzwänge berücksichtigen, unter denen die Organisation operiert (S. 245).

Durch den Einsatz von Computersimulation ließen sich dann nicht nur Schwachstellen identifizieren, an denen gegen Sicherheitsauflagen verstoßen wird, sondern auch die langfristigen Wirkungen kleiner Veränderungen sowie der damit einhergehenden Risiken aufdecken. Levenson et al. haben diesen Ansatz einer Modellierung und Simulation am Beispiel der NASA durchgespielt und dabei die Schwachstellen herausgefunden, die letztlich zum Columbia-Unglück im Jahr 2003 geführt haben.

Bewertung

An dem STAMP-Ansatz ist nichts revolutionär neu, und dennoch ist es den Autoren gelungen, frischen Schwung in die erlahmte Debatte um Hochrisiko-Systeme zu bringen, die in der Sackgasse der kaum lösbaren NAT-HRO-Kontroverse feststeckte. Das Konzept der Modellierung konkreter sozio-technischer Systeme vermeidet plakative und pauschale Urteile, erlaubt dafür aber, Szenarien durchzuspielen und gezielt nach Mängeln im Design des Systems sowie fehleranfälligen Prozessen zu suchen. Dazu war die organisationssoziologische Risikoforschung bislang nicht in der Lage gewesen.

3.4 Simulation (Teil 2): SUMO-S

Levesons Idee, konkrete Systeme zu modellieren, statt sie pauschal einem Risikotypus zuzuordnen, ist bislang nur selten umgesetzt worden. Wir haben das Risikomanagement



in einem Straßenverkehrssystem modelliert und im Simulator SUMO-S implementiert, der technisch auf der am DLR entwickelten Verkehrssimulation „Simulation of Urban Mobility“ (SUMO) basiert, ergänzt um eine soziologische Fahrermodellierung (vgl. ausführlich Adelt et al. 2014). Dahinter steht die Idee, dass unser Wissen über die Steuerbarkeit komplexer Systeme in vielerlei Hinsicht rudimentär ist. Wir wissen nach wie vor wenig darüber, wie komplexe sozio-technische Systeme funktionieren, wie sie sich dynamisch entwickeln und an welchen „Stellschrauben“ man drehen muss, um erwünschte Entwicklungen zu fördern und unerwünschte zu verhindern.

Der Simulator SUMO-S (und dessen Nachfolger SimCo, vgl. Kap. 4.3) erlaubt es, komplexe sozio-technische Systeme zu modellieren, die Prozesse und Dynamiken derartiger Systeme zu studieren und Simulations-Experimente durchzuführen, wobei wir die Randbedingungen der Experimente kontrolliert variieren können. Auf diese Weise lässt sich auch untersuchen, welche Faktoren das Verhalten eines komplexen sozio-technischen Systems beeinflussen und durch welche Anreize und Eingriffe man es in eine gewünschte Richtung steuern kann. Wir haben Experimente mit unterschiedlichen Governance-Modi durchgeführt, in denen wir die Leistungsfähigkeit der hierarchischen Steuerung im Vergleich zu dezentraler Selbstorganisation untersucht haben.

Den theoretisch-konzeptionellen Hintergrund für diese Ausrichtung auf Fragen der Governance bilden die umfangreichen Debatten über Lean Management, Selbstorganisation, Schwarmintelligenz, Policy-Netzwerke, Innovations-Netzwerke usw., die in der Tendenz allesamt eine Abkehr von hierarchischen Steuerungskonzepten propagieren und die Leistungsfähigkeit neuer Formen der Selbststeuerung betonen (vgl. ausführlich Weyer et al. 2015a).

Das Simulations-Framework SUMO-S

Das Verkehrssimulations-Framework SUMO (SUMO 2010) bildet die technische Basis von SUMO-S, insbesondere die Infrastruktur, ein *physikalisches* Fahrzeugfolgemedell für die Agenten, Messschleifen sowie die Möglichkeit, skriptgesteuert in die Simulation einzugreifen. Das rein physikalisch begründete Fahrverhalten der Agenten basiert auf dem mikroskopischen Fahrzeugfolgemedell von Krauß, welches auf der Annahme beruht, dass „Fahrzeuge sich in der Regel kollisionsfrei bewegen“ (Krauß 1998).

Für unsere Zwecke mussten wir das Modell allerdings weiterentwickeln, um auch die sozialen Prozesse abzubilden, die zur dynamischen Entwicklung sozio-technischer Systeme erheblich beitragen. Denn soziale Akteure verhalten sich in der Realität recht unterschiedlich: Der eine ignoriert das Tempolimit auf Autobahnen, der andere hält sich strikt daran. Dieses Verhalten auf der Mikro-Ebene des Akteurhandelns hat jedoch Konsequenzen für den Systemzustand auf der Makro-Ebene (z. B. Stau oder Nicht-



Stau). Die Modelle der Ingenieurwissenschaften blenden diese Heterogenität der Akteure, ihre unterschiedlichen Motive und Interessen etc. zumeist aus und unterstellen, dass sich alle Verkehrsteilnehmer annähernd gleich verhalten.

Soziologisches Mikro-Makro-Modell

Ein soziologisches Modell sozio-technischer Systeme muss in der Lage sein, die Wechselwirkungen der Mikro-Ebene mit den emergenten und sich dynamisch verändernden Systemzuständen auf der Makro-Ebene abzubilden. Wir greifen wiederum – wie schon bei SimHybS (vgl. Kap. 2.4) – auf das „Modell soziologischer Erklärung“ von Hartmut Esser zurück (Esser 1999), das folgende Komponenten enthält:

Akteure

Auf der Mikro-Ebene befindet sich eine Vielzahl heterogener, strategiefähiger Akteure, die individuelle Ziele verfolgen und im Kontext eines gemeinsamen Regelsystems (z. B. Verkehrssystem) miteinander interagieren. Ihre Handlungslogik besteht darin, dass sie im Rahmen der situativ wahrgenommenen Opportunitäten die Handlungsalternative auswählen, die ihren subjektiven Erwartungsnutzen maximiert – und dies kann von Akteur zu Akteur recht unterschiedlich sein.

System

Die Makro-Ebene des Systems strukturiert die Aktionen der Akteure, und zwar im doppelten Sinne: als Einschränkung („Constraint“), aber auch als Möglichkeitsraum. Diese Struktur – und zwar sowohl in Form der konkreten Infrastruktur als auch in Form der aktuellen Verkehrslage – bietet den Akteuren also einerseits Optionen für Entscheidungen (auch in Form der Interaktion mit anderen Akteuren), die ihnen ansonsten nicht zur Verfügung stünden. Zugleich sind die Akteure jedoch in ihren Handlungswahlen durch die sich eröffnenden Möglichkeiten eingeschränkt.

Wechselwirkungen Mikro-Makro

Das Modell enthält Regeln für die Interaktion der Akteure mit ihrer sozialen (aber auch ihrer infrastrukturellen) Umwelt, und zwar in zweierlei Weise: Es definiert, in welcher Weise die Akteure die Umwelt wahrnehmen; und es enthält Mechanismen, wie die Akteure die Umwelt verändern. Dadurch, dass alle Akteure auf einer gemeinsamen, strukturierten Makro-Ebene agieren, können die Einzelaktionen sämtlicher Akteure zu System-Zuständen aggregiert werden, welche sich im zeitlichen Verlauf dynamisch verändern können.

Das Simulations-Framework SUMO-S basiert auf diesem soziologischen Mikro-Makro-Modell. Es umfasst insbesondere die mikrosoziologisch fundierte



Handlungslogik der Agenten, die dynamische Veränderung des Systemzustands und darüber hinaus die Möglichkeit – je nach Governance-Modus – in unterschiedlicher Intensität steuernd eingreifen zu können.

Das Fallbeispiel „Signal Iduna Park“

Wir haben mithilfe von SUMO-S das Szenario der Verkehrssteuerung rund um den Signal Iduna Park (das ehemalige Westfalenstadion) in Dortmund nachgebaut. Die Mitarbeiter der Verkehrszentrale verfolgen dort das Ziel, dass alle per Pkw anreisenden Zuschauer eine Route zu einem der Parkplätze wählen, die es ermöglicht, dass sie rechtzeitig zum Anpfiff des Fußballspiels im Stadion sind. Sie können dabei die Verkehrsströme „hart“ steuern, indem sie bestimmte Routen sperren, aber auch „weich“, indem sie nur Empfehlungen über Hinweistafeln kommunizieren.

Die Fahrer, die wir als Software-Agenten modelliert haben, verfolgen ihrerseits das Ziel, zu einem Parkplatz zu gelangen, von dem sie das Stadion möglichst optimal erreichen können. Dabei treffen sie Entscheidungen (beispielsweise an einer Kreuzung abzubiegen oder weiterzufahren), die von ihren individuellen Präferenzen, von der aktuellen Verkehrssituation, aber auch von den steuernden Eingriffen der Verkehrszentrale geprägt sind.

Diese Entscheidungen fallen, wie bereits erwähnt, von Fahrer zu Fahrer unterschiedlich aus. Wir haben daher unterschiedliche Fahrertypen unterschieden: den Folgsamen, den Denker, den folgsamen Denker und den Sturkopf. Sie unterscheiden sich dadurch, dass sie auf Hinweise und Verbote unterschiedlich reagieren. Während der Folgsame von seinen Plänen ablässt, wenn er einen Hinweis erhält, verfolgt der Sturkopf sie unbeirrt weiter.

Diese unterschiedlichen Fahrertypen sind insofern von Relevanz, als der Erfolg von Steuerung, wie sich später zeigen wird, nicht ausschließlich vom gewählten Governance-Modus abhängt, sondern auch vom Mischungsverhältnis der unterschiedlichen Fahrertypen. Wir haben daher in den Experimenten verschiedene Mischungsverhältnisse der vier Fahrertypen betrachtet: ausschließlich Folgsame (Mix₀), eine realitätsnahe Mischung (Mix₁) sowie folgsamere (Mix₂) als auch sturere (Mix₃) Populationen.

Erfolgskriterien

Wir haben Experimente mit unterschiedlichen Szenarien durchgeführt, um herauszufinden, wie ein komplexes sozio-technisches System funktioniert, dessen Dynamik unter anderem aus den Entscheidungen einer Vielzahl individueller Akteure (bzw. Agenten) resultiert. Zudem wollten wir herausfinden, wie es um die Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Governance-Modi steht, ob also



beispielsweise die zentrale, hierarchische Steuerung bessere Ergebnisse produziert als die dezentrale, schwarmförmige Selbstorganisation – oder umgekehrt.

Das größte Problem bestand allerdings darin, dass die Fachliteratur kaum konkrete Hinweise auf Kriterien enthält, mit deren Hilfe man den Erfolg von Governance vermessen und die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Modi vergleichen könnte. Wir verwenden daher die folgenden Indikatoren.

Systemziele (Makro-Ebene)

Als Global-Indikatoren für die Leistungsfähigkeit des Systems nutzen wir die Zeit t , die benötigt wird, bis alle Fahrzeuge einen Parkplatz erreicht haben, sowie die Durchschnittsgeschwindigkeit v aller Fahrzeuge während eines Versuchslaufs.

Ein dritter Indikator ist die Systemstabilität (Maßzahl S), die wir mithilfe der Durchschnittsgeschwindigkeit aller Fahrzeuge an neuralgischen, staugefährdeten Punkten des Straßennetzes messen. Wir postulieren, dass die Performance des Systems umso besser ist, je weniger die Durchschnittsgeschwindigkeit (auf neuralgischen Streckenabschnitten) schwankt.

Die Maßzahl S ist jedoch gleichgültig gegenüber der Geschwindigkeit; ein kontinuierlich und gleichmäßig, aber sich sehr langsam bewegendem Verkehr würde gleich gut bewertet wie ein flüssiger und zügiger Verkehr. Daher haben wir zusätzlich eine Maßzahl P für die Systemperformance gebildet, die als gewichtete Summe der beiden Teilmaßzahlen Durchschnittsgeschwindigkeit v und Maßzahl S gebildet wird.

Akteurziele (Mikro-Ebene)

Wir gehen davon aus, dass auch die Akteure Ziele haben, die sich nicht immer mit denen des Systems decken müssen. Dabei unterstellen wir, dass zumindest die Fans der Heim-Mannschaft einen Plan haben, auf welchem Parkplatz sie parken und auf welchem Weg sie dorthin gelangen wollen. Zudem gehen wir davon aus, dass alle Fahrer eine möglichst kurze Fahrtzeit präferieren.

Als Indikator zur Messung der Zielerreichung auf der Mikro-Ebene verwenden wir daher die Zeit, welche die Fahrer durchschnittlich von der Einfahrt ins simulierte Gebiet benötigen, bis sie auf irgendeinen Parkplatz gelangt sind. Zusätzlich untersuchen wir, inwiefern der letztendlich erreichte Parkplatz den Wünschen der Fahrer entspricht.

Experimente und Ergebnisse

Mit dem Verkehrs-Szenario, das im letzten Abschnitt beschrieben wurde, haben wir 6.000 Simulationsläufe durchgeführt, und zwar jeweils 500 mit jeder der zwölf möglichen Kombinationen der drei Governance-Modi (harte Steuerung, weiche



Steuerung, dezentrale Koordination) sowie der vier Fahrer-Mischungen (Mix₀ bis Mix₃). Bei den Simulationsläufen wurden Verkehrsströme simuliert (z. B. von Norden in das simulierte Gebiet einfahrende Autos mit Fans der Gastmannschaft), wie sie typischerweise bei einem Bundesligaspiel an einem Samstagnachmittag auftreten.

Makro-Indikator Systemstabilität

Stellvertretend für die Vielzahl von Indikatoren, die wir überprüft haben (s. o.), sei hier die Ergebnisse für die Systemstabilität dargestellt, die wir mithilfe der Maßzahl *S* vermessen haben.

Governance-Modus	Fahrermix				Zeilen-Mittelwert (Mix ₁ bis Mix ₃)
	Mix ₀ (nur Folgsame)	Mix ₁ (realitätsnah)	Mix ₂ (mehr Folgsame)	Mix ₃ (mehr Sture)	
STRG_Hart (VLS)	5,858	8,011	9,340	9,308	8,886
STRG_Weich (PLS)	6,301	10,187	5,820	9,591	8,533
KOORdination	8,500	10,064	10,181	10,603	10,283
Spalten-Mittelwert	6,886	9,421	8,447	9,834	

Tabelle 10: Maßzahl *S* für alle Fahrermischungen und Governance-Modi (kleine Werte sind besser als große)
(Quelle: Adelt et al. 2014)

Zunächst zeigen die Zeilen-Mittelwerte deutliche Unterschiede zwischen den drei Governance-Modi: Die weiche Steuerung schneidet mit einem Wert von 8.533 ein wenig besser ab als die harte Steuerung (8.886); die dezentrale Koordination (10.283) fällt hingegen deutlich ab – anders als wir es vor dem Hintergrund der Fachdebatte erwartet hatten. Die Zahlen verdeutlichen aber auch, dass ein pauschaler Vergleich der Governance-Modi (also eine zeilenweise Betrachtung nur der Mittelwerte) wenig aussagekräftig ist, da die Werte innerhalb der Zeilen stark streuen.

Der gute Durchschnittswert für die weiche Steuerung resultiert maßgeblich aus dem Wert 5,820 für Mix₂, der mit großem Abstand den besten Wert aller realistischen Szenarien bildet und zudem deutlich unter den Werten von 10,181 für dezentrale Koordination und 9,340 (STRG_H) für denselben Mix liegt. Offenbar lässt sich mithilfe



von Anreiz-Steuerung die Performance in Mix₂ erheblich verbessern, während mit einer Erhöhung der Steuerungsintensität in Richtung harter Steuerung wenig zu gewinnen ist.

In den beiden anderen Fahrer-Mischverhältnissen (Mix₁ und Mix₃) ist hingegen der Unterschied zwischen weicher Steuerung und dezentraler Koordination deutlich geringer. Fahrer-Mischverhältnisse mit mehr Sturköpfen als in Mix₂ führen offenbar nicht zu einer Verbesserung der Performance beim Wechsel von Koordination zu weicher Steuerung.

Man kommt offenkundig nicht umhin, die Ebene der Akteure mit einzubeziehen, um zu gehaltvollen Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Governance zu gelangen. Denn die Performance der Governance-Modi hängt stark vom Mischungsverhältnis der Fahrer ab. Weiche Steuerung funktioniert am besten in Kombination mit Mix₂, der durch einen höheren Anteil folgsamer Fahrer als im realitätsnahen Szenario gekennzeichnet ist. Folgsamkeit bedeutet in diesem Kontext nicht, dass die Fahrer wie Automaten funktionieren, sondern lediglich, dass ein höherer Anteil bereit ist, den Anweisungen bzw. Hinweisen zu folgen, statt an den eigenen Plänen unbeirrt festzuhalten wie beispielsweise der Denker bzw. der Sturkopf.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie die folgende Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt, wird diese Aussage durch nahezu alle weiteren Berechnungen bestätigt. Sowohl die Analyse der Makro-Indikatoren als auch die Analyse der Mikro-Indikatoren führt zu Ergebnissen, die größtenteils in die gleiche Richtung weisen.



Arbeitshypothesen	Makro-Indikatoren			Mikro-Indikatoren	
	Gesamtzeit	Stabilität (S)	System- performance (P)	Fahrzeit	Parkplatz
(A1) Koordination besser als Koordination (nicht bestätigt)	Nein	Nein	Nein	Nein	(Nein)
(A2) Weiche Steuerung besser als harte Steuerung (nicht bestätigt)	Ja	Ja	Nein	Nein	(Nein)
(Z3) Bester Wert für Fahrer-Mix ₂ und weiche Steuerung (überraschend)	Ja	Ja	Ja	Ja	(Nein)
(Z4) Harte Steuerung leistungsfähig bei rationalen Egoisten (Mix ₁ und Mix ₃)	Nein	Ja	Ja	(Ja)	(Ja)

Tabelle 11: Zusammenfassung der Ergebnisse (Klammern = nur geringfügige Unterschiede) (Quelle: Adelt et al. 2014)

Sämtliche von uns untersuchten Indikatoren verweisen darauf, dass der Governance-Modus der Steuerung in der Regel zu einer besseren Performance führt als der Modus der dezentralen Koordination. Ob dabei die weiche Steuerung besser abschneidet als die harte Steuerung, lässt sich nicht pauschal beantworten; dies hängt offensichtlich stark von der Zusammensetzung der Fahrertypen ab. Denn hier zeigt sich das eindeutigste Ergebnis unserer Analysen: Die Kombination von weicher Steuerung und Fahrer-Mix₂ mit mehr folgsamen Fahrern führt bei allen Indikatoren zu dem besten Wert, der zum Teil erheblich über bzw. unter den entsprechenden Vergleichswerten für andere Modi bzw. Mixe liegt.



Zwischen-Fazit

Insgesamt zeigen unsere Experimente, dass es möglich ist, das Thema „Steuerung komplexer Systeme“ mithilfe experimenteller Methoden zu analysieren und auf diesem Wege zu teilweise unerwarteten neuen Erkenntnissen zu gelangen, die weitere Forschungsarbeit erforderlich machen. Dies gilt insbesondere für den Zusammenhang von Governance-Modi und Mischungsverhältnissen von Akteur-Typen. Einschränkend sei hinzugefügt, dass unsere Ergebnisse selbstverständlich unter dem Vorbehalt weiterer Überprüfungen stehen. Zudem haben wir *nicht* untersucht, inwiefern das System in der Lage ist, Störfälle bzw. Krisen zu bewältigen. Hier können wir nicht ausschließen, dass die Ergebnisse anders ausfallen könnten als die von uns präsentierten. Die starke Fallbezogenheit von SUMO-S schränkt zudem die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse ein.¹⁸

3.5 Fazit

In Organisationen, die kritische Infrastruktursysteme betreiben, ist ein funktionierendes Risikomanagement eminent wichtig. Die vier Beispiele von Katastrophen der jüngeren Zeit in Kap. 3.2 zeigen nicht nur eindrucksvoll, was alles schiefgehen kann, sondern sie deuten auch auf die Stellschrauben und Einflussfaktoren hin, an denen man „drehen“ kann, um die öffentliche bzw. zivile Sicherheit zu erhöhen. Ein ganz wesentlicher Faktor scheint eine funktionierende Organisationskultur zu sein, die es den Mitarbeitern möglich macht, auch in kritischen Situationen das Richtige zu tun. Hier tragen Organisationen, die kritische Infrastruktursysteme betreiben, offenbar eine große Verantwortung, der sie nicht immer hinreichend gerecht werden.

Der Überblick über unterschiedliche Konzepte und Strategien zum Umgang mit Unsicherheit hat zudem gezeigt, dass es wenig Sinn macht, die Debatte um das Risikomanagement mit abstrakten Modellen und mit pauschalen Zuordnungen ganzer Technologiebereiche zu bestimmten Risiko-Kategorien zu führen. Das Design des sozio-technischen Systems sollte immer eine wesentliche Komponente einer sozialwissenschaftlichen Risikoanalyse sein, aber nicht im Sinne abstrakter Generalisierungen, sondern gestützt auf eine realistische Modellierung und Simulation des jeweils konkreten Systems – was durchaus auch in Kooperation mit Ingenieurwissenschaftlern geschehen kann.

Auf diese Weise lassen sich Szenarien entwickeln und Simulationsexperimente konzipieren, mit deren Hilfe sich Schwachstellen und Fehlerquellen im betreffenden System identifizieren lassen. Ob es möglich sein wird, auf diesem Wege eines Tages generalisierbare Erkenntnisse zu entwickeln, sei dahingestellt. Vermutlich werden diese

¹⁸ Der Simulator SimCo (Kap. 4.3) verfolgt einen abstrakteren Ansatz und setzt damit die mit SUMO-S begonnene Arbeit auf einem Level fort, der sich eher für Generalisierungen und auch die Untersuchung unterschiedlicher Governance-Fragestellungen eignet.



Erkenntnisse jedoch nicht auf die Systemstrukturen, sondern eher auf die ihnen zugrunde liegenden Mechanismen verweisen.

Die Kontroverse zwischen der Normal-Accidents-Theory und dem HRO-Ansatz lässt sich nunmehr dahingehend auflösen, dass beide einen wahren Kern haben: Beim Risiko-Management in Organisationen spielen sowohl das Systemdesign (Perrow) als auch die Organisationskultur (HRO) eine wichtige Rolle. Vor allem aber müssen moderne Formen der intelligenten Steuerung von Organisationen gefunden werden, die die bekannten Steuerungsmodi der zentralen Planung und der dezentralen Koordination so miteinander kombinieren, dass ein effektives und effizientes Risiko-Management auch in unerwarteten Situationen möglich wird.



4 Transformation kritischer Infrastruktur-Systeme

Neben der Digitalisierung und Automatisierung bedeutet auch der Umbau kritischer Infrastruktursysteme in Richtung Nachhaltigkeit eine große Herausforderung, die mit erheblichen Unsicherheiten und Risiken einhergeht. Denn zum einen steckt der Transformations-Prozess selbst voller Unwägbarkeiten (z. B. in puncto Stabilität des Energie-Netzes, die ja in jeder Phase des Umbaus gegeben sein muss), zum anderen ist die Frage völlig ungeklärt, ob die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft tatsächlich mehr Versorgungssicherheit und weniger Ausfall-Risiken mit sich bringt.

Um zu verstehen, wie derartige Transformations-Prozesse funktionieren, benötigt man ein Modell sozio-technischen Wandels (Kap. 4.1). Zudem ist zu berücksichtigen, dass der Aufbau eines neuen, nachhaltigen Infrastruktursystems immer auch mit dem Abbau bzw. Umbau des alten, bestehenden Systems einhergeht, das keineswegs bereit ist, das „Terrain“ widerstandslos zu räumen (Kap. 4.2). Auch hier erweist sich die Modellierung und Simulation als eine Methode, mit deren Hilfe man Zukunftsszenarien durchspielen und Ansatzpunkte für Veränderungen identifizieren kann (Kap. 4.3).

4.1 Das Mehrebenen-Modell sozio-technischen Wandels

Wenn man sozio-technischen Wandel gestalten und unerwünschte Folgen vermeiden will, benötigt man zunächst Wissen über die Mechanismen, vor allem aber über die sozialen Prozesse, die Wandel auslösen und dazu beitragen, dass ein altes sozio-technisches Regime durch ein neues abgelöst wird. Das von Arie Rip, Frank Geels und anderen entwickelte Mehrebenen-Modell sozio-technischen Wandels („Multi Level Perspective“, MLP) beansprucht, derartige Regime-Wechsel zu beschreiben und analytisch zu durchdringen.

Sozio-technische Regimes

Ausgangspunkt ist das Konzept des sozio-technischen Regimes, das zum einen – unter Bezug auf Nelson & Winter (1977) – die „kognitiven Routinen [umfasst], die von Ingenieuren und Entwicklern in unterschiedlichen Unternehmen geteilt werden“ (Geels 2002, S. 97). Zum anderen bezieht es aber auch die Konstellation der Akteure mit ein, die durch ihre Vernetzung das Regime tragen, also Wissenschaft, Politik, Nutzer, Kultur, Industrie und Märkte (Geels & Schot 2007, S. 400–401).

Zur Beschreibung eines konkreten Regimes (z. B. das der gegenwärtigen Automobilität) empfiehlt Geels (2005, S. 681) sechs Dimensionen, und zwar:

- die verwendete Technologie (z. B. das Auto mit Verbrennungsmotor, das die benötigte Energie mithilfe fossiler Treibstoffe an Bord erzeugt),



- die Nutzerpraktiken (z. B. der individuelle Besitz und die flexible Nutzung des Autos für schnelles Reisen zu unterschiedlichen Zwecken),
- die Produktionsstrukturen und Wertschöpfungsketten (z. B. vertikal integrierte Hersteller-Unternehmen, die Skaleneffekte realisieren können, solange sie dem einmal eingeschlagenen Pfad folgen),
- die kulturelle Einbettung (z. B. des Autos als Statussymbol),
- die politische Regulierung (z. B. die starke Förderung und Stützung durch nationale Regierungen),
- die technische und rechtliche Infrastruktur (z. B. in Form des Straßennetzes, das auf das Auto mit Verbrennungsmotor zugeschnitten ist) (vgl. Hoffmann et al. 2017).

Ein etabliertes Regime vermittelt allen beteiligten Akteuren Orientierungen und ermöglicht es ihnen, ihre Handlungen effektiv zu koordinieren. Auch etablierte Regimes entwickeln sich – inkrementell – weiter; Geels spricht daher von „dynamischer Stabilität“ (2002, S. 98). Regimes konstituieren auf diese Weise Pfade bzw. Trajektorien, die eine starke Beharrungskraft (engl. „lock-in“) entwickeln können. Denn jeder Akteur wird sich – selbst bei hoher Motivation für Alternativen – meist zugunsten der klassischen „Rennreiselimousine“ (Canzler 1998) entscheiden. Das versteinerte Regime des klassischen Automobils wird so durch sich wechselseitig stabilisierende Handlungen von Herstellern, Kunden und Politik gefestigt und fortgesetzt (vgl. Knie 1994).

Somit stellt sich die Frage, wie es trotz der großen – und sich eigendynamisch verfestigenden – Stabilität eines sozio-technischen Regimes zu Wandel kommen kann. Hierin liegt die eigentliche Pointe des MLP-Modells, erklären zu können, wie sich ein Regime-Wechsel vollzieht, nämlich durch die Wechselwirkung von Prozessen auf mehreren Ebenen: der Meso-Ebene des Regimes, der Mikro-Ebene technologischer Nischen sowie der Makro-Ebene des sozio-technischen Kontextes („Landscape“, vgl. Abb. 21).

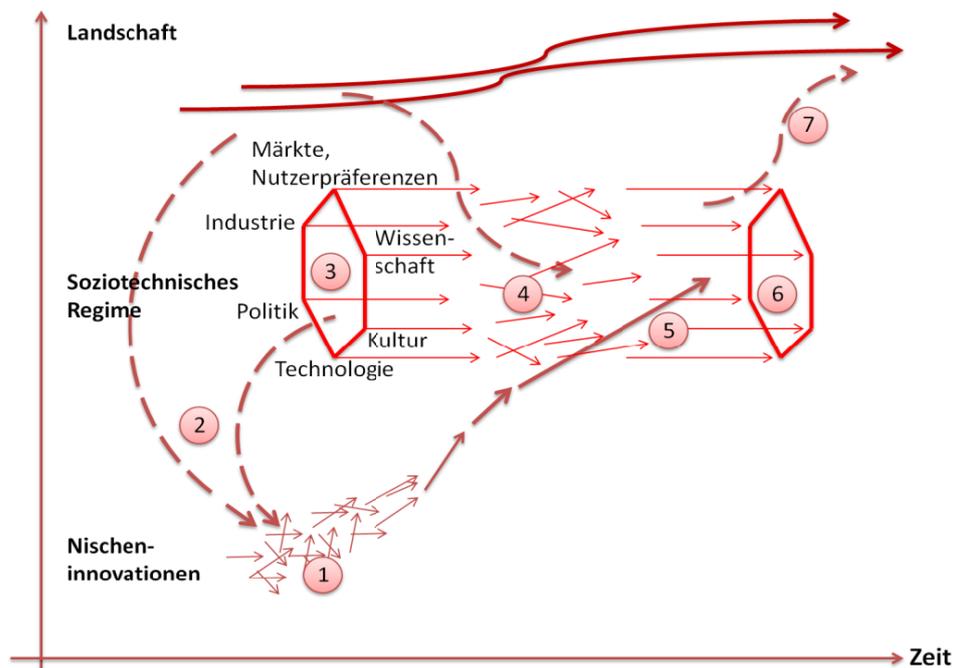


Abbildung 21: Das Mehrebenen-Modell sozio-technischen Wandels (Quelle: Geels & Schot 2007, S. 401)

Nischen

Nischen sind Orte, an denen „radikale Neuerungen entstehen“ (Geels & Schot 2007, S. 400); diese sind zunächst noch sehr instabil, erhalten aber in geschützten Räumen (engl. „incubation rooms“) die Chance, sich zu entfalten (Nr. 1 in Abb. 21). Beispiele sind Elektroautos oder die Photovoltaik; in beiden Fällen vollzog bzw. vollzieht sich die Entwicklung in Nischen, in denen es möglich war, von den bestehenden Regime-Regeln abzuweichen und etwas gänzlich Neues auszuprobieren (Geels 2004, S. 912).

Getragen werden diese Prozesse von kleinen, ebenfalls wenig stabilen Netzwerken von Akteuren, die oftmals Außenseiter sind oder am Rand bestehender Regimes operieren. Nischen sind Orte für Lernprozesse und Experimente mit „hopeful monstrosities“ (Geels 2002, S. 99) – mit noch wenig ausgereiften, aber vielversprechenden „Ungeheuern“, die erst mit der Zeit reifen und klare Konturen gewinnen (vgl. auch Schot & Geels 2008, S. 537). Diese „Monster“ werden so eine Weile davor bewahrt, sich auf den etablierten Märkten bewähren zu müssen, auf denen sie so lange keine Chance haben, wie die Regeln der Bewertung technischer Alternativen sich nicht verändert haben (z. B. PS-Stärke und Reichweite versus Nachhaltigkeit).

Landscape

Der sozio-technische Kontext ist der gesellschaftliche und institutionelle Rahmen, innerhalb dessen sich das Regime bewegt (Nr. 3 in Abb. 21); aber auch die vorhandene



materielle Infrastruktur spielt eine wichtige Rolle. Kulturelle Muster, ökonomische und politische Entwicklungen etc. beeinflussen das Regime, aber auch die Nische (Nr. 2). Dieser Kontext ist träge und wandelt sich in der Regel nur sehr langsam; allerdings können externe Schocks wie zum Beispiel ökonomische Krisen oder der Anstieg des Ölpreises diesen Prozess beschleunigen (Geels 2002, S. 99; Geels & Schot 2007, S. 400).

Regime-Wechsel

Die zentrale These des MLP-Modells lautet nun, dass ein Regimewechsel Resultat von Wechselwirkungen zwischen Prozessen auf allen drei Ebenen ist:

- Wenn eine Nischeninnovation Schwung gewinnt (Nr. 5) *und*
- Veränderungen im Kontext Druck auf das Regime ausüben (Nr. 4) *und*
- das Regime bereits geschwächt ist (z. B. aufgrund technischer Probleme oder negativer Externalitäten) und sich somit eine günstige Gelegenheit („Window of Opportunity“) ergibt (Nr. 3),

dann hat eine Innovation eine Chance, sich durchzusetzen und das bestehende Regime herauszufordern und ggf. abzulösen (Nr. 6) (Geels & Schot 2007, S. 400; Geels 2004, S. 914).

Ein Beispiel mag diese Idee illustrieren: Der Elektroantrieb für Automobile ist eine Technologie, die sich in den letzten Jahrzehnten in unterschiedlichsten Nischen entwickelt hat, aber bislang nicht wesentlich darüber hinausgekommen ist. Sie ist nach wie vor eine „Monstrosität“, an die sich zwar viele Hoffnungen und Erwartungen knüpfen, deren Alltagstauglichkeit von vielen Zeitgenossen jedoch noch bezweifelt wird. Bis zu einem dominanten Design des Elektromobils ist es noch ein weiter Weg. Zudem hat sich das System des Verbrennungsmotors bislang als extrem stabil und resistent gegenüber Veränderungen erwiesen.

Im Zuge der Klimadebatte sind jedoch Zweifel aufgekommen, ob der Verbrennungsmotor langfristig der richtige Weg ist. Das Regime ist also mittlerweile von Seiten der Landscape unter Druck. Zudem zeigt es einige Schwächen, beispielsweise ablesbar an der Tatsache, dass die chinesische Regierung die Elektromobilität massiv fördert und so nicht das alte Regime, sondern das neue stützt. Mit der Infragestellung des Konzepts der „Rennreiselimousine“ (Canzler 1998), mit der man schnell und preiswert große Strecken zurücklegen kann, und dem Aufkommen des neuen Paradigmas nachhaltiger Mobilität geraten zudem die Bewertungskriterien in Bewegung. Hier könnte sich ein Fenster öffnen, das es der Elektromobilität ermöglicht, sich neben dem alten Regime zu etablieren und damit eine Entwicklung in Gang zu setzen, die langfristig zur Ablösung des Verbrennungsmotors führen könnte.

Die Verknüpfung der Prozesse auf den drei Ebenen Nische, Regime und Kontext führt zunächst zu einer Destabilisierung des (alten) Regimes (Nr. 4) und dann nach einer Phase großer Turbulenzen zur Entstehung und Stabilisierung eines neuen sozio-technischen Systems (Nr. 6).



Das MLP bietet eine solide konzeptionelle Basis für empirische Studien zum sozio-technischen Wandel in unterschiedlichen Bereichen. Der folgende Abschnitt zeigt eine exemplarische Anwendung auf das Regime des Automobils.

4.2 Wandel durch Rückbau eines sozio-technischen Systems

Wenn ein Regime-Wechsel nicht auf „natürlichem“ Wege zustande kommt, also beispielsweise durch Erosion des alten Regimes, und die Beharrungskräfte des etablierten Regimes zu groß sind, müssen gegebenenfalls aktive Maßnahmen zum Rückbau des alten Regimes ergriffen werden, um den Prozess des Wandels zu initiieren bzw. zu beschleunigen. Der deutsche Atomausstieg ist ein Beispiel für dieses Verfahren der aktiven Beendigung eines komplexen sozio-technischen Systems (Stegmaier et al. 2014).

Wir haben das Regime der Automobilität unter dieser Perspektive der Diskontinuierung untersucht und festgestellt, dass es zwar Risse bekommen hat, aber sich als erstaunlich stabil erweist, sodass eine komplette Ablösung momentan noch nicht in Sicht ist (Hoffmann et al. 2017). Vor allem die nationalen Verkehrs-Politiken in Ländern wie Deutschland, Frankreich oder Großbritannien sind nach wie vor stark auf die bekannten Muster der Mobilität mit Autos mit Verbrennungsmotoren ausgerichtet; alle Programme zur Förderung von Alternativen waren entweder halbherzig oder schlecht koordiniert, sodass die Alternativen kaum in der Lage waren, ihre jeweiligen Nischen zu verlassen. Einzig die EU dringt in den letzten Jahren im Zuge der Klimadebatte immer stärker auf einen Umbau der Mobilität und setzt so das Regime unter Druck. Zudem zeigt „Dieselgate“, dass das etablierte Regime offenkundig versucht hat, den bestehenden Pfad durch Betrug und Täuschung zu verlängern, statt rechtzeitig auf Alternativen umzusteigen.

Den aktuellen Stand des Regimes der Automobilität kann man anhand der oben eingeführten sechs Regime-Dimensionen charakterisieren:

- Im Bereich der Technologie fordern alternative Antriebe wie der Elektromotor den Verbrennungsmotor vor allem in puncto klimaschädlicher Emissionen heraus.
- Vor allem in Großstädten haben sich neuartige Nutzerpraktiken wie das Carsharing in einer stetig wachsenden Nische etabliert, die dank digitaler und mobiler Buchungs- und Abrechnungsverfahren (via Smartphone) erheblich an Beliebtheit gewonnen hat.
- Damit einhergehend, hat das Automobil seine kulturelle Funktion als Statussymbol teilweise eingebüßt und an die IT-Technik (Smartphone, Smart Home etc.) bzw. die Umwelttechnik (Photovoltaik-Anlage auf dem Hausdach) abgegeben.
- Neue Akteure aus völlig anderen Branchen wie der Energiewirtschaft (RWE) oder der IT-Wirtschaft (Google, Tesla) haben sich zu ernstzunehmenden Konkurrenten entwickelt, die das klassische Wertschöpfungsmodell der Automobilwirtschaft, nur Motoren selbst zu bauen und den Rest von Zulieferern beisteuern zu lassen, grundlegend infrage stellen.



- Das lange vorherrschende Muster einer einseitig auf die Förderung des Automobils ausgerichteten Verkehrspolitik wird im Kontext klimapolitischer Programme der EU zunehmend infrage gestellt.
- Schließlich stößt der extensive Ausbau der Straßeninfrastruktur seit Längerem an seine Grenzen und wird zunehmend ersetzt durch einen intensiven Ausbau in Form einer Digitalisierung sämtlicher Komponenten und, damit einhergehend, eines intelligenten Managements des Verkehrssystems, das damit aber offen ist für intermodale Lösungen und somit die einseitige Ausrichtung auf das Automobil hinter sich lassen könnte.

Offenkundig bedarf es weiterer Anstöße aus der Nische bzw. der Landscape, um das bestehende Regime der Automobilität grundlegend zu verändern. Hierbei könnte wiederum die Digitalisierung eine wesentliche Rolle spielen, denn autonome, elektrisch betriebene Fahrzeuge sind ein möglicher Baustein einer nachhaltigen Verkehrswende, die nicht nur auf emissionsarme Fahrzeuge baut, sondern auch den Verzicht auf das eigene Auto möglich machen könnte.

Will man untersuchen, wie sich der Wandel komplexer sozio-technischer Systeme vollzieht, vor allem aber an welchen „Stellschrauben“ man drehen könnte, um den Wandel zu forcieren, bietet sich wiederum die Computersimulation als eine Methode an, die es erlaubt, mit unterschiedlichen „Szenarien“ zu spielen und „Was-wäre-wenn“-Fragen zu untersuchen.

4.3 Simulation (Teil 3): Der Simulator SimCo

Konzeption

Der Simulator SimCo wurde an der TU Dortmund entwickelt, um die Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme zu untersuchen, beispielsweise des Verkehrssystems oder des Energiesystems. Es wurde aber – anders als bei SUMO-S (vgl. Kap. 3.4) – bewusst darauf verzichtet, ein konkretes System abzubilden. Stattdessen besteht das Simulations-Framework aus abstrakten Knoten und Kanten, die szenario-spezifisch ausgestaltet werden können. Dafür verfügen sie über frei parametrisierbare Dimensionen (vgl. ausführlich Adelt et al. 2017).

Ein Knoten kann beispielsweise eine Kreuzung, ein Parkhaus, ein Bahnhof, eine Ladestation, aber auch ein Supermarkt, ein Kino oder ein Kindergarten sein. Eine Kante ist eine gerichtete Verbindung zwischen zwei Knoten, beispielsweise in Form einer Straße, die von unterschiedlichen Verkehrsmitteln genutzt werden kann, aber auch in Form einer Busspur, eines Fahrradweges oder einer Autobahn, die nur einem spezifischen Verkehrsmittel zur Verfügung steht.

SimCo ist eine agentenbasierte Modellierung und Simulation, was bedeutet, dass die Dynamik und die Komplexität auf Systemebene durch die Interaktion einer Vielzahl



heterogener Agenten erzeugt werden, die individuelle und durchaus sehr unterschiedliche Entscheidungen treffen (vgl. Kap. 1.6). Die Logik dieser Entscheidungen lässt sich mithilfe soziologischer Handlungstheorien abbilden, die besagen, dass jeder Agent auf Basis seiner individuellen Präferenzen und Zielvorstellungen und unter Berücksichtigung der Situation, in der er sich befindet, die Handlungsalternativen wählt, mit der er sich subjektiv am besten stellt. Der eine Agent wird also mit dem Auto zur Arbeit fahren, der andere mit dem Fahrrad.

Eine Besonderheit von SimCo besteht darin, dass die Agenten in ihren Entscheidungen von den infrastrukturellen Rahmenbedingungen beeinflusst werden, also zum Beispiel von der Verfügbarkeit von Radwegen (Kanten) bzw. Ladestationen für Elektroautos (Knoten). Die Komponenten der Infrastruktur bilden zugleich die Ansatzpunkte für steuernde Eingriffe, wenn beispielsweise das Fahren mit dem Auto verteuert und die Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel verbilligt wird oder neue Ladestationen errichtet werden.

Das Inventar

In der Endausbaustufe wird der Simulator SimCo aus einer Vielzahl von Modulen bestehen, die soziale Akteure abbilden. Bislang haben wir bereits die mit einem Stern (*) markierten Module technisch implementiert:

- Die Nutzer*, die sich durch das Netzwerk bewegen, um ihre Aufgaben zu erledigen, die wir mit einer einfachen Task-Liste, bestehend aus drei Aufgaben (z. B. Kinder zum Kindergarten bringen, zur Arbeit fahren, im Supermarkt einkaufen), abgebildet haben;
- das Netzwerkmanagement*, das für einen reibungslosen Betrieb sorgen soll und im Zweifelsfall mit einem Repertoire abgestufter Maßnahmen eingreift;
- Unternehmen, die bestimmte Dienstleistungen anbieten (z. B. Transport mit Bus und Bahn);
- Unternehmen, die die benötigten Technologien herstellen und vertreiben, darunter etablierte Technologien, aber auch innovative Alternativen (zum Beispiel Elektroautos);
- die Politik, die Entscheidungen über die Struktur des Netzwerkes trifft (z. B. Ausbau der Radwege), Grenzwerte setzt (z. B. in Bezug auf Emissionen) und schließlich auch Alternativen fördert (z. B. Elektro-Ladestationen).¹⁹

¹⁹ Diese Entscheidungen werden zurzeit über Szenarien eingespielt, aber nicht agentenbasiert modelliert.

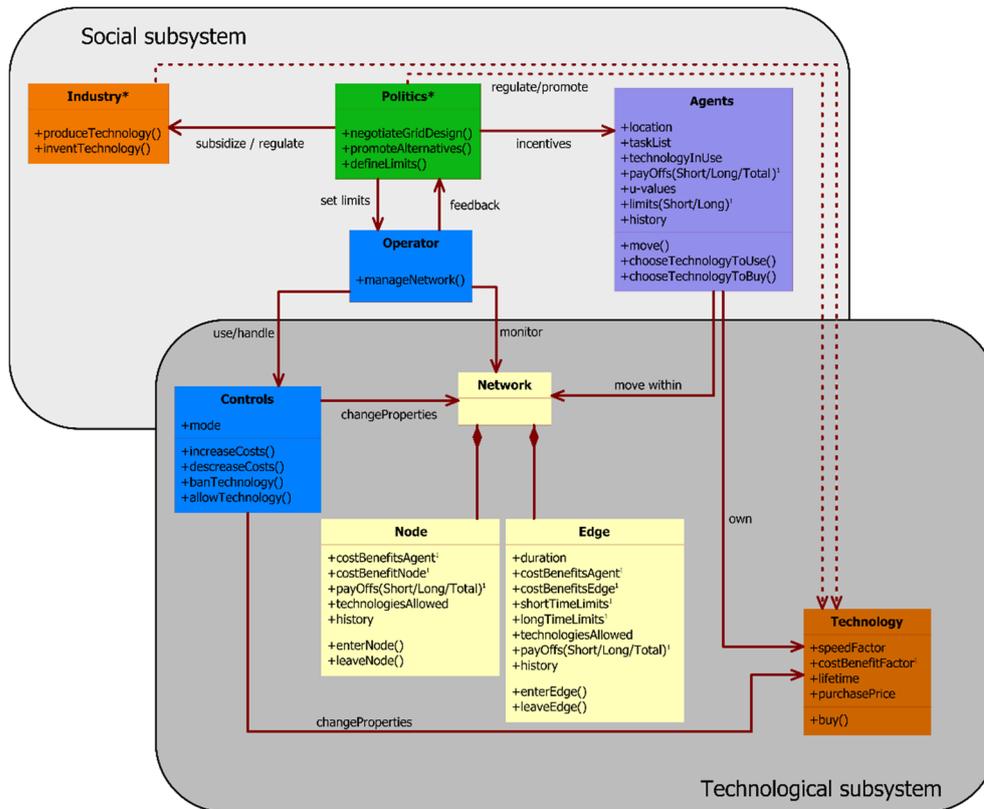


Abbildung 22: Die Subsysteme von SimCo und deren Verknüpfungen (Quelle: Adelt et al. 2017)

Hinzu kommen noch die bereits erwähnten technischen Module, Knoten, Kanten und Technologien, sowie schließlich die Steuerungsinstrumente (vgl. Kap. 4.3.4).

Interaktionen

Bei jedem Zug verändert jeder Agent den Zustand der Knoten und Kanten des Netzwerks, und zwar in unterschiedlichen Dimensionen. Bei der Fahrt mit dem Auto zur Arbeit belegt ein Agent beispielsweise ein Stück Straße und stößt zudem Emissionen aus – beides größer als im Fall der Nutzung des Fahrrads. In beiden Fällen können Grenzen erreicht werden, beispielsweise die maximale Kapazität einer Straße, nach deren Erreichung es einen Stau gibt, oder – politisch gesetzte – Grenzwerte für Emissionen, bei deren Erreichung Fahrverbote verhängt werden können.

Der Agent verändert zudem seinen eigenen Zustand, weil die Nutzung von Knoten und Kanten Kosten verursacht (Spritkosten, Parkgebühren etc., ggf. Maut), der Besuch von Knoten (Arbeitsstätte) hingegen Einkommen generiert. Und schließlich nutzt er die ihm zur Verfügung stehende Technologie ab – irgendwann muss das Fahrrad ersetzt bzw. eine neue Monatskarte für den öffentlichen Nahverkehr gekauft werden.



Durch die Aktionen und Interaktionen einer Vielzahl von Agenten verändert sich der Zustand des Gesamtsystems permanent. Der nächste Agent, der die betreffende Straße nutzen will, trifft bereits auf eine andere Situation als sein Vorgänger und entscheidet sich möglicherweise anders, nämlich für die Nutzung des Fahrrads, was wiederum Auswirkungen auf die folgenden Entscheidungen anderer Agenten hat usw.

Agentenbasierte Modelle sind also in der Lage, die Entscheidungen einer Vielzahl von Agenten abzubilden und die aus ihnen resultierenden komplexen Systemdynamiken zu beschreiben und zu analysieren (vgl. Kap. 1.6).

Interventionen/Steuerung

SimCo enthält eine Vielzahl von „Hebeln“ und „Stellschrauben“, über die in das Geschehen eingegriffen werden kann. Dies kann aus unterschiedlichen Gründen geschehen.

Risikomanagement

Wenn es das Ziel ist, Risiken zu bewältigen, die zu Fehlfunktionen, zum Stillstand oder gar zum Zusammenbruch des Systems führen können (Verkehrsstau, Blackout im Stromnetz etc.), wird das Netzmanagement versuchen, Abweichungen vom Soll-Zustand durch Gegensteuern (negatives Feedback) zu verhindern, um so die Stabilität des Systems zu gewährleisten (bzw. wiederherzustellen).

System-Transformation

Wenn es aber das Ziel ist, das System zu verändern, zum Beispiel in Richtung Nachhaltigkeit, werden steuernde Eingriffe darauf abzielen, Abweichungen zu verstärken (zum Beispiel durch Subventionen für Photovoltaikanlagen), um auf diese Weise einen Trend in Gang zu setzen, der letztendlich zum Regimewechsel führen soll (positives Feedback).

Rein instrumentell unterscheiden sich beide Konzepte überraschenderweise wenig, geht es doch im Wesentlichen darum, durch entsprechende Anreize und Eingriffe ein erwünschtes Verhalten auf Agentenebene wahrscheinlicher zu machen und ein unerwünschtes zu verhindern.

Governance-Modi

Steuernde Eingriffe setzen an den Dimensionen von Knoten, Kanten, Technologien oder Agenten an, indem sie beispielsweise die Nutzung einer Technologie auf einer Kante verteuern (Pkw-Maut) oder einen Knoten für eine bestimmte Technologie sperren (Fußgängerzone). Ähnlich wie im Fall von SUMO-S (vgl. Kap. 3.4) kommen dabei drei unterschiedliche Modi zum Einsatz:



- die Selbstkoordination, in der die Agenten sich untereinander koordinieren und das Netzwerkmanagement das Geschehen lediglich beobachtet (dies ist zugleich unser Basis-Szenario);
- die weiche Steuerung, die mit (negativen oder positiven) Anreizen operiert, die ein bestimmtes Verhalten attraktiv bzw. unattraktiv machen sollen;
- und schließlich die harte Steuerung, die Verbote beinhaltet, beispielsweise ein Verbot der Nutzung bestimmter Technologien auf bestimmten Kanten.

Software-Implementation

SimCo ist in NetLogo programmiert, einer Programmiersprache, die häufig für sozialwissenschaftliche Experimente genutzt wird. Es hat ein grafisches Nutzer-Interface (vgl. Abb. 23), in dem die Struktur des Netzwerks angezeigt und verschiedene Messwerte ausgegeben werden.

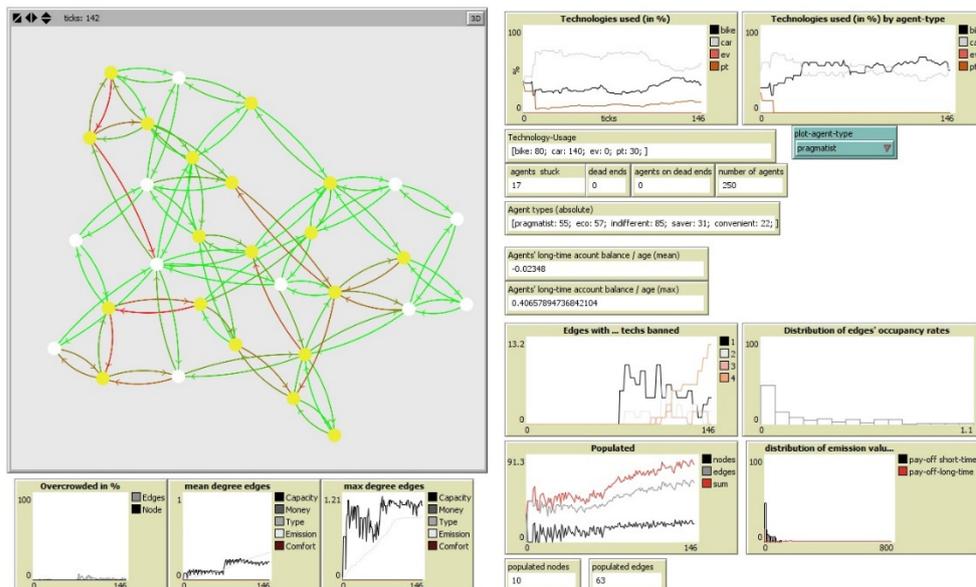


Abbildung 23: Grafische Benutzeroberfläche von SimCo (Quelle: Adelt et al. 2017)

Das abstrakte Simulationsmodell erlaubt es, unterschiedliche Szenarien zu konfigurieren und zu laden. Wir haben uns für das Szenario eines Verkehrssystems in einer mittleren deutschen Großstadt entschieden, das wir mit Daten der Stadt Dortmund kalibriert haben. Zudem haben wir auf Basis einer Befragung von 506 Personen und deren Präferenzen unterschiedliche Agententypen identifiziert (vgl. Tabelle 12), und zwar:

- den Pragmatiker, der im Wesentlichen schnell ans Ziel kommen will,
- den Umweltbewussten, dem die Umweltauswirkungen des Transports am wichtigsten sind,
- den Indifferenten, der keine klaren Präferenzen hat,



- den „Sparfuchs“, der fast ausschließlich auf den Preis schaut,
- und schließlich den Komfortorientierten, dem neben der Geschwindigkeit vor allem der Komfort wichtig ist.

Akteurtypen	Präferenzen				N	Anteil
	Preis-wert	Schnell	Umwelt-freundlich	Komfortabel		
Pragmatiker	3.7	6.8	2.4	1.2	119	24 %
Umweltbewusster	4.4	2.0	7.6	1.9	123	24 %
Indifferenten	4.0	4.6	2.8	4.2	157	31 %
Sparfuchs	9.0	4.7	3.7	0.7	58	11 %
Komfortorientierter	0.6	6.4	0.2	6.8	49	10 %
					506	100 %

Tabelle 12: Akteurtypen (Quelle: Teigelkamp 2015)

Bei der Befragung wurde auch erhoben, wie die Befragten die Wahrscheinlichkeit einschätzen, mit bestimmten Technologien die angestrebten Ziele zu erreichen, also zum Beispiel mithilfe des Fahrrads schnell oder günstig zum Ziel zu kommen. Alle diese Daten sind in ein Szenario eingeflossen, mit dem wir unterschiedliche Experimente durchgeführt haben.

Experimente

Das Basisszenario, in dem die Agenten sich ohne Beeinflussung von außen selbst koordinieren, bietet den Referenzpunkt für Vergleiche mit drei Steuerungsszenarien. Wie in Tabelle 13 abzulesen, haben alle drei Varianten von Steuerung erhebliche Auswirkungen, und zwar in puncto Verringerung der Kapazitätsauslastung sowie der Emissionen, aber auch beim „Modal Share“, also der relativen Anteile von Fahrrädern, Autos und öffentlichem Verkehr.



	Mittlere Kapazitätsauslastung der Kanten*	Mittlere Emissionen (kurzfristig) *	Mittlere Emissionen (langfristig) *	Nutzung des		
				Fahrrads	Autos	ÖPNV
Selbstkoordination	21,36 %	17,96 %	33,28 %	31,61 %	62,45 %	5,94 %
Weiche Steuerung	15,79 %	12,76 %	24,66 %	46,05 %	37,48 %	16,47 %
Harte Steuerung	19,13 %	15,55 %	28,92 %	41,44 %	52,08 %	6,47 %
Weich/hart (kombiniert)	16,37 %	12,88 %	24,65 %	49,94 %	38,95 %	11,10 %

Tabelle 13: Ergebnisse der Experimente mit SimCo (* in Prozent der jeweiligen Grenzwerte) (Quelle: Adelt et al. 2017)

Ähnlich wie bei den Experimenten mit SUMO-S hat auch hier die weiche Steuerung, die mit Anreizen operiert, den größten Effekt, während die harte Steuerung, die über Verbote wirkt, weniger Auswirkungen zeigt, beispielsweise bei der Verlagerung zugunsten des öffentlichen Nahverkehrs. Eine Kombination von harter und weicher Steuerung liefert bei zwei Indikatoren die besten Ergebnisse, die aber nur knapp über denen der weichen Steuerung liegen. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass man bereits mit weicher Steuerung eine Menge erreichen kann und nicht zu harten Maßnahmen greifen muss, um einen Wandel in Richtung Nachhaltigkeit zu erzielen.

Zwischen-Fazit

Mithilfe der Simulationsexperimente, die wir mit dem Simulator SimCo durchgeführt haben, kann man Ansatzpunkte für die Transformation komplexer sozial-technischer Systeme identifizieren. SimCo erlaubt es, unterschiedliche Szenarien (mit politisch definierten Zielvorstellungen) durchzuspielen und auf ihre Wirksamkeit sowie mögliche nicht-intendierte Nebenfolgen hin zu testen. Ob es beispielsweise sinnvoller ist, den Kauf von Elektroautos zu subventionieren oder aber Carsharing zu fördern (oder möglicherweise beides in Kombination), kann man mit SimCo durchspielen, bevor derartige Maßnahmen in die Praxis umgesetzt werden.



4.4 Fazit

Will man die Transformation kritischer Infrastruktursysteme in Richtung Nachhaltigkeit vorantreiben, so bedarf es zunächst eines Modells, das sozio-technischen Wandel erklären kann (Kap. 4.1). Mit dessen Hilfe lassen sich nicht nur die relevanten Elemente des Regimes, sondern auch Ansatzpunkte für politische Maßnahmen identifizieren. Dabei spielt auch der Rückbau des alten Regimes eine wichtige Rolle, das in der Regel das Terrain nicht kampflos aufgibt (Kap. 4.2). Bei der Beantwortung der Frage nach der Machbarkeit mögliche Zukünfte kann die Computersimulation wiederum einen wichtigen Beitrag leisten (Kap. 4.3), ist es doch mithilfe von Simulationsexperimenten möglich, die Funktionsweise und Dynamik komplexer sozio-technischer Systeme wie auch die Wirksamkeit politisch motivierter Interventionen in diese Systeme zu analysieren.





5 Die Politik der Echtzeitgesellschaft

Das letzte Kapitel dieses Berichts soll die Frage beleuchten, welche Konsequenzen die umfassende Digitalisierung der Gesellschaft in Bezug auf die operative Steuerung der Prozesse, aber auch auf die politische Regulierung der digitalen Gesellschaft hat. Oder anders gefragt: Was ändert sich im alltäglichen Management komplexer, digitalisierter Infrastruktursysteme, und wie kann Politik gestaltend Einfluss auf Prozesse nehmen, die sich einer Feinsteuerung durch staatliche Instanzen – allein aufgrund der Menge an Daten und der Geschwindigkeit der algorithmisierten Prozesse – tendenziell entziehen?

Die Antwort lautet in beiden Fällen: Steuerung wird „intelligenter“, in dem sie unterschiedliche Formen von Governance auf geschickte Weise kombiniert. Dies gilt für die Echtzeitsteuerung etwa des Verkehrs- oder des Energiesystems (Kap. 5.2), für das Management von Transformations-Prozessen (Kap. 5.3), aber auch für neue, moderne Formen intelligenter Regulierung und Steuerung der Echtzeitgesellschaft (Kap. 5.4). Zunächst sollen jedoch kurz die wesentlichen Merkmale der Echtzeitgesellschaft rekapituliert werden (Kap. 5.1).

5.1 Die mobile Echtzeitgesellschaft

Die mobile Echtzeitgesellschaft, so wie sie in Kapitel 1.4.3 beschrieben wurde, ist durch eine enorme zeitliche Verdichtung geprägt, die ihre (technische) Ursache in der umfassenden Digitalisierung sämtlicher Bereiche des Lebens und des Arbeitens hat. Prozesse, die früher Tage, Wochen oder gar Monate dauerten, vollziehen sich heute in Sekunden oder Minuten. Zudem sind die Abläufe hochgradig automatisiert, sodass oftmals kaum nachvollziehbar ist, nach welcher Logik sie funktionieren; denn Algorithmen treffen ihre Entscheidungen automatisch und zumeist ohne Eingriff eines menschlichen Bedieners.

Die umfassende Digitalisierung der Welt hat zur Folge, dass große Mengen Daten anfallen, die das reale Verhalten von Nutzern widerspiegeln (z. B. in Form von Facebook-Likes, Shopping-Aktivitäten, dem Versand von SMS, der Erfassung von Positionsdaten etc.). Da hier auch private, teilweise sogar sensible Daten erfasst werden, hat sich der öffentliche, aber auch der wissenschaftliche Diskurs der letzten Jahre stark auf Fragen des Datenschutzes und Datenmissbrauchs konzentriert (Hoeren & Kolanyi-Raiser 2016). So berechtigt die Befürchtungen und Ängste von Bürgern sein mögen und so wichtig es ist, Maßnahmen zum Schutz der Privatsphäre im digitalen Zeitalter – wie auch zum Schutz digitaler Infrastrukturen vor Angreifern – zu entwickeln, so fahrlässig wäre es, eine wichtige und bislang kaum beachtete Dimension der Echtzeitgesellschaft außer Acht zu lassen: die der Echtzeitsteuerung komplexer sozio-technischer Systeme.



Die Befassung mit möglichen kriminellen Machenschaften und Datenschutz-Risiken verstellt leicht den Blick dafür, dass die Erfassung von Daten im Zeitalter von Big Data nicht nur darauf abzielt, die Welt zu beschreiben und zu analysieren, sondern auch steuernd in ihre Abläufe einzugreifen, um so eine bessere, schönere Welt zu schaffen (vgl. McCue 2014). Mithilfe von „Reality Mining“, „Machine Learning“ usw. könne man Krankheiten heilen, Staus vermeiden oder Betrug, Kriminalität und Terrorismus effizient bekämpfen (McCue 2014; Mitchell 2009; Russell 2013) – so die technokratische Vision, die von einem enormen Fortschritts-, aber auch Steuerungs-optimismus getragen wird.

Ein wichtiges Instrument ist dabei die Identifikation von Mustern in den Datenmassen (vgl. Kap. 2.1.2), die beispielsweise das typische Verhalten von Supermarkt-Kunden beschreiben und dazu genutzt werden können, deren Kaufverhalten – mithilfe des „Behavioural Targeting“ (Christl & Spiekermann 2016) und entsprechender Anreize – „sanft“ zu steuern. Auf Basis realer Verhaltensdaten von Nutzern, die in Echtzeit gesammelt, aggregiert und aufbereitet werden, wird ein individuelles Profil jedes Kunden angelegt und mit den entsprechenden Mustern abgeglichen (Larose & Larose 2015).

Die Identifikation von Mustern und Trends in großen Daten-Sets ermöglicht es aber auch, Prognosen künftiger Ereignisse abzugeben und auf dieser Basis das Verhalten einzelner Individuen, aber auch ganzer Kollektive gezielt zu beeinflussen und in eine gewünschte Richtung zu steuern (Russell 2013).

Ein Beispiel ist das „Predictive Policing“, die vorausschauende Polizeiarbeit, die beansprucht, Vorhersagen über Kriminaldelikte treffen zu können, was dazu beitragen soll, die Einsatzkräfte der Polizei gezielt zu steuern und effizient einzusetzen (McCue 2014). Ähnlich funktioniert „Fraud Detection“, die Aufdeckung von Betrugsfällen auf Basis der Durchforstung großer Datenmengen. Hier kommen zudem Bewertungen ins Spiel, die das jeweilig individuelle Verhalten als innerhalb (bzw. außerhalb) der Norm stehend einstufen. Auf Basis derartiger Normalitätserwartungen ist es dann möglich, Anomalien zu identifizieren und Betrugsfälle aufzudecken (Weyer 2014).

5.2 Echtzeit-Steuerung komplexer Systeme

Die flächendeckende Digitalisierung der Systeme bis hin zum Endkunden sowie die umfassende Vernetzung selbst der mobilen Komponenten hat also die Option der Echtzeitsteuerung komplexer sozio-technischer Systeme Wirklichkeit werden lassen. Besonders deutlich wird dieser Trend in den Infrastruktursystemen des Verkehrs, der Energieversorgung oder der Information und Kommunikation, wie die folgenden Beispiele belegen.



Verkehrssteuerung

Im Straßenverkehr übermitteln Navigationsgeräte, aber auch Mobiltelefone permanent ihre Positionsdaten sowie weitere relevante Daten an eine Verkehrszentrale (bei TomTom, Google u. a. m.). Auf diese Weise werden die Fahrzeuge zu „Knoten im Netz“ (TA-SWISS 2003), die es der Verkehrszentrale ermöglichen, in Echtzeit ein umfassendes Lagebild zu generieren. Dieses spielen sie – wiederum in Echtzeit – an die Nutzer zurück, verbunden mit Prognosen sowie Empfehlungen für Alternativ-Routen, die passgenau auf den jeweiligen Nutzer zugeschnitten sind. Es findet also eine bidirektionale Daten-Kommunikation zwischen den dezentral agierenden Nutzern und einer Zentrale statt, die damit in die Lage versetzt wird, ein komplexes System in Echtzeit zu steuern. Dabei bleibt die Autonomie der einzelnen Akteure erhalten, denn sie erhalten lediglich Empfehlungen, welche ihnen die Freiheit belassen, diesen zu folgen oder sie zu ignorieren. Insofern sprechen wir hier von einem neuen Modus der zentralen Steuerung dezentraler sozio-technischer Systeme (vgl. Kap. 5.2.3).

Der globale Systemzustand ergibt sich fortlaufend aus einem dynamischen Wechselspiel von globalen Steuerungsimpulsen (deren Ziel es ist, das globale Ganze zu optimieren) und lokalen Einzelentscheidungen (deren Ziel eher die individuelle Optimierung ist) sowie den sich aus diesen vielen lokalen Einzelentscheidungen ergebenden emergenten Effekten (z. B. Stau), auf die dann wiederum die globale Steuerung reagiert (Weyer 2014).

Welcher Logik die – weitgehend von Algorithmen vollzogene und hochautomatisierte – Steuerung folgt, ist für jeden Einzelnen schwer nachvollziehbar, weil der Systemzustand sich permanent in Abhängigkeit von der aktuellen Situation ändert, und zwar auf eine kaum vorhersagbare Weise.

Smart Grids

Ähnlich soll auch die Echtzeit-Steuerung künftiger intelligenter Stromnetze („Smart Grids“) funktionieren, die darauf abzielt, das politische Ziel der Energiewende umzusetzen. Dieser Umbau eines komplexen Systems soll – neben dem Umstieg auf regenerative Energieträger – durch eine „intelligente“ Netzsteuerung erreicht werden, die darauf abzielt, das Stromnetz zu optimieren und zu stabilisieren, indem sie unter anderem steuernd auf das Verhalten einzelner Individuen einwirkt.

Die diesbezüglichen Visionen ähneln den Konzepten der Verkehrssteuerung, sehen aber eine deutlich stärkere Einschränkung der individuellen Entscheidungsautonomie vor – etwa im Fall eines drohenden Netzzusammenbruchs (Blackout). Die Optimierung des Gesamtsystems, das im Echtzeitmodus operiert, hat hier also Vorrang vor der individuellen Optimierung.



Das Strom-Netz, das bislang eine zentralistische Struktur hatte, erhält durch die erneuerbaren Energien eine radikal geänderte Systemarchitektur mit einer Vielzahl dezentraler Produzenten und Verbraucher (vgl. Kap. 3.1.2). Dieser Paradigmenwechsel erfordert allerdings eine intelligente Netzsteuerung, deren Aufgabe es ist, auch zukünftig eine sichere und zuverlässige Stromversorgung zu gewährleisten und Blackouts zu verhindern.

Ein Ansatz geht davon aus, dass sich der „Verbrauch an die jeweilige Stromproduktion anzupassen“ hat, was nur funktionieren wird, wenn „die Nachfrage gelenkt wird“ (Dehen 2010). Es soll also möglich sein, einzelne Verbraucher, aber auch Erzeuger bei Bedarf vom Netz zu nehmen, um beispielsweise eine Überlast zu vermeiden. Dazu bedarf es intelligenter Steuerungskomponenten, die zum einen den Datenaustausch zwischen den dezentralen Einheiten und der Zentrale bewerkstelligen, aber auch Eingriffe der Zentrale in die dezentralen Prozesse ermöglichen. Die Autonomie des Verbrauchers wird in diesem Szenario durch die überraschend harte, zentralistische Steuerung also deutlich eingeschränkt (Weyer 2014).

Andere Szenarien propagieren ein „Ampel-Konzept“ (BDEW 2015), das zwischen einer grünen Phase, in der das Stromnetz von Marktkräften gesteuert wird, einer roten Phase, in der die Zentrale den hierarchischen Modus aktiviert, und einer gelben Phase unterscheidet, in der Verhandlungen zwischen den Akteuren stattfinden, die sich koordinieren und die erforderlichen Problemlösungen miteinander abstimmen.

Allen Konzepten gemeinsam ist, dass auf Grundlage umfassender Daten – in Echtzeit – ein aktuelles Lagebild generiert wird, das es erlaubt gegenzusteuern, falls Störungen auftreten. Dabei werden sowohl Vorstellungen einer „weichen“ Anreizsteuerung (vgl. Willke 1995) als auch Modelle recht „harter“ zentralistischer Steuerung – sowie Kombinationen dieser unterschiedlicher Governance-Modi – diskutiert.

Smart Governance

Die Echtzeit-Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme basiert also darauf, dass die Abfolge von Datengenerierung, Datenauswertung und Systemsteuerung sich iterativ in sehr kurzen Zyklen vollzieht. Die Nutzer spielen hierbei einerseits die Rolle der Datenlieferanten, andererseits die Rolle der „Anwender“ von Empfehlungen, welche die Provider ihnen aufgrund von Prognosen zur Verfügung stellen, die mithilfe von Big-Data-Verfahren generiert wurden.

Bei der Echtzeit-Steuerung kommt zudem ein neuartiger Governance-Modus zum Einsatz, der sich als die zentrale Steuerung dezentraler Systeme beschreiben lässt (Rochlin 1997; Weyer 2014) – eine Kombination, die bislang als nahezu undenkbar galt und in der politikwissenschaftlichen Governance-Literatur auch nur unzulänglich



beschrieben ist (vgl. zusammenfassend Weyer et al. 2015a). Ein besonderes Charakteristikum dieses Modus ist der direkte Zugriff der Zentrale auf die Komponenten des Systems – und zwar in beiden Richtungen: in Form der Datenübermittlung vom Nutzer zur Zentrale und umgekehrt.

Mit der Echtzeit-Steuerung wird es erstmals möglich, dezentrale Systeme, in denen die Individuen autonome Entscheidungen treffen, zentral zu steuern, ohne der Hybris früherer planwirtschaftlicher Konzepte anheimzufallen, das Verhalten sämtlicher Systemkomponenten im Detail steuern zu wollen. Das Konzept verknüpft vielmehr die zentralistische Planung mit der dezentralen Selbstorganisation: Es belässt den Individuen die freie Entscheidung, zwischen unterschiedlichen Handlungsalternativen zu wählen (also ihr lokales Optimum zu finden), aber beeinflusst deren Entscheidungsspielräume in einer Weise, die auf eine Optimierung des Gesamtsystems, also auf ein globales Optimum abzielt.

Die Autonomie des einzelnen Individuums wird damit nicht so stark eingeschränkt wie etwa in klassischen Hierarchien – auch wenn sich die Handlungsspielräume zweifellos verengen dürften. Die Entscheidungskompetenz der dezentral verteilten Komponenten bleibt nämlich erhalten – allerdings im Rahmen eines digital konstruierten Systemzustands, der von Algorithmen in Echtzeit erzeugt (und permanent verändert) wird und damit die Wahrnehmung möglicher Handlungsoptionen entscheidend prägt.

Smart People?

Welche Konsequenzen dies für die Handlungsfähigkeit des Individuums hat, ist derzeit nur schwer abzusehen. Erkennbar ist eine Verschiebung von sequenzieller zu simultaner Planung. Eine langfristige Vorabplanung von Routen (beispielsweise mit einem Auto-Atlas) ist nicht mehr nötig, ermöglicht das Navigationssystem im Auto doch eine Ad-hoc-Planung, die simultan während der Fahrt erfolgen kann.

Die Echtzeitgesellschaft bringt also eine neue Qualität der Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme mit sich. Die Prozesse werden zunehmend automatisiert und hochgradig verdichtet ablaufen und damit für den einzelnen Nutzer immer weniger durchschaubar sein. Sie sind zudem von einer Logik der Kontrolle geprägt, die eine lückenlose Identifikation, Überwachung und Steuerung der Systemkomponenten beinhaltet, deren Übertragung auf den Bereich des privaten Alltags jedoch Risiken im Sinne einer Einschränkung der individuellen Freiheit und Selbstbestimmung mit sich bringt.

Im Modus der Echtzeit-Steuerung reagiert das einzelne Individuum kurzfristig auf den aktuellen Systemzustand und richtet seine Entscheidungen an den aktuellen Gegebenheiten aus, ohne jedoch über ein komplettes Lagebild zu verfügen und ohne



einen (konventionell erstellten) Alternativplan in der Tasche zu haben, der im Falle von Störungen, Irritationen, Systemausfällen etc. hilfreich sein könnte. Damit wird es zunehmend schwieriger, eigene Pläne zu verfolgen oder alternative Optionen in Erwägung zu ziehen. Allein die kurzen Vorwarnzeiten sowie die knappen Zeitintervalle lassen es plausibel erscheinen, dass die Nutzer den Empfehlungen ihrer Apps mehr oder minder „blind“ folgen werden.

Die Digitalisierung des menschlichen Verhaltens ist einerseits sehr komfortabel, bringt aber andererseits auch Risiken mit sich, insbesondere das Risiko einer zunehmenden Abhängigkeit und Verletzlichkeit, was vor allem dann sichtbar wird, wenn die digitalen Systeme ausfallen.

Zudem werfen die beschriebenen Entwicklungen die Frage nach Möglichkeiten der politischen Gestaltung und Steuerung der Echtzeitgesellschaft auf. Kann man die Verfahren und Algorithmen, die zur Echtzeitsteuerung komplexer sozio-technischer Systeme eingesetzt werden, noch politisch gestalten bzw. kontrollieren, wenn die Prozesse hochautomatisiert und zudem in sehr kurzen Zeiträumen ablaufen und sich die Systemzustände in einer kaum reproduzierbaren Weise permanent dynamisch ändern?

5.3 Politische Steuerung

Nachdem in den vorherigen Abschnitten die Frage im Mittelpunkt stand, wie die *operative* Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme beispielsweise in den Bereichen Verkehr oder Energie funktioniert, soll nunmehr die Frage diskutiert werden, ob es auch möglich ist, die Echtzeitgesellschaft *politisch* in eine gewünschte Richtung zu lenken.

Steuerung komplexer Systeme

Bei der Beantwortung dieser Frage stößt man auf die in der Soziologie verbreitete Auffassung, dass sich moderne Gesellschaften nicht steuern lassen. So hat etwa der Systemtheoretiker Niklas Luhmann immer wieder darauf insistiert, dass die Vorstellung von Steuerung „hart mit dem Faktum funktionaler Differenzierung [kollidiert]“ (1988, S. 325), also mit der Tatsache, dass die gesellschaftlichen Teilsysteme wie Wirtschaft, Politik, Wissenschaft u. a. m. operativ geschlossene Systeme sind, die es nicht vermögen, in die Operationsweise eines anderen Systems einzugreifen. Aber auch unter Nicht-Systemtheoretikern findet man immer wieder eine gewisse Steuerungskepsis, die sich aus der Erkenntnis speist, dass moderne Gesellschaften komplexe Systeme sind, die sich kaum steuern lassen (Schimank 2005).

Angesichts der selbstzerstörerischen Entwicklungen moderner Gesellschaften ist allerdings Nichtstun und Abwarten auch keine Option. Helmut Willke hat bereits in den



1980er-Jahren gewarnt, dass in Anbetracht einer „nicht mehr zu bändigenden funktionalen Differenzierung“ (1995, S. 125) die Gefahr bestehe, dass Gesellschaften „die Kontrolle über sich verlieren“ (1989, S. 55) und Risiken generieren, die zu einer irreversiblen Selbstgefährdung führen. Er hat daher ein Konzept der dezentralen Kontextsteuerung vorgeschlagen, das unterschiedliche Steuerungsmechanismen kombiniert und Interventionen so intelligent angesetzt werden, dass „Anreize zur Selbständerung“ (1995, S. 134) des betreffenden Systems gegeben werden. Niederländische Forscher haben diese Idee Ende der 1990er-Jahre aufgegriffen und zum Konzept des „Transition Management“ weiterentwickelt, einer Steuerungstheorie, deren Anliegen es ist, den sozio-technischen Wandel bewusst zu gestalten, ohne dabei der naiven Illusion einer mechanischen Steuerbarkeit moderner Gesellschaften mit den traditionellen Mitteln interventionistischer Politik zu verfallen.

Das Konzept des Transition Managements

Derk Loorbach geht in seinem Buch „Transition management. New mode of governance for sustainable development“ (2007) von der unabwendbaren Notwendigkeit aus, die oben beschriebenen gesellschaftlichen Probleme zu lösen, verweist aber zugleich darauf, dass komplexe Systeme „kaum im traditionellen Sinne gesteuert werden können“ und daher „neue Governance-Ansätze“ erforderlich seien (S. 14). Die Komplexität von Gesellschaft führt ihn also nicht zu einem Verzicht auf Steuerung, sondern veranlasst ihn, das scheinbar Unmögliche zu bewerkstelligen (S. 80) und sich auf die Suche nach neuen Formen von Steuerung komplexer Systeme jenseits von zentraler Planung und dezentraler Koordination zu machen (S. 63, 67).

Den Begriff der „Transitions“ definiert er dabei wie folgt:

„Transitions sind Transformationsprozesse, in denen bestehende Strukturen, Institutionen, Kulturen und Praktiken aufgelöst werden [broken down] und neue geschaffen werden.“ (ebd.)

Der Begriff „Transition“ hat also zwei Facetten; man kann ihn im Deutschen als (sozio-technischen) Wandel, aber auch als Umbruch, Wechsel bzw. Ablösung eines sozio-technischen Regimes durch ein anderes deuten (vgl. Kap. 4.1). Es handelt sich dabei, so Loorbach weiter, zumeist um längerfristige Prozesse; diese können sich über einen Zeitraum 25 Jahren erstrecken, in dem sich das System kontinuierlich wandelt und allmählich eine neue Struktur sichtbar wird (S. 17–18). Krisen wie beispielsweise die Ölkrise der 1970er-Jahre oder Unfälle wie Tschernobyl (1986) oder Fukushima (2011) können diesen Prozess aber auch beschleunigen. Das Ganze ist selbst ein komplexer Prozess, der sich auf verschiedenen Ebenen abspielt („multi-level“), von unterschiedlichen Akteuren getragen wird („multi-actor“) und mehrere Phasen durchläuft („multi-phase“, S. 18).

Die aktive Gestaltung derartiger Transitions erfordert – so Loorbach – einen neuen Typus von Governance, den er konzeptionell in zweierlei Richtungen verortet:



- zum einen lehnt sich Loorbach an das Mehrebenen-Modell sozio-technischen Wandels an (MLP, vgl. Kap. 4.1), das Transformationsprozesse als Resultat des Zusammenspiels von Nische, Regime und Landscape sieht;
- zum anderen sucht er Bezüge zum Beck'schen Konzept der „reflexiven Modernisierung“ (S. 24) und beschreibt seine Idee des Transition Managements als einen offenen, beteiligungsorientierten Ansatz, der eine Vielzahl von Akteuren mit unterschiedlichen Perspektiven, Werten und Interessen einbezieht und damit Raum für Experimente, Innovation und interaktives Lernen (z. B. in Nischen) schafft.

Transition Management betreibt also keine Steuerung im traditionellen Sinn, sondern trägt dazu bei, „Veränderungen in Richtung Nachhaltigkeit zu ermöglichen, zu fördern und zu lenken“ (ebd.). Loorbach ordnet diesen Ansatz einer moderierten Koordination gesellschaftlicher Akteure (engl. „society-based coordination“) in die Tradition der Planungsparadigmen ein, die von der Top-down-Steuerung der 1960er-Jahre über die Liberalisierung und das Laissez-Faire der 1980er-Jahre zur reflexiven Steuerung der 2000er-Jahre reicht.

Transition Management ist also ein dritter Weg zwischen zentraler Steuerung (Staat bzw. Hierarchie) und dezentraler Koordination (Markt), der durch eine Kombination von langfristigen Visionen und kurzfristigem experimentellen Lernen geprägt ist (vgl. Voß et al. 2009, S. 277; Weyer et al. 2015a). Das Modell ist zudem dezidiert als Politik-Instrument konzipiert, das – zum Teil recht pragmatisch – Ansatzpunkte für eine gezielte Steuerung des sozio-technischen Wandels zu identifizieren sucht.

Das Modell des Transition Managements ist vor allem in den Niederlanden mehrfach erprobt worden. Es basiert im Wesentlichen auf drei Instrumenten:²⁰

- Dem strategischen Nischen-Management, also der Durchführung kontrollierter Experimente in geschützten Räumen, um auf diese Weise technische Alternativen zu entwickeln, zu erproben und eine Weile vor dem harten Selektionsdruck des Marktes zu schützen, vor allem aber um Erfahrungen zu sammeln und das Wissen der Nutzer zu mobilisieren;
- der Bildung von Allianzen und Netzwerken zwischen einer Vielzahl von Akteuren (Nutzer, Hersteller, Betreiber, Staat usw.), um eine Verständigung über das Design des neuen sozio-technischen Systems zu erzielen und so das Risiko für alle Beteiligten zu minimieren;
- sowie schließlich eine flankierende staatliche Regulierung (z. B. durch Grenzwerte, Quoten, finanzielle Anreize), die verhindern soll, dass neue Technik den bestehenden Marktmechanismen allzu leicht zum Opfer fällt und stattdessen eine Chance erhält, langfristig erfolgreich sein kann.

Jede dieser drei Strategien hat spezifische Stärken, aber auch Schwächen:

- Das strategische Nischen-Management ermöglicht es, praktische Erfahrungen mit neuer Technik und neuen Nutzungspraktiken zu entwickeln, schützt aber nicht davor,

²⁰ Der folgende Abschnitt stellt meine Zusammenfassung unterschiedlicher Konzepte von Loorbach (2007) und Schot et al. (1994) dar.



dass man möglicherweise auf die falsche Alternative gesetzt hat und lediglich Mitnahmeeffekte generiert;

- Allianzen und Netzwerke ermöglichen es, dass die Akteure sich wechselseitig auf eine Lösung verständigen, sind aber nicht davor gefeit, dass die Verständigung misslingt, wenn beispielsweise mächtige Interessengruppen dies zu verhindern suchen (z. B. die Vertreter des alten Regimes);
- staatliche Regulierung, die Anreize setzt und darauf verzichtet, die Wahl einer bestimmten Technologie vorzuschreiben, kann die Kreativität der Industrie mobilisieren, stößt aber möglicherweise auf mangelnde technische Kompetenz sowie mangelnde Kooperationsbereitschaft (oder gar Widerstand) aufseiten der Industrie.

Eine intelligente Kombination unterschiedlicher Maßnahmen kann – so die Verfechter des Transition Managements – deren Stärken nutzen und deren Schwächen vermeiden und so dazu beitragen, sozio-technischen Wandel zu initiieren bzw. voranzutreiben.

5.4 Intelligente Regulierung der Echtzeitgesellschaft

Der Staat steht vor der Aufgabe, seine Rolle in der Echtzeitgesellschaft neu zu definieren. War er in der Vergangenheit selbst Betreiber kritischer Infrastruktursysteme, so hat er in den deregulierten Märkten der Gegenwart und der Zukunft vor allem die Aufgabe des Koordinators und des Moderators (Werle 2001). Aufgabe des Staates wird es sein, die Aktivitäten unterschiedlicher Akteure zu koordinieren und durch eine intelligente Regulierung dafür zu sorgen, dass ein reibungsloser Betrieb kritischer Infrastruktursysteme gewährleistet werden kann.

Auch die politische Gestaltung der Echtzeitgesellschaft ist mit vielfältigen Unsicherheiten konfrontiert, die sich zum einen aus den Prozessen sozio-technischen Wandels ergeben (vgl. Kapitel 5.4), zum anderen aus den neuartigen Risiken, beispielsweise der Gefährdung der Privatsphäre sowie sensibler Daten durch mächtige Internet-Konzerne, aber auch durch kriminelle Aktivitäten.

Deshalb soll abschließend die Frage diskutiert werden, ob und inwiefern es möglich ist, komplexe sozio-technische Systeme nicht nur operativ zu steuern (vgl. Kap. 5.2), sondern auch politisch so zu regulieren, dass gesellschaftlich wünschenswertes Verhalten gefördert und unerwünschtes Verhalten verhindert wird.²¹

Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen ist die Annahme, dass in modernen Gesellschaften kein Akteur, auch nicht der Staat, in der Lage ist, das Verhalten anderer gesellschaftlicher Akteure kleinschrittig zu steuern. Denn die – oftmals gut organisierten – Akteure besitzen eine hohe Autonomie und haben ein großes Potenzial der Selbstregulierung, was sie tendenziell resistent gegen Versuche der

²¹ Die normative Frage, welche Ziele im konkreten Fall politisch konsentiert sind und damit als erstrebenswert angenommen werden, bleibt hier ausgeklammert.



interventionistischen Steuerung macht (Luhmann 1997; Mayntz & Scharpf 1995). Etwas konkreter formuliert: Kein noch so mächtiger Staat der Welt vermag es, Internet-Riesen wie etwa Google feinzusteuern; allein das mangelnde Detailwissen der internen Strukturen sowie die fehlenden Kompetenzen zur Kontrolle der relevanten Prozesse machen dies unmöglich.

Steuerung muss daher „intelligent“ ansetzen, d. h. Rahmenbedingungen schaffen, die den Steuerungs-Adressaten dazu bringen, im eigenen Interesse das „Richtige“ bzw. „Erwünschte“ zu tun (Willke 2007). Ein instruktives Beispiel ist die amerikanische Börsenaufsicht SEC, die sich gar nicht erst anmaßt, Korruption verhindern zu können. Sie operiert vielmehr mit einem mehrstufigen System von Anreizen und Sanktionsdrohungen derart, dass Unternehmen, die der Korruption überführt werden, drakonische Strafen drohen, diese aber erheblich gemildert werden, wenn nachgewiesen werden kann, dass das Unternehmen alles nur Erdenkliche unternommen hat, um Korruption zu verhindern (Lübbe-Wolf 2003). Das Unternehmen wird dadurch in die Verantwortung genommen, beispielsweise interne Compliance-Regelungen umzusetzen und so im eigenen Interesse die Mitarbeiter zu einem Verhalten zu veranlassen, das gesellschaftlich wünschenswert ist.²²

Übertragen auf die großen Provider der Echtzeitgesellschaft und das Problem des Missbrauchs privater Daten könnte dieses mehrstufige Modell wie in Abb. 24 aussehen. Die Staaten (bzw. die Staatengemeinschaft) schaffen einen institutionellen Rahmen, der Datenmissbrauch mit drakonischen Strafen belegt, zugleich aber eine milde Behandlung anbietet, wenn das Unternehmen interne Regelungen erlässt und durchsetzt, welche die Mitarbeiter dazu anhalten, höchste Datenschutz-Standards einzuhalten. So wäre es dann im eigenen Interesse eines jeden Unternehmens, seinen Kunden und Nutzern ein hohes Datenschutzniveau zu garantieren.

²² Vgl. auch das Konzept der Ko-Regulierung von Staat und Gesellschaft (Spindler & Thorun 2015), das aber insofern etwas „zahnlos“ wirkt, als es auf Sanktionsdrohungen verzichtet und somit den Staat zu einem schwachen Mitspieler im Konzert der gesellschaftlichen Akteure macht.

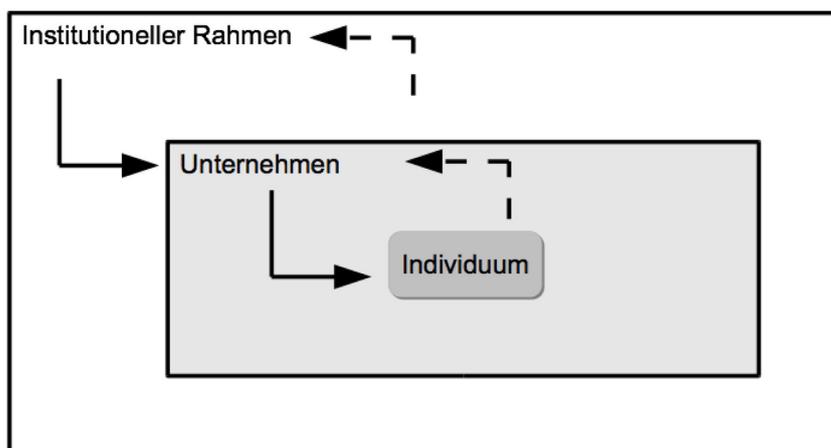


Abbildung 24: Institutionelle Regulierung (Quelle: Weyer 2017 in Anlehnung an Lübbe-Wolf 2003)

Denn auch der drohende Imageverlust eines Unternehmens, das durch unseriöse Praktiken auffällt, kann als Sanktionsdrohung wirken. Die Bereitschaft der Nutzer, großen Datendienstleistern ihre Daten zur Verfügung zu stellen sowie deren Empfehlungen zu folgen, basiert auf dem Vertrauen, dass diese Daten nicht missbräuchlich verwendet werden (vgl. Kap. 2). Somit wird Daten-Missbrauch auch für die Provider zu einem Risiko: Denn die Daten sind der Rohstoff der Echtzeitgesellschaft; aber das Vertrauen ist das Kapital, das allzu leicht verspielt werden kann, wenn man der Versuchung erliegt, durch unseriöse Praktiken kurzfristige Gewinne zu erzielen.

Die politische Regulierung der Echtzeitgesellschaft sollte auf derartigen institutionellen Mechanismen basieren und Abschied von überkommenen Formen politischer Steuerung nehmen. Die politische Steuerung „intelligenter“ Systeme muss ebenfalls „intelligent“ konzipiert sein und auf klassische Verfahren der direkten Intervention zugunsten von indirekten Instrumenten in Mehrebenen-Systemen verzichten (vgl. Weyer et al. 2015a).

5.5 Fazit

Die Ausführungen dieses Kapitels haben gezeigt, dass in der Echtzeitgesellschaft ein neuer Governance-Modus praktiziert wird, der sich als die zentrale Steuerung dezentraler Systeme beschreiben lässt – und zwar in Echtzeit. Auf der operativen Ebene funktioniert dies bereits im Bereich der Verkehrssteuerung; und die Planungen für künftige intelligente Stromnetze zeigen in eine ähnliche Richtung.

Welche Folgen dies für die Politik hat, ist noch nicht absehbar. Auf jeden Fall wird deutlich, dass Politik nicht mehr mit dem traditionellen Repertoire interventionistischer Steuerung operieren kann, sondern neue Formen und Verfahren intelligenter Steuerung



entwickeln muss, die unterschiedliche Konzepte und Instrumente kombinieren und auf das Zusammenspiel unterschiedlicher Akteure in Mehrebenen-Systemen setzen. Dem Staat kommt auch in der Echtzeitgesellschaft die Aufgabe zu, die öffentliche wie die zivile Sicherheit zu gewährleisten; aber die Verfahren und Instrumentarien werden sich radikal wandeln müssen.



6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die vorliegende Studie hat sich mit den vielfältigen Facetten des digitalen Wandels und dessen Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit befasst. Sie hat dabei vor allem die Funktionsfähigkeit kritischer Infrastruktursysteme in den Mittelpunkt gerückt und die Frage diskutiert, wie Individuen und Organisationen mit den Unsicherheiten und Risiken umgehen, die sich aus dem digitalen Wandel und dem Mitwirken autonomer Technik ergeben.

Dabei standen die Digitalisierung des privaten und des beruflichen Alltags (Kapitel 2) sowie das Risikomanagement in Organisationen, die kritische Infrastruktursysteme betreiben (Kapitel 3) im Mittelpunkt. Daneben wurde die Frage diskutiert, wie eine nachhaltige Transformation kritischer Infrastruktursysteme aussehen könnte (Kapitel 4) und welche Möglichkeiten der operativen Steuerung, aber auch der politischen Regulierung sich in der Echtzeitgesellschaft eröffnen (Kapitel 5).

Um die Auswirkungen der Digitalisierung auf die öffentliche Sicherheit zu bewerten, wurden in allen Kapiteln die Ergebnisse empirischer Studien herangezogen, und zwar sowohl Fallstudien und Befragungen als auch Simulationsexperimente, die mit agentenbasierten Modellen durchgeführt wurden und die einzige Methode darstellen, mit deren Hilfe man einen Blick in die Zukunft werfen kann.

Eine Auswirkung der Digitalisierung besteht in der enormen Beschleunigung und Verdichtung sämtlicher Prozesse in Wirtschaft und Gesellschaft. Gestützt auf eine große Menge verfügbare Daten, finden viele Prozesse, die früher Stunden oder Tage gedauert haben, nunmehr in Echtzeit statt. Damit verschwimmen die Grenzen von Planung und Handlung; denn es ist nunmehr möglich, ad hoc zu planen und mehrere Prozesse parallel stattfinden zu lassen, statt sie – wie früher – sequenziell nacheinander abzuarbeiten

Mit der umfassenden Datafizierung greift eine Logik der Kontrolle um sich, die ursprünglich aus dem Bereich Militär und Logistik stammt, nun aber in andere Bereiche wie Arbeit und Produktion, Transport und Verkehr, aber auch Gesundheit und Freizeit transferiert wird. Sämtliche Prozesse werden nun digital erfasst und können vermessen und mit Blick auf Optimierungsmöglichkeiten bewertet werden.

Die Digitalisierung der Welt ist Teil einer Sicherheitsstrategie, die Unsicherheiten zu bewältigen und Risiken durch Kontrolle und Überwachung zu vermeiden versucht, damit aber zugleich auch Spielräume einengt, die einerseits eine Ressource für flexibles Handeln sind, andererseits aber auch Freiheiten beinhalten, die durch datengetriebene Prozesse tendenziell eingeschränkt werden. Die prekäre Balance von Autonomie und Kontrolle, die Teil unserer freiheitlichen Gesellschaft ist, droht so aus dem Gleichgewicht zu geraten.



Ein wesentlicher Teil des Diskurses über die Risiken der Digitalisierung dreht sich um Fragen des Datenmissbrauchs und des Schutzes der Privatsphäre. So wichtig dieser Diskurs ist und so dringlich Lösungen für die anstehenden Probleme gefunden werden müssen, so wichtig ist es aber auch, den Blick auf die neuartigen Möglichkeiten der Echtzeit-Steuerung komplexer sozio-technischer Systeme zu werfen. Hier liegt ein gewaltiges Potenzial, das sich mit der Digitalisierung und Vernetzung der Prozesse in komplexen Systemen ergibt. Die Echtzeit-Steuerung verknüpft Elemente der zentralen Planung der dezentralen Selbstkoordination; sie findet in der Praxis bereits Anwendung (beispielsweise im Bereich Verkehrsteuerung), während das theoretische Verständnis dieses neuen Governance-Modus noch kaum entwickelt ist.

Auch die Frage, wie eine intelligente politische Steuerung der Echtzeitgesellschaft aussehen könnte, ist noch weitgehend ungeklärt. Die Rolle des Staates besteht darin, dafür zu sorgen, dass die Funktionsfähigkeit kritischer Infrastruktursysteme aufrechterhalten wird. Aber er kann dies nicht mehr mit klassischen obrigkeitstaatlichen Instrumenten tun, sondern er muss neue Formen einer intelligenten Steuerung und Regulierung entwickeln, die der Komplexität der Echtzeitgesellschaft gerecht werden.



7 Literatur

- Adelt, F., Weyer, J. & Fink, R. D. (2014). Steuerung komplexer Systeme. Ergebnisse einer experimentellen Simulationsstudie. *Soziale Welt*, 65, 91–116.
- Adelt, F. et al. (2017). Simulation of the governance of complex systems (SimCo). Basic concepts and initial experiments. (*submitted*).
- BASI (1998). *Advanced Technology Aircraft Safety Survey Report* (Department of Transport and Regional Development. Bureau of Air Safety Investigation). Civic Square: BASI. Verfügbar unter http://www.atsb.gov.au/media/704656/advanced_technology_aircraft_safety_survey_report.pdf [08.08.2017]
- Bauer, H. et al. (2002). *Hightech-Gespür. Erfahrungsgeleitetes Arbeiten und Lernen in hoch technisierten Arbeitsbereichen. Schriftenreihe des Bundesinstituts für Berufsbildung, Bd. 253*. Bielefeld: Bertelsmann.
- Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) (2015). *Smart Grids Ampelkonzept*. Berlin: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft. Verfügbar unter [http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20150310-diskussionspapier-smart-grids-ampelkonzept-de/\\$file/150310_Smart_Grids_Ampelkonzept_final.pdf](http://www.bdew.de/internet.nsf/id/20150310-diskussionspapier-smart-grids-ampelkonzept-de/$file/150310_Smart_Grids_Ampelkonzept_final.pdf) [08.08.2017]
- BEA (2012). *Final Report On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330–203 registered F–GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris (Juli 2012)*. Le Bourget: Bureau d’Enquêtes et d’Analyses pour la sécurité de l’aviation civile. Verfügbar unter <http://www.bea.aero/en/enquetes/flight.af.447/rapport.final.en.php> [08.08.2017]
- Bell, D. (1985). *Die nachindustrielle Gesellschaft* (1973). Frankfurt/M.: Campus.
- Best, H. (2009): Kommt erst das Fressen und dann die Moral? Eine felddexperimentelle Überprüfung der Low-Cost-Hypothese und des Modells der Frame-Selektion. *Zeitschrift für Soziologie*, 38, 131–151. Verfügbar unter <http://www.sciencemag.org/content/311/5762/854.short> [08.08.2017]
- Beyerer, J. & Geisler, J. (2016). A Framework for a Uniform Quantitative Description of Risk with Respect to Safety and Security. *European Journal for Security Research*, 2, 135–150.
- Bijker, W. E., Hughes, Th. P. & Pinch, T. J. (Hrsg.) (1987). *The Social Construction of Technological Systems. New Directions on the Sociology and History of Technology*. Cambridge/Mass.: MIT Press.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. Aufl.). Heidelberg: Springer.



- Brooker, P. (2005). Reducing mid-aircollision risk in controlled airspace: Lessons from hazardous incidents. *Safety Science*, 43, 715–738.
- Brooks, R. (2002). *Menschmaschinen. Wie uns die Zukunftstechnologien neu erschaffen*. Frankfurt/M.: Campus.
- Bundesministerium des Inneren (Hrsg.) (2009). *Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS-Strategie)*. Verfügbar unter <http://www.bmi.bund.de/cae/servlet/contentblob/544770/publicationFile/27031/kritis.pdf> [08.08.2017]
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.) (2009). *E-Energy. Auf dem Weg zum Internet der Energie*. Verfügbar unter http://www.e-energy.de/documents/BMWi_Brosch_E_Energy_26_5.pdf [08.08.2017]
- Canzler, W. (1998). Telematik und Auto: Renn-Reiselimousine mit integrierter Satellitenschüssel. *Mitteilungen des Verbunds sozialwissenschaftliche Technikforschung*, 20, 107–127.
- Carr, N. (2009). “The Big Switch”. *Der große Wandel. Die Vernetzung der Welt von Edison bis Google*. Heidelberg: mitp Verlag.
- Christl, W. & Spiekermann, S. (2016). *Networks of Control. A Report on Corporate Surveillance, Digital Tracking, Big Data & Privacy*. Wien: facultas.
- Clarke, L. & Short, J. F. (1993). Social Organization and Risk: Some Current Controversy. *American Review of Sociology*, 19, 375–399.
- Coleman, J. S. (1995). *Grundlagen der Sozialtheorie. Handlungen und Handlungssysteme*. (Band 1). München: Oldenbourg.
- Cummings, M. L. & Bruni, S. (2009). Collaborative Human-Automation Decision Making. In Shimon Y. Nof (Hrsg.). *Handbook of Automation* (S. 437–447). Heidelberg: Springer.
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13 (3), 319–340.
- de Bruijne, M. (2006). *Networked reliability. Institutional fragmentation and the reliability of service provision in critical infrastructures*. Enschede: Febodruk.
- Dehen, W. (2010). Ein Sommermärchen? *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 23.06.2010, B2.
- Delisle, M., Kiehl, M. & Weyer, J. (2016). Big Data – Chancen und Risiken in soziologischer Perspektive. In G. Faber & M. Scheck (Hrsg.). *Big Data in der Verkehrsluftfahrt* (Proceedings des 18. FHP-Symposiums). In Druck.
- Deuten, J. J. (2003). *Cosmopolitanising Technologies. A Study of Four Emerging Technological Regimes*. Twente: Twente University Press.



- Deutsche Energie-Agentur GmbH (2012). *Ausbau- und Innovationsbedarf der Stromverteilnetze in Deutschland bis 2030. Endbericht*. Berlin: dena. Verfügbar unter http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Energiesysteme/Dokument/e/denaVNS_Abschlussbericht.pdf [08.08.2017]
- Dzindolet, M. T. et al. (2003). The role of trust in automation reliance. *International Journal of Human-Computer Studies*, 58 (6), 697–718. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581903000387> [08.08.2017]
- Eagle, N. & Pentland, A. (2006). Reality mining: sensing complex social systems. *Personal and ubiquitous computing*, 10, 255–268.
- Epstein, J. M. & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Washington, D.C.: Brookings Inst. Press.
- Esser, H. (1991). *Alltagshandeln und Verstehen. Zum Verhältnis von erklärender und verstehender Soziologie am Beispiel von Alfred Schütz und 'Rational Choice'*. Tübingen: Mohr.
- Esser, H. (1999). *Soziologie. Spezielle Grundlagen, Bd. 1: Situationslogik und Handeln*. Frankfurt/M.: Campus.
- Eurobarometer (2010). *Eurobarometer Spezial 340 „Wissenschaft und Technik“ (Welle 73.1)*. Brüssel. Verfügbar unter http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_340_en.pdf [08.08.2017]
- Eurobarometer (2013). *Verantwortliche Forschung und Innovation, Wissenschaft und Technologie. Bericht (Special Eurobarometer 401)*. Verfügbar unter http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/eb_special_419_400_en.htm [08.08.2017]
- Eurobarometer (2015a). *Autonomous Systems. Report (Special Eurobarometer 427)*. Verfügbar unter <https://ec.europa.eu/COMMFrontOffice/publicopinion/index.cfm/ResultDoc/download/DocumentKy/65858> [08.08.2017]
- Eurobarometer (2015b). *Autonomous Systems. Summary (Special Eurobarometer 427)*. Verfügbar unter <https://ec.europa.eu/COMMFrontOffice/publicopinion/index.cfm/ResultDoc/download/DocumentKy/65859> [08.08.2017]
- Federal Trade Commission (2014). *Data Brokers: A Call for Transparency and Accountability*. Washington, D.C.: Federal Trade Commission. Verfügbar unter <https://http://www.ftc.gov/reports/data-brokers-call-transparency-accountability-report-federal-trade-commission-may-2014> [08.08.2017]
- Fink, R. D. (2014). *Vertrauen in autonome Technik. Modellierung und Simulation von Mensch-Maschine-Interaktion in experimentell-soziologischer Perspektive*



- (PhD Dissertation). Dortmund: TU Dortmund. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/2003/33469> [08.08.2017]
- Fink, R. D. & Weyer, J. (2011). Autonome Technik als Herausforderung der soziologischen Handlungstheorie. *Zeitschrift für Soziologie*, 40 (2), 91–111. Verfügbar unter <http://www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/view/3061> [08.08.2017]
- Fitts, P. M. (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. Washington, D.C.: National Research Council.
- Fleisch, E. & Mattern, F. (Hrsg.) (2005). *Das Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Berlin: Springer.
- Fuchs, G. & Wassermann, S. (2008). Picking a Winner? Innovation in Photovoltaics and the Political Creation of Niche Markets. *Science, Technology & Innovation Studies*, 4, 93–113. Verfügbar unter <http://www.sti-studies.de> [08.08.2017]
- Garud, R. & Karnøe, P. (2003). Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship. *Research Policy* 32, 277–300.
- Gaskell, G. et al. (2010). *Europeans and biotechnology in 2010. Winds of change? A report to the European Commission's Directorate-General for Research*. Brüssel. Verfügbar unter http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf [08.08.2017]
- Geels, F. (2002). *Understanding the Dynamics of Technological Transitions. A Co-evolutionary and Socio-technical Analysis*. Twente: Twente UP.
- Geels, F. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33, 897–920.
- Geels, F. (2005). The dynamics of transitions in socio-technical systems: a multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). *Technology Analysis & Strategic Management*, 17, 445–476.
- Geels, F. W. & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36, 399–417.
- Geisberger, E. & Broy, M. (Hrsg.) (2012). *agendaCPS. Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems* München.
- Genner, S. (2017). *ON/OFF: Risks and Rewards of the Anytime-Anywhere Internet*. Zürich: vdf Hochschulverlag AG.



- Ginsberg, J. et al. (2009). Detecting influenza epidemics using search engine query data. *Nature*, 457, 1012–1014.
- Grote, G. (2009). *Management of Uncertainty. Theory and Application in the Design of Systems and Organizations*. Berlin: Springer.
- Grundmann, R. (1994). Gibt es eine Evolution der Technik? Überlegungen zum Automobil und zur Evolutionstheorie. In W. Rammert (Hrsg.). *Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 7: Konstruktion und Evolution von Technik* (S. 13–39). Frankfurt/M.: Campus.
- Hanekop, H. & Wittke, V. (2010). Kollaboration der Prosumenten. In B. Blättl-Mink & K.-U. Hellmann (Hrsg.). *Prosumer Revisited. Zur Aktualität einer Debatte* (S. 96–113). Wiesbaden: Springer.
- Hedström, P. & Swedberg, R. (1996). Social Mechanisms. *Acta Sociologica*, 39, 281–308.
- Hennen, L. (1994). *Ist die (deutsche) Öffentlichkeit „technikfeindlich“? Ergebnisse der Meinungs- und Medienforschung* (TAB-Arbeitsbericht Nr. 24). Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Verfügbar unter <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab024.pdf> [08.08.2017]
- Hirsch-Kreinsen, H. (2014). *Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“* (Soziologisches Arbeitspapier 38/2014). Dortmund: TU Dortmund. Verfügbar unter http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/ts/de/forschung/veroeff/soz_arbeitspapiere/AP-SOZ-38.pdf [08.08.2017]
- Hoeren, Th. & Kolanyi-Raiser, B. (Hrsg.) (2016). *Big Data zwischen Kausalität und Korrelation. Wirtschaftliche und rechtliche Fragen der Digitalisierung 4.0*. Münster: LIT.
- Hoffmann, S., Weyer, J. & Longen, J. (2017). Discontinuation of the automobility regime. An integrated approach to multi-level governance. *Transportation Research Part A*, 103, 391–408. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2017.06.016> [08.08.2017]
- Hughes, Th. P. (1986). The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. *Social Studies of Science*, 16, 281–292.
- Hutchins, E. (1995). How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive Science*, 19, 265–288. Verfügbar unter http://hci.ucsd.edu/lab/hci_papers/EH1995-3.pdf [08.08.2017]
- Hutchins, E., Holder, B. & Hayward, M. (1999). *Pilot attitudes toward automation*. Verfügbar unter <http://hci.ucsd.edu/hutchins/aviation/attitudes/attitudes.pdf> [08.08.2017]



- Inagaki, T. (2010). Traffic systems as joint cognitive systems: issues to be solved for realizing human-technology coagency. *Cognition, Technology & Work*, 12, 153–162.
- Kersting, K. & Natarajan, S. (2015). Statistical Relational Artificial Intelligence: From Distributions through Actions to Optimization. *KI-Künstliche Intelligenz*, 29 (4), 363–368.
- Knie, A. (1994). *Wankel-Mut in der Autoindustrie. Anfang und Ende einer Betriebsalternative*. Berlin: edition sigma.
- Krause, J., Ruxton, G. D. & Krause, S. (2009). Swarm intelligence in animals and humans. *Trends in Ecology & Evolution*, 25 (1), 28–34.
- Krauß, S. (1998). *Microscopic Modeling of Traffic Flow: Investigation of Collision Free Vehicle Dynamics* (PhD thesis). Köln: Universität zu Köln. Verfügbar unter <http://sumo.sourceforge.net/docs/KraussDiss.pdf> [08.08.2017]
- Krusch, C. (2008). *Mikroökonomie in künstlichen Gesellschaften. Vom Sugarscape zum Ruhrmodell*. Münster: LIT.
- Kurz, C. (2011). Der Spion in der Hosentasche. *Frankfurter Allgemeine FAZ.Net*, 21.01.2011 Verfügbar unter <http://www.faz.net/-gqz-xp77>) [08.08.2017]
- Kurz, C. & Rieger, F. (2009). *Stellungnahme des Chaos Computer Clubs zur Vorratsdatenspeicherung* (1 BvR 256/08, 1 BvR 263/08, 1 BvR 586/08). Verfügbar unter <http://www.ccc.de/vds/VDSfinal18.pdf> [08.08.2017]
- Läpple, D. (Hrsg.) (1985). *Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Analysen und Konzepte zum interregionalen und städtischen Verkehr*. Berlin: edition sigma.
- LaPorte, T. R. & Consolini, P. M. (1991). Working in Practice But Not in Theory: Theoretical Challenges of “High Reliability Organizations”. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 1, 19–47.
- Larose, D. T. & Larose, C. D. (2015). *Data mining and predictive analytics*. John Wiley & Sons: Hoboken, NJ.
- Latour, B. (1998). Über technische Vermittlung. Philosophie, Soziologie, Genealogie. In W. Rammert (Hrsg.). *Technik und Sozialtheorie* (S. 29–81). Frankfurt/M.: Campus.
- Lazer, D. M. et al. (2014). The parable of Google Flu: Traps in big data analysis. *Science*, 343 (14 March 2014), 1203–1205.
- Lee, J. D. & See, K. A. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46, 50–80.



- Leveson, N. et al. (2009). Moving beyond normal accidents and high reliability organizations: a systems approach to safety in complex systems. *Organization Studies*, 30 (2–3), 227–249.
- Lobe, A. (2015). Big Data und Politik. Brauchen wir noch Gesetze, wenn Rechner herrschen. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 14.01.2015, 13, Verfügbar unter <http://www.faz.net/-gsf-7y9q3> [08.08.2017]
- Loorbach, D. (2007). *Transition Management. New mode of governance for sustainable development*. Utrecht: International Books.
- Lübbe-Wolf, G. (2003). Die Durchsetzung moralischer Standards in einer globalisierten Wirtschaft. In H. von Pierer, K. Homann & G. Lübbe-Wolf (Hrsg.). *Zwischen Profit und Moral – Für eine menschliche Wirtschaft* (S. 73–103). München: Hanser.
- Luhmann, N. (1988). *Die Wirtschaft der Gesellschaft*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Luhmann, N. (1997). *Die Gesellschaft der Gesellschaft*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Lupton, D. (2015). Quantified sex: a critical analysis of sexual and reproductive self-tracking using apps. *Culture, health & sexuality*, 17, 440–453.
- Manzey, D. (2008). Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub et al. (Hrsg.). *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 307–324). Heidelberg: Springer.
- Markard, J. & Truffer, B. (2006). Innovation processes in large technical systems: Market liberalization as a driver for radical change. *Research Policy*, 35, 609–625.
- Mattern, F. (Hrsg.) (2003). *Total vernetzt. Szenarien einer informatisierten Welt* (7. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung). Heidelberg: Springer.
- Mattern, F. (Hrsg.) (2007). *Die Informatisierung des Alltags. Leben in smarten Umgebungen*. Berlin: Springer.
- Mautz, R. (2007). The expansion of renewable energies – opportunities and restraints. *Science, Technology & Innovation Studies*, 3, 113–131. Verfügbar unter <http://www.sti-studies.de> [08.08.2017]
- Mautz, R., Byzio, A. & Rosenbaum, W. (2008). *Auf dem Weg zur Energiewende: Die Entwicklung der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in Deutschland*. Göttingen: Universitätsverlag (SOFI).
- Mayer-Schönberger, V. & Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Boston/Mass.: Houghton Mifflin Harcourt.



- Mayntz, R. & Scharpf, F. W. (Hrsg.) (1995). *Gesellschaftliche Selbstregulung und politische Steuerung*. Frankfurt/M.: Campus.
- McClumpha, A. J. et al. (1991). Pilots' attitudes to cockpit automation. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 35, 107–111. Verfügbar unter <http://pro.sagepub.com/content/35/2/107.short> [08.08.2017]
- McCue, C. (2014). *Data mining and predictive analysis: Intelligence gathering and crime analysis*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Mitchell, T. M. (2009). Mining our reality. *Science*, 326 (5960), 1644–1645.
- Monse, K. & Weyer, J. (2000). *Produktionskonzepte und logistische Ketten in der Internet-Wirtschaft. Trends und Perspektiven* (Gutachten im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Nov. 2000; veröffentlicht als TAB Hintergrundpapier Nr.6, Dez. 2001). Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Moray, N., Inagaki, T. & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6, 44–58.
- Naidoo, P. (2008). *Airline pilots' perceptions of advanced flight deck automation* (MPhil dissertation). Pretoria: University of Pretoria.
- National Commission on the BP Deepwater Horizon Oil Spill and Offshore Drilling (2011). *Deep Water. The Gulf Oil Disaster and the Future of Offshore Drilling. Report to the President (January 2011)*. Verfügbar unter <http://www.oilspillcommission.gov/final-report> [08.08.2017]
- Nelson, R. R. & Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6, 36–76.
- Nuklearkatastrophe von Fukushima (2017). In *Wikipedia*. Verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Fukushima [08.08.2017]
- Öffentliche Sicherheit (2017a). In *Rechtswörterbuch.de*. Verfügbar unter www.rechtsworerbuch.de/recht/o/oeffentliche-sicherheit [08.08.2017]
- Öffentliche Sicherheit (2017b). In *Wikipedia*. Verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96ffentliche_Sicherheit [08.08.2017]
- Öffentliche Sicherheit und Ordnung (2015). In *Duden Recht A–Z. Fachlexikon für Studium, Ausbildung und Beruf* (3. Aufl.). Berlin: Bibliographisches Institut 2015. Lizenzausgabe Bonn: Bundeszentrale für politische Bildung. Verfügbar unter www.bpb.de/nachschlagen/lexika/recht-a-z/22635/oeffentliche-sicherheit-und-ordnung [08.08.2017]



- Orwat, C., Büscher, C. & Raabe, O. (2010). *Governance of Critical Infrastructures, Systemic Risks, and Dependable Software*. Technical Report. Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe. Verfügbar unter <http://www.itas.fzk.de/deu/lit/2010/orua10a.pdf> [08.08.2017]
- Perrow, Ch. (1987). *Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*. Frankfurt/M.: Campus.
- Perrow, Ch. (2011). Fukushima and the inevitability of accidents. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 67 (6), 44–52. Verfügbar unter http://www.yale.edu/sociology/publications/faculty/perrow/Fukushima11_1_11.pdf [08.08.2017]
- Popitz, H. (1995). Epochen der Technikgeschichte. In H. Popitz (Hrsg.). *Der Aufbruch zur Artifizialen Gesellschaft. Zur Anthropologie der Technik* (S. 13–43). Tübingen: J.C.B. Mohr.
- Rammert, W. (1990). Telefon und Kommunikationskultur. Akzeptanz und Diffusion einer Technik im Vier-Länder-Vergleich. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 42, 20–40.
- Rammert, W. & Schulz-Schaeffer, I. (2002). Technik und Handeln. Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Abläufe verteilt. In W. Rammert & I. Schulz-Schaeffer (Hrsg.). *Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik* (S. 11–64). Frankfurt/M.: Campus.
- Reeves, B. & Nass, C. I. (1996). *The media equation: How people treat computers, television, and new media like real people and places*. Cambridge/Mass.: Cambridge University Press.
- Resnick, M. (1995). *Turtles, Termites, and Traffic Jams. Explorations in Massively Parallel Microworlds (Complex Adaptive Systems)*. Cambridge/Mass.: MIT Press.
- Richter, K. & Rost, J.-M. (2004). *Komplexe Systeme*. Frankfurt/M.: Fischer.
- Rieger, F. (2010). Der Mensch wird zum Datensatz. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 15.01.2010, 33.
- Rochlin, G. I. (1997). *Trapped in the net. The unanticipated consequences of computerization*. Princeton: Princeton UP.
- Rosa, H. (2005). *Beschleunigung. Die Veränderung der Zeitstrukturen in der Moderne*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Russell, M. A. (2013). *Mining the Social Web: Data Mining Facebook, Twitter, LinkedIn, Google+, GitHub, and More* (2nd Edition). O'Reilly Media, Inc.: Sebastopol, CA.



- Sagan, S. D. (1993). *The Limits of Safety. Organizations, Accidents and Nuclear Weapons*. Princeton: Princeton University Press.
- Salganik, M. J., Dodds, P. S. & Watts, D. J. (2006). Experimental study of inequality and unpredictability in an artificial cultural market. *Science*, 311 (5762), 854–856. Verfügbar unter <http://www.sciencemag.org/content/311/5762/854.short> [08.08.2017]
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (1997). Team Play with a Powerful and Independent Agent: Operational Experiences and Automation Surprises on the A-320. *Human Factors*, 39, 553–569.
- Sarter, N. B. & Woods, D. D. (2000). Team Play with a Powerful and Independent Agent: A Full-Mission Simulation Study. *Human Factors*, 42, 309–402. Verfügbar unter <http://hfs.sagepub.com/content/42/3/390.short> [08.08.2017]
- Sarter, N. B., Woods, D. D. & Billings, C. E. (1997). Automation surprises. *Handbook of human factors and ergonomics*, 2, 1926–1943.
- Scheiderer, J. & Ebermann, H. J. (2010). *Human Factors im Cockpit: Praxis sicheren Handelns für Piloten*. Heidelberg: Springer.
- Schelling, T. (1969). Models of segregation. *The American Economic Review*, 59, 488–493. Verfügbar unter <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic98848.files/shelling1.pdf> [08.08.2017]
- Schelsky, H. (1965). Der Mensch in der wissenschaftlichen Zivilisation (1961). In H. Schelsky (Hrsg.). *Auf der Suche nach Wirklichkeit. Gesammelte Aufsätze* (S. 439–480). Düsseldorf: Eugen Diederichs.
- Schimank, U. (2005). *Die Entscheidungsgesellschaft. Komplexität und Rationalität der Moderne*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Schimank, U. (2010). *Handeln und Strukturen. Einführung in eine akteurtheoretische Soziologie* (4. Aufl.). München: Juventa.
- Schivelbusch, W. (1977). *Geschichte der Eisenbahnreise: zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*. München: Hanser.
- Schmitt, D.-R. & Le Tallec, C. (2007). Ferngesteuert von New York nach Frankfurt – Fiktion oder Vision? *DLR-Nachrichten*, 117, 14–19, Verfügbar unter http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/kommunikation/publikationen/117_nachrichten/nachrichten_117.pdf [08.08.2017]
- Schot, J. W. & Geels, F. (2008). Strategic niche management and sustainable innovation journey: theory, findings, research agenda, and policy. *Technology Analysis & Strategic Management*, 20, 537–554.



- Schot, J. W., Hoogma, R. & Elzen, B. (1994). Strategies for shifting technological systems. The case of the automobile system. *Futures*, 26, 1060–1076. Verfügbar unter doc.utwente.nl/34303/1/Schot94strategies.pdf [08.08.2017]
- Shrivastava, S., Sonpar, K. & Pazzaglia, F. (2009). Normal accident theory versus high reliability theory: a resolution and call for an open systems view of accidents. *Human relations*, 62 (9), 1357–1390, DOI: 10.1177/0018726709339117.
- Spindler, G. & Thorun, Ch. (2015). *Eckpunkte einer digitalen Ordnungspolitik. Politikempfehlungen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen für eine effektive Ko-Regulierung in der Informationsgesellschaft*. Berlin: ConPolicy GmbH. Institut für Verbraucherpolitik. Verfügbar unter http://www.conpolicy.de/data/user_upload/Pdf_von_Publikationen/Eckpunkte_einer_digitalen_Ordnungspolitik.pdf [08.08.2017]
- Stegmaier, P., Kuhlmann, S. & Visser, V. R. (2014). The discontinuation of socio-technical systems as a governance problem. In S. Borrás & J. Edler (Hrsg.). *The Governance of Socio-Technical Systems: Explaining Change* (p. 111–131). Cheltenham: Edward Elgar.
- Sturma, D. (2001). Robotik und menschliches Handeln. In Th. Christaller (Hrsg.). *Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft* (S. 111–134). Berlin: Springer.
- Suchman, L. A. et al. (1999). Reconstructing Technologies as Social Practise. *American Behavioral Scientist*, 43, 392–408.
- Suchman, L. A. (2007). *Human and Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions*, (2nd Edition). Cambridge/Mass.: Cambridge University Press.
- SUMO (2010). *SUMO: Simulation of Urban Mobility (0.12)*. German Aerospace Center, Institute of Transportation Systems. Verfügbar unter <http://sumo.sourceforge.net> [08.08.2017]
- Suryadevara, N. K. & Mukhopadhyay, S. C. (2015). *Smart Homes : Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*. Heidelberg: Springer.
- Takayama, L. & Nass, C. (2008). Driver safety and information from afar: An experimental driving simulator study of wireless vs. in-car information services. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66, 173–184. Verfügbar unter <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581906000851> [08.08.2017]
- TA-Swiss (2003). Auf dem Weg zur intelligenten Mobilität. Kurzfassung des TA-Arbeitsdokumentes „Das vernetzte Fahrzeug“. Bern (TA 43A/2003). Verfügbar unter [https://www.ta-swiss.ch/?redirect=getfile.php&cmd\[getfile\]\[uid\]=921](https://www.ta-swiss.ch/?redirect=getfile.php&cmd[getfile][uid]=921) [08.08.2017]
- Technology Acceptance Model (2017). In *Wikipedia*. Verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Technology_Acceptance_Model [08.08.2017]



- Teigelkamp, T. (2015). *Verkehrsmittelwahl als Thema der soziologischen Handlungstheorie. Eine empirische Studie. Bachelorarbeit TU Dortmund.*
- Turkle, S. (2011). Die E-Mail erledigt uns. *Brand Eins*, 4, 39–42. Verfügbar unter <http://www.brandeins.de/archiv/magazin/foerdern/artikel/die-e-mail-erledigt-uns.html> [08.08.2017]
- Tushman, M. L. & Rosenkopf, L. (1992). Organizational Determinants of Technological Change. Toward a Sociology of Technological Evolution. *Research in Organizational Behavior*, 14, 311–347.
- VDE (2007). *VDE-Studie Dezentrale Energieversorgung 2020*. Berlin: VDE. Verfügbar unter <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Pbl/Studien/Documents/MCMS/VDEStudieDezentraleEnergieversorgung2020gesamt.pdf> [08.08.2017]
- Venkatesh, V. & Davis, F. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46 (2), 186–204.
- Voß, J.-P., Smith, A. & Grin, J. (2009). Designing long-term policy: rethinking transition management. *Policy Science*, 42, 275–302.
- Weick, K. E. (1990). Technology as Equivoque: Sensemaking in New Technologies. In P. S. Goodman & L. S. Sproull (Hrsg.), *Technology and Organizations* (p. 1–44). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Weick, K. E. (1987). Organizational Culture as a Source of High Reliability. *California Management Review*, 29 (2), 112–127.
- Weick, K. E. (1990). Technology as Equivoque: Sensemaking in New Technologies. In P. S. Goodman & L. S. Sproull (Hrsg.), *Technology and Organizations* (p. 1–44). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Weick, K. E. & Sutcliffe, K. M. (2007). *Managing the Unexpected: Assuring High Performance in an Age of Complexity* (2nd edition). New York: John Wiley & Sons.
- Weingart, P. (Hrsg.) (1989). *Technik als sozialer Prozeß*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Werle, R. (2001). Liberalisierung und politische Techniksteuerung. In G. Simonis, R. Martinsen & Th. Saretzki (Hrsg.), *Politik und Technik. Analysen zum Verhältnis von technologischem, politischem und staatlichem Wandel am Anfang des 21. Jahrhunderts* (PVS Sonderheft 31) (S. 407–423). Wiesbaden: Westdeutscher Verlag.
- Weyer, J. (1997). Die Risiken der Automationsarbeit. Mensch-Maschine-Interaktion und Störfallmanagement in hochautomatisierten Verkehrsflugzeugen. *Zeitschrift für Soziologie*, 26, 239–257, Verfügbar unter <http://www.zfs-online.org/index.php/zfs/article/viewFile/2949/2486>.



- Weyer, J. (2006). Modes of Governance of Hybrid Systems. The Mid-Air Collision at Ueberlingen and the Impact of Smart Technology. *Science, Technology & Innovation Studies*, 2, 127–149, Verfügbar unter <http://www.sti-studies.de/ojs/index.php/sti/article/view/95/76> [08.08.2017]
- Weyer, J. (2008a). Mixed Governance – Das Zusammenspiel von menschlichen Entscheidern und autonomer Technik im Luftverkehr der Zukunft. In I. Matuschek (Hrsg.). *Luft-Schichten. Arbeit, Organisation und Technik im Luftverkehr* (S. 188–208). Berlin: edition sigma.
- Weyer, J. (2008b): *Techniksoziologie. Genese, Gestaltung und Steuerung soziotechnischer Systeme* (Grundlagentexte Soziologie). Weinheim: Juventa.
- Weyer, J. (2009). Dimensionen der Komplexität und Perspektiven des Komplexitätsmanagements. In J. Weyer & I. Schulz-Schaeffer (Hrsg.). *Management komplexer Systeme. Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos* (S. 3–28). München: Oldenbourg.
- Weyer, J. (2014). Einleitung: Netzwerke in der mobilen Echtzeitgesellschaft. In: J. Weyer (Hrsg.). *Soziale Netzwerke. Konzepte und Methoden der sozialwissenschaftlichen Netzwerkforschung* (3. Aufl.) (S. 3–37). München: Oldenbourg.
- Weyer, J. (2016). Confidence in hybrid collaboration. An empirical investigation of pilots' attitudes towards advanced automated aircraft. *Safety Science*, 89, 167–179. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2016.05.008> [08.08.2017]
- Weyer, J., Adelt, F., Hoffmann, S. (2015a). *Governance of complex systems. A multi-level model (Soziologisches Arbeitspapier 42/2015)*. Dortmund: TU Dortmund. Verfügbar unter <http://hdl.handle.net/2003/34132> [08.08.2017]
- Weyer, J., Fink, R. D. & Adelt, F. (2015b). Human-machine cooperation in smart cars. An empirical investigation of the loss-of-control thesis. *Safety Science*, 72, 199–208. Verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.004> [08.08.2017]
- Weyer, J., Kroniger, J. & Hoffmann, S. (2012). Technikakzeptanz in Deutschland und Europa. In B. Priddat & K.-W. West (Hrsg.). *Die Modernität der Industrie* (S. 317–356). Marburg: Metropolis.
- Wiener, E. L. (1989). *Human factors of advanced technology ("glass cockpit") transport aircraft. Report prepared for Ames Research Center NCC2-377*. Moffet Field, CA. Verfügbar unter http://humanfactors.arc.nasa.gov/publications/HF_AdvTech_Aircraft.pdf [08.08.2017]
- Willke, H. (1989). *Systemtheorie entwickelter Gesellschaften. Dynamik und Riskanz moderner gesellschaftlicher Selbstorganisation*. Weinheim: Juventa.
- Willke, H. (1995). *Systemtheorie III: Steuerungstheorie. Grundzüge einer Theorie der Steuerung komplexer Sozialsysteme*. Stuttgart: Gustav Fischer.



- Willke, H. (1998). Organisierte Wissensarbeit. *Zeitschrift für Soziologie*, 27, 161–177.
- Willke, H. (2007). *Smart Governance. Governing the Global Knowledge Society*. Frankfurt/M.: Campus.
- Zillien, N., Fröhlich, G. & Dötsch, M. (2015). Digitale Selbstvermessung als Verdinglichung des Körpers. In K. Hahn & M. Stempfhuber (Hrsg.). *Präsenzen 2.0: Körperinszenierung in Medienkulturen* (S. 77–94). Wiesbaden: Springer.