

Technik als verteilte Aktion: wie technisches Wirken als Agentur in hybriden Aktionszusammenhängen gedeutet werden kann

Rammert, Werner

Veröffentlichungsversion / Published Version

Arbeitspapier / working paper

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Rammert, W. (2002). *Technik als verteilte Aktion: wie technisches Wirken als Agentur in hybriden Aktionszusammenhängen gedeutet werden kann* (TUTS - Working Papers, 3-2002). Berlin: Technische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie. <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0168-ssoar-11057>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Basic Digital Peer Publishing-Lizenz zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den DiPP-Lizenzen finden Sie hier: <http://www.dipp.nrw.de/lizenzen/dppl/service/dppl/>

Terms of use:

This document is made available under a Basic Digital Peer Publishing Licence. For more information see: <http://www.dipp.nrw.de/lizenzen/dppl/service/dppl/>



Werner Rammert

**Technik als verteilte Aktion
Wie technisches Wirken als Agentur in hybriden
Aktionszusammenhängen gedeutet werden kann**

Technical University Technology Studies
Working Papers

TUTS-WP-3-2002

Institut für Soziologie

Herausgeber:

Fachgebiet Techniksoziologie
Prof. Dr. Werner Rammert

Technische Universität Berlin
Institut für Sozialwissenschaften
Franklinstraße 28/29
10587 Berlin

Sekretariat Rosemarie Walter

E-Mail: rosemarie.walter@tu-berlin.de

Technik als verteilte Aktion

Wie technisches Wirken als Agentur in hybriden Aktionszusammenhängen gedeutet werden kann¹

Summary

The pragmatical aspect of technology is emphasized besides its interpretation as material artefact or cultural scheme: the rising „agency“ of artefacts and the „distributedness“ of activities in hybrid constellations are the two main characteristics of advanced technologies. The examples of co-operating robots, multi-agent systems, and nested heterogeneous systems of air traffic are used to demonstrate how technology can be observed as being „in action“ towards the world, in „interaction“ with other technological entities, and in „interactivity“ with personal and social systems. A pragmatical concept of distributed action and interactivities between hybrid constellations is sketched to overcome the weaknesses of Günter Ropohls modell of „sociotechnical systems“ and Bruno Latours political philosophy of „actor-networks“. It claims that action and technics only emerge in larger contexts of activities, that technology is a projected scheme that can be inscribed and incorporated in different media like physical things, humans, and signs, and that advanced technologies can be characterized by the distributedness of actions between many and heterogeneous agents and by the change from sequential or hierarchical to framed interactional integration of activities.

Zusammenfassung

Neben der theoretischen Deutung der Technik als sachliches Artefakt oder als kulturelles Schema wird der pragmatische Aspekt hervorgehoben: Moderne Technologie gewinnt durch ihre Performanz als Agentur („agency“) und durch die interaktive Verkopplung in einer hybriden Konstellation verteilter Aktivitäten („distributed action“) aus Menschen, Maschinen und Zeichen eine neue Qualität. Anhand von kooperierenden Robotern, Multiagenten-Systemen und vernetzten heterogenen Systemen des Fliegens wird demonstriert, wie Technik in „Aktion“ zur Umwelt, in „Interaktion“ mit anderen technischen Elementen und in „Interaktivität“ mit personalen und sozialen Systemen beobachtet und gedeutet werden kann. Gegenüber Günter Ropohls Modell „soziotechnischer Systeme“ und Bruno Latours politischer Philosophie der „Aktor-Netzwerke“ wird ein pragmatisch-analytisches Konzept verteilter Aktion und Interaktivitäten in hybriden soziotechnischen Konstellationen entworfen. Es geht davon aus, dass Handlung und Technik nur in Zusammenhängen emergiert, Technisierung ein projektiertes Schema ist, das in unterschiedlichen Trägermedien (Sachen, Menschen, Zeichen) geformt und gefestigt werden kann, und dass avancierte moderne Technologien durch die Verteiltheit der Aktion auf viele und heterogene Instanzen

¹ Vortrag auf der wissenschaftlichen Tagung „Technik – System – Verantwortung“ an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus am 11. Juli 2002, erscheint in: Klaus Kornwachs (Hrsg.): Technik, System und Verantwortung. Münster: Lit Verlag 2003

sowie durch gerahmte interaktive Formen statt sequentiell oder hierarchisch integrierte Abläufe gekennzeichnet sind.

1. Neue Techniken und neue Deutungsangebote: Über Wandel und Wechselwirkung von Technik und Theorie

Wenn neue Techniken auftauchen, besteht grundsätzlich keine Notwendigkeit, über neue Theorien zu ihrer Deutung nachzudenken. Es sei denn, dass sie Eigenschaften aufweisen, die sich mit den bisherigen Deutungen nur unzureichend begrifflich fassen liessen. Ich werde zu zeigen versuchen, dass die zunehmende Aktionsfähigkeit („agency“) technischer Artefakte und die veränderte Verteiltheit der Aktivitäten („distributedness“) auf sachliche, menschliche und symbolische Elemente in hybriden Aktionszusammenhängen sich als solche qualitative Wandlungen interpretieren lassen. Wenn neue theoretische Deutungen der modernen Technologien angeboten werden, wird damit noch nichts darüber ausgesagt, ob die Techniken selbst oder nur die Sichtweise auf sie sich gewandelt haben. Es sei denn, dass die Deutungen Aspekte der Technologie hervorheben, die erst mit ihrer aktuellen Erscheinungsform schärfer sichtbar geworden sind. Ich werde vor allem das Konzept des „soziotechnischen Handlungssystems“, die Theorien „künstlicher Intelligenz“ und „Intentionalität“ und die polemische Philosophie hybrider „Akteur-Netzwerke“ daraufhin untersuchen, inwieweit sie den beobachteten Neuheiten begrifflich gerecht werden. Wie sich am Ende meiner Ausführungen zeigt, besteht eine lockere Wechselwirkung zwischen dem Wandel von Technostrukturen und Theoriesemantiken. Sie rechtfertigt den Versuch, diese Veränderungen moderner Technologie in einem pragmatisch-analytischen Konzept verteilter Agenturen und hybrider Aktionszusammenhänge begrifflich schärfer zu fassen.

Was den Wandel der modernen Technologie und die Suche nach neuen Merkmalen anbelangt, greife ich nur zwei aktuelle Beispiele heraus: den Wandel vom „integrierten technischen System“ des autonomen Kampfflugzeugs zum „heterogen vernetzten System“ der Flug- und Waffentechnologie und den Wechsel von der klassischen Robotik und Künstliche Intelligenz-Technologie zur Technologie der „Multiagenten-Systeme“ und der Verteilten Künstlichen Intelligenz.

In der NZZ vom 23. April 2002 werden die „Trends in den Augen der europäischen Flugzeugbauer“ unter der Überschrift „Vom Kampfflugzeug zum vernetzten System“ beschrieben. Ließ sich das bisherige „autonome Kampfflugzeug“ als technisches System beschreiben, das selbst wiederum aus technischen Teilsystemen des Antriebs, der Navigation usw. , zusammengesetzt ist, so sind mit den „vernetzten satelliten-, luft- und bodengestützten Gesamtsystemen“ neue Eigenschaften der Technologie in Erscheinung getreten. Was ein Flugzeug kann oder können muss, hängt heute mehr von der Avionik als vom Flugzeugbau ab. Das gilt auch für die anderen Elemente: Als programmierte Maschinen gewinnen sie zunehmend an „agency“ im Vergleich zu den menschlichen Akteuren. Die Anteile unbemannter Flugzeuge und technischer Abläufe ohne menschliche Intervention verschieben sich. Es handelt sich dabei aber nicht um eine simple „Substitution“ menschlicher durch sachliche Handlungssysteme, auch nicht um eine „Verdinglichung“, wobei der Mensch zum Anhängsel des Maschinensystems wird, sondern um eine neuartige soziotechnische Konstellation mit veränderten Interaktivitäten zwischen Mensch und Technik.

Was in diesem Artikel als Problem der „Interoperabilität“ zwischen den Systemen angesprochen wird, geht meines Erachtens auf zwei qualitative Veränderungen zurück. Erstens, die vernetzten Gesamtsysteme sind nicht mehr homogen integrierte Gesamtsysteme, in de-

nen Aufgaben und Teilsysteme funktional aufgeteilt sind. Vielmehr handelt es sich bei ihnen um einen Netzverbund aus heterogenen Systemen, die besonderer Übersetzungs- und Koordinationsleistungen bedürfen, um zu funktionieren. Man könnte von einer „heterogenen Verteiltheit“ statt einer funktionalen Aufgeteiltheit sprechen. Zweitens, die Gesamtsysteme lassen sich nicht mehr effizient und sicher als rein technische Systeme konstruieren, die erst anschließend an den Schnittstellen mit den Menschen und sozialen Systemen abgestimmt werden, sondern sie erfordern von vornherein die Verteilung von Aktivitäten auf menschliche, sachliche und informatische Einheiten. Man könnte das eine „hybride Verteiltheit“ in soziotechnischen Systemen nennen. Was als Mensch-Maschine-Symbiose für die Cockpitgestaltung schon längst Normalität ist, wird gegenwärtig zu einem Erfordernis für die vernetzten Gesamtsysteme.

Im Bereich der Robotik und Künstliche Intelligenz-Technologie zeichnet sich ebenfalls ein neuer Trend ab. Ich denke da nicht an die spektakulären Bücher und Prognosen von Hans Moravec (1990) und Ray Kurzweil (1999), dass die künstliche Intelligenz bald die menschliche Intelligenz überwinden und der Roboter im Jahr 2025 den Menschen von seiner dominanten Position in der Evolution ablösen werde. Vielmehr möchte ich auf zwei Tatsachen und Trends der Technologieentwicklung aufmerksam machen: Erstens, Roboter und Softwareprogramme werden agil und mobil, indem sie zunehmend zu Planung und situativem Verhalten befähigt werden (vgl. Christaller u.a. 2001). Zweitens, Systeme fußballspielender Roboter und kooperierender Softwareagenten werden nach dem Muster sozialer Koordination, wie Gemeinschaften, Hierarchien und Märkten, konstruiert. Diese künstlichen Agentengesellschaften zeichnen sich durch eine Verteiltheit der Aktivitäten und einen hohen Selbstorganisationsgrad bei der Problemlösung aus, Eigenschaften, die sie von konventionellen technischen Systemkonzeptionen unterscheidet. Im neuen Forschungsfeld der Sozionik wird nicht nur die Übertragung soziologischer Konzepte auf die Probleme der Agenten- und der Gesellschaftsarchitektur von Multiagentensystemen systematisch betrieben. Auch Fragen der Modellierung offener hybrider Systeme aus menschlichen Akteuren und technischen Agenten werden behandelt (vgl. Malsch 1998).

Inwieweit lassen sich diese neuartigen Phänomene angemessen begrifflich erfassen? Die Deutungsangebote moderner Technologie sind unübersichtlich und unterschiedlich im Ansatz. Sie reichen von Aktualisierungen alter Klassiker, wie Karl Marx, John Dewey oder Martin Heidegger², bis hin zu jüngeren Versuchen der Zuspitzung oder Systematisierung. Es läßt sich ein Spektrum von eher engeren ingenieurtheoretischen über analytisch breiter angelegte technik- und sozialtheoretische bis hin zu umfassenden kulturtheoretischen Deutungen aufspannen³. Nach der methodisch-stilistischen Anlage sind sowohl systematische Grundlegungen einer Allgemeinen Technologie, wie die von Günter Ropohl (1979), als auch polemisch zugespitzte Essays, wie die von Bruno Latour (1998), vorzufinden. Die Zeit der großen Gesamtdeutungen scheint eher vorbei zu sein (vgl. auch Hubig und Rohbeck in diesem Band). Ich möchte mich hier auf eine Teildeutung aus einer begrenzten Perspektive beschränken. Die Einschränkung betrifft, erstens, nur die avancierten Technologien, die ich oben erwähnt habe. Ich beziehe mich weder auf alle hochmodernen Technologien noch gar auf die Techniken insgesamt. Sie behandelt, zweitens, nur die beiden ausgewählten Aspekte, die Agentenschaft von Techniken und die Verteiltheit menschlicher und nichtmenschlicher Aktivitäten in hybriden Systemen. Und sie erfolgt, drittens, aus einer pragmatischen technik- und sozialtheoretischen Perspektive.

2 Vgl. u.a. Feenberg 1991, Hickman 1990 und Ihde 1979.

3 Vgl. u.a. die Überblicke von Mitcham 1994, Winner 1977, Weingart 1989, Rammert 1998a, Hubig/Huning/Ropohl 2000 und Lenk 2001

2. Technik als Agentur: weder nur sachliches Artefakt noch nur symbolisches Schema

Deutungen der Technik lassen sich unter verschiedenen Gesichtspunkten anstellen. Sieht man in der Technik wesentlich die sachliche Seite, dann drängt sich ihre Deutung als materielle Verkörperung, als Installation oder als Fixierung von Kausalrelationen in einem zweckdienlichen Medium auf. Sicherlich sind feste Verkörperungen technischer Abläufe in materiellen Trägermedien wie metallischen Maschinen oder Speichermedien aus Silizium notwendig, machen aber nicht das Wesen moderner Technologien aus. Betont man eher die symbolische Seite, erscheint Technik als Kulturphänomen, als vereinfachendes Kausalschema oder als Konditionalprogramm. Angesichts der Manipulationsmöglichkeiten des genetischen Kodes in den Biotechnologien und der Konstruierbarkeit komplexer Programme in den Künstliche Intelligenz-Technologien gewinnt gegenwärtig diese Deutung der Technik als Schema oder Algorithmus die Oberhand. Aber da wir vom Unterschied zwischen Entwurf und Ausführung, von Funktion und Performanz wissen, spielt die aktivierte („enacted“) Form im getesteten physikalischen und sozialen Kontext eine entscheidende Rolle⁴. Daher möchte ich in meinem Beitrag hier eine dritte Sichtweise herausstellen: Technik hat auch eine pragmatische Seite. Sie ist eine Agentur, d.h. sie ist selbst in Aktion, und sie bildet einen Teil in einem Aktionsprogramm verteilter Aktivitäten, das erstrebte Wirkungen erzielt und gleichzeitig nicht-intendierte Wirkungen, sogenannte Nebenfolgen erzeugt, die durch Abkapselung ferngehalten oder durch Kompensation korrigiert werden.

2.1 *Technik in Aktion: Operation und Agentenschaft*

Wenn die Aktivität als ein besonderes Merkmal der modernen Technologie herausgestellt werden soll, kann es sich nicht nur um das Bewegen und Operieren handeln. In diesem Sinne sind schon klassische Maschinen mit ihren Kolben, Gestängen und Rädern in Bewegung, bohren, fräsen und sägen Werkzeugmaschinen und verändern Fahrzeuge und Flugzeuge ihren Ort im Raum. Selbst die erste Generation der Industrieroboter funktionierte noch nach einem fixierten Programm. Wir können zwar die Operationen der Maschinen, die menschliches Handeln nachahmen und ersetzen, als Aktion des verändernden Bewirkens bezeichnen, gewinnen damit aber keine Differenz zu Begriffen des technischen Operierens und Funktionierens.

Der Sachverhalt verändert sich, wenn technische Artefakte eine Auswahl aus verschiedenen Aktionsmöglichkeiten treffen können. Neuere Generationen von Servicerobotern sind in der Lage, den Weg, wie sie das Ziel erreichen, selbständig zu planen (vgl. Grunwald 2002). Auch wenn Hindernisse auf dem Pfad dorthin auftauchen, können sie unter Berücksichtigung der situativen Begebenheiten ihr Verhalten ändern. Damit erfüllen sie Anforderungen auf einer zweiten Ebene des Handelns, die wir mit „Auch-anders-Handeln-Können“ bezeichnet haben (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002).

Dieser Sprung auf eine höhere Ebene der Kontingenz der Aktivitäten wird noch deutlicher, wenn wir uns dem Beispiel aus der Künstliche Intelligenz-Technologie zuwenden. Sind Programme in der Regel nach dem Modell der Master-Slave-Architektur gebaut, be-

4 Einen Überblick über die sozialtheoretische Diskussion geben Halfmann/Bechmann/Rammert 1995; Rammert 1998 und Schulz-Schaeffer 2000.

ginnt mit der agentenorientierten Programmiermethode die Loslösung von fest verdrahteten oder eindeutig vorgeschriebenen Abläufen. Die sogenannten Software-Agenten in agentenbasierten Systemen sind Programme, die ihre Aufgaben in relativer Autonomie („autonomy“), ausgestattet mit dem Vermögen zur Reaktivität („reactivity“), orientiert an Tätigkeiten („pro-activeness“) und unter Bezug auf andere Agenten („sociability“) (Wooldrige/Jennings1995: 116; Rammert 1998b: 91) ausführen. Zwar bleiben Programme weiterhin Algorithmen, aber durch ihre Schachtelung und offenere Verknüpfung entstehen Aktionsräume mit höheren Freiheitsgraden.

Es gibt sogar Software-Agenten, die auf der höchsten und dritten Ebene des Handelns in Aktion sind, auf der wir intentionale Erklärungen für das Handeln verwenden. Diese sogenannten BDI-Agenten („belief, desire, intention“) operieren auf der Grundlage von Informationen und Instruktionen, die je nach Umständen die Funktion von Überzeugungen, Zielen oder Verpflichtungen haben. Ihr Verhalten wird durch diese intentionale Semantik gesteuert, was soviel heißt, dass Ziele beibehalten und aufgegeben werden können, dass Verpflichtungen so lange eingehalten werden, bis sie erfüllt sind oder aufgelöst werden. Das dabei beobachtbare Verhalten von solchen Software-Agenten läßt sich nicht nur am angemessensten mit einem intentionalen Vokabular im Sinne von Dennetts „intentional stance“ (1987) interpretieren, sondern es ist wirklich durch Algorithmen bestimmt, in die das intentionale Vokabular eingeschrieben ist⁵.

2.2 *Technik in Interaktion: Kooperation und Assoziation*

Wenn Techniken den Charakter von Agenten annehmen, dann verändert sich auch das Verhalten und die Beziehung der einzelnen technischen Agenten untereinander. Es besteht nicht mehr die offensichtliche und simple Kausalbeziehung zwischen Klingelzug und Läuten, zwischen Federspannung und Uhrwerk oder zwischen Gaspedal und Beschleunigung, hinter der eine enge Verzahnung oder feste Verdrahtung der Wirkungsglieder steckt. In allen diesen Fällen konventioneller Techniken wäre es unsinnig, von Interaktion oder Kooperation zwischen den technischen Elementen zu sprechen (vgl. Geser 1989; Burkhard/Rammert 2000). Es reicht das mechanische Vokabular des Operierens und Zusammenwirkens vollkommen aus. Erst wenn die Elemente sich zueinander verhalten können, sich anders verhalten können und ihr Verhalten sogar auf dem Hintergrund früherer Erfahrungen und angesichts situativer Gegebenheiten verändern können, dann macht es Sinn, von Interaktion und Kooperation zu sprechen. Serviceroboter, welche die Rolle bei einem koordinierten Einsatz im Kanalsystem oder im Katastrophenfall tauschen können, und fußballspielende Roboter, welche statt allein bis vors Tor zu stürmen die Kunst des Doppelpasses beherrschen, basieren zwar weiterhin auf Algorithmen, aber ihre Verhaltensabläufe lassen sich nicht als determinierte Operationen, sondern angemessener als situierte Kooperationen oder „künstliche Interaktionen“ (Braun-Thürmann 2002) beschreiben.

Die neue Qualität der Beziehung läßt sich besonders deutlich demonstrieren, wenn die Systeme, in denen Software-Agenten miteinander interagieren, hoch skaliert werden. Multiagentensysteme mit hundert, tausend und mehr technischen Agenten können überhaupt nicht mehr mit dem klassischen Maschinenmodell gebaut und gedeutet werden. Wenn Aufgaben von Interface-Agenten aufgenommen, an Koordinations-Agenten weitergegeben, von Broker-Agenten angeboten, von Gruppen von Dienstleistungs-Agenten bearbeitet werden usw., und wenn Agenten mal die eine, mal die andere Rolle übernehmen, mal mit anderen

5 Die Beschreibung und Begründung für einen gradualisierten Handlungsbegriff ist ausführlicher in Rammert/Schulz-Schaeffer 2002 nachzulesen.

Agenten vertrauensvoll kooperieren und mal nach gespeicherten schlechten Erfahrungen mit bestimmten Agenten nicht mehr kooperieren, dann ähneln diese technischen Abläufe nicht mehr determinierten Wirkungsketten von Maschinen und Fabriken, sondern interaktiven Aushandlungsprozessen und institutionalisierten Koordinationsformen in Organisationen, Gemeinschaften und der Gesellschaft. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass soziologische Metaphern und Konzepte sowohl die Konstruktion dieser Agenten und ihrer Interaktionsfähigkeiten als auch die Konstruktion der Gesellschaftsarchitektur bestimmen (vgl. Schulz-Schaeffer 2002). In der Verteilten Künstlichen Intelligenz-Forschung, der Multiagentensystem-Technologie und der Sozionik werden die Gehirnmodelle durch Gesellschaftsmodelle abgelöst, Konzepte der individuellen Problemverarbeitung durch Konzepte kollektiver Koordinationsprozesse ersetzt.

Zusammenfassend könnte man sagen: Ging es bei der klassischen Künstliche Intelligenz-Forschung immer noch um eine funktionale Aufteilung von Aufgaben und einen mechanistischen oder hierarchischen Integrationsmodus zu ihrer sequentiellen Abarbeitung, herrscht in der neuen Verteilten Künstliche Intelligenz-Technologie (vgl. O'Hare/Jennings 1996) eine parallele Verteiltheit von Problemen, deren Lösung durch verschiedene assoziative Koordinationsformen nebeneinander bearbeitet werden. Bringen vorher die fest fixierten Wechselwirkungen der Elemente die erwünschten Ergebnisse hervor, sind sie jetzt das Resultat kontingenter Abläufe und Interaktionen. Die Flexibilität und Robustheit solcher verteilter Systeme macht sie gegenüber den starren und empfindlichen hierarchischen oder funktionalen Systemen unter Bedingungen höherer Skalierung der Elemente und beschleunigten Wandels der Umwelt überlegen.

2.3 Technik in Interaktivität: Kommunikation, Kontingenz und Reflexivität

Wenn Techniken zu relativ autonomen Aktionen und zu Interaktionen befähigt werden, dann verändert sich auch das Verhältnis zwischen Mensch und Technik. So lange wie sie passive Werkzeuge sind, werden sie von den Menschen instrumentell benutzt. Sie können zwar gegenüber den Nutzern und Nutzungsweisen Resistenzen aufweisen. Diese werden aber ergonomisch wechselseitig gepasst. Es bleibt eine instrumentelle Beziehung zwischen Mensch und Objekt.

Maschinen und Automaten weisen zwar besondere Teilsysteme auf, an denen sie bedient, geführt oder geregelt werden. Je größer der Eigenlauf des technischen Systems und je größer die Komplexität der integrierten funktionalen Teilsysteme, desto weniger können wir von einer einfachen instrumentellen Beziehung ausgehen. Bei programmierbaren Maschinen sprechen wir von Schnittstellen, an denen mit unterschiedlichem Aufwand Instruktionen an das technische System gerichtet werden. Solche Anlagen schaltet man nicht einfach ab, sondern fährt sie durch Eingabe einer Instruktion herunter. Man könnte von einer instruktiv-kommunikativen Beziehung sprechen.

Erst wenn die Eingaben nicht direkte Instruktionen sind, sondern vom System im Dialog mit dem Eingebenden dazu präzisiert werden, und wenn die Art und Weise der Ausführung von dem System selbst disponiert wird, dann verschieben sich die Aktivitäten sowohl der Disposition als auch der Deutung vom Nutzer zum System, wobei natürlich hinter dem System auch die Systementwickler mitzubedenken sind. Der Nutzer erfährt das System allerdings, wie die Begriffe des „interface“ und des „Dialogs“ illustrieren, als Gegenüber, mit dem er kommuniziert. Wenn es sich nur um Fragen und standardisierte Antworten handelte, dann brauchten wir nicht von einer kommunikativen Beziehung ausgehen, sondern es

bei einer instrumentellen belassen, die sich bloß symbolischer Zeichensysteme bedient⁶. Erst wenn sich die andere Seite abweichend von Erwartungen, eben kontingent im Hinblick auf Erwartungen verhalten kann, dann entsteht ein interaktiv-kommunikatives Verhältnis (vgl. Maes 1994; Esposito 1994). Software-Agenten können natürlich im Rahmen ihrer programmierten Eigenschaften aus den Verhaltensweisen der Nutzer Schlüsse ziehen, sich ein Nutzermodell mit seinen Eigenheiten und Erwartungen machen und dementsprechend das eigene Verhalten – in gewisser Weise „reflexiv“ auf diese Erfahrungen hin – verändern. Um diese Beziehungen zwischen Menschen und Objekten von denjenigen zwischen Menschen abzugrenzen, habe ich vorgeschlagen, dieses Verhältnis als „Interaktivität“ im Unterschied zur zwischenmenschlichen sozialen Interaktion zu bezeichnen (Rammert 1998b).

Zusammenfassend kann man festhalten:

- Je mehr die neue Technologie Eigenschaften der Eigenaktivität zeigt, desto angemessener läßt sie sich als Agent und nicht mehr als passives Instrument, als aktiver Vermittler und nicht nur als passives Mittel beschreiben.
- Je mehr technische Systeme aus solchen Agenten zusammengesetzt sind, desto angemessener wird ihre Beschreibung als Agentur, deren Wirken durch verteilte Prozesse und interaktive Koordination zustande kommt, desto unangemessener eine Beschreibung, welche von sequentiellen Wirkungsketten und mechanischer Integration ausgeht.
- Je mehr technische Systeme diesen Charakter als Agentur annehmen und mit verteilten Prozessen arbeiten, desto stärker erfordern sie auch ein verändertes Verständnis der Beziehung zu den menschlichen Akteuren, die sie konstruieren und anwenden. Der Entwurf und die Nutzung vernetzter technischer Systeme bringt die Menschen in ein stärker spielerisches und erprobendes Verhältnis der Interaktivität zur Technik, das selbst als Teil der Systemperformanz mitreflektiert und mitgestaltet werden muss.

Damit sind wir bei dem zweiten Ziel meiner Argumentation angelangt, nämlich dass moderne Technologie in auf Menschen, Maschinen und Programmen verteilten Aktionszusammenhängen stattfindet und als hybride Systeme beobachtet und gestaltet werden kann.

3. Technik in hybriden Aktionszusammenhängen: Von funktionaler Aufteilung zu heterogener Verteiltheit

Technikdeutungen unterscheiden sich u.a. auch darin, wie sie das Verhältnis von Mensch und Technik auffassen. Geistes- und sozialwissenschaftliche Ansätze neigen in der Regel dazu, das Handeln, Sprechen und Entscheiden allein den Menschen zuzuschlagen und der Technik nur die Rolle des Mittels oder Instruments zuzuweisen (vgl. dazu auch Pickering 1995). Die menschlichen Akteure bewegen sich in der Sphäre der Intersubjektivität, aus der die technischen Objekte in die Umwelt vertrieben sind. Natur- und ingenieurwissenschaftliche Vorgehensweisen konzentrieren sich darauf, Wirkrelationen zwischen Objekten herzustellen und solche Beziehungen wissenschaftlich zu erklären und technisch zum Funktionieren zu bringen. Sie wirken in der Sphäre der Interobjektivität, in der von menschlichen Subjekten abstrahiert wird. Diese dualistische Aufteilung in eine intersubjektive Welt sozialen Handelns und eine interobjektive Welt technischen Funktionierens erweist sich – so meine zweite These – angesichts immer komplexer werdender Systeme und einer zuneh-

6 Das von Weizenbaum (1977) mitentwickelte und beschriebene ELIZA-Programm bewegte sich noch auf dieser einfachen Stufe.

menden Intensität von Interaktivitäten zwischen Menschen und Objekten als zu eng, um die Besonderheiten hybrider und heterogen vernetzter Gesamtsysteme angemessen zu erfassen und optimal zu gestalten.

3.1 Technik in Aktions- und Funktionszusammenhängen: von der Einheit zur Verteiltheit auf viele Instanzen

Die philosophische Literatur ist reich an Beispielen, in denen das Verhältnis von Mensch und Technik in einem isolierten Beispiel untersucht wird: Der Mensch mit dem Hammer, der Blinde mit dem Blindenstock, der vor Eifersucht Rasende mit einem Revolver oder das Messer, das man zum Brotschneiden oder Töten benutzen kann. Diese Denkweise, von einem „Ego“ als allein und autonom Handelnden auszugehen, von einem einzelnen „Ego“ gegenüber einem einzelnen „Alter“ die Analyse zu entwickeln, ein menschliches Subjekt einem sachlichen Objekt gegenüberzustellen, ist schon vielfach kritisiert worden. Ich möchte hier vielmehr fragen, welche Tatsachen müssen vorliegen und welche Bedingungen erfüllt sein, dass wir entweder Handeln oder technische Verläufe beobachten und einer solchen Instanz mal Subjektivität oder nur Objektivität zurechnen. Dazu dürfen wir nicht schon im Voraus den Menschen und nur diesen und immer Subjektcharakter zubilligen (Fuller 1994; Rammert 1999), sondern in einer Art symmetrischen Beobachtungs- und Beschreibungssprache (vgl. Latour 1995: 127ff) die Frage empirisch offenhalten.

Beginnen wir bei dem Beispiel des Flugzeugs in einem vernetzten Gesamtsystem⁷ mit der Frage: *Wer handelt und was funktioniert?*

Gemäß der dualistischen Sichtweise von Geistes- und Ingenieurwissenschaftlern lautet die einfache Antwort: Der menschliche Pilot fliegt, im Sinne von Handhaben der Hebel und Bedienen der Schalter und Steuerung des Flugzeugs. Das Flugzeug funktioniert im Sinne von Düsenantrieb, Auftrieb an den Flügeln und promptes Reagieren auf Steuerungsbefehle usw. Diese Beschreibung mag zwar für eine kurze Zeit während der Pionierphase des Fliegens gegolten haben, aber für die moderne Fliegerei und für das anvisierte vernetzte System des Fliegens ist es falsch und fehlleitend.

Zunächst einmal ist festzuhalten, dass das Fliegen in einem größeren personalen und sozialen Aktionszusammenhang stattfindet: Ko-Piloten, die Koordinaten in den Navigationscomputer eingeben, handeln ebenso mit wie auch die Fluggesellschaft, welche die Route festgelegt hat oder die örtlichen Landelotsen, welche Instruktionen zur Korrektur der Flughöhe durchgeben. Handeln kann also im Team, in Arbeitsteilung oder als Teilhandeln eines korporativen Akteurs stattfinden.

Wenn wir Handeln nicht auf einen isolierten Zeitpunkt festlegen, sondern alle zeitlich vorausgehenden einschränkenden und ermöglichenden Handlungen miteinbeziehen, ändert sich das Bild des Handelns noch ein weiteres Mal: Dann sind die Handlungen, mit denen Luftstrassen, Flugrouten und Navigationsprogramme festgelegt wurden, und Handlungen der Ausbildung, des Trainings und der Wartung ebenfalls Teile eines umfangreicheren Aktionszusammenhangs. Wie oben schon für die Technik auf die Verteiltheit der Aktivitäten auf viele Instanzen hingewiesen wurde, gilt dies für die menschlichen Handlungen umso mehr: Sie sind von Anfang an Handlungen in einem Strom von Handlungen (vgl. auch Fuller 1994), die erst im Laufe der Geschichte und in bestimmten sozialen Situationen als besondere Handlungen herausgefiltert, bezeichnet, institutionalisiert und bestimmten Instanzen zugerechnet werden (Rammert/Schulz-Schaeffer 2002).

7 Ausführlicher zu diesem Beispiel verteilter Intelligenz und verteilter Aktion siehe Rammert 2002a.

3.2 *Technik in hybriden soziotechnischen Konstellationen: von der homogenen zur heterogenen Verteiltheit*

Die Aufteilung des Fliegens auf viele menschliche Aktionen reicht nicht aus: Wer oder was trägt noch zur Flugaktion bei? Auch technische Artefakte wirken aktiv auf das Fliegen ein. Über große Strecken fliegt der Auto-Pilot, also ein Softwareprogramm, die Maschine. Automatische Lande-, Abstands- und Navigationssysteme sind an der Bestimmung der Flughöhe, der Flugrichtung und der einzelnen Flugmanöver beteiligt. Das Fliegen des Flugzeugs wird weder vom Menschen allein oder im Kollektiv noch vom Flugzeug allein oder den vielen Instanzen des technischen Gesamtsystems bewerkstelligt. Das Fliegen als Technik findet in einer aus Maschinen, Menschen und Programmen vermischten Konstellation statt, wobei den menschlichen und nichtmenschlichen Instanzen des Handelns unterschiedliche und situativ wechselnde Grade von Handlungsträgerschaft („agency“) auf der einen Seite und unterschiedliche Grade von Technisierung („technological fix“) zukommen.

Diese nicht-dualistische Sichtweise oder auch Hybridperspektive auf soziotechnische Konstellationen hat einige Vorläufer. Auch wenn man technische und soziale Systeme strikt trennt, tauchen Probleme der Koppelung auf. Während die soziologische Systemtheorie sich auf das abstrakte Theorem struktureller Koppelung beschränkt, mit dem wenig Spezifisches ausgesagt wird (vgl. weiterführend Halfmann in diesem Band), haben Ergonomen, Arbeitswissenschaftler und Ingenieure die konkreten Koppelungen als Schnittstellenproblem unter den Themen Mensch-Maschine-System oder Human-Computer-Interaktion behandelt. Diese Theoretisierungen blieben allerdings auf höchst spezielle Bereiche der ergonomischen Anpassung von Maschinen oder der Verbesserung von Cockpitsituationen unter Wahrnehmungs- und Kommunikationsaspekten begrenzt.

Eine erste Verallgemeinerung fand unter dem Label „soziotechnischer Ansatz“ des Tavistock-Instituts statt, das über die punktuellen Anpassungen hinaus auf die systematische und wechselseitige Anpassung des technischen und des sozialen Arbeitssystems zielte (Trist 1981). Theoretisch wirklich grundlegend wurde 1979 von Günter Ropohl ein formales Modellkonzept für „soziotechnische Systeme“ entwickelt, in dem „personale bzw. soziale Systeme einerseits und Sachsysteme andererseits ... eine integrierte Handlungseinheit eingehen“ (Ropohl 1979: 181 f.). Dieses Konzept wurde zwar höchst systematisch auf der Grundlage eines allgemeinen Handlungsbegriffes (von Kempfski 1954) und einer allgemeinen kybernetischen Systemtheorie ausgebreitet, scheint mir aber vor allem aus zwei Gründen für die angemessene Analyse der vernetzten und verteilten Gesamtsysteme gegenwärtig nicht mehr so geeignet zu sein: Erstens, basiert es auf einem Konzept der Aggregation der Teilsysteme anstatt einer Interaktion. Zweitens, fokussiert es die Substitutionsbeziehung zwischen menschlichen Handlungssystemen und Sachsystemen im Sinne einer funktionalen Aufteilung anstelle von Delegationsbeziehungen und anderen z.T. selbstorganisierten Koordinationsformen zwischen verteilten Agenturen.

Aktuell bestimmt die Rede von den Hybriden und Cyborgs den postmodernen Diskurs. Der provokanteste, aber auch ernsteste Versuch, sich mit einer „symmetrischen Anthropologie“ dem Phänomen hybrider Konstellationen anzunähern, findet sich in den Schriften „Wir sind nie modern gewesen“ und „Das Parlament der Dinge“ von Bruno Latour (1995; 2001). Streicht man alle Rhetorik und Polemik, dann bleibt immerhin das deskriptive Konzept konkurrierender Netzwerke aus menschlichen und nichtmenschlichen Aktanten, die sogenannte Aktor-Netzwerk-Theorie. Dieses Konzept ist zwar äußerst originell und für die empirische und rekonstruktive Technikforschung produktiv, aber auch hier sind vor allem zwei Schwächen zu kritisieren, die es zu überwinden gilt: Erstens, da Aktanten semiotisch

definiert sind als alle Einheiten, die in einem Satz korrekt als Subjekt gebraucht werden können, werden die Unterschiede der Agenten, die sich in ihren empirischen Aktivitäten zeigen, gänzlich ausgeblendet (vgl. auch Schulz-Schaeffer 1998). Zweitens, interessiert sich der Ansatz nur für die Struktur von Beziehungen und Einbindungen („enrolments“), aber nicht für die Interaktionen und Interaktivitäten, mit denen sie produziert und verändert werden.

3.3 *Technik und die Form der Verteilung: von hierarchischer Aufteilung zu fragmentaler Verteiltheit*

Um sich das Besondere der Verteiltheit bei den hier thematisierten „verteilten Aktionen“ zu vergegenwärtigen, zähle ich die bisher behandelten Formen der Verteilung noch einmal auf.

Zunächst ging es grundsätzlich um die Teilung der Aktivitäten auf viele Instanzen: Es ist schon eine starke Vereinfachung und Reduktion, wenn wir von *einem* Akteur und *einer* Aktion sprechen. Bei höher auflösender Analyse entdecken wir die Vielheit von Akteurinstanzen und Aktionseinheiten. Dann wurde die Verteilung der Aktivitäten auf Menschen und Sachen, auf Maschinen und Programme, angesprochen. Man kann sagen, dass Schemata der Technisierung von verschiedenen Trägermedien ausgeführt werden. Trainierte Handlungen und Routinen, die von Menschen vollzogen werden, mechanisierte Abläufe in physikalischen Geräten und algorithmisierte Regelkomplexe in Form von Zeichensystemen zählen dazu (Rammert 1998a: 314). Damit war die Heterogenität in verteilten Systemen angesprochen. Abschließend steht jetzt die Form der Teilung zur Diskussion, in welcher Weise die Verteilung organisiert ist.

Die für die Gestaltung technischer Systeme, inklusive soziotechnischer Systeme, übliche Methode – von der klassischen Kinematik bis zur modernen Informatik – besteht stark vereinfacht darin, alle Elemente und Aktivitäten, auf die Aufgaben der Problemlösung oder Leistungserbringung verteilt sind, in eine zwingende Form zu bringen, die sachlich zuverlässig und sicher, zeitlich dauerhaft und planbar und sozial verfügbar und fest erwartbar ist. Wenn Teilaufgaben auf viele und gar verschiedenen Elemente aufgeteilt werden, dann mussten sie durch lineare Verkettungen oder hierarchische Ablaufschemata integriert werden. Wie für die Komandoketten auf einem Schiff müssen die Befehlsketten und Hierarchieebenen bis zur zentralen Autorität des Kapitäns eindeutig geregelt sein, um perfekt zu funktionieren.

Dieses Modell hierarchischer Aufteilung und Integration wird durch neuere Beobachtungen und Forschungen für bestimmte technische Konfigurationen und soziotechnische Konstellationen hinsichtlich seiner Allgemeingültigkeit in Frage gestellt.

In den Computerwissenschaften wurde mit dem Konzept des „Distributed Computing“ (Rumelhart/McClelland), das nachfolgend im Zweig der „Distributed Artificial Intelligence“ fortgesetzt wurde, von den gängigen Auffassungen linearer oder hierarchischer Problembearbeitung abgewichen. Es fing zwar nur mit dem schlichten Problem der zeitlichen Verteilung von Rechnerkapazitäten an, wuchs sich aber zu einem ganzen Schwarm von softwaretechnischen Lösungen von der fuzzy logic bis hin zur Sozionik aus, bei denen Prozesse parallel durchführt und über ganz unterschiedliche Weise integriert werden.

In den Kognitionswissenschaften entwickelte Ed Hutchins das Konzept der „Distributed Cognition“ (Hutchins 1996). Anhand von Studien über die Navigationstechnik der Polynesier und auf einem amerikanischen Kriegsschiff mit ausgefallenem Navigationssystem (Hutchins 1998) konnte er aufzeigen, wie Orientierungstechniken als auf mehrere Menschen und auf mehrere heterogene Instanzen, Praktiken, Gegenstände und technische Ge-

räte, verteilte Prozesse zustande kommen. Wichtig ist die Erkenntnis, dass sie keiner Planung, hierarchischen Integration und funktionalen Aufteilung bedürfen, sondern als naturwüchsiger Prozess der Koppelung und experimentellen Verbesserung von Routinen und Reflexionen entstehen und sich schrittweise zu einem funktionierenden Gesamtsystem zusammenfügen und festigen.

Da ich für die moderne Technologie hier ihre Eigenschaft als „Agentur“ hervorgehoben habe, liegt es für mich nahe, in dieser Traditionslinie ein Konzept der „distributed action“, der verteilten Aktion, zu entwickeln. Es unterscheidet sich von allen Konzepten funktionaler Aufteilung und hierarchischer Integration von Aufgaben innerhalb technischer Systeme und auch zwischen menschlichen Handlungssystemen und Sachsystemen dadurch,

- dass es parallele Problembearbeitung statt sequentieller zulässt,
- dass die Abläufe in einem fixierten Rahmen selbstorganisiert verlaufen und nicht hierarchisch vorstrukturiert sind und
- dass auch die Verteilung auf Menschen, Maschinen und Programme situativ unterschiedlich geregelt wird.

Eine solche Verteiltheit könnte man in Absetzung zur funktionalen und hierarchischen Aufteilung als eine fragmentale und interaktive Verteiltheit bezeichnen. Fragmental⁸, weil die Prozesse parallel oder häufig getrennt nebeneinander, aber doch mit Bezug zum Gesamtsystem gestaltet sind, interaktiv, weil die Lösungen nicht schematisch determiniert, sondern unter Aushandlungsprozessen zwischen verschiedenen Einheiten entstehen. Dadurch haben diese soziotechnischen Konstellationen eine höhere Robustheit und Flexibilität. Die Systemsicherheit könnte sich sogar erhöhen, weil man sich der Grenzen der Perfektion und der hierarchischen Integration viel stärker bewußt ist. Die Vermehrung starrer Systeme führt nicht zur Erhöhung der Gesamtsicherheit, sondern vergrößert sogar – wie wir von hochtechnischen und komplexen Systemen wissen (Perrow 1987) – das Risiko unvorhergesehener Pannen und Unfälle und senkt die Aufmerksamkeit für Interaktivitäten zwischen Mensch, Maschine, Umwelt und Programm.

Die Folgen der Verteiltheit für Sicherheit und Risiko, für Ethik und Verantwortung, eröffnet ein neues Thema, das hier nicht mehr behandelt werden kann. Es sollte nur aufgezeigt werden,

- dass die zunehmende „Agency“ von einigen modernen Technologien es sinnvoll erscheinen läßt, Technik auch als „Agentur“ zu begreifen,
- dass diese „Agency“ zu neuen Deutungen von technischem Wirken führt, die über das reine Funktionieren und sequentielle Operieren hinausweisen und
- dass es sinnvoll ist, die Verteiltheit auf viele Agenturen und auf verschiedenartige Agenturen als neue beobachtbare Eigenschaft herauszustellen und in einer Hybridperspektive auf heterogene Aktionszusammenhänge zu bündeln.

Literatur

- Braun-Thürmann, H. (2002). Künstliche Interaktionen - Wie Technik zur Teilnehmerin sozialer Wirklichkeit wird. Wiesbaden, Westdeutscher Verlag.
- Burkhard, H.-D., Rammert, W. (2000). "Integration kooperationsfähiger Agenten in komplexen Organisationen. Möglichkeiten und Grenzen der Gestaltung hybrider offener Systeme." Working Paper TUTS-WP-1-2000, Technical University Berlin.

8 Ausführlicher zum Konzept einer fragmentalen Differenzierung vgl. Rammert 2002b.

- Christaller, T. u. a. (2001). Robotik. Perspektiven des menschliches Handelns in der zukünftigen Gesellschaft. Berlin, Springer.
- Dennett, D. (1987). *The Intentional Stance*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Espósito, E. (1995). "Interaktion, Interaktivität und die Personalisierung der Massenmedien." *Soziale Systeme* (2): 225-260.
- Feenberg, A. (1991). *Critical Theory of Technology*. New York, Oxford U. P.
- Fuller, S. (1994). "Making Agency Count. A Brief Foray into the Foundation of Social Theory." In: *American Behavioral Scientist* 37(6): 741-753.
- Geser, H. (1989). "Der PC als Interaktionspartner." In: *Zeitschrift für Soziologie* 18(3): 230-243.
- Grunwald, A. (2002). Wenn Roboter planen: Implikationen und Probleme einer Begriffszuschreibung. In: *Können Maschinen handeln?* W. Rammert, Schulz-Schaeffer, I. Frankfurt/M., Campus.
- Halfmann, J., Bechmann, G., Rammert, W. (Hg.) (1995). *Technik und Gesellschaft, Jahrbuch 8. Theoriebausteine der Techniksoziologie*. Frankfurt/M., Campus
- Hickman, L. (1990). *John Dewey's Pragmatic Technology*. Bloomington, Indiana University Press.
- Hubig, C., Huning, A., Ropohl, G. (2000). *Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie*. Berlin, Edition Sigma.
- Hutchins, E. (1996). *Cognition in the Wild*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Hutchins, E. (1998). *Learning to Navigate. Understanding Practice. Perspectives on Activity and Context*. S. Chaiklin, Lave, J. (Hg.). Cambridge, Cambridge University Press.
- Ihde, D. (1979). *Technics and Praxis. A Philosophy of Technology*. Boston, Reidel.
- Kurzweil, Ray (1999). *Homo sapiens. Leben im 21. Jahrhundert - Was bleibt vom Menschen?* 3. Aufl., Köln, Kiepenheuer und Witsch.
- Latour, B. (1995). *Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie*. Berlin, Akademie-Verlag.
- Latour, B. (1998). Über technische Vermittlung. Philosophie, Soziologie, Genealogie. In: *Technik und Sozialtheorie*. W. Rammert, (Hg.). Frankfurt/M., Campus: 29-81.
- Lenk, K. H. (2001). *Advances in the Philosophy of Technology*. Münster, Lit Verlag.
- Maes, P. (1994). "Agents that Reduce Work and Information Overload." In: *Communications of the ACM* 37(7): 30-40.
- Malsch, T., (Hg.) (1998). *Sozionik: Soziologische Ansichten zur künstlichen Sozialität*. Berlin, Sigma.
- Mitcham, C. (1994). *Thinking Through Technology. The Path between Engineering and Philosophy*. Chicago, The University of Chicago Press.
- Moravec, Hans (1990): *Mind Children. Der Wettlauf zwischen menschlicher und künstlicher Intelligenz*, Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- O'Hare, G. M., Jennings, N. R. (eds) (1996). *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. New York, John Wiley & Sons.
- Perrow, C. (1987). *Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik*. Frankfurt/M., Campus.
- Pickering, A. (1995). *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science*. Chicago, University Press.
- Rammert, W. (1998a). Die Form der Technik und die Differenz der Medien. Auf dem Weg zu einer pragmatistischen Techniktheorie. In: *Technik und Sozialtheorie*. W. Rammert, (Hg.). Frankfurt/M., Campus: 293-326.
- Rammert, W. (1998b). Giddens und die Gesellschaft der Heinzelmännchen. Zur Soziologie technischer Agenten und Systeme Verteilter Künstlicher Intelligenz. In: *Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität*. T. Malsch, (Hg.). Berlin, Sigma: 91-128.
- Rammert, W. (1999). "Weder festes Faktum noch kontingentes Konstrukt: Natur als Produkt experimenteller Interaktivität." In: *Soziale Welt* 50(3): 281-296.
- Rammert, W. (2002a). "Verteilte Intelligenz im Verkehrssystem: Interaktivitäten zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt." In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 97 (im Druck).
- Rammert, W. (2002). *The Governance of Knowledge, Limited: The rising relevance of non-explicit knowledge under a new regime of distributed knowledge production*. In: *The Governance of Knowledge*. N. Stehr, (ed.). Brunswick, N.J., Transaction Books.
- Rammert, W., Schulz-Schaeffer, I. (Hg.) (2002). *Technik und Handeln - Wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt*. In: *Können Maschinen handeln?* W. Rammert, Schulz-Schaeffer, I. (Hg.). Frankfurt/M., Campus.
- Rumelhart, C., McClelland, I. (Hg.) (1986). *Parallel Distributed Processing. Vol I. Foundations*. Cambridge, MA, MIT Press.
- Schulz-Schaeffer, I. (1998). Akteure, Aktanten und Agenten: Konstruktive und rekonstruktive Bemühungen um die Handlungsfähigkeit von Technik. In: *Sozionik*. T. Malsch, (Hg.). Berlin, Sigma: 129-168.

- Schulz-Schaeffer, I. (2000). Sozialtheorie der Technik. Frankfurt/M., Campus.
- Schulz-Schaeffer, Ingo (2002). Innovation durch Konzeptübertragung. Der Rückgriff auf Bekanntes bei der Erzeugung technischer Neuerungen am Beispiel der Multiagentensystem-Forschung. In: Zeitschrift für Soziologie 31(3), S. 232-251.
- Trist, E. (1981). The Evolution of Socio-Technical Systems. Toronto.
- von Kempster, I. (1954). "Handlung, Maxime und Situation." In: Studium Generale 7: 60-68.
- Weingart, P., (Hg.) (1989). Technik als sozialer Prozeß. Frankfurt/M., Suhrkamp.
- Winner, L. (1977). Autonomous Technology. Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought. Cambridge, MIT Press.