



Technische Universität Berlin
Technology Studies

Ingo Schulz-Schaeffer

**Technikbezogene Konzeptübertragungen
und das Problem der Problemähnlichkeit.
Der Rekurs der Multiagentensystem-Forschung
auf die Welt des Sozialen**

Technical University Technology Studies
Working Papers

TUTS-WP-2-2001

**Institut für
Sozialwissenschaften**

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

Einleitung

Erfindungen sind, so S. Colum Gilfillan (1935/1970: 6), in der Regel neue Kombinationen von Elementen des bestehenden Standes von Wissenschaft und Technik. So ist beispielsweise die Erfindung der Schiffsschraube nichts anderes als das Resultat der Übertragung eines gut bekannten Konstruktionsprinzips auf die Problemstellung des motorisierten Schiffsantriebs, nämlich des Prinzips schräggestellter Schaufeln, das zuvor bereits bei anderen Techniken, der Windmühle etwa (oder noch früher: der Technik des Ruderns), erfolgreich zur Anwendung gekommen war (vgl. ebd.: 27f.). Dieser Erklärungsansatz von Gilfillan, einem der Pioniere der soziologischen Innovationsforschung, ist in der neueren Wissenschafts- und Techniksoziologie weitgehend in den Hintergrund getreten. Hierfür scheinen zwei Theorieentwicklungen in besonderer Weise verantwortlich zu sein: das Paradigmen-Konzept Kuhns mit seiner Betonung der im Paradigmenwechsel verkörperten radikalen Diskontinuität der Ereignisse und der sozialkonstruktivistische Ansatz in der Wissenschafts- und Technikforschung mit seiner Abkehr von „ideengeschichtlichen“ Erklärungsmustern.

Im Zuge der Einführung des Paradigmenkonzepts in die technikbezogene Innovationsforschung (vgl. Dosi 1982) kommt es zu der folgenreichen Unterscheidung technischer Neuerungen in radikale und inkrementelle Innovationen. Inkrementelle Innovationen sind demnach technische Weiterentwicklungen entlang von Entwicklungspfaden, deren Richtung vorgezeichnet ist durch ein technologisches Paradigma, d.h. durch eine Anzahl etablierter Konstruktionsprinzipien sowie der auf dieser Grundlage bereits erfolgreich realisierten technischen Arrangements (vgl. ebd.: 152ff.). Radikale Innovationen dagegen sind technische Neuerungen, die gegebene Entwicklungspfade verlassen und sich stattdessen als Versuche der Umsetzung neuer technologischer Paradigmen formieren (vgl. Dosi 1982: 154, 158ff.; Freeman/Perez 1988: 46). Mit dieser Unterscheidung wird sämtliche Kontinuität technischer Entwicklung auf Seiten der Weiterentwicklung bestehender Produktlinien verortet, während die technische Innovation im eigentlichen Sinne sich als diskontinuierlicher Prozess darstellt.

Aber auch der sozialkonstruktivistische Ansatz hat zur Dethematisierung kontinuierlichkeitsbezogener Ansätze in der Innovationsforschung beigetragen. Hier ist es die Fokussierung auf die je aktuellen Prozesse der sozialen Aushandlung von Forschungsergebnissen unter der Bedingung interpretativer Flexibilität, die dazu führt, dass bereits etablierte Wissensbestände lediglich als Rahmenbedingungen entsprechender Aushandlungsprozesse in den Blick kommen, nicht aber als eigenständige Erklärungsfaktoren. So richtet beispielsweise die Wissenschaftssoziologie Collins'scher Prägung ihr Augenmerk exklusiv auf Situationen so genannter wissenschaftlicher Kontroversen, die gerade dadurch charakterisiert sind, dass das bereits konsentiert Wissen mit Blick auf die strittigen Forschungsfragen keine der konkurrierenden Antwortversuche präferiert (vgl. Collins 1983: 94). Ähnliches gilt für die techniksoziologische Adaption dieser zunächst wissenschaftssoziologischen Überlegungen (vgl. Pinch/Bijker 1984).

Allerdings ist in den letzten Jahren auch innerhalb des sozialkonstruktivistischen Ansatzes erkannt worden, dass man den Spielraum möglicher Aushandlungsprozesse anfangs wohl über- und den Einfluss bereits ausgehandelter Bedeutungsfestlegungen auf

Innovationsprozesse (den erreichten Stand von Wissenschaft und Technik also) dagegen unterschätzt habe (vgl. Bijker 1995: 281ff.; Schulz-Schaeffer 2000a: 280ff.) Weiterhin dürfte sich herausstellen, dass kaum eine der neuen Techniken, mit denen sich die soziologische Innovationsforschung befasst hat, im strengen Sinne als radikale Innovation gelten kann – ganz abgesehen von der Schwierigkeit, technologische Paradigmenwechsel überhaupt einigermaßen trennscharf zu identifizieren.¹ Natürlich sind diese wenigen Bemerkungen nicht geeignet, die Verdienste der angesprochenen Ansätze in Frage zu stellen. Vielmehr geht es mir hier darum, darauf hinzuweisen, dass die Abkehr von kontinuierkeitsbezogenen Erklärungsmustern in der soziologischen Innovationsforschung keineswegs durch die Konzeptionen gedeckt ist, die diese Entwicklung maßgeblich beeinflusst haben. Vor diesem Hintergrund scheint es sinnvoll und notwendig, bei der Analyse von Innovationsprozessen – und nicht nur solcher, die die Verbesserung bestehender Produkte und Prozesse zum Gegenstand haben – zumindest ergänzend wieder stärker nach Erklärungen zu suchen, die den Rekurs des Neuen auf Bekanntes thematisieren. Dazu ist der vorliegende Aufsatz ein Beitrag.

Der Gegenstand, anhand dessen die Erzeugung des Neuen durch Bezugnahme auf Bekanntes im Folgenden exemplarisch untersucht wird, ist das Forschungsfeld der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI).² Wir stoßen hier auf eine besonders unerwartete Form des Rückgriffs auf vorgängige Wissensbestände bei der Entwicklung technischer Neuerungen, die uns die Eigenschaften entsprechender Übertragungsprozesse dadurch vielleicht deutlicher als anderenorts vor Augen führt: den Versuch, Software-Systeme nach dem Vorbild sozialer Zusammenhänge zu konstruieren. Mit überraschender Selbstverständlichkeit heißt es in einer neueren maßgeblichen Einführung in das noch junge Forschungsfeld, es bestehe zwischen den beteiligten Forschern ein breiter Konsens, dass „VKI-Systeme von Natur aus sozial sind“³ (Moulin/Chaib-draa 1996: 44). Dies könne man sich durchaus analog zu menschlicher Sozialität vorstellen: So wie menschliche Sozialverbände das Resultat erfolgreicher Handlungskoordination seien, so beschäftige sich auch die VKI „mit Situationen, in denen verschiedene Systeme interagieren, um ein gemeinsames Problem zu lösen“ (ebd.: 4).

Im Folgenden wird es im ersten Abschnitt zunächst darum gehen, ein idealtypisches Konzept technikbezogener Konzeptübertragungen zu entwickeln, das Gilfillans These der Erfindung als neuer Kombination etablierten Wissens und Könnens präziser fasst und

-
1. Was nicht zuletzt damit zusammenhängt, dass technische Innovationen in der Regel auf einer Vielzahl heterogener Wissensbestände aufbauen und eine grundlegende Umorientierung mit Blick auf alle erforderlichen Teilbeiträge einer Innovation deshalb sehr unwahrscheinlich ist. Dies ist im Kern bereits Gilfillans (1935/1970: 3ff.) Argument gegen das Konzept radikaler oder, wie es bei ihm heißt, revolutionärer Innovationen.
 2. Ich greife dabei auf Befunde eines DFG-Projekts zum Thema: „Sozialmetaphern in der Verteilten Künstlichen Intelligenz (VKI) – Eine empirische Untersuchung zum Innovationspfad der ‚Metaphernmigration‘“ (DFG-GZ: MA 759/2-2) zurück. Sie wurden unter der Leitung von Thomas Malsch von Holger Braun-Thürmann, Alexandra Engels, Peter Imhof, Rolf Lührs und dem Verfasser erhoben. In diesem Rahmen wurden im Laufe des Jahres 1998 25 leitfadengestützte Experteninterviews mit deutschen WissenschaftlerInnen durchgeführt, die im Bereich der Multiagentensystem-Forschung der VKI tätig sind. Zu einer ausführlicheren Darstellung der Forschungsergebnisse vgl. Schulz-Schaeffer 2000b.
 3. Hier wie bei allen folgenden im Original englischsprachigen Zitaten stammen die Übersetzungen vom Verfasser.

insbesondere genauer anzugeben in der Lage ist, unter welchen Bedingungen mit entsprechenden Übertragungsprozessen überhaupt zu rechnen ist. Zu diesem Zweck greife ich auf Max Blacks Konzept des theoretischen Modells zurück. Black zufolge gründen wissenschaftliche Konzepttransfers auf der Annahme einer Strukturgleichheit zwischen den Phänomenen zweier Forschungsbereiche, die es erlaubt, etabliertes Wissen aus dem einen Forschungsfeld als theoretische Innovation in das andere Forschungsfeld zu importieren. Ich werde argumentieren, dass im Fall technikbezogener Konzeptübertragungen in analoger Weise die Annahme einer Problemähnlichkeit der aufeinander bezogenen Bereiche konstitutiv ist. Die drei daran anschließenden Abschnitte dienen dazu, diese Konzeption am Beispiel der Multiagentensystem-Forschung der VKI zu überprüfen und weiterzuentwickeln. Im zweiten Abschnitt wird das Problem der Koordination eigenständig verhaltensfähiger Entitäten als das Problem identifiziert, mittels dessen in der Multiagentensystem-Forschung die Ähnlichkeitsbeziehung zur Welt des Sozialen hergestellt wird. Der dritte Abschnitt diskutiert Bestrebungen der VKI, diese Problemähnlichkeit zu nutzen, um Mechanismen menschlicher Verhaltensabstimmung als technische Problemlösungen für das Problem der Agentenkoordination zu reformulieren. Dabei wird sich zeigen, dass dieses Vorgehen zwar einige Erfolge aufzuweisen hat, dass die formulierte Problemähnlichkeit über das Koordinationsproblem insgesamt aber recht unspezifisch ist und deshalb zu recht unspezifischen Analogieschlüssen führt. Als Konsequenz daraus erfolgt eine nach Maßgabe des bis dahin Gesagten überraschende Wende: Es wird auf Strukturgleichheit als Grundlage der Ähnlichkeitsbeziehung umgestellt. Diese Umorientierung ist das Thema des vierten Abschnitts. Überraschend ist sie, weil mit der Umstellung von Problemähnlichkeit auf Strukturgleichheit das zentrale Kalkül dispensiert wird, das den Rekurs auf Bekanntes in der Technikentwicklung rechtfertigt: Dass sich der Rückgriff auf eine bekannte Problemlösung lohnen könne, weil das anstehende Problem dem dortigen Problem hinreichend ähnlich ist. Es lässt sich allerdings begründen, dass der Umweg über Strukturgleichheit im Wesentlichen eine indirekte Form ist, Problemähnlichkeit herzustellen. Im letzten Abschnitt wird das Konzept technikbezogener Konzeptübertragung in entsprechender Weise erweitert.

1. Wissenschaftliche und technikbezogene Konzeptübertragungen: Strukturgleichheit vs. Problemähnlichkeit

Die Bezugnahme der VKI auf die Welt des Sozialen repräsentiert eine Vorgehensweise, die in der Wissenschaftsphilosophie seit Jahrzehnten intensiv diskutiert wird (vgl. Radman 1995), die in der Wissenschaftssoziologie nach ungnädiger Kommentierung durch Knorr-Cetina (1984: 92ff.) kaum weitere Beachtung gefunden hat,⁴ die dafür aber in der

4. Knorr-Cetina (1984: 116ff., 123f.) wirft den gleich anzusprechenden Überlegungen vor, den beobachteten Innovationserfolg retrospektiv zur Erklärung des Innovationsgeschehens zu verwenden (dies ist das gängige sozialkonstruktivistische Argument gegen „ideengeschichtliche“ Erklärungen, ähnlich z.B. auch Pinch/Bijker 1994: 405f.) und dabei die Fabrikations- und Verhandlungsprozesse in der alltäglichen Praxis des Labors, die diesen Erfolg tatsächlich bewirkten, zu ignorieren. In einer neueren Veröffentlichung gelangt sie dagegen zu der deutlich positiveren Einschätzung, die Interpretation von Metaphern und Analogien in der Tradition Blacks erweise sich „als wichtig für das Verständnis konzeptueller

Techniksoziologie im Zusammenhang mit dem leider reichlich diffusen Begriff des Leitbildes in den letzten Jahren einige Aufmerksamkeit für sich verbuchen konnte (vgl. Mambrey et al. 1995). Die einschlägige Beschreibung, wie man sich diese Vorgehensweise idealtypisch vorzustellen habe, stammt nach wie vor von Max Black, dessen Überlegungen zugleich den Startpunkt der wissenschaftsphilosophischen Diskussion bildeten. Sie lautet: „1. Wir haben ein primäres Untersuchungsfeld, innerhalb dessen *einige* Tatsachen und Regelmäßigkeiten bereits etabliert sind ... 2. Es gibt einen Bedarf ... nach weiterer wissenschaftlicher Beherrschung des primären Bereichs. 3. Wir beschreiben einige Entitäten (Objekte, Materialien, Mechanismen, Systeme, Strukturen), die zu einem relativ unproblematischen, bekannteren oder besser organisierten zweiten Bereich gehören. Die postulierten Eigenschaften dieser Entitäten werden in der jeweils als nützlich erachteten Detailliertheit beschrieben. 4. Es sind implizite oder explizite Korrelationsregeln verfügbar, die es erlauben, Aussagen über das zweite Feld in korrespondierende Aussagen über das primäre Feld zu übersetzen. 5. Folgerungen aus den Annahmen, die in dem zweiten Feld aufgestellt worden sind, werden mittels der Korrelationsregeln übersetzt und dann unabhängig überprüft an bekannten oder vorhergesagten Daten aus dem ersten Bereich.“ (Black 1962: 230) Bedingung für die Entdeckung solcher Korrelationsregeln ist, dass die aus dem Referenzbereich stammenden Konzepte die gleichen Strukturen bzw. die gleichen Muster von Beziehungen beschreiben, die auch in dem eigentlich interessierenden Feld von Bedeutung sind: „(D)er Schlüssel zum Verständnis der gesamten Transaktion ist die Strukturgleichheit, die es in günstigen Fällen erlaubt, aus Annahmen über den zweiten Bereich Einsichten über das ursprüngliche Feld des Interesses zu gewinnen“ (ebd.: 230f.; vgl. ebd.: 222f.).

Konzeptübertragungen dieser Art bezeichnet Black als theoretische Modelle.⁵ Ihre Verwendung ähnele der Verwendung von Metaphern. So wie starke Metaphern⁶ strukturelle Korrespondenzen vermittelten und auf diese Weise unter Umständen neue Erkenntnis hervorbringen könnten (vgl. Black 1977/1983: 396; 404ff.), so zielten auch theoretische Modelle auf die Möglichkeit neue Verbindungen zu sehen, wobei der Innovationserfolg im Vorhinein natürlich nicht garantiert werden kann (vgl. Black 1962: 237). Diese Nähe zu der unterstellten innovativen Wirksamkeit starker Metaphern hat den hier skizzierten Überlegungen die Bezeichnung als „Metapher-Theorie der Innovation“ (Knorr-Cetina 1984: 92) eingetragen.⁷ Der Begriff der Metapher, dies zu betonen ist Black wichtig, sollte jedoch nicht dem Missverständnis Vorschub leisten, dass Wissenschaftler, die solche Konzeptübertragungen vornehmen, sich lediglich von diffusen, nicht weiter begründbaren Ahnungen leiten ließen. Vielmehr gibt es „eine rationale Grundlage“ der Verwendung

Innovationen in Wissenschaft und anderen Bereichen“ (dies. 1995: 333).

5. Der Begriff des Modells bezeichnet also das Ergebnis eines Konzepttransfers. Wegen dieser terminologischen Festlegung enthielte die Bezeichnung der Übertragungsprozesse als Modelltransfers eine unschöne Dopplung des gemeinten Sachverhalts. Ich verwende deshalb stattdessen den Begriff der Konzeptübertragung oder den des Konzepttransfers.
6. Vgl. Black 1977/1983: 389ff. Angesprochen ist damit die Metapher, die im Sinne der von Black (1954/1983: 68ff.; 1977/1983: 391ff.) propagierten Interaktionstheorie der Metapher wirksam wird.
7. Auch wenn Black zu Recht als einer der Autoren rezipiert wird, die den Begriff der Metapher für die Wissenschaftsphilosophie fruchtbar gemacht haben (vgl. Danneberg et al. 1995: 13ff.), ist – wenigstens in seinen späteren Veröffentlichungen – der Begriff des Modells der grundlegendere. Dies drückt sich in seiner These aus, jede Metapher sei „die Spitze eines untergetauchten Modells.“ (Black 1977/1983: 396)

theoretischer Modelle, nämlich die „mutmaßliche Isomorphie zwischen Modell und Anwendungsfeld“ (Black 1962: 238).

Blacks Paradebeispiel für theoretische Modelle ist Clerk Maxwells Konzept des elektromagnetischen Feldes (vgl. Black 1962: 226ff.). Ich greife hier auf die vereinfachende Darstellung bei Miller (1995: 201) zurück, die sich für illustrative Zwecke besonders eignet. Demnach beruhen Maxwells Überlegungen zum Elektromagnetismus auf der Unterstellung der folgenden Isomorphie: „Das elektromagnetische Feld verhält sich *als ob* es aus einer Ansammlung von Gummibändern und Umlenkrollen bestünde.“ (ebd.). Maxwell stellt damit eine Strukturanalogie zu einem wissenschaftlich gut beherrschten Referenzbereich her, nämlich „zu der gut verstandenen klassischen Mechanik von Gummibändern und Umlenkrollen mit ihrer Mathematik, ihren physikalischen Konzepten und ihrer Anschaulichkeit“ (ebd.). Das konzeptuelle Wissen über die Strukturen und Beziehungsmuster des dortigen Forschungsgegenstandes wird mittels der Analogie aufgegriffen und zum Zweck der Erklärung des noch unzureichend verstandenen Begriffs des elektromagnetischen Feldes adaptiert.

Die Forschungsstrategie ist in ihrer idealisierten Form mithin recht einfach: Man beobachtet in einem Forschungsfeld bestimmte erklärungsbedürftige Regelmäßigkeiten. Im günstigen Fall stößt man bei der Suche nach einer Erklärung auf ein anderes Forschungsfeld, in dem vergleichbare Regelmäßigkeiten beobachtet worden sind und in dem es zudem eine etablierte und gründlich erforschte Theorie zu deren Erklärung gibt. Diese Theorie würde mit anderen Worten, ließe sie sich auf das interessierende Forschungsfeld übertragen, eine konsistente Erklärung der fraglichen Regelmäßigkeiten bieten. Eine solche Übertragung wird deshalb versucht vorzunehmen.

Nicht nur in der wissenschaftlichen Forschung, auch im Kontext technischer Innovationen stoßen wir auf Konzeptübertragungen dieser Art. Ein bekanntes Beispiel ist das Schreibklavier, eine frühe und wirkungsgeschichtlich außerordentlich einflussreiche Form der mechanischen Schreibmaschine, deren Konstruktion die Hebelmechanik des Klaviers adaptiert, um nun Buchstaben statt Töne anzuschlagen (vgl. Knie 1989: 12ff.; Mambrey et al. 1995: 74ff.). Allerdings erfolgen Konzeptübertragungen hier unter etwas anderen Bedingungen als dort. Der hauptsächliche Unterschied ist der, dass das primäre wissenschaftliche Erkenntnisinteresse an Konzeptübertragungen in der Erklärung empirisch beobachtbarer Phänomene der vorgefundenen natürlichen oder sozialen Welt besteht – auch wenn diese zu Erkenntniszwecken wie immer gesäubert, experimentell zugerichtet und theoretisch vorstrukturiert wird. Im Kontext technikbezogener Forschung dagegen dienen Konzeptübertragungen nicht der Erklärung eines Gegenstandes, sondern seiner Herstellung. Diese Differenz hat eine wichtige Konsequenz: Sich andeutende Strukturgleichheit zwischen dem Gegenstand des Interesses und bestimmten Phänomenen eines anderen Forschungsfeldes kann im Fall technikbezogener Konzeptübertragungen nicht als Kriterium der Formulierung von Analogierelationen herhalten. Denn die Struktur des Forschungsgegenstandes, also ein bestimmter technischer Wirkungszusammenhang, ist ja genau das, was erst als Resultat des Forschungsprozesses entsteht.

Dennoch scheint auch in der technikwissenschaftlichen Forschung mitunter beträchtliche Zuversicht zu herrschen, dass man mit einer bestimmten Form des Konzepttransfers auf Erfolg versprechenden Pfaden wandelt. Eine solche Zuversicht kommt etwa in der oben zitierten Überzeugung zum Ausdruck, man müsse die Multiagentensysteme der VKI als

von Natur aus sozial betrachten. Das nährt die Vermutung, dass es auch hier ein einschlägiges Kriterium gibt. Im Fall technikbezogener Konzeptübertragungen, so meine Behauptung, bildet eine sich andeutende Problemähnlichkeit die rationale Grundlage für die Herstellung von Analogiebeziehungen. Dies lässt sich wiederum am Beispiel des Schreibklaviers gut illustrieren: Die Bezugnahme auf Konstruktionswissen aus dem Klavierbau kommt dadurch zu Stande, dass eine Ähnlichkeitsrelation hergestellt wird zwischen dem Problem des mechanisch unterstützten Schreibens und dem Problem, Saiten mechanisch anzuschlagen. Auf der Grundlage dieser Ähnlichkeitsbeziehung erscheint es dann als viel versprechend, die im Klavierbau bewährte technische Lösung dieses Problems in geeignet modifizierter Form zu verwenden, um auf diese Weise nun auch das Problem mechanischen Schreibens zu lösen.

Da es zwischen den beiden Feldern einer technikbezogenen Konzeptübertragung nie eine vollständige Problemgleichheit geben kann – anderenfalls hätte man das Problem ja bereits gelöst – ist auch in diesem Fall der Erfolg keineswegs garantiert. Es kann stets nur ein gewisses Maß an Problemähnlichkeit geben und dies impliziert zugleich, dass die aufeinander bezogenen Probleme in bestimmten Aspekten durchaus unähnlich sind. Es kann also nicht von vornherein ausgeschlossen werden, dass die Adaption einer technischen Problemlösung in der neuen Problemumgebung nicht doch in entscheidenden Hinsichten versagt. Der Fall des Schreibklaviers illustriert, dass mit solchen Schwierigkeiten selbst bei insgesamt erfolgreichen Konzepttransfers zu rechnen ist. So erweist sich beispielsweise die auf die Schreibmaschine übertragene Hebelmechanik des Klaviers als ungeeignet, das Problem gleichzeitigen Anschlagens von Tasten und daraus resultierenden Verhakens von Typenhebeln zu vermeiden. Dieses Problem hat die mechanische Schreibmaschine als ungelöstes mit ins Grab genommen. Die Hebelmechanik des Klaviers sieht dafür schlichtweg keine Lösung vor. Denn beim Klavier spielen, ist die Möglichkeit des gleichzeitigen Anschlagens mehrerer Töne ja durchaus erwünscht.

Mit den voranstehenden Überlegungen habe ich selbst eine Konzeptübertragung vorgenommen. Ich habe argumentiert, dass die zumindest innerhalb der Wissenschaftsphilosophie gut etablierte Theorie wissenschaftlicher Konzeptübertragungen in geeignet modifizierter Form ein viel versprechendes theoretisches Modell zur Erklärung technikbezogener Konzeptübertragungen ist. Die wesentlichen Gesichtspunkte dieses Erklärungsmodells sind, um es kurz zusammenzufassen: (1) Es wird eine sich abzeichnende Problemähnlichkeit zwischen dem interessierenden technischen Problem und der Problemstellung eines beliebigen anderen Technikfeldes festgestellt. (2) In diesem anderen Technikfeld gibt es für die dortigen Problemstellungen bewährte technische Lösungen, also ein entsprechendes Regel- und Konstruktionswissen samt dessen beispielhafter Verkörperung in funktionierenden technischen Abläufen. (3) Es wird versucht, diese technischen Problemlösungen in einer Weise zu modifizieren, die es erlaubt, sie auf das interessierende Problem zu übertragen.⁸

8. Gegen die hier vorgestellte Konzeption könnte der grundlegende Einwand erhoben werden, sie beruhe auf einer Unterscheidung zwischen wissenschaftlicher und technologischer/technischer Forschung, die in dieser Trennschärfe empirisch zunehmend weniger vorzufinden sei. In der Tat lässt sich kaum bestreiten, dass eine Vielzahl technischer Entwicklungen auf wissenschaftliche Forschung aufsetzt (Stichwort: neues generisches Wissen, vgl. Nelson, 1988: 314), so wie umgekehrt die Konstruktion technischer Apparaturen in vielen Fällen zu einer unverzichtbaren Voraussetzung wissenschaftlicher Forschung geworden ist. Es wäre dennoch vorschnell, nun von einem nicht mehr weiter differenzierbaren Komplex der

Nun muss man allerdings davon ausgehen, dass technikbezogene Konzeptübertragungen im Regelfall nicht so einfach und klar strukturiert sind, wie es das bislang zur Illustration verwendete Beispiel des Schreibklaviers nahe legt. So wird man erstens konzedieren müssen, dass in den Frühphasen technischer Innovationen häufig nicht sehr präzise angegeben werden kann, worin die Probleme bestehen, die eine projektierte technische Lösung bewältigen soll. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn es nicht um technische, sondern um technologische Probleme geht, also um Problemstellungen, die auf ein übergreifendes Lösungsmuster für eine Menge mehr oder weniger gleicharteter Probleme zielen. Daraus folgt zweitens, dass eine aufgefundene Problemähnlichkeit dann anfangs notwendigerweise auf wackeligen Beinen steht. Unter solchen Bedingungen ist damit zu rechnen, dass der Rekurs auf ein anderes Forschungsfeld nicht nur bei der Problemlösung eine Rolle spielt, sondern bereits bei der Problemformulierung. Drittens schließlich wird bei weitem nicht immer die günstige Situation eintreten, dass in dem anderen Bereich bereits für alle potenziell relevanten dortigen Problemstellungen gut durchgearbeitetes und bewährtes technisches Wissen vorliegt. Für das Forschungsfeld, das im Folgenden näher betrachtet werden soll, die Multiagentensystem-Forschung der VKI, trifft jede dieser drei Bedingungen zu.

2. Das Koordinationsproblem als Grundlage der Ähnlichkeitsbeziehung zwischen Multiagentensystemen und der Welt des Sozialen

Die technischen Artefakte, um deren Konstruktion es der VKI geht, Multiagentensysteme, lassen sich beschreiben als Systeme wie immer aufeinander abgestimmten Operierens einer Mehrzahl so genannter Agenten. Als Agenten werden Software-Module bezeichnet, die über bestimmte, von ihnen selbst gesteuerte Aktionsprogramme verfügen und in der Lage sind, ihre eigenen Aktionen unter Berücksichtigung derer anderer Agenten (bzw. allgemeiner: unter Berücksichtigung bestimmter Gegebenheiten ihrer Umwelt) selbstständig auszuwählen (Bond/Gasser 1988). Konstitutiv für die Multiagentensystem-Forschung sind die folgenden drei Merkmale: (1) *Verteiltheit*: Gegenstand ist die Entwicklung von Problemlösungsmechanismen, in denen die Bearbeitung des fraglichen Problems auf mehrere Agenten verteilt ist; (2) *Autonomie*: Die einzelnen Agenten werden als (teil)autonome und (teil)intelligente Einheiten konzipiert, die sich in ihrem Verhalten nach eigenen Aktionsprogrammen richten und dabei über ein gewisses Maß eigenständiger Problemlösungsintelligenz verfügen; (3) *Koordination*: Die Problemlösung erfolgt nicht nach Maßgabe eines vom Programmierer implementierten Ablaufs, sondern resultiert aus der Koordination zwischen den Agenten.

Das Problem, dessen Lösung man sich von Multiagentensystemen verspricht, ist ein technologisches Problem im eben angesprochenen Sinne. Es geht darum, technische

„technoscience“ (Latour 1987: 174f.) auszugehen und damit zugleich auch den analytischen Wert der Unterscheidung zu leugnen. Denn es macht nach wie vor einen wesentlichen Unterschied für das je beobachtete Forschungshandeln, ob es sich am Ziel der Erklärung empirischer Beobachtungen orientiert oder am Ziel der Konstruktion funktionsfähiger Abläufe. Auf diese Differenz kommt es im vorliegenden Zusammenhang an.

Verfahren zur Bewältigung eines bestimmten Typs von Problemen zu entwickeln, die als „verteilte Probleme“ bezeichnet werden. Die zu Grunde liegende Problemwahrnehmung lautet: „Bei vielen Problembereichen liegt bereits eine natürlich gegebene Verteilung vor und legt daher eine Anwendung der VKI nahe.“ (Martial 1992b: 8) Dies gelte etwa für räumliche oder funktionale Verteilung (vgl. Davis/Smith 1983: 67). Ein Beispiel für räumliche Verteilung ist das Problem der Interpretation und Integration von Daten an verschiedenen Orten aufgestellter Sensoren, etwa bei Verkehrsüberwachungssystemen (vgl. Lesser/Corkhill 1983). Als Beispiel für funktionale Verteilung werden Probleme angeführt, deren Bearbeitung ein hochgradig ausdifferenziertes Spezialistentum voraussetzen, etwa im Bereich der medizinischen Diagnose (vgl. Durfee et al. 1989: 64). Unter solchen Bedingungen sei es von Vorteil, Teilprobleme des zu lösenden Gesamtproblems dort zu lösen, wo sie anfallen, und die Teillösungen dann zu integrieren. Bei den so genannten verteilten Problemen handelt es sich, weniger substantialistisch ausgedrückt, mithin um Probleme, von denen angenommen werden kann, dass die Vorteile einer verteilten Problembearbeitung deren Nachteile überwiegen, wobei die Gründe hierfür recht unterschiedlich sein können. (vgl. Martial 1992a: 16; Durfee et al. 1987: 31f.)

Die Herangehensweise, verteilte Probleme verteilt zu lösen, indem Teillösungen von unterschiedlichen, jeweils für sich problemlösungsfähigen Agenten erzeugt werden, transformiert das jeweilige Einzelproblem (Wie löse ich ein bestimmtes verteiltes Problem befriedigend?) in ein vorgelagertes, und zunächst sehr viel allgemeineres Problem. Es lautet: Wie bringe ich Agenten, die ein gewisses Maß an Verhaltensautonomie besitzen müssen, um Teilprobleme selbstständig lösen zu können, zu einer wie immer gearteten Form koordinierten Verhaltens? Diese Frage benennt das Basisproblem und zentrale Thema der Multiagentensystem-Forschung: das Koordinationsproblem (vgl. Jennings 1996: 187; Van de Velde/Perram 1996: VIII). Es ist zugleich der zentrale Anknüpfungspunkt für die Herstellung der Analogierelation zur Welt des Sozialen. Die Frage, die die Suche nach potenziell nutzbringenden Analogien leitet, lautet nun: Wo findet man außerhalb der Multiagentensystem-Forschung Bereiche, in denen das Problem die Koordination einer Mehrzahl zu selbstständigem Verhalten fähiger Entitäten ist. Und die Antwort, die die VKI findet, lautet: in der Welt des Sozialen, also im Bereich des zusammenwirkenden Verhaltens oder Handelns von Lebewesen.

3. Problemähnlichkeit: Die Welt des Sozialen als Bezugsquelle technischer Problemlösungen

Gemessen an der oben skizzierten idealtypischen Vorgehensweise ist die Welt des Sozialen kein sonderlich günstiges Bezugsfeld für technikbezogene Konzeptübertragungen. Um das zu sehen, muss man nur das Paradebeispiel des Schreibklaviers zum Vergleich heranziehen: Hier stellt die wahrgenommene Problemähnlichkeit einen Bezug zu einem eng umgrenzten Technikfeld her, in dem es für eine klar definierte Problemstellung (mechanisch unterstütztes Anschlagen von Saiten) eine einzige maßgebliche technische Lösung gibt (die Hebelmechanik) samt eines gut etablierten und weitgehend homogenen professionalisierten Wissens darüber, wie sich diese Lösung erzeugen lässt. Die Welt des Sozialen dagegen

präsentiert sich – selbst wenn sich die Analogiebeziehung nur auf menschliche Sozialität erstreckt – in sehr unterschiedlichen wissenschaftlichen Konzepten. Außerdem liegt ein wesentlicher Teil als Alltagswissen vor, also in nicht gesondert theoretisch durchgearbeiteter Form. Hinzu kommt, dass die Welt des Sozialen zunächst primär kein Technikfeld ist. D.h. man kann nicht umstandslos davon ausgehen, dass die dort vorfindlichen Strukturen und Beziehungsmuster als technische Lösungen für bestimmte Probleme ersonnen und konstruiert worden sind. Die Rede von Problemen und Problemlösungen beruht in vielen Fällen eher auf den Rekonstruktionen eines Beobachters, der bestimmte Muster handelnden Zusammenwirkens als funktional mit Blick auf bestimmte Problemstellungen deutet. Umgekehrt bedarf es einer sehr spezifischen Zurichtung sozialer Arrangements, damit diese auch prospektiv als Techniken funktionieren, also als Zusammenhänge, mit deren Hilfe sich hinreichend zuverlässig und wiederholbar bestimmte erwünschte Effekte erzielen lassen (zu dieser Definition vgl. Schulz-Schaeffer, 1999: 410).

Im Gegensatz zu dem Konstruktionswissen über die Herstellung der Hebelmechanik für Klaviere präsentiert sich professionelles oder alltägliches Wissen über die Verhaltenskoordination von Lebewesen nicht ohne weiteres als bewährtes technisches Wissen dergestalt, dass man auf seiner Grundlage entsprechende Zusammenhänge koordinierten Verhaltens gezielt einrichten könnte. Das Problem der Konzeptübertragung besteht hier also nicht allein in der Umstellung von „Sozialreferenz“ auf „Computerreferenz“ (so auch Malsch 1997: 16f.). Vielmehr muss das importierte Wissen vielfach überhaupt erst als prospektiv nutzbares technisches Problemlösungswissen reformuliert werden. In der Tat lassen sich einige der wichtigsten Koordinationsmechanismen von Multiagentensystemen als in einer solchen Weise reformulierte sozialwissenschaftliche oder alltagstheoretische Konzepte des handelnden Zusammenwirkens von Menschen verstehen. Wie erfolgt diese Rekonstruktion? Zur Beantwortung dieser Frage betrachte ich die beiden entwicklungsgeschichtlich einflussreichsten Koordinationskonzepte der VKI: die Gutwilligkeitsannahme und das Kontraktnetz-Protokoll.

Die Gutwilligkeitsannahme

In einem Bericht über den ersten Workshop des neu entstehenden Forschungsgebiets der Verteilten KI, der 1980 am MIT in Boston stattfand, hält Davis (1980: 42) fest: „(W)ir betrachten Kooperation im Sinne von gutwilligem Problemlösungsverhalten, d.h. wie können Systeme, die völlig bereitwillig sind, sich wechselseitig aneinander anzupassen, so handeln, dass sie ein erfolgreiches Team bilden?“ Der grundlegende Koordinationsmechanismus, der hier ins Auge gefasst wird, ist die generelle Hilfsbereitschaft zwischen den beteiligten Agenten. Diese werden konzipiert als „freundliche Agenten, die sich wünschen zu tun, worum sie gebeten werden“ (Martial 1992a: 41).

Der Koordinationsmechanismus allgemeiner Hilfsbereitschaft kommt in der Multiagentensystem-Forschung nicht nur bei einfachen Problemen der Verteilung von Aufgaben zum Zuge (vgl. Connah und Wavish 1990). Er wird durchaus auch in

komplexeren Zusammenhängen eingesetzt, etwa wenn es darum geht, Teillösungen einer Aufgabe so aufeinander abzustimmen, dass keine der Teillösungen die Realisierung anderer Teillösungen verhindert. Ein Beispiel hierfür ist das von Cammarata et al. beschriebene Szenario für ein agentenbasiertes Flugverkehrsüberwachungssystem. Die den Flugzeugen zugeordneten Agenten sollen in diesem Szenario im Fall drohender Kollisionen zwischen zwei Flugzeugen Ausweichstrategien entwickeln. Der Plan eines einzelnen Agenten zur Modifikation der Flugroute, der sein Flugzeug aus der Gefahrenzone bringen würde, wird dabei nur unter der Bedingung realisiert, dass sich aus ihm nicht weitere potenzielle Kollisionen zwischen Flugzeugen in dem betreffenden Luftraum ergeben, für die keine Lösungen gefunden werden können (vgl. Cammarata et al. 1983/1988; Steeb et al. 1981/1988). Die übergreifende Problemlösung formiert sich dabei als emergentes Produkt eines kooperativen Verhaltensmusters der Beteiligten (vgl. Rammert 1998: 95f.).

Koordination auf der Grundlage hilfsbereiter Agenten ist nach Aussagen eines unserer Gesprächspartner auch in der gegenwärtigen Praxis der Multiagentensystem-Forschung noch von wesentlicher Bedeutung. Er meint, „dass man eigentlich immer von so einer Art gutmütigem Agenten, sagen wir mal so, ausgeht. Also nicht wie in der menschlichen Gesellschaft, dass manche Leute nicht arbeiten wollen.“ (UW3, 14: 26-29)⁹ Ein anderer Gesprächspartner verweist darauf, dass Koordination mittels Hilfsbereitschaft in vielen Situationen in funktionaler Hinsicht von Vorteil ist. Dies könne man sich deutlich machen, wenn man sich beispielsweise vorstelle, die Mitglieder eines Operationsteams im Krankenhaus würden über die wechselseitige Bereitschaft zu Handreichungen jeweils miteinander verhandeln müssen: „Wenn die versuchen, irgendwie zu einem Kompromiss zu kommen, dann ist der Patient schon längst tot. Also muss man sich überlegen, dass man sagt, man geht davon aus, dass einfach alle Agenten, die immer wieder daran beteiligt sind, von sich aus konstruktiv sind. Oder einfach alles, was sie wissen, bereitstellen.“ (UW7, 8: 26-33)

Es sind solche erwünschten Vereinfachungen von Abstimmungsprozessen, die im Effekt dazu führen, dass Agenten in Multiagentensysteme in vielerlei Hinsichten in einer zumeist nicht weiter explizierten Weise als kooperationsbereit konzipiert werden, also beispielsweise nicht in der Lage sind, Informationen vorzuenthalten, um die sie gebeten werden, Aussagen wider besseres Wissen zu treffen, ihre Problemlösungsfähigkeit strategisch zurückzuhalten oder Ähnliches.

Das Kontraktnetz-Protokoll

Der gegenwärtig in der VKI geläufigste Koordinationsmechanismus ist jedoch das Kontraktnetz-Protokoll. Über diesen Koordinationsmechanismus sagt einer unserer Gesprächspartner, „dass das eigentlich nach wie vor das ist, was alle Leute, wenn der Name VKI fällt, zuerst sagen: Das ist es.“ (IW5, 14: 42-45) Das Kontraktnetz-Protokoll ist der

9. Die Zitatnachweise beziehen sich auf die anonymisierten Transkriptionen der Experteninterviews. Der zweite Buchstabe der Kodierung gibt Auskunft darüber, ob der Gesprächspartner Professor (P) oder wissenschaftliche/r Mitarbeiter/in (W) ist, der erste Buchstaben, ob er oder sie an einer Universität oder Hochschule (U), an einer außeruniversitären staatlichen Forschungseinrichtung (F) oder in der industriellen Forschung (I) arbeitet.

idealisierten Interaktionssituation des Markttausches bei nachfrageorientierten Märkten nachgebildet. Es beruht auf drei Aktionen: der Ausschreibung, dem Gebot und dem Zuschlag. Mittels des Kontraktnetz-Protokolls kann ein Agent, der eine Aufgabe delegieren möchte, seine Nachfrage anderen Agenten bekannt geben, indem er eine Ausschreibung vornimmt. Diejenigen Agenten, die an der Übernahme der Aufgabe interessiert sind, senden darauf ein Gebot, in dem sie mitteilen, zu welchen Konditionen sie zur Ausführung bereit und in der Lage sind. Der nachfragende Agent wählt das für ihn geeignetste Gebot aus und gibt dem betreffenden Agenten den Zuschlag, womit dieser die Ausführungsverantwortung übernimmt (vgl. Davis/Smith 1983: 77ff.).

Für ein breites Feld unterschiedlicher Anwendungen werden in der VKI Multiagentensysteme konstruiert und evaluiert, die das Kontraktnetz-Protokoll als den grundlegenden Koordinationsmechanismus vorsehen. Die prominentesten dieser angezielten Anwendungsfelder sind die Fertigungssteuerung, bei der es dann darum geht, die Bearbeitung von Werkstücken auf diese Weise auf Maschinen zu verteilen, und die Transportlogistik, wo die Zielsetzung darin besteht, Speditionsaufträge so auf die einzelnen Transporteinheiten zu verteilen, dass bei möglichst hoher Auslastung die möglichst kürzeste Wegstrecke zurückgelegt wird. In jüngerer Zeit gewinnt die agentenunterstützte Abwicklung von *electronic commerce* zunehmende Bedeutung, wofür, so ein Gesprächspartner, „Marktplatz logischerweise die beste Metapher“ (UW12, 6: 5) sei.

Die Eignung des Kontraktnetz-Protokolls als technisches Verfahren der Agentenkoordination wird von einem unserer Gesprächspartner besonders prägnant herausgestellt. Er sagt: „*Contract net* ist ein Koordinationsverfahren, wo Sie im Prinzip eine Aufgabe auf andere Agenten verteilen. Wirklich einfach gesprochen, könnte man so was einsetzen, um die Verarbeitung auf Maschinen zu verteilen. Beim *contract net* ist es im Prinzip so ...: Einer sagt: ‚Ich habe ein Problem.‘ Der schreibt das an bestimmte Leute aus, die geben ihm halt ein Angebot ab. D.h. die sagen, wie sie das Problem lösen, und er wählt dann halt das beste aus. Das ist letztendlich nichts anderes als ein *task distribution*-Verfahren. Irgendwie eine Aufgabe an andere verteilen. Da habe ich Kriterien, nach denen ich das mache, das sind dann halt meine Optimierungskriterien, die wende ich darauf an.“ (IW1, 9: 40 - 10: 4)

Mit Sozialität in einem emphatischen Sinne, dergestalt, dass sich die Beteiligten über ein gemeinsames Vorgehen verständigen müssten, einander wechselseitig überzeugen wollten oder gegebenenfalls einen Kompromiss suchen, mit dem alle Seiten leben können, habe dieses Koordinationsverfahren mithin nichts zu tun. Die Entscheidung, welcher Agent welche Aufgabe abgibt oder übernimmt, erfolgt vielmehr nach berechenbaren Optimierungskriterien: „Die Systeme, die wir jetzt haben, ... brauchen ... nicht zu verhandeln, sondern können halt Informationen austauschen. ... Ein einfaches Beispiel ist: Ich will halt eine Maschine finden, für die Verarbeitung. Ich frage zwei Maschinen. Also ich weiß, was gemacht werden soll, die beiden Maschinen wissen, was sie können. Und ich frag jetzt die Maschinen. Und die eine Maschine sagt: ‚Ich mache das in zehn Sekunden.‘ Und die andere sagt: ‚Zwölf.‘ Das Entscheidungskriterium ist: So schnell wie möglich durch die Fertigung durch. Dann ist klar, ich muss die Maschine mit zehn Sekunden nehmen.“ (IW1, 13: 8-24) Als technisches Problemlösungsverfahren, so die Aussageintention dieses Gesprächspartners, habe das Kontraktnetz-Protokoll seine Herkunft aus der Welt des Sozialen vollständig abgeschüttelt: „Sicher auch dieses *contract*

net ist sicher auch mal motiviert, wie es halt in Organisationen funktioniert oder wie Ausschreibungsverfahren funktionieren. Aber was rausgekommen ist, ist eine Software-Technik.“ (IW1, 10: 19-22)

Ich komme damit zurück zu der Frage, zu deren Beantwortung ich den kurzen Exkurs über die Gutwilligkeitsannahme und das Kontraktnetz-Protokoll vorgenommen habe: Auf welche Weise wird Wissen über die Welt des Sozialen in technisches Problemlösungswissen übersetzt? Vor allem zwei Vorgehensweisen scheinen hier explizit oder unausgesprochen zum Zuge zu kommen: funktionale Rekonstruktion und Abstrahierung von der potenziellen Vielfältigkeit menschlicher Praktiken, Motivlagen und Überzeugungen. Aus der Perspektive funktionaler Rekonstruktion werden wiederkehrende Muster sozialer Verhaltenskoordination vom Resultat her als effizient mit Blick auf bestimmte Situationen verteilten Problemlösens angesehen. Gleichzeitig wird das Verhalten der beteiligten Akteure in einer hochgradig idealisierten Weise reformuliert. Sie werden so konzipiert, wie sie sich verhalten müssten, um dem fraglichen Koordinationsmuster in seiner Funktionalität uneingeschränkt zur Durchsetzung zu verhelfen.

Eine solche funktionale Rekonstruktion liegt etwa vor, wenn Gutwilligkeit unter dem Gesichtspunkt der Einsparung an Einigungsaufwand als effizienter Koordinationsmechanismus beschrieben wird. Zugleich impliziert dies eine hochgradige Abstraktion von den Befindlichkeiten der beteiligten Individuen, die nun kontrafaktisch so behandelt werden, als würden sie motiviert durch einen solchen Effizienzgewinn und nicht, wie dies im empirischen Fall sehr viel wahrscheinlicher ist, durch spezifische Solidaritäten oder Wertorientierungen. Der gleiche Zusammenhang kommt auch in dem folgenden Zitat Hubermans zum Ausdruck. Seine These lautet, dass die Konzepte der Wirtschaftswissenschaften bei der Koordination künstlicher Agenten zukünftig möglicherweise eine größere Rolle spielen werden als in der realen Ökonomie, weil Menschen „viel zu irrational für die arg mechanischen Lehren der Volkswirte“ seien, Agenten täten „dagegen genau das, was man ihnen vorschreibt“ (Siegele 1997; vgl. auch Huberman/Clearwater 1995).

Dieses letzte Zitat legt die Vermutung nahe, dass sich die Multiagentensystem-Forschung für solche sozialwissenschaftlichen Konzepte besonders interessieren müsste, die bereits selbst funktionale Rekonstruktionen sozialer Gegebenheiten darstellen, insbesondere, wenn damit zugleich der Anspruch verbunden wird, auf der gewonnenen konzeptionellen Grundlage entsprechende Koordinationsformen dann auch einrichten zu können. Den noch günstigeren Bezugspunkt müssten dementsprechend solche Konzepte bieten, die zur gezielten Einrichtung von in bestimmten Hinsichten effizienter Koordinationsmechanismen überhaupt erst erdacht worden sind.

In der Tat finden wir in der Literatur der VKI etliche Überlegungen, die in diese Richtung gehen. Einige Beispiele sind: (1) Die so genannte „scientific community metaphor“ (vgl. Kornfeld/Hewitt 1981): Ausgehend von der Feststellung, dass wissenschaftliche Gemeinschaften sich „als außerordentlich erfolgreich beim Problemlösen“ (ebd.: 311) erwiesen hätten, wird hier der Versuch unternommen, ein vereinfachtes und idealisiertes Modell der charakteristischen Merkmale wissenschaftlicher Gemeinschaften, die diesen Erfolg ausmachen, zu formulieren und softwaretechnisch umzusetzen. Dabei rekurren Kornfeld und Hewitt auf wissenschaftsphilosophische

Aussagen unter anderem von Popper und Lakatos über bestimmte strukturelle Bedingungen des Erfolgs wissenschaftlicher Forschung. (2) Die Analogie zwischen verteilten Systemen und menschlichen Organisationen (vgl. Fox 1981: 70ff.). Hier geht es darum, unter Rückgriff auf organisationstheoretisches Wissen idealtypische Organisationsstrukturen zu unterscheiden, ihre Vor- und Nachteile mit Blick auf unterschiedliche Problemstellungen zu identifizieren und die für die jeweilige Problemstellung angemessenste Organisationsstruktur im Multiagentensystem nachzubilden (vgl. Kirn 1996; Malone 1990). (3) Der Rekurs auf „economic mechanism design“. Aufgegriffen werden hier Konzepte aus einem noch relativ jungen Feld wirtschaftswissenschaftlicher Forschung, das darauf zielt, Interaktionsregeln für ökonomische Transaktionen zu erfinden, die Akteure von Verhaltensweisen abhalten sollen, die die Gesamteffizienz des fraglichen Tauschzusammenhangs reduzieren. Beispielsweise geht es dabei um die Konstruktion von Verfahrensregeln für Auktionen, die verhindern sollen, dass unangemessen hohe Preise entstehen (vgl. Parkes 2000; Varian 1995).

4. Strukturgleichheit: Die Welt des Sozialen als Bezugsquelle viel versprechender Problemstellungen

Konzeptübertragungen führen nicht nur zu einer neuartigen und unter Umständen gewinnbringenden Betrachtungsweise des interessierenden Forschungsgegenstandes. Sie bringen zugleich eine eigentümliche Verzerrung in der Wahrnehmung des Referenzbereiches mit sich. Auf diesen Punkt hat bereits Black hingewiesen und ihn am Beispiel der Metapher „Der Mensch ist ein Wolf.“ illustriert: „Wenn die Bezeichnung Wolf einen Menschen in ein bestimmtes Licht rückt, so darf man darüber nicht vergessen, daß die Metapher den Wolf dabei menschlicher als sonst erscheinen läßt.“ (Black 1954/1983: 75) Man betrachtet den Referenzbereich eben unter dem Gesichtspunkt seiner Nützlichkeit für Problemstellungen, die innerhalb eines anderen Bereichs generiert worden sind, und interessiert sich dementsprechend nur sehr selektiv für den dortigen Wissensbestand. Erscheint in Blacks Beispiel der Wolf menschlicher als sonst, so erscheint in unserem Fall menschliche Verhaltensabstimmung sehr viel technischer als sonst.

Unter bestimmten Umständen ist eine solche verzerrende Selektivität offensichtlich hochgradig sinnvoll, dann nämlich, wenn es darum geht, sich für eine gegebene und präzise formulierte Problemstellung eine potenziell nutzbare Problemlösung aus dem Referenzbereich gleichsam nur abzuholen. Die Konstrukteure des Schreibklaviers beispielsweise mussten sich nicht für jene Aspekte der Klaviermechanik interessieren, die eine Dämpfung des angeschlagenen Tones ermöglichen. Sie konnten auf Grund ihrer Problemstellung von vornherein wissen, dass alles diesbezügliche Konstruktionswissen des Klavierbaus für sie ohne Bedeutung sein würde. In diesen Idealfällen technikbezogener Konzeptübertragung können die Protagonisten eine eventuelle Kritik seitens des Referenzkontextes, die dortigen Konzepte würden unzulässig verkürzt und willkürlich zurechtgebogen, getrost ignorieren. Getrost ignoriert werden kann auch die Forderung, man

müsse erst eine eigenständige fachwissenschaftliche Kompetenz in dem Referenzbereich erwerben, bevor man an die Übertragung der dortigen Problemlösungen gehen könne.¹⁰

Anders sieht die Situation aus, wenn eine nur sehr grob umrissene Problemähnlichkeit die Basis des Konzepttransfers bildet, wie dies bei der Multiagentensystem-Forschung in wesentlichen Hinsichten der Fall ist. Zwar lassen sich auch auf dieser Grundlage nützliche Problemlösungen importieren, wofür die Gutwilligkeitsannahme wie auch das Kontraktnetz-Protokoll Beispiele sind. Aber diese Problemlösungsmechanismen bleiben ähnlich unterspezifiziert wie die Problemstellung selbst. Das, was das Alltagswissen und die Sozialwissenschaften an potenziell ausbeutbarem Wissen zu bieten haben, ist damit offensichtlich noch lange nicht ausgeschöpft. Dort, wo diese Einschätzung in der Multiagentensystem-Forschung forschungsleitend wird, kommt es zu einer überraschenden Umkehrung des Begründungszusammenhanges der Ähnlichkeitsbeziehung: Statt nach Konzepten Ausschau zu halten, die sich in geeigneter Weise auf gegebene Problemstellungen der VKI übertragen lassen – ohne sich weiter für die Ähnlichkeit der technischen Lösung mit den korrespondierenden Abläufen in der Welt des Sozialen zu interessieren – wird nun die Herstellung von Ähnlichkeit zwischen sozialweltlichen Phänomenen und Multiagentensystemen selbst zum Designkriterium, ohne dass ein direkter Problembezug der resultierenden technischen Konzepte vorliegt.

Sehr schön lässt sich diese Umorientierung anhand einer Passage eines Textes von Rosenschein und Genesereth nachvollziehen, der in der VKI als Auslöser der Kritik an der Gutwilligkeitsannahme gilt (vgl. Decker 1987: 731). Die Autoren argumentieren: „In der wirklichen Welt sind Handelnde nicht notwendigerweise gutwillig in ihren aufeinander bezogenen Handlungsweisen. Jeder Handelnde hat seinen eigenen Satz von Wünschen und Zielen und wird einem anderen Handelnden nicht notwendigerweise mit Informationen oder Aktionen helfen. Konflikte zwischen Handelnden existieren, natürlich sind sie aber keine totalen Konflikte. Oft gibt es die Möglichkeit für Kompromiss und wechselseitig nutzbringende Aktivität. Die bisherige Forschung in der VKI, soweit sie von der Annahme gutwilliger Agenten ausging, ist im Allgemeinen unfähig gewesen, diese Formen von Interaktion zu behandeln. Für intelligente Agenten, die in der Lage sind, zu interagieren, auch wenn ihre Ziele nicht identisch sind, würde es vielfältige Verwendungsmöglichkeiten geben.“ (Rosenschein/Genesereth 1985/1988: 227)

Der springende Punkt ist, dass nicht eine vermutete oder erwiesene technische Ineffizienz oder Unterlegenheit der Grund für die Kritik an der Gutwilligkeitsannahme ist. Das zentrale Argument ist vielmehr, dass diese das Verhalten von Handelnden in der wirklichen Welt nicht zutreffend abbilde. Ein vergleichbarer Einwand im Fall des Schreibklaviers, der da hätte lauten können, dass das feine Differenzierungsvermögen der Erzeugung unterschiedlich lauter Töne bei der Hebelmechanik der Schreibmaschine außer Acht gelassen werde, hätte mit einiger Sicherheit kein Gehör gefunden. Warum also kann eine entsprechende Adäquanz-Forderung hier zu einem entscheidenden Argument gegen die Güte eines importierten Konzeptes werden? Ein Hinweis zur Beantwortung dieser Frage findet sich am Ende des eben angeführten Zitats: Ausschlaggebend ist die Vermutung, dass eine originalgetreuere Nachbildung sinnvoll wäre, weil sich daraus Lösungen für noch nicht weiter spezifizierte Probleme ergeben könnten. Im Fall des Schreibklaviers kann dieses

10. Für die Multiagentensystem-Forschung ist die entsprechende Forderung insbesondere von Gasser (1991: 111f.) erhoben worden (vgl. zustimmend Malsch 1997: 16).

überschießende Problemlösungspotenzial dagegen umstandslos abgeschnitten werden, weil absehbar ist, dass es für die Bearbeitung des gegebenen Problems nichts beitragen kann.

Um es pointiert zusammenzufassen: Die Umorientierung im Prozess technikbezogener Konzeptübertragungen, um deren Beschreibung es hier geht, besteht darin, dass von Problemähnlichkeit auf Strukturgleichheit umgestellt wird. Die auf eine unterstellte Problemähnlichkeit gegründete Suche nach Problemlösungen aus dem Referenzbereich, wird durch ein gegenläufiges Verfahren der Konzeptübertragung ergänzt oder sogar abgelöst. Es zielt auf die Konstruktion von Multiagentensystemen, die so strukturiert sind wie bestimmte menschliche Interaktionszusammenhänge. Handlungsleitend ist dabei die zunächst noch unbestimmte Hoffnung, dass man auf diese Weise zu softwaretechnischen Problemlösungsmechanismen gelangen wird, zu denen sich dann – wie im Bereich menschlicher Verhaltensabstimmung so auch in der Informatik – passende Probleme finden werden. Ich möchte diesen Punkt wieder an zwei Konzepten der VKI illustrieren: der BDI-Architektur und dem Konzept offener Systeme.

Die BDI-Architektur

Die Konsequenz, die Rosenschein und Genesereth aus ihrer Kritik der Gutwilligkeitsannahme ziehen, besteht darin, die Konstruktion von Agenten ins Auge zu fassen, die je eigene Ziele besitzen sowie über bestimmte Strategien der Zielerreichung verfügen, welche die möglichen Interdependenzen eigener Verhaltensoptionen mit denen anderer Agenten berücksichtigen. Die BDI-Architektur („BDI“ steht für „belief, desire, intention“) ist Anfang der 90er Jahre in Weiterführung entsprechender Überlegungen entwickelt worden (vgl. Cohen/Levesque 1990; Rao/Georgeff 1991; Shoham 1993).

Einer unserer Gesprächspartner rekonstruiert die Überlegungen, die zur Entstehung der BDI-Architektur geführt haben, folgendermaßen: „Nun ist also die Frage: Was ist die geeignetste Technologie für Programme, die in irgendeiner Weise autonom sein sollen, die miteinander kommunizieren können, kooperieren sollen und auch vielleicht in der Lage sein sollen zu lernen? ... Wenn ich jetzt sage, das Programm soll also selber aktiv sein. Na, was sind Einheiten, die mental irgendwie aktiv sind? Das sind wir Menschen. Also fangen wir jetzt an zu überlegen: ... Was bestimmt das Handeln des Menschen? Erstmal ein bestimmtes Wissen: *belief*. Dann haben wir bestimmte Aufgaben, Aufträge oder auch Ziele, je nachdem. Das sind die berühmten *desires* oder *goals*. Und dann ist da noch irgendwo, wenn es komplexer wird, wenn man mehrere solcher Ziele gleichzeitig verfolgen will ..., dann muss (der Agent) sehen, dass er nicht in Konflikte kommt, dann muss er irgendwie Entscheidungen treffen: *commitments* oder *intentions*, Absichten. Das ist dann die berühmte BDI-Architektur. ... Ja, das ist einfach ein natürlicher Weg, so etwas zu beschreiben.“ (UP1, 4: 10-32)

Die BDI-Architektur basiert auf der Überlegung, dass es bestimmte typische Formen intentionaler Einstellungen – wie Überzeugungen, Wünsche oder Absichten – sind, mit denen menschliche Akteure ihre eigenen Handlungen und diejenigen anderer Akteure im Alltag unproblematisch zu erklären vermögen und die sie der wechselseitigen Koordination ihrer Handlungen zu Grunde legen: „Wenn wir menschliche Aktivitäten erklären wollen, ist es häufig nützlich Aussagen der folgenden Art zu treffen: Janine nahm ihren Schirm, weil sie überzeugt war, dass es zu regnen anfangen würde. Michael arbeitete hart, weil er einen Dokortitel haben wollte. Diese Aussagen bedienen sich einer Alltagspsychologie, mittels

derer menschliches Verhalten durch die Attribution von Einstellungen ... vorhergesagt und erklärt wird. Diese Alltagspsychologie ist gut etabliert: Die meisten Leute, die die obigen Aussagen lesen, würden sagen, dass deren Bedeutung für sie völlig klar ist“ (Wooldridge/Jennings 1995: 4). Diese alltagspsychologischen Kategorien werden nun verwendet, um Agenten mit softwaretechnischen Komponenten auszustatten, die zu einem Verhalten führen, das sich gleichermaßen als Ausdruck intentionaler Eigenschaften interpretieren lässt. Eine bekannte Definition des BDI-Agenten lautet dementsprechend: „Ein Agent ist eine Entität, deren Zustand als bestehend aus mentalen Komponenten wie Überzeugungen, Fähigkeiten, Wahlmöglichkeiten und Verpflichtungen angesehen wird. Diese Komponenten sind in präziser Weise definiert und stehen in ungefährender Korrespondenz zu ihren Entsprechungen im Alltagsverständnis.“ (Shoham 1993: 52)

In diesen Überlegungen kommt die Fokussierung auf Strukturgleichheit statt auf Problemähnlichkeit deutlich zum Ausdruck. Die Motivation für diese Fokussierung, so bringt es ein anderer unserer Gesprächspartner auf den Punkt, bestehe darin, „dass man die Agententechnologie begreift als eine Entwurfsmethode, die aus dem normalen Leben resultiert sozusagen. Man versucht also, noch stärker als in der objektorientierten Modellierung, eine viel stärkere Abbildung der menschlichen Welt auf dem Rechner tatsächlich hinzukriegen.“ (UW4, 8: 50 - 9: 1)

Offene Systeme

Auch das von Carl Hewitt (1986; 1991) in die VKI eingeführte Konzept offener Systeme zielt darauf Strukturgleichheit herzustellen, darauf nämlich, Muster von Interaktionsbeziehungen nachzubilden, die Hewitt für die Strukturierung von Organisationen als wesentlich ansieht. Im Gegensatz zur BDI-Architektur ist der Rekurs auf Wissen über die Welt menschlicher Sozialität hier nicht auf Bestände des Alltagswissens gerichtet, sondern auf Konzepte der Organisationstheorie und des symbolischen Interaktionismus (vgl. Strübing 1998). Als offene Systeme bezeichnet Hewitt VKI-Systeme, die aus einer nicht von vornherein festgelegten und unter Umständen sehr großen Zahl von Agenten bestehen, welche laufend mit neuen, unerwarteten und inkonsistenten Informationen konfrontiert sind, wobei die Agenten ihre Ziele, Verhaltensoptionen und Wissensbestände wechselseitig zunächst nicht kennen, sondern voneinander nur erfahren, was sie mittels expliziter Kommunikation austauschen. Es gibt außerdem keine zentrale Entscheidungsinstanz. Alle Entscheidungen werden lokal getroffen und können stets zu einem unvorhergesehenen Verhalten des Systems führen. (vgl. Hewitt 1986: 320ff.; 1991: 80ff.)

Hewitt selbst gibt nur wenige Hinweise darauf, für welche konkreten gegenwärtigen oder zukünftigen Probleme der Multiagentensystem-Forschung es nützlich sein könne, Multiagentensysteme als offene Systeme zu konzipieren. Erst das Internet und die Entdeckung viel versprechender Anwendungsmöglichkeiten internetbasierter Multiagentensysteme hat dafür gesorgt, dass Konzepte offener Multiagentensysteme zu Lösungsansätzen konkretisierbarer Problemstellungen der VKI geworden sind. Die neue Problemwahrnehmung ist dabei bei einzelnen unserer Gesprächspartner so dominant, dass offene Systeme nun geradezu als „die einzige Anwendung von diesen

Multiagentensystemen“ (IW5, 10: 13f.) deklariert werden: „In dem *world wide web* hast du eigentlich eine extrem gute Ausgangssituation für die Idee, die hinter (offenen) Multiagentensystemen steht. Weil wenn du heute eine Applikation für das *web* entwickelst, dann musst du davon ausgehen, dass das *web* nicht eine Person unter Kontrolle hat. Du bietest Dienste an, du weißt nicht, wer diese Dienste eigentlich in Anspruch nehmen wird. Und das *web* ist ständig in Bewegung. ... Du hast auch nicht alle Knoten unter Kontrolle. Du kannst im Prinzip Agenten designen, die auf dem *web* etwas anbieten, aber du weißt nicht, wie die Nachfrage sein wird. Und schon gar nicht, wie sich das *web* in zwei Jahren entwickelt hat.“ (IW4, 25: 19- 31)

Der Begriff des offenen Systems wird nun zumeist in einer wesentlich problemorientierteren Weise definiert, nämlich als ein Multiagentensystem, „das du selber nicht komplett in der Hand hast ... Wo du selber keine Standards vorschreiben kannst.“ (IW4, 18: 5-8) Dieses Problem entsteht, weil die interessantesten Internet-Anwendungen der Agententechnologie darauf beruhen, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Entwickler und Benutzer je ihre eigenen Agenten losschicken, um Dienste anzubieten oder nachzufragen, sodass es nicht mehr den einen Entwickler oder das eine Entwickler-Team gibt, der bzw. das dafür sorgen kann, dass sich die beteiligten Agenten in aufeinander abgestimmter Weise zueinander verhalten.

Die Umstellung von Problemähnlichkeit auf Strukturgleichheit hat eine Reihe von Konsequenzen für den Prozess des Wissenstransfers, die sich zum Teil schon an den eben besprochenen beiden Beispielen ablesen lassen. Wir können sie uns am besten vor Augen führen, wenn wir sie als Abweichungen von der oben beschriebenen idealisierten Form technikbezogener Konzeptübertragungen notieren. Ich möchte hier drei Punkte nennen: (1) Die Problemstellungen des primären Forschungsfeldes dienen nur noch eingeschränkt als Selektionsfilter der Bezugnahme auf den Referenzbereich. Als Folge gewinnt das über den Referenzbereich vorhandene Wissen auch im primären Forschungsfeld an Gewicht. Das kann dazu führen, dass entscheidende technische Entwicklungen nun in der Tat nur dann zu Stande kommen können, wenn eine fachwissenschaftliche Fundierung mit Blick auf die Wissensbestände des Referenzbereichs vorliegt. Diese Vermutung ist im Fall der Multiagentensystem-Forschung eine wesentliche Motivation für interdisziplinäre Kooperationen wie sie durch den neu etablierten DFG-Forschungsschwerpunkt Sozionik (vgl. Malsch 1996; Malsch 2001) und dessen u.s.amerikanische Vorläufer (Bendifallah et al. 1988) repräsentiert werden. (2) Mit dem Vorgehen, Strukturen und Beziehungsmuster des Referenzbereichs nachzubilden, wird die Abfolge von Problemstellung und Problemlösung tendenziell umgekehrt. Die Nachbildung erfolgt auf der Grundlage der Vermutung, dass Phänomene, die innerhalb des Referenzbereichs eine Rolle spielen, auch im primären Forschungsfeld von Bedeutung sind. Darin, dass sich diese Vermutung als falsch erweisen kann, besteht das wesentliche Innovationsrisiko des Umwegs über Strukturgleichheit. (3) Andererseits geht aber auch dem Umweg über Strukturgleichheit eine Vorstellung von Problemähnlichkeit voraus, die auf gegebene, wenn auch vielleicht noch recht abstrakte Problemstellungen des primären Forschungsfeldes rekurriert. Es besteht deshalb eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die Konstruktion strukturgleicher Zusammenhänge dazu führt, gegebene Problemstellungen des primären Forschungsfeldes

zu präzisieren, zu erweitern, Implikationen zu erkennen usw. Darin besteht die wesentliche Innovationschance des Umwegs über Strukturgleichheit.

5. Ergebnis: Problemähnlichkeit auch über den Umweg von Strukturgleichheit

Ausgangspunkt der voranstehenden Überlegungen war die Annahme eines idealtypischen Falls technikbezogenen Wissenstransfers. Die zentrale These war, dass Strukturgleichheit als Grundlage der Formulierung von Korrelationsregeln zwischen dem primären Forschungsfeld und dem Referenzbereich im Fall technikbezogener Konzeptübertragungen abgelöst wird durch Problemähnlichkeit. Am Beispiel des Schreibklaviers habe ich versucht plausibel zu machen, dass sich einfache Fälle technikbezogener Konzeptübertragungen nach diesem Muster in der Tat gut erklären lassen. Das Beispiel der Multiagentensystem-Forschung hat gezeigt, dass dies auch für bestimmte Aspekte weniger einfach strukturierter Fälle gilt. Dann aber wurde deutlich, dass der Rekurs auf Ähnlichkeit zu gegebenen Problemen des primären Forschungsfeldes hier nicht hinreichend ist und dass in dieser Situation das maßgebliche zusätzliche Kriterium wiederum Strukturgleichheit ist. Folglich stellt sich die Frage, ob das anfangs entwickelte Konzept technikbezogenen Wissenstransfers nur in besonders günstigen Fällen trägt oder ob es sich in sinnvoller Weise so erweitern lässt, dass auch der zusätzliche Gesichtspunkt des Umwegs über Strukturgleichheit Berücksichtigung findet.

Im Vorangegangenen habe ich implizit bereits für die zweite Option votiert, sodass es jetzt abschließend darum gehen muss, diese Entscheidung noch einmal ausdrücklich zu begründen. Hierfür ist es zunächst wichtig sich klar zu machen, dass Strukturgleichheit im Kontext technikbezogenen Wissenstransfers etwas anderes ist als die von Black für wissenschaftliche Konzeptübertragungen als maßgeblich betrachtete Strukturgleichheit. Strukturgleichheiten, die durch die theoretischen Modelle wissenschaftlicher Konzepttransfers hergestellt werden, sind einer erkenntnistheoretisch wie immer zu qualifizierenden Bewährung an empirisch beobachteten Phänomenen ausgesetzt. Sie können sich also als erklärungskräftiger oder weniger erklärungskräftig erweisen. Die technische Nachbildung bestimmter Strukturen eines Referenzbereichs hängt in dieser Hinsicht dagegen völlig in der Luft. Ob es sinnvoll ist, eine bestimmte Strukturgleichheit herzustellen, kann nicht anhand unterstellter Gegebenheiten des primären Forschungsfeldes überprüft werden, weil die fraglichen Gegebenheiten ja erst auf der Grundlage der betreffenden Strukturgleichheit konstruiert werden. Strukturgleichheit ist anders als im Fall wissenschaftlicher Konzeptübertragungen mithin nie eine ausreichende Grundlage für die Herstellung einer Ähnlichkeitsbeziehung, bzw. sie ist es nur dann, wenn man die erfolgreiche technische Nachbildung von Strukturmustern bestimmter Referenzbereiche selbst zum Bewertungskriterium macht. Damit ist dann aber noch nichts darüber ausgesagt, wozu solche Nachbildungen gut sind.

Sobald man davon ausgeht, dass technische Konstruktionen ihre spezifische Bedeutung dadurch erlangen, dass sie als Lösungen für Probleme betrachtet werden, kommt man aus diesem Grund unweigerlich auf Problemähnlichkeit als Basis technikbezogener Konzeptübertragungen zurück. Ich schlage deshalb vor, den Umweg über

Strukturgleichheit als eine indirekte Form der Herstellung von Problemähnlichkeit zu verstehen. Der Umweg über Strukturgleichheit dient dabei dazu, eine zunächst noch unscharf formulierte Problemähnlichkeit zu spezifizieren. Auch in Fällen, die sich nicht umstandslos in das idealtypische Muster technikbezogener Konzeptübertragungen einfügen lassen, ist also die wahrgenommene Problemähnlichkeit die konstitutive Grundlage der Analogierelation. Zusätzlich aber wird diese Problemähnlichkeit im Prozess des Konzepttransfers selbst und über den Umweg der Herstellung von Strukturgleichheit modifiziert und im günstigen Fall präzisiert.

Literatur

- Bendifallah, S. et al. (1988): The Unnamable: A White Paper on Socio-Computational 'Systems', Research Note 60, DAI Group, University of Southern California.
- Bijker, W. E. (1995): Of Bicycles, Bakelite, and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change, Cambridge, Mass. u.a.
- Black, M. (1954/1983): Die Metapher, in: A. Haverkamp (Hrsg.), Theorie der Metapher, Darmstadt, S. 55-79.
- Black, M. (1962): Models and Archetypes, in: M. Black (Hrsg.), Models and Metaphors. Studies in Language and Philosophy, Ithaca u.a., S. 219-243.
- Black, M. (1977/1983): Mehr über die Metapher, in: A. Haverkamp (Hrsg.), Theorie der Metapher, Darmstadt, S. 379-413.
- Bond, A. H./Gasser, L. (Hrsg.) (1988): Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo, Ca.
- Cammarata, S./McArthur, D./Steeb, R. (1983/1988): Strategies of Cooperation in Distributed Problem Solving, in: A. H. Bond/L. Gasser (Hrsg.), Readings in Distributed Artificial Intelligence, San Mateo, Ca., S. 102-105.
- Cohen, P. R./Levesque, H. J. (1990): Intention Is Choice with Commitment, in: Artificial Intelligence 42, S. 213-261.
- Collins, H. M. (1983): An Empirical Relativist Programme in the Sociology of Scientific Knowledge, in: K. Knorr-Cetina/M. Mulkey (Hrsg.), Science Observed. Perspectives on the Social Study of Science, London u.a., S. 85-113.
- Connah, D./Wavish, P. (1990): An Experiment in Cooperation, in: Y. Demazeau/J.-P. Müller (Hrsg.), Dezentralized AI, Proceedings of the First European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, Amsterdam u.a., S. 197-212.
- Danneberg, L./Graeser, A./Petrus, K. (1995): Metapher und Innovation, in: L. Danneberg/A. Graeser/K. Petrus (Hrsg.), Metapher und Innovation. Die Rolle der Metapher im Wandel von Sprache und Wissenschaft, Bern u.a., S. 9-21.
- Davis, R. (1980): Report on the Workshop on Distributed AI, in: Sigart Newsletter 73, S. 42-52.
- Davis, R./Smith, R. G. (1983): Negotiation as a Metaphor for Distributed Problem Solving, in: Artificial Intelligence 20, S. 63-109.
- Dosi, G. (1982): Technological Paradigms and Technological Trajectories. A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change, in: Research Policy 11, S. 147-162.
- Durfee, E. H./Lesser, V. R./Corkhill, D. D. (1987): Cooperation through Communication in a Distributed Problem Solving Network, in: M. N. Huhns (Hrsg.), Distributed Artificial Intelligence, Pitman, Ca. u.a., S. 29-54.
- Durfee, E. H./Lesser, V. R./Corkhill, D. D. (1989): Trends in Cooperative Distributed Problem Solving, in: IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering I, S. 63-83.
- Fox, M. S. (1981): An Organizational View of Distributed Systems, in: IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 11, S. 70-80.

- Freeman, C./Perez, C. (1988): Structural Crisis of Adjustment, Business Cycles and Investment Behaviour, in: G. Dosi et al. (Hrsg.), *Technical Change and Economic Theory*, London u.a., S. 38-66.
- Gasser, L. (1991): Social Conceptions of Knowledge and Action: DAI Foundations and Open Systems Semantics, in: *Artificial Intelligence* 47, S. 107-138.
- Gilfillan, S. C. (1935/1970): *The Sociology of Invention. An Essay in the Social Causes, Ways and Effects of Technic Invention, Especially, as Demonstrated Historically in the Author's 'Inventing the Ship'*, Cambridge Mass. u.a.
- Hewitt, C. E. (1986): Offices are Open Systems, in: *ACM Transactions on Office Information Systems* 4, S. 271-287.
- Hewitt, C. E. (1991): Open Information Systems Semantics for Distributed Artificial Intelligence, in: *Artificial Intelligence* 47, S. 79-106.
- Huberman, B. E./Clearwater, S. H. (1995): A Multi-Agent System for Controlling Building Environments, in: V. Lesser (Hrsg.), *ICMAS-95. Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems*, Menlo Park, Ca. u. a., S. 171-175.
- Jennings, N. R. (1996): Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence, in: G. M. P. O'Hare/N. R. Jennings (Hrsg.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, New York u.a., S. 187-210.
- Kirn, S. (1996): Organizational Intelligence and Distributed Artificial Intelligence, in: G. M. P. O'Hare/N. R. Jennings (Hrsg.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, New York u.a., S. 505-526.
- Knie, A. (1989): *Das Konservative des technischen Fortschritts. Zur Bedeutung von Konstruktionstraditionen, Forschungs- und Konstruktionsstilen in der Technikgenese*, WZB, FS II, 89001, Berlin.
- Knorr-Cetina, K. (1984): *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Wissenschaft*, Frankfurt/Main.
- Knorr-Cetina, K. (1995): Metaphors in the Scientific Laboratory: Why are they there and what do they do?, in: Z. Radman (Hrsg.), *From a Metaphorical Point of View. A Multidisciplinary Approach to the Cognitive Content of Metaphor*, Berlin u.a., S. 329-349.
- Kornfeld, W. A./Hewitt, C. E. (1981): The Scientific Community Metaphor, in: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 11, S. 24-33.
- Latour, B. (1987): *Science in Action. How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Cambridge, Mass.
- Lesser, V. R./Corkhill, D. D. (1983): The Distributed Vehicle Monitoring Testbed: A Tool for Investigating Distributed Problem Solving Networks, in: *The AI Magazine* 4, S. 15-33.
- Malone, T. W. (1990): Organizing Information Processing Systems: Parallels between Human Organizations and Computer Systems, in: S. P. Robertson/W. W. Zachary/J. B. Black (Hrsg.), *Cognition, Computation and Cooperation*, Norwood, NJ, S. 56-83.
- Malsch, T. et al. (1996): Sozionik: Expeditionen ins Grenzgebiet zwischen Soziologie und Künstlicher Intelligenz, in: *Künstliche Intelligenz* 1996, S. 6-12.
- Malsch, T. (1997): Die Provokation der "Artificial Societies". Warum die Soziologie sich mit den Sozialmetaphern der Verteilten Künstlichen Intelligenz beschäftigen sollte, in: *Zeitschrift für Soziologie* 26, S. 3-22.
- Malsch, T. (2001): Naming the Unnamable: Socionics or the Sociological Turn of/to Distributed Artificial Intelligence, in: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 4 (im Erscheinen).
- Mambrey, P./Paetau, M./Tepper, A. (1995): *Technikentwicklung durch Leitbilder. Neue Steuerungs- und Bewertungsinstrumente*, Frankfurt/Main u.a.
- Martial, F. v. (1992a): *Coordinating Plans of Autonomous Agents*, Berlin u.a.
- Martial, F. v. (1992b): Einführung in die Verteilte Künstliche Intelligenz, in: *KI* 1/1992, S. 6-11.
- Miller, A. I. (1995): Imagery and Metaphor: The Cognitive Science Connection, in: Z. Radman (Hrsg.), *From a Metaphorical Point of View. A Multidisciplinary Approach to the Cognitive Content of Metaphor*, Berlin u.a., S. 199-224.
- Moulin, B./Chaib-draa, B. (1996): An Overview of Distributed Artificial Intelligence, in: G. M. O'Hare/N. R. Jennings (Hrsg.), *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, New York u.a., S. 3-55.

- Nelson, R. R. (1988): Institutions Supporting Technical Change in the United States, in: G. Dosi et al. (Hrsg.), *Technical Change and Economic Theory*, London u.a., S. 312-329.
- Parkes, D. C. (2000): Optimal Auction Design for Agents with Hard Valuation Problems, in: A. Moukas (Hrsg.), *Agent Mediated Electronic Commerce: Towards Next Generation Agent Based Electronic Commerce Systems*, Berlin u.a.
- Pinch, T. J./Bijker, W. E. (1984): The Social Construction of Facts and Artefacts: Or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology might Benefit Each Other, in: *Social Studies of Science* 14, S. 399-441.
- Radman, Z. (Hrsg.) (1995): *From a Metaphorical Point of View. A Multidisciplinary Approach to the Cognitive Content of Metaphor*, Berlin u.a.
- Rao, A. S./Georgeff, M. P. (1991): Modelling Rational Agents within a BDI Architecture, in: J. Allen/R. Fikes/E. Sandewall (Hrsg.), *Principles of Knowledge Representation and Reasoning : KR ; International Conference. Proceedings*, San Mateo, Ca.
- Rosenschein, J. R./Genesereth, M. R. (1985/1988): Deals Among Rational Agents, in: A. H. Bond/L. Gasser (Hrsg.), *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, San Mateo, Ca., S. 227-234.
- Schulz-Schaeffer, I. (1999): Technik und die Dualität von Ressourcen und Routinen, in: *Zeitschrift für Soziologie* 28, S. 409-428.
- Schulz-Schaeffer, I. (2000a): *Sozialtheorie der Technik*, Frankfurt/Main u.a.
- Schulz-Schaeffer, I. (2000b): Vergesellschaftung und Vergemeinschaftung künstlicher Agenten. Sozialvorstellungen in der Multiagenten-Forschung, TBG Research Reports 3, TU Hamburg-Harburg.
- Shoham, Y. (1993): Agent-oriented Programming, in: *Artificial Intelligence* 60, S. 51-92.
- Siegele, L. (1997): Ein amerikanischer Forscher bringt Computersystemen die Grundregeln der Marktwirtschaft bei - mit verblüffendem Erfolg, in: *Die Zeit* vom 27.6.1997
- Steeb, R. et al. (1981/1988): Distributed Intelligence for Air Flight Control, R-2728-ARPA, The Rand Corporation, in: A. H. Bond/L. Gasser (Hrsg.), *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, San Mateo, Ca., S. 90-101.
- Strübing, J. (1998): Multiagenten-Systeme als "Going Concern". Zur Zusammenarbeit von Informatik und Interaktionismus auf dem Gebiet der Verteilten Künstlichen Intelligenz, in: T. Malsch (Hrsg.), *Sozionik. Soziologische Ansichten über künstliche Sozialität*, Berlin, S. 59-89.
- Van de Velde, W./Perram, J. P. (1996): Preface, in: W. Van de Velde/J. P. Perram (Hrsg.), *Agents Breaking Away. 7th European Workshop on Modelling Autonomous Agents in a Multi-Agent World, MAAMAW '96*, Proceedings, Berlin u.a., S. V-X.
- Varian, H. (1995): Economic Mechanism Design for Computerized Agents. Paper presented at the USENIX Workshop on Electronic Commerce, July 11-12, 1995, New York, NY, <http://www.sims.berkeley.edu/~hal/people/hal/papers.html>
- Wooldridge, M. J./Jennings, N. R. (1995): Agent Theories, Architectures, and Languages: A Survey, in: M. J. Wooldridge/N. R. Jennings (Hrsg.), *Intelligent Agents. ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages*, Berlin u.a., S. 1-39.