ISSN 0947-5850
ISBN 978-3-86464-227-2

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät • Band 150/151 Jg. 2022

trafo verlag

Sitzungsberichte

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften

Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik

Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit

Arbeitskreis „Emergente Systeme/Informatik und Gesellschaft“ der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin in Kooperation mit der Gesellschaft für Wissenschaftsforschung (Berlin)

Herausgegeben von
Gerhard Banse & Klaus Fuchs-Kittowski

Mit Beiträgen von Gerhard Banse, Peter Brödner, Yaoli Du, Rainer Fischbach, Christiane Floyd, Klaus Fuchs-Kittowski, Hansjürgen Garstka, Hans-Gert Gräbe, Philipp Grüning, Dirk Hagen, Ruth Edith Hagengruber, Ronda Hauben, Gisela Jacobasch, Horst Junker, Wolfgang Kleinwächter, Klaus Kornwachs, Werner Krause, Harald A. Mieg, Falk Nette, Daniel H. Rapoport, Nadine Schumann, Erdmute Sommerfeld, Christian Stary, Stefan Ullrich, Werner Zorn

Band 150/151

Jahrgang 2022

Die Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.

ist eine freie Vereinigung von Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaftlern. In ihren Traditionen geht sie zurück auf die im Jahre 1700 gegründete Kurfürstlich-Brandenburgische Societät der Wissenschaften, eine der ältesten wissenschaftlichen Institutionen in Deutschland, sowie auf ihren geistigen Vater und ersten Präsidenten, Gottfried Wilhelm Leibniz. Mit ihr ist sie historisch durch die über Jahrhunderte ununterbrochene Zuwahl ihrer Mitglieder und deren wissenschaftliches Wirken verknüpft.
Die Sozietät, im Jahre 1993 mit Sitz in Berlin konstituiert, baut auf eigenständigen Forschungen ihrer Mitglieder auf und bietet ihnen ein Forum der Diskussion und Publizität. Im Plenum, in den Klassen und Arbeitskreisen pflegen ihre Mitglieder und Gäste besonders den interdisziplinären Diskurs und die Erörterung aktueller Grundprobleme von Wissenschaft und Gesellschaft. Die Sozietät will durch ihre Tätigkeit einen angemessenen Beitrag zum geistigen Leben in unserer Zeit leisten.

Vorstand (Präsidium) der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Herbert Hörz; Wissenschaftsphilosophie und -geschichte
Ehrenpräsident

Gerda Haßler; Sprachwissenschaft, Romanistik
Präsidentin

Lutz-Günther Fleischer; Verfahrenstechnik, Thermodynamik
Vizepräsident

Dorothee Röseberg; Romanistik, Kulturwissenschaft
Vizepräsidentin

Heinz-Jürgen Rothe; Arbeitspsychologie
Schatzmeister

Gerhard Pfaff; Chemie
Sekretar der Klasse für Naturwissenschaften und Technikwissenschaften

Kerstin Störl; Linguistik, Romanistik, Altamerikanistik
Sekretarin der Klasse für Sozial- und Geisteswissenschaften

Begründet im Jahre 1700
als Brandenburgische Societät der Wissenschaften

LEIBNIZ-SOZIETÄT: SITZUNGSBERICHTE

Sitzungsberichte
Band 150/151 Jahrgang 2022

Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin

Diese Publikation erfolgte mit freundlicher Unterstützung des Senats von Berlin.

Impressum

Herausgeberin: Gerda Haßler, Präsidentin der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
Briefanschrift: Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V.
Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin
Homepage http://www.leibnizsozietaet.de

Briefanschrift der Redaktion:
Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V., Redaktionskollegium,
Langenbeck-Virchow-Haus, Luisenstr. 58/59, 10117 Berlin

Im Auftrag der Leibniz-Sozietät e.V. erschienen im trafo Wissenschaftsverlag
Dr. Wolfgang Weist, Finkenstr. 8, 12621 Berlin
Telefon: 030/61 29 94 Fax: 030/61 29 94 21
e-mail: info@trafoberlin.de

Druck: Ortmaier Druck, Frontenhausen

Bezugsbedingungen: Die Reihe „Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät“ erscheint in unregelmäßigen Abständen etwa viermal jährlich.
Bestellungen sowie fortlaufender Bezug bitte über Ihre Buchhandlung oder direkt beim trafo Wissenschaftsverlag Dr. Wolfgang Weist.

Redaktionelle Durchsicht dieses Bandes: Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski

Redaktionsschluss: 22.4.2022
ISSN 0947-5850 ISBN 978-3-86464-227-2

Inhalt

Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski
Einführung 9

1 PROBLEMFELD UND METHODENGEFÜGE DER FORSCHUNGSSITUATION

Werner Zorn
Internet: Von AUP – Acceptable Use Policy – zu LoG – Limits of Growth –??? 33

Christiane Floyd
Wissensprozesse in der Cyberscience 53

Christian Stary, Klaus Fuchs-Kittowski
Zur Methodologie sozio-technischer Informationssystem- und Arbeitsgestaltung 79
Erkenntnistheoretische Überlegungen zum Einsatz von Design Science zur sozio-technischen Informationssystem- und Arbeitsgestaltung

Klaus Kornwachs
Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens – Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information 103

Nadine Schumann, Yaoli Du
Pragmatische Information in Interaktion 125

2 EXPERIMENT UND MODELL

Werner Krause, Erdmute Sommerfeld
Universalien des Denkens und Entropiereduktion im Denken 135
Über die Messung von Denkleistungen, über die Abbildung kognitiver Strukturtransformationen auf neuronale Strukturen und über einen möglichen Weg zur Bestimmung einer mentalen Grammatik

Daniel H. Rapoport, Falk Nette, Philipp Grüning
3D-Bewegungsanalyse von Immunzellen für die Diagnostik 157

Rainer Fischbach
Gedanken zum epistemischen Status von Modellen 161

Gisela Jacobasch
Mathematische Modellierung von Stoffwechselwegen roter Blutzellen und Malariaparasiten 175

3 VERFÜGBARKEIT VON WISSEN UND GERÄT

Hansjürgen Garstka
Verfügbarkeit von Wissen in der digital orientierten Wissenschaft 197

Horst Junker
Auf dem Weg zu einer Nachhaltigkeitsinformatik 205

Dirk Hagen
KI-basiertes Matchmaking als innovatives Steuerungsinstrument zur wissenschaftlichen Netzwerkbildung 223

4 RELEVANZ FÜR ERKENNTNIS UND GESELLSCHAFT

Stefan Ullrich
Verantwortung und das Internet der Dinge 237

Ruth Edith Hagengruber
Die „dritte Wissensdimension“ 253
Eine Epistemologie für eine neue Wissenswelt

Peter Brödner
Informatik – eine Wissenschaft auf Abwegen 257

Harald A. Mieg
Computerethik – oder: Was tun, wenn wir irgendwann eigentlich nicht mehr den Rechner ausschalten dürfen? 275

Klaus-Fuchs-Kittowski
Addendum: Überlegungen nach der Lektüre des Beitrags von Harald A. Mieg 287

Hans-Gert Gräbe
Zur Genese einer „Cyberscience“ 303

Ronda Hauben
Creating the Vision for the Internet 317
From the Wiener Circles to Licklider and ARPA’s Information Processing Techniques Office (IPTO)

Wolfgang Kleinwächter
Wer regiert das Internet: Kommunikationstechnologie und Informationsfreiheit zwischen Demokratie und Autokratie 335

Autorinnen und Autoren 345

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 9–29*

Gerhard Banse, Klaus Fuchs-Kittowski

Einführung

Die in diesem Band publizierten Beiträge stehen im Zusammenhang mit der am 26. November 2021 vom Arbeitskreis „Emergente Systeme / Informatik und Gesellschaft" der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin in Kooperation mit der Gesellschaft für Wissenschaftsforschung (Berlin) durchgeführten Tagung „Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik. Digitale Medien und die Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit":[1] Sie gingen aus Vorträgen auf dieser Tagung hervor oder wurden durch sie angeregt.

Mit dem Thema „Cyberscience" in den verschiedenen Natur-, Technik-, Human- und Sozialwissenschaften wird besonders deutlich auf die revolutionäre Entwicklung in den Wissenschaften verwiesen, die wesentlich durch die sogenannte 4. Revolution – die Informationsrevolution – und der ihr zugrundeliegenden revolutionären technisch-technologischen Entwicklungen vorangetrieben wird. Anliegen dieses Bandes ist es, deren Voraussetzungen, Verläufe und Folgen/Konsequenzen für die bzw. in der Wissenschaft und angrenzenden Bereichen sichtbar zu machen, auch ihre „Impacts" auf die (Grund-, Aus- und Weiter-)Bildung sowie auf die (Lern-, Alltags-)Kultur. Es geht dabei insbesondere um die Verantwortung der Wissenschaft für die Entwicklung einer digitalisierten Gesellschaft.

***

Es war der britische Physiker John Desmond Bernal, der mit seinem Werk „Wissenschaft in der Geschichte" („Science in History"; vgl. Bernal 1961) deutlich erkannte und herausarbeitete, dass die Gesellschaft ihre anspruchsvollen Ziele nur mit Hilfe der Wissenschaft verwirklichen kann, die gesellschaftliche Wirksamkeit der Wissenschaft aber in hohem Maß von der Einführung und Beherrschung moderner Methoden und Techniken der Organi-

1 Vgl. näher dazu den Tagungsbericht unter https://leibnizsozietaet.de/bericht-zur-tagung-cyberscience-wissenschaftsforschung-und-informatik/

sation und des Managements, wie Operationsforschung und Datenverarbeitung, abhängig ist.

Die Wissenschaftsforschung (Science Studies) oder auch Wissenschaftswissenschaft hat die Wissenschaft zum Forschungsgegenstand. Sie untersucht, wie Wissenschaft funktioniert, wie sie strukturiert ist und wie sie sich entwickelt.

Mit dem Thema „Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik" wird das Ziel verbunden, die Veränderung der Forschungssituation durch Einsatz der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), speziell der Internettechnologien, genauer zu untersuchen. Die methodologische Struktur der Forschungssituation wird in jedem ihrer vier Elemente

(1) Problemfeld und Methodengefüge,
(2) Experiment und Modell,
(3) Verfügbarkeit an Wissen und Gerät sowie
(4) Relevanz für Erkenntnis und Gesellschaft und deren Wechselbeziehungen

durch die Entwicklung und den Einsatz der IKT in der Forschung und zur Verbesserung ihre Organisation und Leitung wesentlich beeinflusst (vgl. Fuchs-Kittowski/Parthey 1988).

Die Welt der Wissenschaft ist in Bewegung: Sie wird globaler, interdisziplinärer, mobiler und wesentlich schneller – wie dies insbesondere mit der raschen Entwicklung des Impfstoffs gegen Covid-19 offensichtlich wird. Diese Entwicklung vollzieht sich nicht erst, seitdem von „Cyberscience" (vgl. Nentwich 2003), jetzt auch von einer Lehre und Wissenschaft 4.0 (vgl. Kornwachs 2016), im Zusammenhang mit der Konzeption der Industrie 4.0 (vgl. BMBF 2013), von einer Lehre 4.0 (vgl. Förderlinie 2016) gesprochen wird, seitdem die Digitalisierung von Forschung und Lehre in jüngster Zeit noch stärker in den Vordergrund gerückt wird. Neue Formen der Forschung und Lehre sind durch Virtuelle Forschungsumgebungen (VFU), digitale Plattformen, auf denen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gemeinschaftlich orts- und zeitunabhängig Daten und Informationen austauschen können und Massive Open Online Courses (MOOCs) entstanden. Besonders der Einsatz des Mobile Computing und der damit verbundenen Technologien, wie z. B. Augmented Reality, bieten neue Möglichkeiten für die Unterstützung der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler (vgl. auch Gethmann et al. 2021).

In der Gegenwart und unmittelbaren Zukunft wird die Entwicklung von Technologien der vierten industriellen Revolution – insbesondere 5G, das Internet der Dinge (IoT), Cloud computing und Systeme mit künstlicher In-

telligenz, „autonome“ Roboter – wesentliche internationale Forschungsaufgaben darstellen. Ihre Nutzung wird zugleich ein wesentliches Instrument nicht nur zur Steigerung der Wirtschaftseffizienz und zur Vorbereitung auf eine „postfossile“ Gesellschaft darstellen, sondern auch wesentlich zur Effizienz der wissenschaftlichen Arbeit sowie der Organisation und Leitung der Wissenschaft beitragen können. Dies ist in seinen ambivalenten Wirkungen von der Wissenschaftsforschung zu untersuchen, denn der Prozess der Automatisierung der Leistungs- und Leitungsprozesse in der Wissenschaft ist durchaus spezifisch gegenüber dem Einsatz der IKT in der Wirtschaft, der Gegen stand der Wirtschaftsinformatik ist. Die Spezifik des wissenschaftlichen Arbeitsprozesses, wissenschaftlicher Institutionen und ihrer Leitung gilt es unbedingt zu berücksichtigen. Mit der sich gegenwärtig vollziehenden Informatisierung bzw. Digitalisierung, die das Tempo des Einsatzes moderner IKT im Bereich der Wissenschaft und in der akademischen Lehre gegenwärtig noch einmal verschärft, wird die Forschungssituation nochmals generell verändert.

Über die wachsende Bedeutung der Wissenschaft für alle Bereiche unseres Lebens ist schon viel diskutiert worden. Früher war die Wissenschaft ein immer wichtiger werdender Entwicklungsfaktor, aber als Ressource spielte das wissenschaftliche Wissen eine untergeordnete Rolle, gegenüber den materiellen Produktionsfaktoren, wie den Ressourcen Stoff und Energie. Heute ist die Ressource Daten, Information und Wissen ein entscheidender Produktionsfaktor geworden. Die Wissenschaft wurde zum dominanten Entwicklungsfaktor, da sie die Qualität und Kombination der anderen Produktionsfaktoren weitgehend beeinflusst. Dabei spielen die Entwicklung und der Einsatz der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien im Bereich der Wissenschaften eine besondere Rolle. Für die Wissenschaftsforschung bzw. Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsorganisation sind daher die Probleme der Entwicklung und des Einsatzes der IKT im Bereich der Wissenschaften zu einem eigenen Untersuchungsgegenstand geworden.

Durch die Entwicklung der globalen digitalen Netze erfolgt eine, in ihren Konsequenzen noch nicht einschätzbare, Relativierung der Arbeit in Raum und Zeit. Dies hat für die Wissenschaft und die Universität 4.0 eine „Entortung“ (vgl. Kornwachs 2016) zur Folge. Es zeigt sich, dass diese Entwicklung in der Wissenschaft dazu führt, dass der Anteil der interdisziplinären Forschung stetig ansteigt, zu einer Vernetzung der Disziplinen und Entstehung von neuen Teil- bzw. Querschnittsdisziplinen sowie zu einer Diversifizierung der Kerndisziplinen führt.

Ausgehend vom Strahlen-Modell der Informatik zu Beginn ihrer Entwicklung haben sich in den verschiedenen Wissenschaften eine ganze Reihe von Angewandten Informatiken herausgebildet: Bio-Informatik, Umweltinformatik, Medizinische Informatik, Wirtschaftsinformatik, Rechtinformatik u. a. m. Dies zeugt von der revolutionären Rolle des bzw. der von der Informatik bereitgestellten Wissen, Methoden und Geräten im System der Wissenschaften. Die verschiedenen Wissenschaften werden damit befähigt, ihren Beitrag zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen zu leisten.

Im Zuge der Entwicklung des Einsatzes der IKT in der Forschung, in der Organisation und Leitung der Wissenschaft gilt es daher in besonderem Maße auch hier, wie in der Industrie, nach den Veränderungen im Arbeitsprozess der Wissenschaftler zu fragen, eine soziotechnische Gestaltung der im wissenschaftlichen Arbeitsprozess eingesetzten Informationssystem anzufordern, deutlich zu machen, dass ein am Mensch orientierten Einsatz der Technologien auch im Bereich der Wissenschaft die Einheit von Informationssystem-, Arbeits- und Organisationsgestaltung zur Voraussetzung hat.

Der Direktor des Instituts für Technikfolgen-Abschätzung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften Michael Nentwich untersuchte in seinem Buch „cyberscience. Research in the Age of the Internet“ schon 2003 die Folgen des zunehmenden Interneteinsatzes auf die wissenschaftliche Forschung. Er suchte nach Antworten auf Fragen wie z. B., ob es in Zukunft noch wissenschaftliche Veröffentlichungen auf Papier geben wird oder ob die Qualität wissenschaftlicher Arbeiten im Internetzeitalter tendenziell sinken wird. Auch urheberrechtliche Fragen und wirtschaftliche Aspekte werden diskutiert. Es werden ein Ausblick auf die zukünftigen Entwicklungen anhand von vier Szenarien gegeben sowie Handlungsoptionen für die Politik und aufgezeigt (vgl. Nentwich 2003). Dies entspricht der Sicht und Aufgabe der Technik-Folgenabschätzung. Die Wissenschaftsforschung hat, aufbauend auf dieser Analyse, die Wirkungen der Digitalisierung auf die Arbeit der Menschen in Forschung und Entwicklung (FuE) mit Sicht auf ihre soziotechnische Gestaltung zu untersuchen. Im Unterschied zur Industrie ist dies in der Wissenschaft kaum geschehen. Zu untersuchen ist die Wirkung der Entwicklung und des Einsatzes der IKT zur Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeit und Verbesserung der Wissenschaftsorganisation sowie den Einfluss dieser Technologien auf die *Struktur der Forschungssituation* sowie auf das *Ensemble der Forschungsmethoden* (siehe auch Abb. 1).

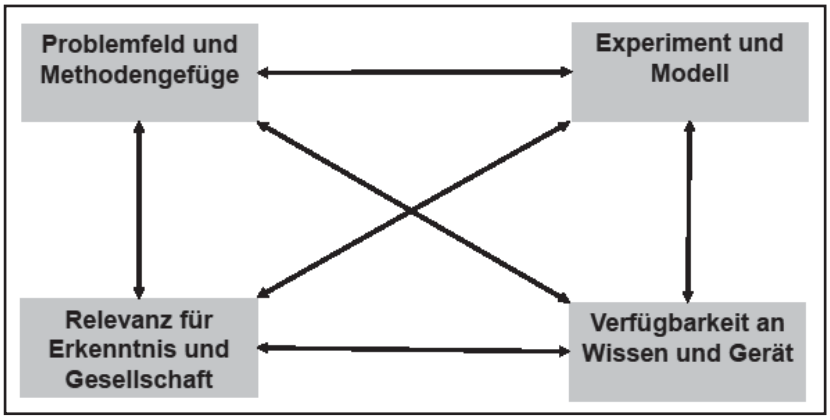


Abb. 1: Methodische Struktur der Forschungssituation

Quelle: nach Parthey 2010, 12.

Mit der Digitalisierung in der Wissenschaft, ihrem Einfluss auf die Forschungssituation und die Entwicklung der Forschungsmethodologie sind philosophisch-erkenntnistheoretische Probleme zu diskutieren. So u. a. die Bedeutung der Modellmethode im Erkenntnisprozess, die Probleme von Wahrheit und Wirklichkeit, Wahrheit und Wert, Rationalität und Humanität, Entdecken und Konstruktion bei der Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung. Es geht um die Ambivalenz der Wirkungen von Erkenntnissen der modernen Wissenschaften sowie notwendiger ethischer Konsequenzen.

(1) Problemfeld und Methodengefüge

Unter dem Stichwort „Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik“ ist zunächst der Einfluss der IKT auf die Methodenentwicklung in den Wissenschaften zu behandeln, denn ihre Entwicklung und Nutzung beeinflusst nachhaltig das ganze Ensemble wissenschaftlicher Methoden. Dies zeigt sich insbesondere bei der Forschung im Zeitalter des Internets, wie dies im Rahmen der Technologiefolgenabschätzung in den Arbeiten von Michael Nentwich (vgl. Nentwich 2003) und Renè König (vgl. Nentwich/König 2012) nachgewiesen wurde.

Auf der Grundlage des Verständnisses der Wissenschaft als System spezifischer Tätigkeiten zur Gewinnung von Erkenntnissen (vgl. Laitko/Trunschke 2003), ihres Verständnisses als ein soziales System (sowie des Informations-

systems als ein soziotechnisches), wurde es möglich, die verschiedenen Sichtweisen auf ein solches System: Wissenschaft als Erkenntnissystem, als soziale Institution und als Wissen erzeugendes und verarbeitendes Informations- und Wissenssystem, schrittweise immer besser zu integrieren. Damit gelang es international (auch unter dem Druck der Ausbildung[2]), über den Ansatz der Wissenschaftswissenschaft von Bernal hinausgehend – bei dem die konstituierenden Disziplinen noch weitgehend getrennt voneinander gesehen wurden –, eine immer mehr in sich geschlossene Darstellung der Wissenschaft, d. h. als Wissenschaftsforschung (Science Studies) herauszubilden.

Die Methode ist das revolutionäre Element in der Wissenschaftsentwicklung. Der Stand der Forschung zur Entwicklung der Wissenschaftsmethoden bringt das Niveau der Forschung eines Landes zu Ausdruck. Für die Wissenschaftsforschung gilt es, das gesamte Ensemble der Methoden – Theorie, Beobachtung, Experiment und Modell – und die Methoden in ihrer Wechselwirkung zu untersuchen.

Mit der Entwicklung und dem Einsatz der IKT ist die Entstehung der Strukturwissenschaften, wie Systemanalyse, klassische Informationstheorie, der Computer bzw. Computer Science ist selbst eine Strukturtheorie, wie Carl Friedrich von Weizsäcker herausarbeitet (vgl. Weizsäcker 1969).

Für dem Einsatz der IKT werden für alle Einsatzbereiche die Mathematisierung vorangetrieben sowie Methoden der Formalisierung der Information und Tätigkeiten (der Algorithmisierung), d. h. zur Ausführung auf Rechnern, zur formalen Repräsentation von Dingen, Strukturen und Prozessen der realen Welt, entwickelt und angewendet.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Methodologie des Einsatzes der Computer bzw. der IKT entwickeln sich Spezialdisziplinen in ver-

2 Hier wird auf die Forschung und Lehre Bezug genommen, wie sie vom Institut für Theorie und Organisation der Wissenschaften der Akademie der Wissenschaften der DDR (ITW) und der Sektion Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsorganisation (WTO) der Humboldt-Universität zu Berlin bis zu ihrer Abwicklung realisiert wurde. – Mit der Behandlung des (etwas anders formulierten Themas) „Wissenschaftsforschung und Informatik“ wird bewusst an diese Traditionen angeknüpft, insbesondere an den Bereich „Systemgestaltung und automatisierte Informationsverarbeitung“. Hauptthema für die Forschung in diesem Bereich war die Schaffung wissenschaftstheoretischer und methodologischer Grundlagen für den Einsatz der modernen IKT in wissenschaftlichen Einrichtungen sowie im Bibliotheks- und Gesundheitswesen (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 2010). Hier wurde schnell deutlich, dass das Einsatzgebiet Wissenschaft eine ausgeprägte Spezifik besitzt, z. B. gegenüber dem Einsatz dieser Technologien in Wirtschaft. Handel und Industrie. Es ist also erforderlich, dass die Probleme des Einsatzes der modernen Technologien nicht nur Forschungsgegenstand in den jeweiligen Einsatzgebieten, sondern auch Gegenstand der Wissenschaftsforschung sein müssen.

schiedenen Wissenschaften zu eigenständigen Disziplinen. In der Wirtschaftswissenschaft bzw. Wirtschaftsinformatik werden das Informations- und Wissensmanagement sowie das Informatik-Projektmanagement vorangetrieben; im Rahmen der Psychologie entfaltet sich die Disziplin der Mensch-Maschine-Interaktion. Für die Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion ist die kognitive Psychologie (vgl. Klix 1971; Sommerfeld 2009) grundlegend. Im Rahmen der Bemühungen um einen am Menschen orientierten Einsatz der IKT wird die Arbeitspsychologie (vgl. Rothe 2020; Ulich 1992) besonders wichtig.

Zur Entwicklung der verschiedenen Methoden im Ensemble der Wissenschaftsmethoden gehört auch die Entwicklung der Methodologie der soziotechnischen Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung (vgl. Fuchs-Kittowski 2021; Fuchs-Kittowski/Stary 2014). Dieses Thema wird für die Wissenschaftsforschung (Science Studies) besonders wichtig, da all die großen Herausforderungen an Forschung und Entwicklung, die mit der Entwicklung und dem Einsatz der modernen IKT, speziell der Internettechnologie, zur Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeit und der Verbesserung der Wissenschaftsorganisation auftreten, die Entwicklung und den Einsatz neuer Informationssysteme und Software erfordern. Die skizzierte Entwicklung der Cyberscience ist also eine besondere Herausforderung an die Informatik und speziell an eine entsprechende Methodologie der sozio-technischen Informationssystemgestaltung und Bewertung.

(2) Experiment und Modell

In vielen Wissenschaften, insbesondere in den Bio-Wissenschaften, kann das System der analytischen Methoden durch synthetische Methoden, insbesondere die Modellmethode, ergänzt werden.

Eine Verschränkung von Experiment und Modellierung ist in der biologischen Forschung wichtig, denn einerseits lässt sich das Zusammenspiel z. B. der zellulären Regulationsprozesse durch experimentelle Arbeit allein nicht aufklären, denn das induktive Vermögen einer kleinen Forschergruppe wird allein schon durch die Anzahl und die Komplexität der Ergebnisse überfordert. Andererseits neigen mathematische Modelle zellphysiologischer molekularbiologischer Objekte zur formalen Abstraktion, solange sie nicht mit experimentellen Daten vermittelt sind. Erst in der Vermittlung sind leere Begrifflichkeit des abstrakten Modells und blinde Anschaulichkeit der rohen experimentellen Daten aufgehoben. Allein diese Verschränkung rechtfertigt den Dualismus von Experimentieren und Modellieren.

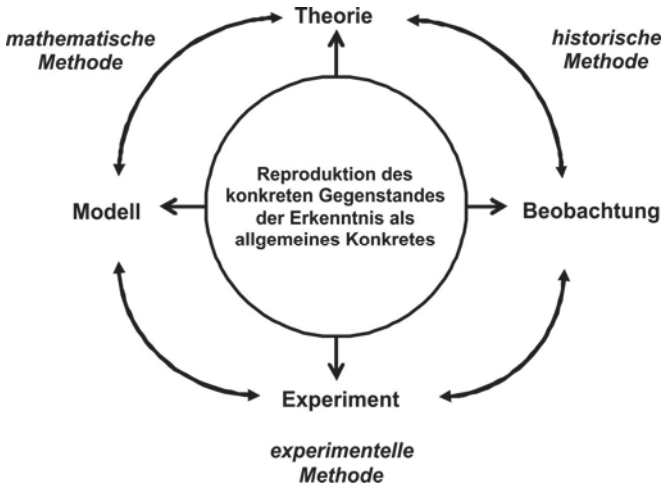


Abb. 2: Ensemble der wesentlichen Forschungsmethoden mit ihren Wechselbeziehungen

Quelle: verändert nach Fuchs-Kittowski 2007, 33; vgl. auch Fuchs-Kittowski 2022.

Bei der Klimaforschung mit ihren komplexen Klimamodellen erweist sich die Verschränkung von Modell mit Theorie und Experiment ebenso als besonders wichtig, soll nicht eine Daten- oder Theorie-Überlastung zu fehlerhaften Ergebnissen führen.

Theorien und Modelle sind die Grundlage für Big Data, indem Daten strukturiert, gefiltert und aufbereitet werden. Dabei müssen die Daten je nach Problemstellung individuell aufbereitet und verarbeitet werden. Die zu erstellenden Algorithmen müssen also der Logik der Theorien und Modelle entsprechen. Big Data kann nur im Methodengefüge der Wissenschaft, im Rahmen einer Theorie, sinnvoll angewendet werden, kann theoretisches Denken nicht ersetzen (vgl. Kolditz 2016).

Zum Überprüfen von Theorien lässt sich Big Data verwenden, im Umkehrschluss können durch Big Data auch neue Theorien entstehen, jedoch nicht ohne die Bereitstellung von Regeln und Algorithmen, welche die Grundlage für die Verarbeitung darstellen. Big Data kann daher als ergänzende wissenschaftliche Methode angesehen werden, welche gerade auch im experimentellen Umfeld die Möglichkeit bietet, komplexe Problemstellungen schon vorab zu untersuchen und mögliche positive Ergebnisse vorzuschlagen, welche im Experiment bewiesen oder falsifiziert werden können.

(3) Verfügbarkeit von Wissen und Gerät

Mit dem Thema „Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik" steht die Wissenschaft als Informationssystem im Vordergrund. Ziel ist es, im Sinne der Informationssystemforschung (vgl. Rolf 2021) die Wechselwirkung zwischen IKT-Entwicklung und -Nutzung für Forschung und Entwicklung, den Prozess der Rückführung wissenschaftlicher Tätigkeiten, Handlungen und Operationen auf formalisierte Operationen und deren Reintegration in den wissenschaftlichen Arbeitsprozess als Ganzem, die organisatorischen und sozialen Veränderungen durch den Prozess der De- und Rekontextualisierung beim Einsatz der IKT in der Wissenschaftsorganisation zu untersuchen.

Die Frage nach der Verfügbarkeit von Wissen und Gerät wird wesentlich bestimmt von der Befriedigung der Anforderungen an einen modernen Wissenschaftlerarbeitsplatz gestellt werden, von den Möglichkeiten der Verfügbarkeit über in Software vergegenständlichter Methoden und Wissen, den Möglichkeiten des Zugriffs auf Daten, Informationen und Wissen über große Datenbanken. Der computerunterstützte Wissenschaftlerarbeitsplatz (hoher Leistungsfähigkeit) mit seiner internen und globalen Vernetzung verändert nachhaltig die Forschungstechnologie.

Es werden drei Ebenen des IKT-unterstützten Wissenschaftlerarbeitsplatzes unterschieden:

1. Ebene des unmittelbaren Arbeitsplatzes des einzelnen Wissenschaftlers in seiner Gruppe,
2. Ebene des Intranets bzw. der Bereitstellung von IKT durch das Dienstleistungszentrum der Universität, und
3. Ebene des Internets bzw. Phasen seiner Entwicklung mit dem Word Wide Web (WWW), einschließlich des Internets der Dinge mit dem künftigen taktilen Internet.

Zur Verfügbarkeit von Wissen und Gerät und damit zum Gegenstand der Wissenschaftsforschung sollten auch die gegenwärtig umfangreichen Investitionen in die Chip-Entwicklung sein, denn die Mikroelektronik wird künftig noch verstärkt, wie die Dampfmaschine der Motor der ersten industrielle Revolution war, der Motor der 4. Industriellen Revolution sein. Ebenfalls gilt es die enormen Anstrengungen zur Weiterentwicklung des Cloud-Computing hinsichtlich der notwendigen Wissenschaftsentwicklung für seine weitere Entwicklung, wie seine Auswirkungen auf den wissenschaftlichen Arbeitsprozess und seine Organisation zu untersuchen.

(4) Relevanz wissenschaftlicher Tätigkeiten für Erkenntnis und Gesellschaft – Verantwortung der Wissenschaft zur Sicherung des Friedens

Von der Relevanz wissenschaftlicher Forschung und ihrer Ergebnisse für den weiteren Erkenntnisfortschritt sowie für die Erhöhung der Lebensqualität der Menschen ist die Bereitstellung entsprechender Mittel und auch die Zulassung bestimmter Forschungsprojekte, durch die verantwortlichen gesellschaftlichen Gremien, abhängig.

Die Relevanz wissenschaftlicher Forschung ist für den Einzelnen, wie für die Gesellschaft jedoch oftmals schwer zu erkennen. Dies insbesondere aufgrund fehlender Einsicht in das erforderliche Wissen, aber insbesondere aufgrund der Ambivalenz der Forschung und ihrer Ergebnisse, der Möglichkeit ihrer dualen Nutzung.

Die derzeitige Entwicklung in der Wissenschaft und die mit ihren verbundenen Veränderungen sind ambivalent, d. h. die positiven Wirkungen gilt es zu fördern, die negativen zu verhindern oder zumindest zu kompensieren. Es gilt den Missbrauch wissenschaftlicher Erkenntnis, den Umschlag dieser Produktivkraft in eine Destruktivkraft von vornherein zu verhindern. Aufgrund der Ambivalenz der Ergebnisse wissenschaftlicher Tätigkeit sind diese von der unterschiedlichen Relevanz für den weiteren Erkenntnisfortschritt und für die progressive Entwicklung der menschlichen Gesellschaft.

Informatikanwendungen sind oftmals nicht Aufgaben-angemessen, der Arbeitsprozess, insbesondere der schöpferische wissenschaftliche Arbeitsprozess, wird zu stark von der Informationstechnik bestimmt und damit eingeschränkt. Die formale Repräsentation setzt dem Verständnis der IKT-unterstützten Abläufe enge Grenzen, durch die kognitiven Schwierigkeiten der Menschen mit abstrakten, unvorstellbaren Größen und komplexen Strukturen und Prozessen explizit umzugehen.

Die Relevanz des Wissens für den Einzelnen wie für die Gesellschaft wird wesentlich erhöht, wenn es Allgemeingut ist. Es gilt eine, dem Informationszeitalter entsprechende Wissensordnung zu schaffen. Das sollte eine Ordnung sein, mit der die Trennungen der klassischen Wissensordnung: von Erkenntnis und Anwendung, Wahrheit und Wert aufgehoben werden, aber auch bei Aufhebung der Trennung von Erkenntnis und Besitz, die ideale der Aufklärung weiterhin gelten, dass Wissen möglichst Allgemeingut ist und bleibt. Auch das Internet hatte als Almende seine entscheidende Blütezeit.

Die Relevanz des Wissens für den Einzelnen wie für die Gesellschaft ist insbesondere zu prüfen, wenn es für Aufrüstung und Krieg verwendet wer-

den soll. Natur- und Technikwissenschaften haben eine besondere Verantwortung für Krieg und Frieden. Es gilt, ihr Engagement für Abrüstung und Abrüstungskontrolle zu stärken. Die militärische Forschung und Entwicklung (FuE) wird nicht nur durch die Rüstungsindustrie vorangetrieben, sondern offensichtlich auch durch die zivile Forschung und Entwicklung. Hier spielen die Möglichkeiten für Dual-Use eine wichtige Rolle. Es wird offensichtlich, dass der Ambivalenz- und der Dual-Use-Problematik im Zusammenhang mit der Entwicklung und dem Einsatz der modernen IKT zentrale Bedeutung zukommt

***

In den in diesem Band enthaltenen Beiträgen werden die Veränderungen der Forschungssituation durch den Einsatz der modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), speziell der Internet-Technologien, in vielfältiger Weise dargestellt. Ihre Anordnung folgt der gerade beschriebenen methodologischen Struktur der Forschungssituation mit ihren vier Elementen. Das Anliegen der Tagung war es, den Einfluss des Computers und der Entwicklung der globalen digitalen Netze, des Internets, auf die Entwicklung der Wissenschaften möglichst umfassend, d. h. am Beispiel der Entwicklung unterschiedlicher Wissenschaften, darzustellen. Die Aufeinanderfolge von Beiträgen aus sehr unterschiedlichen Gebieten ist somit gewollt.

Zu (1) Problemfeld und Methodengefüge der Forschungssituation

In diesem Abschnitt fassen wir die Beiträge von Werner Zorn, Christiane Floyd, Christian Stary und Klaus Fuchs-Kittowski, Klaus Kornwachs sowie Nadine Schumann und Yaoli Du zusammen.

Bei der Forschung im Zeitalter des Internets steht die Forschung zur Entwicklung des Internets selbst im Vordergrund, wie dies durch den Beitrag *Internet: Von AUP – Acceptable Use Policy – zu LoG – Limits of Growth –???* von *Werner Zorn* im Zusammenhang mit den Kämpfen um die Normung in exzellenter Weise dargestellt wird. AUP bezeichnet den Wohlverhaltens-Kodex innerhalb von Gemeinschaftseinrichtungen, zu welchem die Teilnehmer mit der Zulassungsberechtigung verpflichtet werden. Grund für AUPs sind Schwachstellen in Systemen, welche technisch ansonsten nur mit großem Aufwand oder gar nicht beseitigt werden könnten. Mit dem rasanten quantitativen und vor allem auch qualitativen Wachstum des Internet nahm die Verletzlichkeit zu und damit auch die Frage von grenzwertigem Einsatz – charakterisiert durch den Begriff *Limits of Growth*,

ergänzt um *Limits of Trust*. Mit der Untersuchung der genannten Elemente unter dem Einfluss der modernen IKT ist die Methodenentwicklung in den Wissenschaften, unser Verständnis von wissenschaftlichem Wissen grundsätzlich zu behandeln, denn die Entwicklung und Nutzung der IKT als Erkenntnismittel beeinflusst wesentlich das ganze Ensemble wissenschaftlicher Methoden und damit die Art und Weise der Gewinnung wissenschaftlichen Wissens.

Darauf baut *Christiane Floyd* in *Wissensprozesse in der Cyberscience* auf, indem sie Veränderungen in der wissenschaftlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeit in der sogenannten Cyberscience erörtert. Diese werden durch mehrere Faktoren ausgelöst: durch die Schwerpunktverlagerung von der Tätigkeit Einzelner zur Kooperation in Wissensprojekten, durch neue Formen der Kommunikation, Erkenntnisfindung und Zusammenarbeit im Zuge der Verwendung von Internettechnologien und Künstlicher Intelligenz, durch die Globalisierung, bei der wissenschaftliche Problemstellungen weltweit verteilt oder vernetzt bearbeitet werden, und durch das Zusammentreffen tief greifender Differenzen aufgrund der persönlichen, organisatorischen, disziplinären und kulturellen Perspektiven der Beteiligten.

Auch der Beitrag *Zur Methodologie sozio-technischer Informationssystem- und Arbeitsgestaltung* von *Christian Stary* und *Klaus Fuchs-Kittowski* zur soziotechnischen Informationssystemgestaltung und deren philosophisch-erkenntnistheoretischen Grundlagen ordnet sich hier ein: Es geht um Konstrukte der Design Science und damit verbundener Vorgehensweisen zur Erschließung von Anforderungen an praxisorientierte Lösungen in organisationalem Kontext und darauf abgestimmter Zyklen humanzentrierter Technologiegestaltung. Es gilt, den naiven Realismus sowie jede Form des Antirealismus zu überwinden, denn ohne einen bewusst vorgenommenen Realitätsbezug ist keine sicher funktionierende Software, kein menschengerechter Einsatz der IKT zu gewährleisten.

In seinem Beitrag *Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens – Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information* entwickelt *Klaus Kornwachs* seine Theorie der Pragmatischen Information weiter.[3] Der Begriff der Pragmatischen Information entstand aus der operationalen Sichtweise, wonach Information, die rezipiert wird, eine Wirkung hat. Diese „Wirkung“ ist ganz allgemein zu verstehen und hängt davon ab, welche Systembeschreibung

3 Der Beitrag ist eine für diesen „Protokollband“ wesentlich gekürzte Version. Die ausführliche Fassung wird zeitnah in „Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin“ publiziert werden.

man wählt. Im Kontext physikalischer Systeme kann man den Begriff der pragmatische Information dazu benutzen, die Wirkung auf ein empfangendes System zu modellieren. Die physikalisch mögliche Beobachtung der Veränderungen von Strukturen und/oder Verhalten ist wiederum als Information (output) beschreibbar und kann als aufgezeichnete Beobachtung als Schreiben interpretiert werden. Pragmatische Information wird als ein verallgemeinertes Produkt aus Erstmaligkeit und Bestätigung konzipiert, die als perspektivische Größe nur systemspezifisch bestimmt werden kann.

Nadine Schumann und *Yaoli Du* thematisieren in ihrem Beitrag *Pragmatische Information in Interaktion* den Informationsbegriff in der Interaktion von Mensch und Maschine. Sie stellen ein pragmatisch interaktives Konzept von Information vor, welches sich maßgeblich an der Benutzbarkeit von Technik und damit an den Handlungsmöglichkeiten der Nutzenden orientiert. Ausgehend von der sozialen Interaktion zwischen Menschen schlagen sie mit dem Leitkonzept der Triangulation den Bogen zur Interaktion von Mensch und Maschine und betonen die vermittelnde Rolle von Technologien.

Zu (2) Experiment und Modell

In vielen Wissenschaften, insbesondere in den Bio-Wissenschaften, in der Medizin und in der Psychologie ist der Computer zu einem ganz entscheidenden Erkenntnismittel geworden, kann das System der analytischen Methoden durch synthetische Methoden, insbesondere die Modellmethode, ergänzt werden. Die Mathematisierung in den Wissenschaften wird dadurch vorangetrieben. Hierzu sind die Beiträge von Werner Krause und Erdmute Sommerfeld sowie von Daniel Rapoport, Falk Nette und Philipp Grüning exzellente Beispiele.

Mit der Entwicklung einer Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung, wie sie von *Werner Krause* und *Erdmute Sommerfeld* in *Universalien des Denkens und Entropiereduktion im Denken – Über die Messung von Denkleistungen, über die Abbildung kognitiver Strukturtransformationen auf neuronale Strukturen und über einen möglichen Weg zur Bestimmung einer mentalen Grammatik* – dargestellt wird, wird eine wichtige Grundlage für ein tieferen Verständnis der Mensch-Computer-Interaktion gelegt. Mit der Bestimmung von Universalien des Denkens und der Messung der Entropiereduktion im Denken mathematisch Hochbegabter wird das Verständnis des schöpferischen Denkens gegenüber formalen Schließen vertieft.

Daniel Rapoport, Falk Nette und *Philipp Grüning* zeigen die Bedeutung des Computers als Erkenntnismittel. In ihrem „erweiterten Abstrakt“ *3D-Be-*

wegungsanalyse von Immunzellen für die Diagnostik verdeutlichten sie speziell die Bedeutung der bildgebenden Verfahren für die Medizin. Sie zeigen insbesondere die fruchtbare Anwendung moderner Methoden der Künstlichen Intelligenz (großer Datenmengen und künstlicher neuronaler Netze) für die biologisch-medizinische Forschung.

Ausgangspunkt von *Rainer Fischbach* in *Gedanken zum epistemischen Status von Modellen* ist die Erkenntnis, dass Modellbildung zu den Methoden sowohl der Forschung wie auch von Prognose und Planung gehört. Mit der digitalen Datenverarbeitung steht ihr ein Instrumentarium von wachsender Flexibilität und Leistungsfähigkeit zur Verfügung, das jedoch weder fehlendes Verständnis noch fehlende Daten auszugleichen vermag. Mit der Überführung tief strukturierter konzeptioneller Modelle in das lineare Medium des Computerspeichers stellen sich nicht nur methodische Probleme, sondern mit wachsender Verfeinerung der Modelle auch Anforderungen an die Ressourcen, die mit der Granularität oft stärker als linear ansteigen.

Verbunden mit den analytischen Methoden zur Erforschung des Zellstoffwechsels gewinnen synthetische Methoden, speziell die mathematische Modellmethode, für das Verständnis des Ablaufs und der Regulierung der Stoffwechselvorgänge an Bedeutung, denn der Stoffwechsel hat eine große Anzahl dynamischer und selbstregulatorischer Eigenschaften, die aus der noch so genauen Kenntnis der einzelnen Enzyme nicht zu verstehen sind. *Gisela Jacobasch* stellt – diesen Abschnitt abschließend – in *Mathematische Modellierung von Stoffwechselwegen roter Blutzellen und Malariaparasiten* exemplarisch ein Modell für den energetischen und oxidativen Stoffwechsel von Erythrozyten vor, das zur Berechnung von stationären und zeitabhängigen Stoffwechselzuständen verwendet wird.

Zu (3) Verfügbarkeit von Wissen und Gerät

Der Entwicklungstand der Wissenschaft eines Landes wird wesentlich bestimmt vom Stand der Methodenentwicklung, von der Bereitstellung von Methoden und Gerät, von der Softwareentwicklung und Computertechnik. Er wird wesentlich bestimmt von der Befriedigung der Anforderungen an einen modernen Wissenschaftlerarbeitsplatz. Dieses Element in der Struktur der Forschungssituation – Verfügbarkeit von Wissen und Gerät – wird insbesondere mit den Beiträgen von Hansjürgen Garstka, Horst Junker und Dirk Hagen behandelt.

Hansjürgen Garstka geht in *Verfügbarkeit von Wissen in der digital orientierten Wissenschaft* von der elementaren Voraussetzung für wissenschaftliche Forschung aus, dem Zugriff auf vorhandenes Wissen und die darin

enthaltenen Daten. Hierzu gehört zunächst der Zugang zu dem bereits wohlformulierten Wissen. Wichtiger für den Fortschritt ist allerdings der Zugriff auf Informationen, die erst der wissenschaftlichen Auswertung bedürfen. Soweit es sich dabei um personenbezogene Daten handelt, hat die Datenschutzdiskussion in den letzten Jahrzehnten wesentliche Kriterien entwickelt, die auch auf Daten ohne Personenbezug anwendbar sind

In *Auf dem Weg zu einer Nachhaltigkeitsinformatik* verweist *Horst Junker* auf die Notwendigkeit der Schaffung von betrieblichen Umwelt-Informationssystemen, mit denen wirklich eine Nachhaltigkeitsinformatik zu realisieren ist, die alle drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie und Soziales) unterstützt. Auf der Grundlage theoretischen Überlegungen zur Entwicklung (komplexer) Zielsysteme von Informationssystemen zum produktionsintegrierten Umweltschutz in Fertigungsunternehmen wird ein Weg aufgezeigt, wie Zielsysteme für nachhaltigkeitsorientierte IT-Applikationen erarbeitet werden können.

Wie moderne KI-Methoden zur Wissenschaftsorganisation genutzt werden können, zeigt *Dirk Hagen* in *KI-basiertes Matchmaking als innovatives Steuerungsinstrument zur wissenschaftlichen Netzwerkbildung*. Durch ihr Wachstum in den postmodernen und kapitalistisch orientierten Volkswirtschaften stellen alle Formen von „Events" einschließlich wissenschaftlicher Veranstaltungen ressourcenintensive Zusammenkünfte dar. Eine verstärkt digitale Entwicklung erhöht nicht nur die Komplexität solcher Events im Hinblick auf ihre globale Bedeutung, sondern auch im Hinblick auf einen zunehmenden Wandel im Rahmen von Nachhaltigkeit. Relevant wird dabei die Antwort auf die Frage, wie nach Wissen Suchende mit dem (den) richtigen und wichtigen Experten zusammengebracht werden können. Die Zunahme von digitalen Formaten treibt dabei noch den Bedarf an innovativen technologischen Lösungen an.

Zu (4) Relevanz für Erkenntnis und Gesellschaft

Bei der Frage nach der Relevanz für Erkenntnis und Gesellschaft, dem vierten Strukturelement der Forschungssituation, geht es um die Bedeutung der gewonnen wissenschaftlichen Erkenntnisse für die weitere wissenschaftlich-technische Forschung sowie für die Erhöhung der Lebensqualität der Menschen. Von dieser Relevanz des gewonnen Wissens für den Erkenntnisfortschritt und weiteren gesellschaftlichen Fortschritt ist die Bereitstellung entsprechender Mittel und auch die Zulassung bestimmter Forschungsprojekte, durch die verantwortlichen gesellschaftlichen Gremien, abhängig. Hier spielt die Frage nach der Verantwortung der Wissenschaftlerinnen angesichts der

Ambivalenz der Forschung und ihrer Ergebnisse, der Möglichkeit ihrer dualen Nutzung eine besondere Rolle.

Zu dieser Problematik gehören die Beiträge von Stefan Ullrich, Ruth Edith Hagengruber, Peter Brödner, Harald A. Mieg, Hans-Gert Gräbe, Ronda Hauben und Wolfgang Kleinwächter.

Stefan Ullrich betont in *Verantwortung und das Internet der Dinge*, dass das Internet der Dinge neue Anforderungen an die Verantwortung von technisch handelnden Personen durch die umfassende Datenerhebung und -verwertung in wissenschaftlicher oder wirtschaftlicher Hinsicht stellt. Grundlage einer Ethik für technisches Handeln bieten die ethischen Grundsätze von Hans Jonas und von Joseph Weizenbaum. Im Zeitalter der „Turing-Galaxis" – so seine Schlussfolgerung – sei die Herausbildung der Urteilskraft eine der zentralen Aufgaben der Informatik.

In *Die „dritte Wissensdimension". Eine Epistemologie für eine neue Wissenswelt* beschäftigt sich *Ruth Edith Hagengruber* mit der These, dass die neuen Möglichkeiten der Informationsgewinnung nicht nur unser Wissen, sondern auch unsere Weise zu wissen, verändern. Das Subjekt-Objekt Schema wird ergänzt durch eine „dritte Wissens-Dimension", die von den ersten beiden Elementen unabhängig ist, weil sie sich durch ihre qualitative Eigenständigkeit auszeichnet. Diese dritte Relation ergänzt und erweitert den Wissensprozess und konkurriert bzw. ergänzt das traditionelle (binäre) Erkenntnismodell. Das ist die grundsätzliche Forderung der Erweiterung der aristotelischen Ontologie und der Frage nach dem Erkenntnissubsekt im Zusammenhang mit dem Computereinsatz.

Für *Peter Brödner* sind in *Informatik – eine Wissenschaft auf Abwegen* das Produktivitätsparadoxon der Computertechnik und vergleichsweise häufige Scheitern großer Softwareprojekte ein Hinweis darauf, dass inadäquate Begriffe und Beschreibungen falsche Vorstellungen und Erwartungen über Funktionsweisen computertechnische Artefakte hervorrufen (können). Gestützt auf einen elaborierten Zeichenbegriff werden fachliche Grundlagen kritisch beleuchtet im Hinblick darauf, wie die sich von klassischen Maschinen fundamental unterscheidenden Artefakte im Zusammenhang mit der Organisation von Wissensarbeit zu verstehen sind. Ferner werden die Verwendung irreführender Metaphern sowie daraus resultierende Illusionen über Nutzen und Gefahren der Computertechnik mit der Folge beträchtlicher Fehlallokation von Ressourcen analysiert.[4]

---

4 Anmerkung der Herausgeber: Es gibt nach wie vor unterschiedliche „Sichtweisen der Informatik", wie schon mit einer vor 30 [!] Jahren erschienenen Publikation akzentuiert

Eine ganz andere Sicht auf Informatik liegt dem Beitrag *Computerethik – oder: Was tun, wenn wir irgendwann eigentlich nicht mehr den Rechner ausschalten dürfen?* von *Harald A. Mieg* zu Grunde. Er befasst sich zuerst mit der Definitionsfrage zur Computerethik und erörtert sodann den Unterschied von Erkenntnis- und ethischen Fragen. Das Argument ist: Es gilt das ethische Prinzip, dass keinem Wesen Grundrechte verwehrt werden dürfen, solange wir nicht klar ausschließen können, dass ihm überhaupt Rechte zukommen könnten. Das könnte zu praktischen Problemen in Entwicklung und Nutzung von Computersystemen führen. Mit diesem sehr breiten Ansatz hat sich einer der Herausgeber des vorliegenden Bandes (*Klaus Fuchs-Kittowski*) in einem *Addendum: Überlegungen nach der Lektüre des Beitrags von Harald A. Mieg* ausführlich befasst.

Hans-Gert Gräbe hat seinen Beitrag *Zur Genese einer „Cyberscience"* überschrieben. Für ihn ist das neuenglische Modewort Cyberscience Teil einer begrifflichen Inflation, um Phänomene des digitalen Wandels in Worte zu fassen. In der deutschen „Wikipedia" wird dies mit „Scheinwelten" und „konsensuellen Halluzinationen" konnotiert. Im Beitrag werden diese neumodischen Begrifflichkeiten kritisch hinterfragt, die Materialität jener „digitalen Phänomene" betont, dabei an ausgeblendete Debattenmomente wie das Thema Semantic Web oder Stalders Analyse der Wurzeln einer Kultur der Digitalität erinnert, um schließlich den Bogen zur Kybernetik-Debatte der 1960er Jahre zu schlagen und dort insbesondere die Argumente zu rekapitulieren, die Georg Klaus den Konzeptualisierungen eines Karl Steinbuch entgegengehalten hat

Ronda Hauben geht in *Creating the Vision for the Internet. From the Wiener Circles to Licklider and ARPA's Information Processing Techniques Office (IPTO)* den Visionen von Joseph Carl Robnett (J. C. R.) Licklider nach, die weithin als maßgeblich für die Entwicklung des Internets anerkannt werden. Er hatte es sich zur Aufgabe gemacht zu erforschen, welche Funktionen sinnvollerweise dem Menschen und welche Funktionen dem Computer zugewiesen werden sollten, denn für ihn gibt es zwischen Menschen und Computern verschiedene Arten „symbiotischer Beziehungen", wobei sich die unterschiedlichen Funktionen beider gegenseitig ergänzen und verstärken. Licklider inspirierte und unterstützte die Schaffung einer neuen

---

wurde (vgl. Coy et al. 1992). Wahrscheinlich haben alle ihre spezifischen Vor- und Nachteile, sind adäquat(er) bezogen auf bestimmte bzw. je interessierende spezifische Aspekte (im Sinne der „Ziel-/Zweck-Mittel-Relation"). Skeptisch sollte man immer dann werden, wenn EINE mögliche Variante als DIE Variante deklariert wird (unabhängig von einer vorgängigen expliziten Zwecksetzung).

Form der Datenverarbeitung und einer neuen Form der Mensch-Computer-Gemeinschaft. Die Schaffung des Internets und anderer erforderlicher Computerentwicklungen demonstrierten die Realisierbarkeit der von ihm geschaffenen und verbreiteten Vision.

Den Band beschließt der Beitrag *Wer regiert das Internet: Kommunikationstechnologie und Informationsfreiheit zwischen Demokratie und Autokratie* von *Wolfgang Kleinwächter*. Er zeigt, dass neue kommunikationstechnologische Entwicklungen über die Jahrhunderte immer wieder die Frage nach deren Regulierung und in diesem Zusammenhang auch die Frage von Meinungsäußerungsfreiheit aufgeworfen haben. Das Internet mit seiner dezentralen Struktur hat dabei die Durchsetzung traditioneller Regelungsmodelle neu herausgefordert. Das vom UN-Weltgipfel zur Informationsgesellschaft 2005 sanktionierte „Multistakeholder-Modell", bei dem Regierungen, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und die technische Community in ihren jeweiligen Rollen eng auch bei der Regulierung des Internet über Ländergrenzen hinweg kooperieren, bedarf noch seiner nachhaltigen Praxistauglichkeit, auch vor dem Hintergrund, dass das Internet nicht nur neue Freiheiten, sondern auch neue Möglichkeiten zum Missbrauch dieser Freiheiten geschaffen hat.

Die in diesem Band enthaltenen Beiträge belegen, dass der Einfluss des Einsatzes der IKT in den modernen Wissenschaften durch die Bereitstellung neuer Methoden und Geräte (Erkenntnismittel) in vielfältiger Weise zu der sich vollziehenden wissenschaftlich-technischen Umwälzung (Transformation oder gar Revolution) beiträgt. Diese, unter den Bedingungen moderner IKT stattfindende, Wissenschaftsentwicklung fassen wir zusammen unter dem Begriff *Cyberscience*. Die Vorsilbe „Cyber-" wird heute in unterschiedlichen Zusammenhängen benutzt. Damit soll unseres Erachtens zurecht darauf aufmerksam gemacht werden, dass in vielen der heutigen Entwicklungen, so auch speziell in der Entwicklung des Computers und der Computernetze (siehe etwa den Beitrag von Ronda Hauben), kybernetisches Gedankengut steckt. Wenn hier jedoch diese Vorsilbe in Verbindung mit „Science" verwendet wird, dann nicht, wie fälschlicher Weise angenommen werden könnte, um eine neue Allgemeinwissenschaft zu begründen, sondern um diese revolutionäre Entwicklung der Wissenschaft im Zeitalter des Internets „auf den Begriff zu bringen", wie Georg Wilhelm Friedrich Hegel sagen würde.

Die Tagung belegte zudem die Einsicht, dass die dargestellte Wissenschaftsentwicklung durch die Nutzung der Potenzen des Computers, der IKT generell, nicht vom Himmel gefallen, sondern zumeist durch großes

Engagement der Beteiligten, auch unter heftigen paradigmatischen Auseinandersetzungen, schwer errungen worden ist. Dies bringt u. a. Peter Mertens in seinem Aufsatz in der Festschrift zum 85. Geburtstag des Pioniers der Wirtschaftsinformatik Lutz J. Heinrich deutlich zum Ausdruck: Hier schreibt der andere Pionier in dieser Disziplin, dass sie zu Beginn eine „einsame" Gruppe waren (Mertens 2021). Die Potenz des Computers für die Wirtschaft war kaum erkannt worden, und vor allem nicht die Notwendigkeit der Lehre auf diesem Gebiet. Wenn wir heute von einer „Design Science zur soziotechnischen Informationssystem- und Arbeitsgestaltung" sprechen, dann zeigt sich die gewaltige Entwicklung, die sich in Wissenschaft und Praxis vollzogen hat. Es heißt in dem Aufsatz von Mertens nicht, man seine eine „kleine", sondern eine „einsame" Gruppe gewesen. Es ist heute kaum noch vorstellbar, dass die Bedeutung des Computers für die Entwicklung von Forschung und Lehre in den Wissenschaften und insbesondere für deren am Menschen orientierten Einsatz in dieser grotesken Weise unterschätzt wurde.

***

Allen am Zustandekommen dieser Publikation Beteiligten gilt der herzliche Dank der Herausgeber: den Autorinnen und Autoren, die bereit gewesen sind, den zahlreichen Wünschen – z. B. hinsichtlich Terminstellung, Manuskriptumfang, Präzisierungen – nachzukommen, Herrn Georg B. Kaiser, BMB – BuchManufacturBerlin, bei dem die „formale" Vereinheitlichung und Gestaltung dieses Bandes wiederum in besten Händen lag und last – but not least – dem Berliner Senat, insbesondere der Abteilung Forschung, denn ohne dessen finanzielle Unterstützung wäre der Druck dieses „Protokollbandes" so nicht möglich gewesen. Die Herausgeber verbinden den Dank mit der Hoffnung, dass weitere wissenschaftliche Veranstaltungen zu den hier vorgestellten Problemfeldern folgen werden, mit weiteren grundlegenden, wissenschaftlich und gesamtgesellschaftlich gleichermaßen gewichtigen Aspekten und Perspektiven. Sie verbinden das aber auch mit der Hoffnung, dass es nicht beim „Buchwissen" bleibt, sondern dass dieses seinen (raschen) Niederschlag auch in weiteren realen Veränderungen des Wissenschaftsgeschehens findet.

Literatur

Banse, Gerhard; Busch, Ulrich; Thomas, Michael (Hrsg.) (2017): Digitalisierung und Transformation. Industrie 4.0 und digitalisierte Gesellschaft. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 49).

Banse, Gerhard; Thelen, Julia; Lingner, Stephan (Hrsg.) (2019): Industrie 4.0 zwischen Idee und Realität. Ein Ländervergleich. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 54).

Bernal, John Desmond (1961): Wissenschaft in der Geschichte. Berlin.

Brödner, Peter; Fuchs-Kittowski, Klaus (Hrsg.) (2020): Zukunft der Arbeit. Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung“ und „Künstlicher Intelligenz“. Berlin (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 67).

BMBF – Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013): Zukunftsbild „Industrie 4.0“. Bonn.

Coy, Wolfgang; Nake, Frieder; Pflüger, Jörg-Martin; Rolf, Arno; Seetzen, Jürgen; Siefkes, Dirk; Stransfeld, Reinhard (Hrsg.) (1992): Sichtweisen der Informatik. Braunschweig/ Wiesbaden.

Förderlinie (2016): 1. „Förderlinie im Forschungsfeld ‚Digitale Hochschule‘“. vhw-Mitteilungen – Informationen und Meinungen zur Hochschulpolitik, Nr. 2, 3–5.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2007): „Zur (informatischen) Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaft – Zur revolutionären Rolle der Methoden in der Wissenschaft“. Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion. Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2006, hrsg. von Heinrich Parthey; Günter Spur. Frankfurt am Main u. a. O., 31–77.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2022): Daten, Information, Wissen, Computernetze. Essays zu Cyberscience, Wissenschaftsforschung und Informatik. Berlin (in Vorbereitung).

Fuchs-Kittowski, Klaus; Albrecht, Edo; Langner, Erich; Schulze, Dieter (2010): „Gründung, Entwicklung und Abwicklung der Sektion Ökonomische Kybernetik und Operationsforschung/Wissenschaftstheorie und -organisation an der Humboldt-Universität zu Berlin“. Die Humboldt-Universität Unter den Linden 1945–1990. Zeitzeugen – Einblicke – Analysen, hrsg. von Wolfgang Girnus; Klaus Meier. Leipzig, 155–197.

Fuchs-Kittowski, Klaus; Parthey, Heinrich (1988): „Veränderungen in der Forschungssituation durch die Entwicklung der Informationstechnologien“. Arbeitstagung Forschungstechnologien, 87 – Informationstechnologien als Teil der Forschungstechnologie in den experimentellen Wissenschaften. Berlin (Akademie der Wissenschaften der DDR), 141–164.

Fuchs-Kittowski, Klaus; Stary, Christian (2014): „Methoden zur Gestaltung sozio-technischer Informationssysteme“. Beiträge zur Allgemeinen Technologie, hrsg. von Gerhard Banse; Ernst-Otto Reher. Berlin, 129–204 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36).

Gethmann, Carl Friedrich; Buxmann, Peter; Distelrath, Julia; Humm, Bernhard G.; Lingner, Stephan; Nitsch, Verena; Schmidt, Jan C.: Spiecker, Indra genannt Döhmann (2021): Künstliche Intelligenz in der Forschung. Neue Möglichkeiten und Herausforderungen für die Wissenschaft. Berlin u. a. O. (Ethics of Science and Technology Assessment, Vol. 48).

Klix, Friedhart (1971): Information und Verhalten. Bern u. a. O.

Kolditz, Lothar (2016): „Big Data: Die große Datenflut, Theorien und Modelle“. Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski; Werner Kriesel. Frankfurt am Main, 253–260.

Kornwachs, Klaus (2016): „Die Entortung der Wissenschaft und Universität 4.0“. Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski; Werner Kriesel. Frankfurt am Main, 213–223.

Laitko, Hubert; Trunschke, Andreas (Hrsg.) (2003): Mit der Wissenschaft in die Zukunft. Nachlese zu Desmond Bernal. Potsdam (Rosa-Luxemburg-Stiftung Brandenburg).

Mertens, Peter (2021): „Es geht auch dynamisch.“ Lutz J. Heinrich, Weitblick Entschlossenheit. Gedanken und Erinnerungen von Weggefährten, die Geschichte schrieben, über jemanden der Geschichte schrieb – An Lutz J. Heinrich zum 85. Geburtstag, hrsg. vom Institut für Wirtschaftsinformatik – Information Engineering. Linz, 29 (Johannes Kepler-Universität, Institut für Wirtschaftsinformatik – Information Engineering). www.ie. jku.at

Nentwich, Michael (2003): cyberscience. Research in the Age of the Internet. Vienna (Austrian Academy of Science).

Nentwich, Michael; König, René (2012): Cyberscience 2.0 – Research in the Age of Digital Social Networks. Frankfurt am Main/New York.

Parthey, Heinrich (2010): „Institutionalisierung disziplinärer und interdisziplinärer Forschungssituationen“. Interdisziplinarität und Institutionalisierung der Wissenschaft. Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2010, hrsg. von Klaus Fischer; Hubert Laitko; Heinrich Parthey. Berlin, 9–35.

Rolf, Arno (2021): „Informatik im Kontext: Das MikroPolismodell. Ein Rahmenwerk für die transdisziplinäre Forschung von Informationssystemen in der Gesellschaft – Rückblick und Ausblick“. Der Weg in die „Digitalisierung“ der Gesellschaft. Was können wir aus der Geschichte der Informatik lernen?, hrsg. von Jörg Pohle; Klaus Lenk. Marburg, 245–259.

Rothe, Heinz-Jürgen (2020): „Arbeit 4.0 – alte und neue arbeitswissenschaftliche und ingenieurpsychologische Probleme“. Zukunft der Arbeit. Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung“ und „Künstlichen Intelligenz“, hrsg. von Peter Brödner; Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin, 21–39 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 67).

Sommerfeld, Erdmute (2009): „Friedhart Klix zu seinem 80. Geburtstag. Vortragsreihe ‚Menschliche Informationsverarbeitung – interdisziplinäre Elementaranalyse und diagnostische Anwendung‘“. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 101, 67–71.

Ulich, Eberhard (1992): Arbeitspsychologie. Zürich.

Weizsäcker, Carl Friedrich von (1969): „Die Rolle der Wissenschaft“. Das 198. Jahrzehnt – Eine Team-Prognose für 1970–1980, hrsg. von Claus Grossner; Hans-Herrmann Münchmeyer; Arend Oetker; Carl Friedrich von Weizsäcker. Hamburg, 495–510.

1

Problemfeld und Methodengefüge der Forschungssituation

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 33–52*

Werner Zorn

Internet: Von AUP – Acceptable Use Policy – zu LoG – Limits of Growth –???

Abstract

AUP (Acceptable Use Policy) refers to the code of conduct within community facilities, to which the participants with the admission authorization are obliged. The reason for AUPs are weak points in systems, which could otherwise only be eliminated with great effort or not at all. AUPs emerged in US colleges and research organizations with the spread of the Internet in the 1980s. The specific need for AUPs on the Internet was the architectural property of connectionless communication at the network layer (Layer 3), making the Internet vulnerable to all sorts of intentional or accidental misuses. With the rapid quantitative and above all qualitative growth of the Internet, vulnerability increased and with it the question of borderline use – characterized by the term limits of growth, supplemented by limits of trust. Due to the epoch-making technological and economic importance of the Internet, which is expressed by the terms Industry 4.0 and digitization, this article also deals with the earlier epochs in a historical retrospect and concludes with own and third-party fundamental questions on the further development of Internet technology.

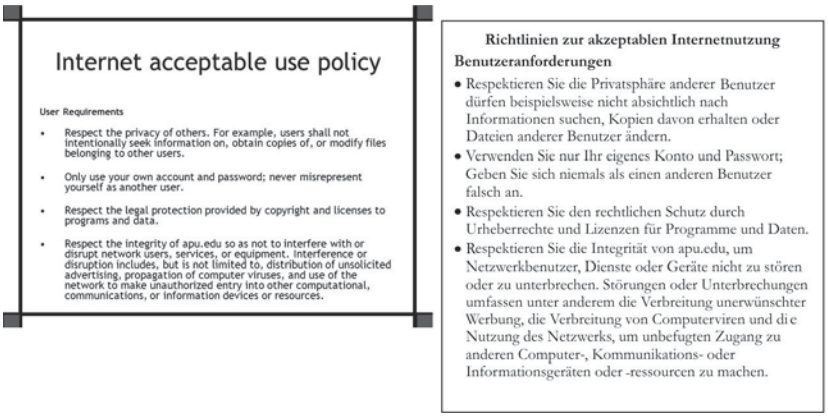
Keywords/Schlüsselwörter

Limits of growth, Limits of trusts

Grenzen des (Größen-)Wachstums, Grenzen des Vertrauens

1 Aus den Anfängen des Internet 1969 bis 1983ff.

Die Abkürzung AUP für Acceptable Use Policy stammt aus den Anfangszeiten des Internet Mitte der 80er Jahre in den USA und stellt eine Sammlung von Empfehlungen für Betreiber und Nutzer von Internet-Diensten dar, deren Beachtung im eigenen Interesse ebenso wie dem betroffener Dritter nachdrücklich empfohlen wird (siehe Abb. 1).



Internet acceptable use policy

User Requirements

- Respect the privacy of others. For example, users shall not intentionally seek information on, obtain copies of, or modify files belonging to other users.
- Only use your own account and password; never misrepresent yourself as another user.
- Respect the legal protection provided by copyright and licenses to programs and data.
- Respect the integrity of apu.edu so as not to interfere with or disrupt network users, services, or equipment. Interference or disruption includes, but is not limited to, distribution of unsolicited advertising, propagation of computer viruses, and use of the network to make unauthorized entry into other computational, communications, or information devices or resources.

Richtlinien zur akzeptablen Internetnutzung

Benutzeranforderungen

- Respektieren Sie die Privatsphäre anderer Benutzer dürfen beispielsweise nicht absichtlich nach Informationen suchen, Kopien davon erhalten oder Dateien anderer Benutzer ändern.
- Verwenden Sie nur Ihr eigenes Konto und Passwort; Geben Sie sich niemals als einen anderen Benutzer falsch an.
- Respektieren Sie den rechtlichen Schutz durch Urheberrechte und Lizenzen für Programme und Daten.
- Respektieren Sie die Integrität von apu.edu, um Netzwerkbenutzer, Dienste oder Geräte nicht zu stören oder zu unterbrechen. Störungen oder Unterbrechungen umfassen unter anderem die Verbreitung unerwünschter Werbung, die Verbreitung von Computerviren und die Nutzung des Netzwerks, um unbefugten Zugang zu anderen Computer-, Kommunikations- oder Informationsgeräten oder -ressourcen zu machen.

Abb. 1: Aus der AUP des IES

Quelle: AUP des Institute of Education Sciences, Washington D.C.

Was im streng DoD-reglementierten ARPAnet als Wohlverhalten per Dienstanweisung und auch nach Umstellung auf TCP/IP zum 01.01.1983 in lokalen Netzen anfangs noch funktionierte, stieß bei dem alsbald einsetzenden exponentiellen Wachstum (siehe Abb. 2 und 3) sehr schnell an seine bisherigen organisatorischen Grenzen, was zu globalen Umstrukturierungen wie dem Aufbau des NSFNET Backbone und regionalen Netzen wie dem NYSERNET, BARRNET u. a. m. führte.

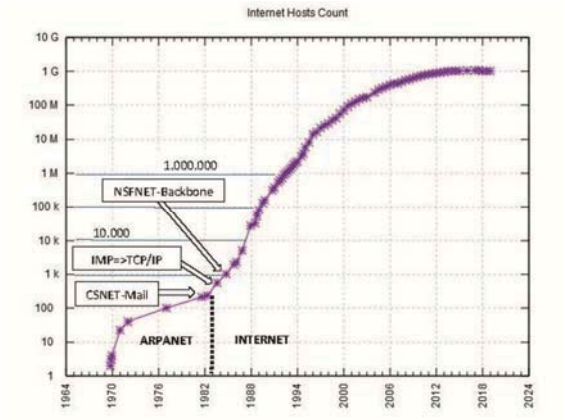


Abb. 2: ARPANet/Internet – Host 1969–2020

Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internet_Hosts_Count_log.svg mit Internet-Ergänzungen

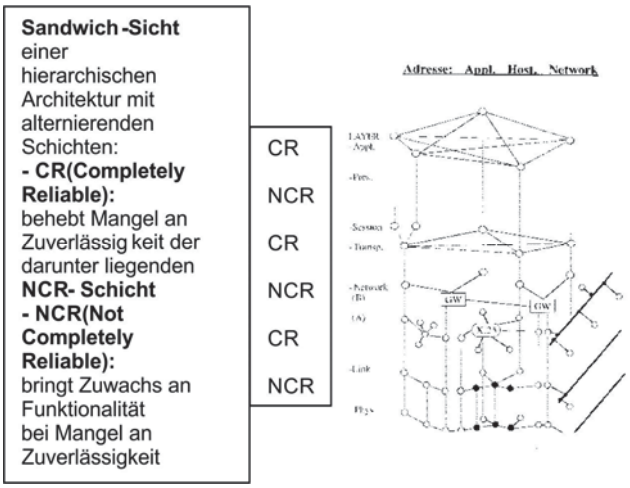


Abb. 3: NCR/CR-Internet-Schichten

Eigene Darstellung [2004/2005]

Unter einer ähnlichen Fragestellung hatten bereits zuvor im „Club of Rome" Wissenschaftler aus anderen Fachgebieten in „The Limits to Growth" angesichts des anhaltenden Wachstums der Weltbevölkerung das Problem der Endlichkeit physischer Ressourcen (Nahrungsmittel, nicht erneuerbare Ressourcen/Industrieproduktion, saubere Umwelt/Umweltverschmutzung) adressiert (vgl. Meadows et al. 1979).

2 Industriegeschichte 18. bis 21. Jh.

2.1 Industrielle Epochen 1 bis 4

Fragestellungen zu voraussichtlichen technischen Entwicklungen ist Methodik erster Wahl, ob und gegebenenfalls was wir aus der Geschichte lernen können. Hierbei bieten sich im ersten Ansatz zwei Kategorien an: I.: eingesetzte Technologien; II.: eingesetzte Wettbewerbsmechanismen.

Ein historisch evolutionärer Ansatz betrachtet die Industrie-Geschichte als Folge von Epochen mit jeweils neuen Basis-Technologien, welche ähnlich wie in der Software-Entwicklung als Versionen fortlaufend durchnummeriert werden, was zur Groborientierung und insbesondere zur Benennung des wesentlichen technologischen Fortschritts innerhalb der jeweiligen Epoche geeignet ist.

- *Industrie 1.0 „Mechanisierung“*, 18. Jh., II. Hälfte: Spinnmaschine 1764, Puddelverfahren zur Stahlerzeugung 1784, Dampfmaschine 1769, vollmechanisierter Webstuhl 1785, Eisenbahn 1830;
- *Industrie 2.0 „+ Elektrifizierung“*, 19. Jh., II. Hälfte: Massenproduktion, Fließbandfertigung, Ford Modell T 1918;
- *Industrie 3.0 „+ Computerisierung“*, 20. Jh., II. Hälfte: Automatisierung, Vernetzung, globale Lieferketten, „Just in Time“;
- *Industrie 4.0 „+ Digitalisierung“*, 21. Jh., I. Drittel: Losgröße 1, IoT – Internet of Things, AI – Artificial Intelligence.

Beispiele aus den verschiedenen Industrie-Epochen veranschaulichen im folgenden Abschnitt den jeweiligen Stand von Wissenschaft und Technik.

Dass sich diese vier Epochen nicht scharf konsekutiv abgrenzen lassen, sondern zeitlich und geographisch überlappen, habe ich selbst persönlich erlebt:

- Industrie 1.0: Spinnrad, 1945;
- Industrie 2.0: „Hütte“ (1857), 1962;
- Industrie 3.0: Zuse Z22, 1963, und Burroughs B6700, 1967;
- Industrie 4.0: Internet – IoT/KI, 1983–2021.

Am Ende des 2. Weltkriegs wurden in vielen Familien noch vorhandene Spinnräder reaktiviert und Strickwaren aller Arten wie 200 Jahre zuvor in Heimarbeit hergestellt. Mit meinem Eintritt in den „Akademischen Verein Hütte“ zum Studienbeginn an der TH Karlsruhe im Herbst 1962 kam ich mit den Handbüchern und Werkzeugen wie Logarithmentafel und Zeichenmaschinen der Industrie 2.0-Epoche in Berührung bis zurück zur 1. Auflage „Hütte – Des Ingenieurs Taschenbuch“ von 1857 (vgl. AVH 2007), Programmierung von Computern der Industrie 3.0-Generation in Assembler und Algol bis hin zur Konzeption von Systemen der Künstlichen Intelligenz in Industrie 4.0-Systemen des Jahres 2022 – 60 Jahre nach meinem Studienbeginn.

Entgegen der positiven Vorstellung von globaler Ordnung und stetigem Fortschritt innerhalb der Industrie-orientierten Neuzeit, welche die Begriffsbildung Industrie 1.0 bis 4.0 … vermitteln könnte, handelt es sich hierbei lediglich um eine grobe technologieorientierte Klassifikation, welche von den wesentlichen historischen Kausalketten und den damit verbundenen gesellschaftlichen Strukturwandel abstrahiert. Dies betrifft insbesondere die frühen Phasen der Industrialisierung, weswegen diese in einem gesonderten Abschnitt nochmals in Erinnerung zurückgerufen werden sollen.

Parallel dazu lässt sich die Industrialisierung aus kommerzieller Sicht als Wettbewerb zwischen den jeweils beteiligten Akteuren betrachten (vom selbständigen Handwerker bis zum Großkonzern), wie dies seit Jahrhunderten das Marktgeschehen prägte (vgl. näher Kramper 2019; Landweber 2015[1]).

2.2 „Industrie 1.0" – Industrielle Revolution im 18. Jh.

● Früheste Beispiele aus England

Der Beginn der Epoche „Industrie 1.0" lässt sich mit der Erfindung des mechanischen Spinnmaschine „Spinning Jenny" im Jahr 1764 durch James Hargreaves datieren (British Patent No. 962 1770), womit gleichzeitig die Führungsrolle Englands in der Industrialisierung begründet wurde mit Manchester als Textilmetropole, gefolgt von weiteren Meilensteinen wie der Erfindung der Dampfmaschine und der Eisenbahn als modernem Transportmittel (siehe Abb. 4).

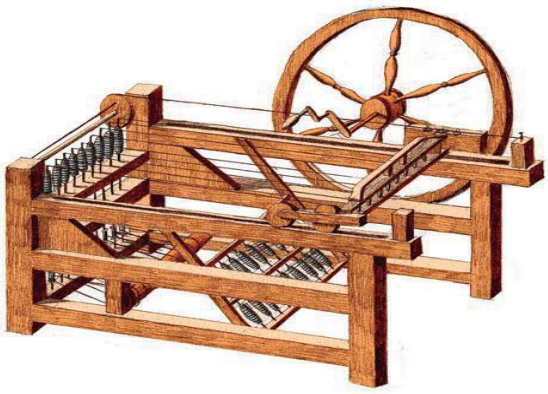


Abb. 4: Spinning Jenny von James Hargreaves

Quelle: https://www.environmentandsociety.org/mml/spinning-jenny

Es folgten bahnbrechende Grundlagenarbeiten, wie sie gut von Peter Kramper wiedergegeben werden (vgl. Kramper 2019; siehe auch Abb. 5 samt beigefügter Tabellen).

1 Wegen seiner besonderen Bedeutung werden die Ausführungen von Lawrence D. Landweber im Abschnitt 2.4 komplett wiedergegeben.

Abb. 5: Standard-Formate im Textilbereich (Spinnen/Weben)

Hank (engl.) ⇔ Strang (dt.) ⇔ Écheveau (franz.): materialabhängige Längeneinheit für Stoffe oder Garne, die je nach zu messender Art variiert. Ein Strang entspricht beispielsweise 840 Yards für Baumwollgarn und 560 Yards für Kammgarn. – Hank ist synonym zu Skein (A length of thread or yarn, loosely coiled and knotted); Strang ist synonym zu Knäuel.

Quelle: https://en.wikipedia.org/wiki/Hank_(unit_of_measure)#/media/File:Yarn_hank_uncoiled.png

Abb. 6: Beginn der Textil-Industrie mit sozialen Problemen

Quelle: https://www.environmentandsociety.org/sites/default/files/styles/popup/public/thumbnails/image/spinning-jenny-01.jpg

Folge der hochrationalisierten Massenproduktion im Zuge der Industrialisierung war eine Verelendung der Arbeiterklasse, d. h. Industrialisierung unter kapitalistischen Produktionsverhältnissen. Folgen waren etwa Arbeiterrevolten wie die Weberaufstände in Schlesien 1844 oder die Mobilisierung von Intellektuellen wie Karl Marx mit solchen Werken wie „Lohnarbeit und Kapital“ 1849 oder „Das Kapital“ 1867, welche später die Welt über Deutschland hinaus fundamental verändern sollten.

Ein weiteres Beispiel ist die Entstehung des Eisenbahnwesens in England durch George Stephenson auf der Grundlage der Dampfmaschine von James Watt: Die Eröffnung der ersten öffentlichen Eisenbahn als Verbindung zwischen Stockton und Shildon (40 km) erfolgte am 27.09.1825, die Eisenbahnverbindung zwischen Manchester und Liverpool wurde am 15.09.1830 eröffnet. Für die fast 57 km lange Strecke benötigte der Zug rund zwei Stunden.

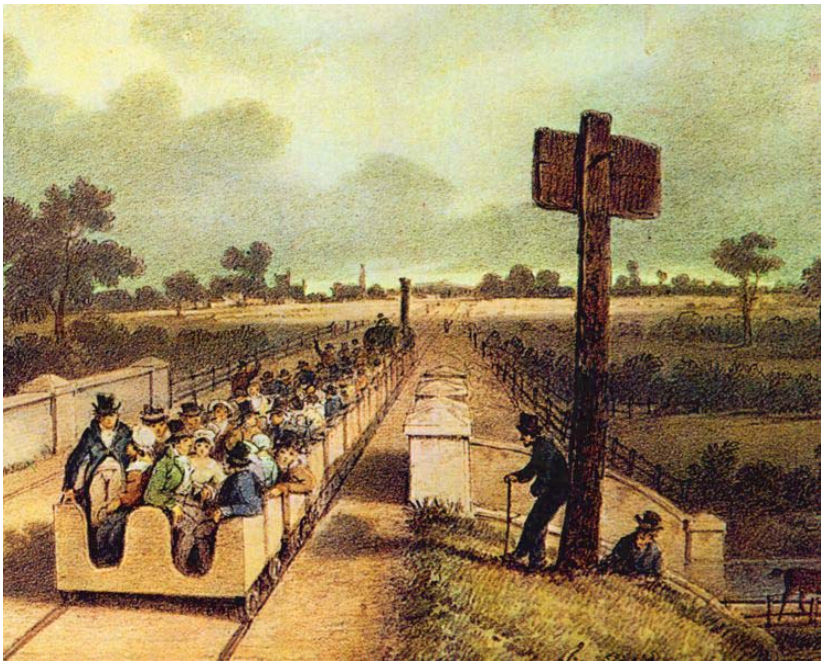


Abb. 7: Bau und profitabler Betrieb durch privatrechtliche Gesellschaft

Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opening_Liverpool_and_Manchester_Railway. jpg

● Die Vielfalt technischer Standards im deutschsprachigen Raum

Abb. 8: Karte des Deutschen Bundes 1815–1866

Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deutscher_Bund.png mit Ergänzungen aus AVH 2007

2.3 *„Industrie 2.0" – Entstehung der deutschen Ingenieurkultur*

Abb. 9: Meilensteine der Deutschen Ingenieurkultur

Quelle: https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/1454627

„Der Verein Deutscher Ingenieure VDI wurde am 12. Mai 1856 in Alexisbad (Harz) durch Mitglieder des Akademischen Vereins Hütte e. V. Berlin anlässlich eines Ausfluges zu seinem 10. Stiftungsfest gegründet. 1857 wird erstmals die Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure veröffentlicht. 1866 initiiert der VDI die Gründung von Dampfkesselüberwachungsvereinen als Vorläufer der heutigen Technischen Überwachungsvereine (TÜV). Das erste deutsche Patentgesetz von 1877 wird maßgeblich durch Vorarbeiten des VDI beeinflusst. Die jahrzehntelangen Versuche des VDI, die Ingenieurwissenschaften als wissenschaftliche Disziplin zu etablieren, sind erfolgreich. Die Technischen Hochschulen erhalten im Jahr 1899 Universitätsrang und Promotionsrecht (Dr.-Ing.). Die VDI-Hauptversammlung 1903 in München gibt den Anstoß zur Gründung des Deutschen Museums durch Oskar von Miller. 1917 ist der VDI Mitbegründer des Deutschen Normenausschusses (heute DIN). 1921 erscheinen erstmals die VDI Nachrichten, 1923 wird der VDI Verlag gegründet.“[2]

2.4 „Industrie 3.0“ – Computerisierung im 20. Jh., II. Hälfte

Stichworte sind Automatisierung, Vernetzung, globale Lieferketten und „Just in Time“.

● Lawrence D. Landweber: Untold Internet: Die Internet-OSI-Standardkriege

Am 12. November 2015 schrieb Lawrence Landweber (vgl. Landweber 2015[3]):

„Das Papier von Vint Cerf und Bob Kahn aus dem Jahr 1973, in dem TCP / IP beschrieben wurde, war der Beginn des ‚Internetzeitalters‘. Bis 1987 waren wichtige Entwicklungen in den USA der Grundstein für das globale Internet: die Einführung von TCP / IP durch das ARPANET und zwei TCP / IP-basierte, von der National Science Foundation (NSF) finanzierte Community-Netzwerke. Dies waren CSNET (das Computer Science Network) und das NSFNET.

Was oft übersehen wird, ist, dass diese US-Aktivität nicht anderswo emuliert wurde. Die Regierungen fast aller Länder lehnten die Einführung des Internets aktiv ab. Sie betrachteten das Internet als eine nicht standardmäßige US-Technologie. Sie befürworteten eine Sammlung von Protokollen, die allgemein als OSI (Open Systems Interconnection) bezeichnet werden und von den weltweiten Normungsgremien (wie der Internationalen Organisation für Normung) entwickelt wurden. In Europa würden die meisten nationalen Regierungen und die Europäische Kommission Internet-F & E nicht finanzieren.

---

2 https://de.wikipedia.org/wiki/Verein_Deutscher_Ingenieure; https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/1454627

3 „[T]his is the second in a three-part series, the ‘Untold Internet’, exploring some of the more unfamiliar aspects of Internet history“ (Landweber 2015).

In den USA gab es auch Anti-Internet-Druck. Das Handelsministerium unterstützte die GOSIP-Richtlinie (Government OSI Profile), wonach OSI in Computerkäufe der US-Regierung einbezogen werden muss. Und viele US-Unternehmen zogen OSI TCP / IP vor.

Warum hat sich das Internet durchgesetzt? Die von den Ausschüssen entworfenen OSI-Standards waren ein Durcheinander von Funktionen. Es gab eingebaute Hindernisse für die Interoperabilität. Einige wurden nie vollständig implementiert. Die Übernahme von Standards dauerte Jahre. Der Aufwand brach im Wesentlichen aufgrund seiner umständlichen Prozesse zusammen. Umgekehrt war die Internetentwicklung leicht, abhängig vom iterativen offenen Community-basierten Design und dem kontinuierlichen Testen des Prototypcodes auf Korrektheit und Interoperabilität. In den achtziger Jahren schwankten NSF und DARPA nicht bei der Unterstützung des Internets.

Infolgedessen hatte das Internet bis 1990 gewonnen. Dieser Wettbewerb kam die Nicht-US-Welt teuer zu stehen. Milliarden von Dollar wurden verschwendet, und was vielleicht noch wichtiger ist, das Ergebnis *staatlicher Eingriffe war, dass die kommerziellen Vorteile des Internets größtenteils der US-Industrie zu Gute kamen.*“

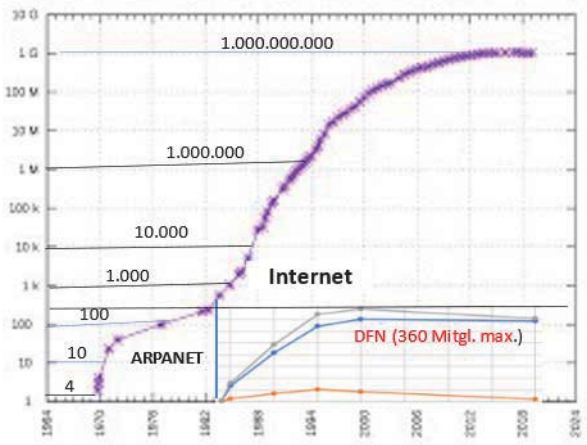


Abb. 10: Verlauf des Internet/OSI-Standardisierung-Kriegs zwischen USA und Europa

Quelle: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internet_Hosts_Count_log.svg mit eigener DFN-Ergänzung

Eklatant ist das Wachstum des weltweiten Internets im Vergleich zum deutschen Wissenschaftsnetz DFN im Zeitraum 1983 bis 2021 *um* einen Faktor von ca. 2,5 Mio. (ca. 2 Mrd. Computer versus ca. 800 Computer; siehe Abb. 10).

3 „Industrie 4.0" – Digitalisierung im 21. Jh., I. Drittel

Stichworte sind Losgröße 1, IoT – Internet of Things (Internet der Dinge) und AI – Artificial Intelligence (KI – Künstliche Intelligenz).

3.1 Industrie 4.0 – Geschichte und Akteure[4]

> „Der Begriff wurde von Henning Kagermann, Wolf-Dieter Lukas und Wolfgang Wahlster geprägt und erstmals 2011 zur Hannovermesse in die Öffentlichkeit getragen. Im Oktober 2012 wurden der Bundesregierung Umsetzungsempfehlungen übergeben. Am 14. April 2013 wurde auf der Hannover-Messe der Abschlussbericht mit dem Titel Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 des Arbeitskreises Industrie 4.0 vorgelegt. Der Arbeitskreis stand unter dem Vorsitz von Siegfried Dais (Robert Bosch GmbH) und Henning Kagermann (acatech)."

Nahtlose Kommunikation vom Sensor bis ins Internet ist eine Voraussetzung für Industrie 4.0. Weiter heißt es:

> „Die zuständige Promotorengruppe der Forschungsunion blieb auch nach Vorlage des Berichtes noch aktiv, so u. a. in der Arbeitsgruppe Industrie 4.0 der gleichnamigen Plattform Industrie 4.0, einem Zusammenschluss der Branchenverbände Bitkom, VDMA und ZVEI. Die Plattform Industrie 4.0 wurde seitdem weiter ausgebaut und steht inzwischen unter der Leitung der Bundesministerien für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie Bildung und Forschung (BMBF). Ziel der Plattform ist die Weiterentwicklung der mit dem Begriff Industrie 4.0 verbundenen Inhalte im Dialog mit Gewerkschaften, Wirtschaftsverbänden, Unternehmen, Wissenschaft und Politik."

Zur Bedeutung wird Folgendes ausgeführt:

> „Kennzeichnend im Bereich der Industrieproduktion sind die starke Anpassung (bis zur Losgröße 1) der Produkte unter den Bedingungen hoch flexibilisierter (Großserien)-Produktion (vgl. auch Mass Customization). Die für Industrie 4.0 notwendige Automatisierungstechnik soll durch die Einführung von Verfahren der Selbstoptimierung, Selbstkonfiguration, Selbstdiagnose sowie Kognition intelligenter werden und die Menschen bei ihrer zunehmend komplexen Arbeit

4 Ich zitiere hier bewusst aus dem Wikipedia-Artikel „Industrie 4.0" (https://de.Wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0), wobei Verweise nicht übernommen wurden; vgl. auch Anderson 2013.

besser unterstützen bzw. ihnen assistieren. Wissenschaftliche Untersuchungen belegen das hohe Nutzenpotenzial von Industrie 4.0 zur Produktionszeitverkürzung, Steigerung der Automatisierung, Produktion von kundenindividuellen Produkten und Einbindung ungenutzter Daten aus der Produktion.

Deutschland ist mit einem vergleichsweise hohen Anteil industrieller Wertschöpfung auf den Erfolg der Initiative angewiesen und möchte sowohl Leitanwender, d. h. führender Nutzer der Technologien, wie auch Leitanbieter als führender Fabrikausrüster sein. Unternehmen wie die Robert Bosch GmbH haben dies in ihrer Unternehmensstrategie verankert.

Laufende Projekte zur Industrie 4.0 sind zum Beispiel die im Rahmen der Exzellenzinitiative von Bund und Ländern geförderte Exzellenzcluster Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer, der BMBF-Spitzencluster „Intelligente technische Systeme OstwestfalenLippe" (‚it's OWL'), der Forschungscampus Arena 2036 sowie die Verbundprojekte diverser Bekanntmachungen des BMBF und des Programms Autonomik des BMWi. […]

Ein weiteres charakteristisches Merkmal der Industrie 4.0 ist die Vernetzung von räumlich verteilten Produktionskapazitäten und den dazugehörigen Planungs- und Steuerungssystemen. Die Produktionsressourcen funktionieren dabei autonom, wissensbasiert, sensorgestützt und können sich situativ selbst steuern, konfigurieren und Informationen untereinander austauschen. Die Produktionsnetzwerke steuern sich in Echtzeit und sind in der Lage, sich an eine Veränderung der Randbedingungen anzupassen."

3.2 Internet-Architektur: Evolution von Industrie 1.0 bis Industrie 4.0

Seit der Migration von ARPANET auf TCP/IP im Jahr 1983 hat sich die Architektur des Internet qualitativ und quantitativ und dramatisch weiterentwickelt (siehe Abb. 11a bis 11d):

a) Einbettung von IT-Systemen in hierarchische Schichten:

- technisch gesicherter Kern;
- rechtliche Regelungen;
- Haftungsregelungen;
- freier Markt mit Chancen/Risiken.

Zusätzliche Schichten sind:

b) AUP Nutzungsvorschriften,
c) A.I. automatisierte Nutzerführung und
d) A.I. hybride Nutzerführung.

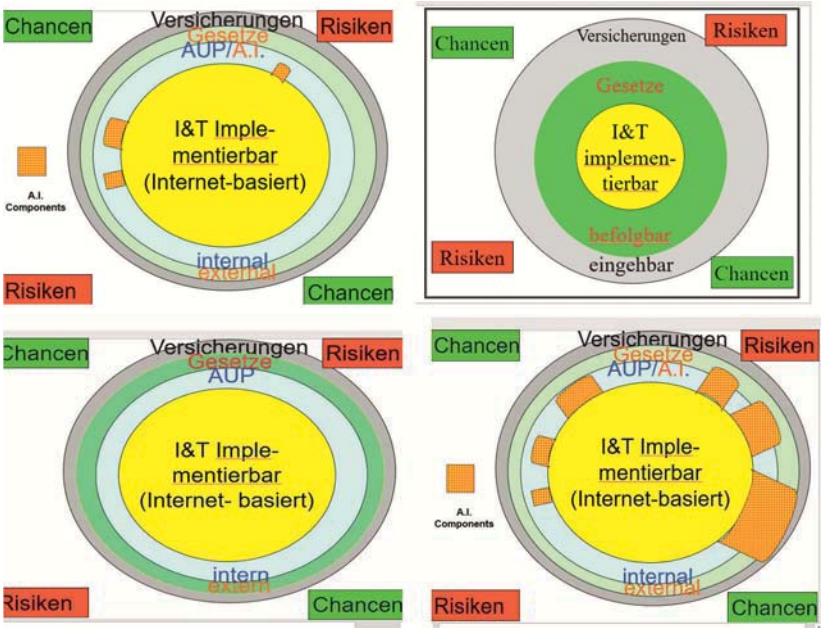


Abb. 11: Von der Computerisierung zur Digitalisierung

Eigene Darstellung [2019]

3.3 Adressierung: Limits of Growth?

Ausgangspunkte sind:

- Benutzernamen, Uniform Resource Locator (url);
- IPv4 (4 Bytes) IPv6 (16 Bytes = 10 Power 38);
- Physical Networks, LANs, 5G;
- RFID (12–16 Bytes), QR-Codes (2.953 Bytes).

Das bedeutet: Der Adressraum ist quasi unlimited!

Betrachtet man an Stelle von Computer Nodes oder User die adressierbaren aktiven Bausteine IoT – Internet of Things, so landet man bei einem Vielfachen, wie sie durch die nachfolgenden Identifier und physikalischen/materiellen Partikel repräsentiert sind.

3.4 Anwendungen von quasi unbegrenztem Wachstum

Siehe dazu Abbildungen 12 bis 18:

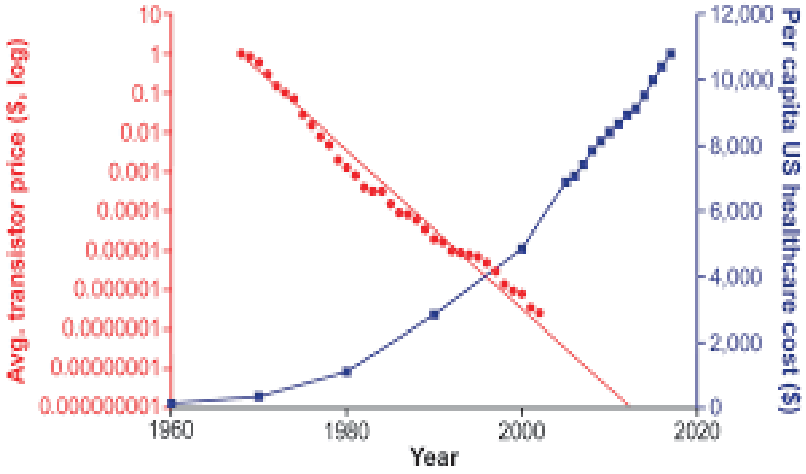


Abb. 12: Speicher- versus Gesundheits-Kosten

Quelle: https://twitter.com/EricTopol/status/884105920204070912/photo/1

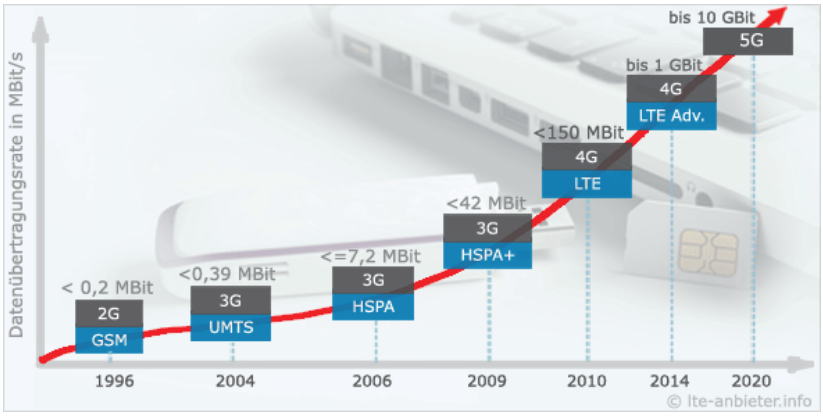


Abb. 13: Mobilfunk-Evolution [$/Individ.] 5G im Vergleich (MBit/s)

Quelle: https://www.lte-anbieter.info/5g/

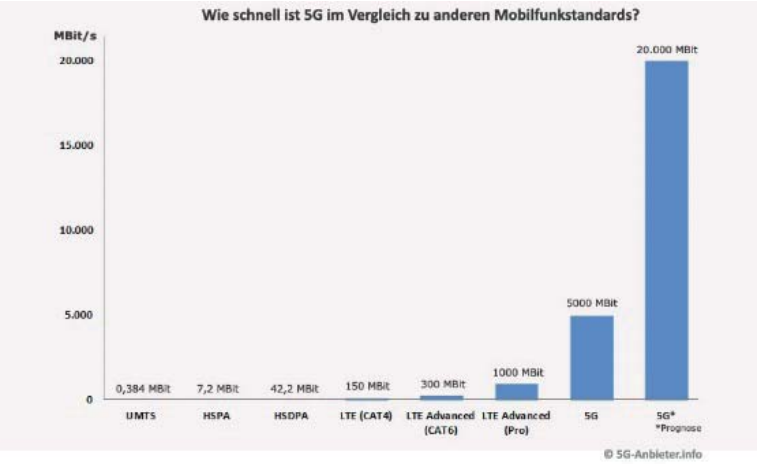


Abb. 14: 5G-Entwicklung (MBit/s)

Quelle: https://www.5g-anbieter.info/speed/wie-schnell-ist-5g.html

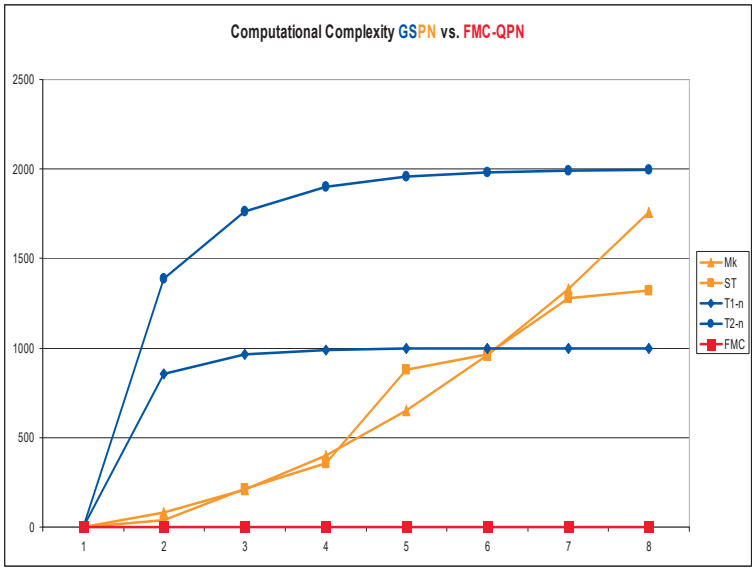


Abb. 15: Genauigkeit versus Computational Complexity

Eigene Darstellung [2007]

Abb. 16: Verkehrsstau auf Expressway G4 Nähe Beijing am 6.10.2015

Quelle: https://www.forbes.com/sites/jimgorzelany/2015/10/15/the-worlds-worst-traffic-jams-ever/?sh=66c0dde1214c

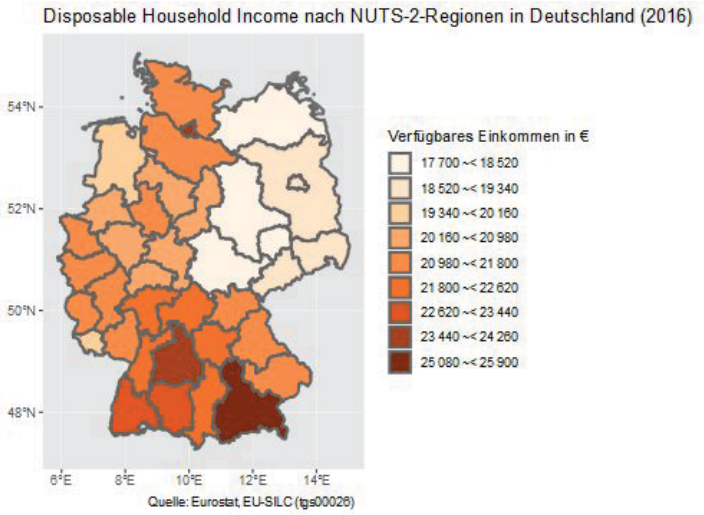


Abb. 17: Regionale Einkommensunterschiede in Deutschland (West – Ost 2016)

Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Verfügbares_Haushaltseinkommen_nach_NUTS_2-Regionen.svg

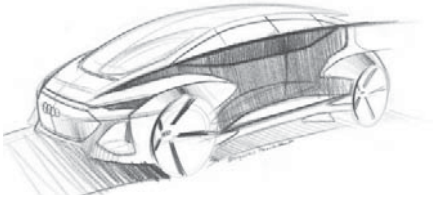


Abb. 18: Autonomes Fahren

Quelle: https://intellicar.de/markets/messe-auto-shanghai-audi-und-volkswagen-praesentieren-design-studien/

Es gilt § 1 der Straßen-Verkehrs-Ordnung (StVO):

(1) Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht.
(2) Wer am Verkehr teilnimmt hat, sich so zu verhalten, dass kein Anderer geschädigt, gefährdet oder mehr, als nach den Umständen unvermeidbar, behindert oder belästigt wird.

„Wer ist verantwortlich, wenn hochautomatisierte oder autonome Fahrzeuge in einen Unfall verwickelt sind? Diese Gesetze und Regeln gelten für die unterschiedlichen Ausbaustufen des automatisierten Fahrens:

– Assistiertes Fahren (Level 2);
– Hochautomatisiertes Fahren (Level 3);
– Autonomes Fahren (Level 4 und 5).

Die technische Entwicklung in Kraftfahrzeugen schreitet voran: So verfügt die neue *S-Klasse* von Mercedes als erstes Serienfahrzeug über einen *Autobahn-Staupiloten*, bei dem man sich *bis Tempo 60 vom Straßenverkehr abwenden* darf.

Bei Unfällen oder Regelverstößen im Straßenverkehr war bislang zumindest eines relativ klar: Verantwortlich ist in der Regel ein Mensch. Weil sie oder er eine Ampel übersehen hat, zu spät gebremst hat oder zu schnell gefahren ist. Wenn dagegen hochautomatisierte oder autonome Fahrzeuge in einen Unfall verwickelt sind, könnte auch die Technik schuld sein. Deshalb gibt es seit 2017 gesetzliche Regeln für hochautomatisierte und seit 2021 auch für autonome Fahrzeuge. Denn auch, wenn es noch keine vollautonomen, für den Straßenverkehr zugelassene Pkw gibt, zeigt das Beispiel S-Klasse: Der Regelungsbedarf steigt.“[5]

5 Vgl. https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/recht/gesetz-zum-autonomen-fahren/

Aus all dem folgt: Ein aktives Energie-Management bei

– System-Entwurf,
– Infrastruktur-Aufbau und
– System-Betrieb

ist ein MUSS.

In diesem Zusammenhang sei an folgende Einsicht von Norbert Wiener aus dem Jahr 1948 erinnert: „Information is information, not matter or energy.“[6]

Als Fazit dieser Überlegungen ergibt sich: Für den *Adressraum* sind keine Limits in Sicht. Dessen elektronische Nutzung kostet jedoch Energie (siehe Abb. 19) und setzt daher natürliche Grenzen.

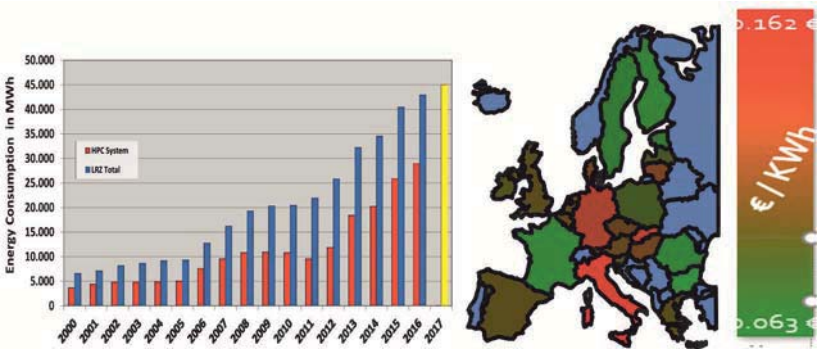


Abb. 19: Energie-Verbrauch von High Performance Computing

Quelle: Wilde et al. o.J.

4 Zusammenfassung

4.1 Resümee „Limits of Growth“

Die natürlichen Ressourcen einschließlich uns als Menschen müssen die „Grenzen des Wachstums“ bestimmen und sollten innerhalb von Industrie 4.0, Internet oder IoT respektiert werden.

Eine dauerhafte Verletzung dieser natürlichen Grenzen ist keine zulässige AUP mehr und sollte von allen direkt Beteiligten oder politisch Verantwortlichen verhindert werden.

6 https://www.informationphilosopher.com/solutions/scientists/wiener/

4.2 Resümee „Limits of Trust“

Beim Einsatz von Komponenten der Künstlichen Intelligenz, bestehend aus

- Künstlicher Analyse,
- Künstlichen Entscheidungen und
- Künstlicher Überwachung,

stellt sich die Frage der rechtlichen Verantwortung.

Überall dort, wo diese unabdingbar mit einer legitimierten natürlichen Person verbunden ist, wie z. B. das Fahren im öffentlichen Straßenverkehr, verbieten sich Mechanismen der Vollautomatisierung mittels KI.

4.3 „Industrie 4.0“ – Herausforderungen

> „Die Plattform Industrie 4.0 hat zum Ziel, IT mit Produktionstechnologien zu verschmelzen, um dadurch innovative Produkte und Leistungen zu ermöglichen. Dies beinhaltet zahlreiche Herausforderungen. Es müssen technische Standards und Normen entwickelt werden, damit eine Kommunikation zwischen Mensch und Maschine beziehungsweise Maschine und Maschine wie zum Beispiel in kognitiven Systemen ermöglicht wird. Daten erhalten hohe Bedeutung, sie werden von vielen Autoren als der ‚neue Rohstoff' bezeichnet. Die beiden Themen Datensicherheit und Eigentum an Daten erhalten äußerst hohe Priorität. Es ergeben sich zahlreiche bis heute ungeklärte rechtliche Fragen.“[7]

Literatur

Anderson, Chris (2013): Makers: Das Internet der Dinge. Die nächste industrielle Revolution. München/Wien.

AVH – Akademischer Verein Hütte (2007): Hütte – Des Ingenieurs Taschenbuch. 1. Aufl. [1857]. Reprint. Berlin.

Kramper, Peter (2019): The Battle of the Standards: Messen, Zählen und Wiegen in Westeuropa 1660–1914. Berlin/Boston (Veröffentlichungen des Deutschen Historischen Instituts London, Nr. 82).

Landweber, Lawrence D. (2015): Untold Internet: The Internet-OSI Standards Wars. 12.11. – https://www.internethalloffame.org/blog/2015/11/12/untold-internet-internet-osi-standards-wars

Meadows Donald; Meadows, Donella; Randers, Jørgen; Behrens III, William W. (1979): The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York.

Wilde, Torsten; Shoukourian, Hayk; Detlef Labrenz, Detlef (o.J.): HPC Data Center Power and Energy Monitoring at LRZ. – https://hpm.ornl.gov/documents/HPM16-Wilde.pdf

7 Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 53–77*

Christiane Floyd

Wissensprozesse in der Cyberscience

Abstract

In line with the theme of the conference, this paper discusses the changes in scientific research and development work in so-called cyberscience. The changes are triggered by several factors: the shift in emphasis in research from activities of individuals to cooperation in knowledge projects; new forms of communication, knowledge creation, and collaboration enabled by the use of internet technologies and artificial intelligence; globalization, since scientific problems are investigated in distributed projects or networks worldwide; and the meeting of profound differences due to the personal, organizational, disciplinary, and cultural perspectives of the participants. The paper is based on the author's work as a scientist in computing, her reflection on computing and her experience in shaping research and teaching in various fields around computing, including globalized projects such as the International Women's University and partnership projects with Ethiopia in ICT for Development.

Keywords/Schlüsselwörter

Globalized research, Knowledge artifact, Knowledge project, Knowledge process

Globalisierte Forschung, Wissensartefakt, Wissensprojekt, Wissensprozess

1 Einführung

In diesem Beitrag geht es um die Veränderungen in der wissenschaftlichen Arbeit, die mit der sogenannten *Cyberscience* im Sinne von Michael Nentwich einhergehen (vgl. Nentwich 2003). Dabei ist keine theoretische Betrachtung beabsichtigt, sondern eine Reflexion praktischer Erfahrungen.

Der Untertitel des Buchs von Nentwich ist „Research in the Age of Internet". Hier wird ein Zeitalter des Internets postuliert, dessen Entstehung wir seit 50 Jahren miterlebt und mitgestaltet haben. In meinem Falle beginnt dieses Zeitalter im Artificial Intelligence Laboratory der Universität Stanford, wo mir um 1970 ein technikbegeisterter Promotionsstudent zeigte, wie

er die Vernetzung des Lab-Computers mit dem Computer an einem vergleichbaren Institut des MIT ausnutzte, um von Kalifornien aus seinem Freund in Massachusetts seine Geburtstagswünsche zu übermitteln. Kaum zu glauben, dass die technische Vernetzung ursprünglich nur Computer verbinden sollte, keine Menschen! Die studentischen Pioniere vernetzten sich jedoch in Eigenregie, indem sie ohne Erlaubnis vorhandene technische Möglichkeiten zweckentfremdeten und für ihre eigenen Zwecke clever adaptierten. Einer von ihnen hat es dann *electronic mail* genannt…

In der Umgangssprache ist es mittlerweile üblich, mit „Internet" auch die Informationssysteme und Dienstleistungen mit zu bezeichnen, die, insbesondere am World Wide Web, über das Netz verfügbar sind, obwohl das Internet selbst nur die technischen Vernetzung liefert. Das „Internet" steht dann stellvertretend für die Gesamtheit von Informations- und Kommunikationstechnologien zur Speicherung, Archivierung, Erschließung und Nutzung von Datenbeständen in Text, Bild und Ton, die über das eigentliche Internet zugänglich sind und weltweit neue Formen der Kommunikation, des Umgangs mit Wissen und der Erkenntnisfindung ermöglichen.

Doch auch in diesem erweiterten Sinne prägt nicht das Internet allein die wissenschaftliche Arbeit neu. Ebenso ist es das *Zeitalter der Künstlichen Intelligenz*, deren Ergebnisse mittlerweile das Stadium von Prototypen längst hinter sich gelassen haben und in die praktische Anwendung drängen. Auch hier fällt ein Bedeutungswandel in der Umgangssprache auf: War – und ist – *die* Künstliche Intelligenz die Bezeichnung für eine wissenschaftlichen Disziplin zwischen Informatik und Kognitionswissenschaften, so wird in den Medien zunehmend von „*einer* Künstlichen Intelligenz" gesprochen, wenn ein Anwendungsprogramm in einem bestimmten Gebiet gemeint ist, das Prinzipien der Künstlichen Intelligenz umsetzt. In diesem Sinne können wir sogar von „Künstlichen Intelligenzen" in der Mehrzahl sprechen und feststellen, dass sie sich in unserem Alltag wie auch in der wissenschaftlichen Arbeit immer weiter verbreiten, einnisten und unentbehrlich machen.

Zugleich entfaltet sich die Cyberscience in einem *Zeitalter der Globalisierung*, in dem sich Wissensprobleme weltweit darstellen und international vernetzt bearbeitet werden. Unterschiedliche Formen globaler Zusammenarbeit werden praktiziert: *Ein* Forschungs- oder Entwicklungsprojekt kann auf mehrere Teams in unterschiedlichen Kontexten verteilt sein; *eine* wissenschaftliche Fragestellung kann von mehreren Teams gemeinsam bearbeitet werden; *lose Vernetzung* ermöglicht den Austausch verschiedener Teams zu verwandten Fragestellungen. Jeden Tag können wir das zum Beispiel im Zusammenhang mit der Pandemie erleben: Da wird eine neue Variante in Südafrika entdeckt, die Impfrate in Israel oder die Durchseuchung in Däne-

mark beurteilt, alles vor dem Hintergrund eines kontinuierlichen, zeitnahen und weltweiten Austausches von umfangreichen Datenbeständen und ihrer Interpretation.

Zur Charakterisierung der Veränderungen, mit denen wir es bei der Cyberscience zu tun haben, brauchen wir also mindestens die drei Aspekte: Internettechnologien, Künstliche Intelligenz und Globalisierung, deren Zusammenspiel erst die neue Qualität ausmacht.

Mein Zugang erfolgte von der Softwaretechnik aus. Bei meinem Bemühen, die Zusammenarbeit der Beteiligten an einem entstehenden Softwareprodukt zu verstehen und anzuleiten, wurde mir klar, dass das Verständnis von *Prozessen, in denen Produkte entstehen*, unerlässlich ist und in vielen Zusammenhängen gegenüber dem Verständnis der Produkte selbst Vorrang hat. Ich bezeichnete das als Paradigmenwechsel[1] in der Softwaretechnik, die damals die Softwareentwicklung als Produktion nach formalisierten Verfahren betrachtete und die tatsächliche Praxis weitgehend außer Acht ließ. Diese *prozessorientierte Sichtweise* habe ich in der Folge auch zum Verständnis von anderen, vergleichbaren wissenschaftlichen Vorhaben verwendet.

In diesem Beitrag stelle ich allgemein Prozesse in den Vordergrund, in denen wir Wissen herausbilden, sei es in der Softwareentwicklung, im Design oder in der wissenschaftlichen Arbeit. Diese Prozesse sind geprägt durch unsere persönliche Perspektive, unsere Kultur, den Zeitgeist, unsere Erkenntnisinteressen, unser Denkkollektiv und die dort vorherrschenden Denkmuster, unsere Arbeitstechniken und -mittel und viele andere Faktoren. Es geht also um *Wissensprozesse* Einzelner und darauf aufbauend um *Wissensprojekte* mehrerer Beteiligter. Um zu betonen, wie diese Prozesse von den Beteiligten getragen und von den konkreten Umständen geprägt werden, nenne ich das resultierende Wissen *situiert*.

In meiner Tätigkeit als Wissenschaftlerin *in* der Informatik, bei der Reflexion *über* die Informatik und der Gestaltung von Forschung und Lehre in verschiedenen Bereichen *um* die Informatik habe ich mich in verschiedenen Kontexten bewegt, in denen Wissensprozesse zum Thema wurden.

Dazu stelle ich kurz meine Überlegungen in verschiedenen Diskurszusammenhängen dar. Dabei beziehe ich mich extensiv auf frühere Veröffentlichungen, in denen ich meine Argumentation ausführlicher dargestellt habe. Diese sind:

---

1 1983 hatte ich auf Einladung von Klaus Fuchs-Kittowski erstmalig die Gelegenheit, an der Humboldt-Universität vorzutragen. Mein Thema war „Grundzüge eines Paradigmenwechsels in der Softwaretechnik“. Die Tagungsbeiträge wurden jedoch wegen Papiermangel nicht veröffentlicht. Die Publikation einer überarbeiteten Fassung auf Englisch erfolgte erst später (vgl. Floyd 1987).

1. Die Herausbildung von Wissen in Projekten, in denen Beteiligte mit verschiedenen Perspektiven an einem gemeinsamen Ziel arbeiten (vgl. Floyd 2002a).
2. Die Prägung von Wissensprozessen durch die Internettechnologien, dargestellt am Beispiel Geschichtswissenschaften (anhand Floyd 2005).
3. Die Wechselwirkung von menschlichem Wissen und maschinell erzeugtem sogenannten Wissen, untersucht am Beispiel der Medizin (vgl. Floyd 1994).
4. Die sprachliche und kulturelle Prägung des Wissensbegriffs. Sie betrifft die Meta-Ebene, in der sämtliche Diskurse über Wissen aufgehoben sind (vgl. Floyd 2002b). Indem wir sie uns bewusst machen, betonen wir die Diversität der Wissenszugänge in einer globalisierten Welt, die allerdings durch die wissenschaftlichen Methoden, die Techniknutzung und auch durch die Dominanz der englischen Sprache zunehmend beschränkt wird.
5. Die Chancen und Risiken von globalisierten Wissensprojekten vor dem Hintergrund meiner eigenen Erfahrung bei der Internationalen Frauenuniversität (vgl. Floyd 2002a, b) und in der Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen in Äthiopien (vgl. Bekele et al. 2019, 2020).

Letztlich geht es mir darum aufzuzeigen, wie die Herausbildung von Wissen in der Cyberscience gerade dadurch eine neue Qualität gewinnt, dass die verschiedenen hier angesprochenen Formen der Ko-Kreation von Wissen auf sinnvolle Weise miteinander verbunden werden. Selbstverständlich kann ich diese Zusammenhänge nicht erschöpfend darstellen, ich möchte jedoch ein Bewusstsein für die Veränderungen schaffen, die wir miterleben.

2 Wissensprozesse und Wissensprojekte

Gemeinschaftliche Unternehmungen, die ich später als Wissensprojekte bezeichnet habe, sind mir zuerst in der Softwareentwicklung bekannt geworden. In diesem Beitrag möchte ich Wissensprojekte als konstitutiv für die wissenschaftliche Arbeit herausstellen. Ich folge dabei weitgehend meiner Argumentation in früheren Arbeiten (vgl. Floyd 2002a: 392ff.; vgl. auch Floyd 2011).

Unter einem *Wissensprojekt* verstehe ich ein organisiertes Vorhaben zum Aufbau von situiertem Wissen. *Situiert* ist Wissen, wenn die jeweiligen Problemsichten der Beteiligten die maßgeblichen Anliegen und Themenfelder

konstituieren und den Hintergrund zur Bewertung passender Wissensinhalte und technischer Lösungen bilden.

Den Begriff „situiert" habe ich in Anlehnung an Lucy A. Suchman übernommen, die *situiertes Handeln* als vorrangig vor *vorgefassten Plänen* betrachtet (vgl. Suchman 1987).

Der Begriff Wissensprojekt hilft, Gemeinsamkeiten von kooperativen Erkenntnisprozessen in verschiedenen Bereichen zu verstehen. Der Schwerpunkt wird verlagert auf die Prozesse der Wissensbildung, bei denen existierende Wissensinhalte aus einem bestimmten Erkenntnisinteresse angeeignet und neue erarbeitet werden. Diese Prozesse sind kreativ und einmalig, sie werden von den jeweils Beteiligten in der Situation getragen.

Mein Zugang zu Wissensprojekten erfolgte über die Softwareentwicklung. Dabei geht es nach Ansicht vieler Autoren um Problemlösung mit Hilfe von Informationstechnologien. Das „Problem" ist jedoch nicht vorgegeben, sondern wird erst durch die Gesamtheit der Projektaktivitäten und im Austausch mit Experten erschlossen. Dieses *problem setting*, in dem die zu bearbeitenden Fragestellungen aufbereitet, interpretiert und bewertet werden, bestimmt erst das relevante *problem solving*.

Softwareprojekte sind organisierte Vorhaben meist mit Auftragsverhältnis, in denen das Entwicklungsteam durch die Gesamtheit seiner Aktivitäten im Austausch mit Benutzern und Benutzerinnen und anderen Beteiligten (sogenannten Stakeholdern) Wissen über (a) die benötigte Funktionalität, (b) die technische Realisierung und (c) den wünschenswerten Einsatz von Software aufbaut. In diesem Sinne wurde die Softwareentwicklung schon von Peter Naur als *Theoriebildung* charakterisiert (vgl. Naur 1985). Im Anschluss an Kristen Nygaard wird in der Softwaretechnik der Begriff *Perspektivität* häufig für die Differenzierung der Sichtweisen verschiedener Beteiligter bei Entwicklung und Einsatz von Software verwendet (vgl. Nygaard 1986).

In der partizipativen Systementwicklung wird immer wieder vom wechselseitigen Lernen zwischen den Beteiligten bei Entwicklung und Einsatz gesprochen. Das Wechselspiel von Erkennen und Handeln von Experten durch Reflexion wurde zuerst von Donald A. Schön thematisiert (vgl. Schön 1983) und zusammen mit Chris Argyris in eine feedback-orientierte Sichtweise vom Lernen in Organisationen umgesetzt (vgl. Argyris/Schön 1978).

Später habe ich diese Sichtweise auf universitäre wissenschaftliche Projekte in Forschung und Lehre erweitert (Floyd 2011, Abschnitt 4):

„Die Erkenntnisprozesse in Softwareprojekten – allgemeiner in Wissensprojekten – sind durch folgende Merkmale charakterisiert:

1) *Durch die Bindung an wissenstragende Personen*: Wissen entsteht im Rahmen der Tätigkeit einzelner und ihres Austausches mit anderen. Die Beteiligten wählen maßgebliche Inhalte aus, setzen Prioritäten, stellen Bezüge zwischen Wissensinhalten her. Aufgrund ihrer Perspektive, ihres Erkenntnisinteresses, ihrer Fähigkeiten und ihrer Kommunikation konstituieren sie den Wissensprozess.
2) *Durch die Einbettung in den Kontext*: Das Wissen über Probleme und Lösungen erschließt sich nur vor dem Hintergrund der Zusammenhänge, in die das Projekt eingebettet ist. Das betrifft insbesondere das sogenannte Domänenwissen, das eine Sicht des Gegenstandsbereichs über spezifische, den Projektbeteiligten zugängliche Wissensquellen erschließt.
3) *Durch den Rahmen, in dem sich das Projekt entfaltet*: Dazu gehören der Projektauftrag, die von außen oder im Projekt selbst gesetzten Rahmenbedingungen, die Möglichkeiten für einzelne, sich einzubringen und die Zusammenarbeit mit allen am Projekt Interessierten.
4) *Durch den zeitlichen Verlauf*: Jedes Wissen ist nur der Wissensstand in einem bestimmten Stadium, und wird durch den weiteren Verlauf vielleicht überholt sein. Problemsichten wie Lösungen entwickeln sich allmählich und werden mehrfach revidiert.“

Im Sinne konstruktivistischer Ansätze habe ich von „Wissenskokonstruktion“ gesprochen (vgl. u. a. Floyd 2002a: 394). Mittlerweile hat sich der Begriff *knowledge co-creation* im englischen Sprachraum etabliert, der in etwa die gleiche Bedeutung hat, jedoch nicht an eine bestimmte Denkschule gebunden ist. Auf Deutsch klingt der Begriff „Wissens-Kokreation“ zwar sperrig, macht aber deutlich, dass die Beteiligten in Wissensprojekten *gemeinsam Wissen schaffen*.

3 Exteriorisierung von Wissen und Internettechnologien

„Exteriorisierung“ ist ein Schlüsselbegriff in der Medienphilosophie, der, soweit ich weiß, durch den Vor- und Frühgeschichtler André Leroi-Gourhan geprägt wurde und schon bei der Entstehung der ersten Felszeichnungen – lange vor der Entstehung von Schriften – ansetzt. Ich übernehme diesen Begriff von Sybille Krämer (vgl. Krämer 2004). In dem zitierten Artikel hat sie sich vor allem mit der Schrift als *Kulturtechnik* auseinandergesetzt. Der Begriff Exteriorisierung macht deutlich: Etwas wird ausdrücklich und in neuer Weise erfahrbar, weil es entäußert und gegenständlich wird.

In den letzten Jahrzehnten wird kontrovers diskutiert, ob die Internettechnologien zu einer neuen universellen Kulturtechnik führen, deren Auswirkungen langfristig ebenso einschneidend sein könnten wie die des Buchdrucks. Erkenntnis und Kommunikation erfolgen dabei immer stärker technikvermittelt, so dass die Eigenschaften, Leistungen und Begrenzungen der Technik einen zunehmenden Einfluss darauf haben, was und wie erkannt und kommuniziert werden kann.

Im Folgenden betrachte ich die Gesamtheit der Internettechnologien als Kulturtechnik, die eine *neue Stufe der Exteriorisierung* von Wissen ermöglicht, und charakterisiere sie als *Vergegenständlichung* und *Operationalisierung* von *Wissensartefakten*, die *verformbar* und raum-zeitlich scheinbar grenzenlos *weitergebbar* sind.

Im Jahre 2004 hatte ich die Gelegenheit, an einer interessanten Tagung an der Universität Hamburg mitzuwirken, die unter dem Titel „Vom Nutzen und Nachteil des Internets für die historische Erkenntnis. Geschichte und Informatik" stattfand und beziehe mich im Folgenden auf meinen Beitrag „Esse est percipi – to be is to be accessed!" (vgl. Floyd 2005).

3.1 Vom „Sein" am Internet: Wahrnehmung als technischer Zugriff

Der Titel dieses Beitrags beruht auf einem Wortspiel. Dazu wurde ich von Rafael Capurro angeregt, der vorschlug, die berühmte Seinsformel des Philosophen George Berkeley *esse est percipi* im informatisierten Zeitalter in *esse est computari* zu transformieren. Im Zusammenhang mit den Internettechnologien tritt jedoch das eigentliche Berechnen in den Hintergrund. Jedes Programm verkörpert zwar einen Berechnungsvorgang, auch wenn es um das Auffinden und Bearbeiten von Texten oder Bildern geht. Erfahrbar wird aber nicht das Berechnen, sondern das Suchen nach Schlüsselbegriffen, das Recherchieren von Quellen, die Synthese von Dokumenten, und so weiter.

Mit seinem *percipi* hat Berkeley die Wahrnehmung als konstitutiv für das Sein in den Mittelpunkt gestellt. Im informatisierten Zeitalter kommt informationstragenden Entitäten wie Texten, Bildern, Katalogen und anderen Materialien gewissermaßen eine neue Seinsweise zu als strukturierte und vernetzte Datenbestände in einer in sich geschlossenen eigenen Welt von verknüpften *Informationsressourcen*, die über das Internet technisch verfügbar sind und menschliche Erkenntnisprozesse in allen lebensweltlichen Bereichen tangieren. Das *Zugreifen* darauf bildet die Entsprechung für das *percipi*. Im Umgang mit der Informationstechnik wird eben auch die Wahrnehmung exteriorisiert – sie erfolgt über eine technisch umgesetzte Suche, eine Navigation, einen Lesevorgang – und es ist messbar, kann auch

später noch nachvollzogen werden, ob ein Zugriff, eine Wahrnehmung erfolgt ist.[2]

3.2 *Wissensartefakte und ihre Vergegenständlichung*

Der Schlüssel zum Verständnis der Internettechnologien als Kulturtechnik besteht für mich darin, dass sie eine neue Stufe der Exteriorisierung ermöglichen: Eine zunehmende Verfestigung von Informationsressourcen und Verfahren, die in der traditionellen wissenschaftlichen Arbeit entstanden sind und, darauf aufbauend, soweit möglich, die operationale Rekonstruktion der handwerklichen Routinearbeit, die für die wissenschaftliche Erkenntnis die Voraussetzungen liefert.

Um Veränderungen dieser Art zu beschreiben, benötigen wir Begriffe aus der Medienphilosophie, die sich an herkömmlicher Arbeit sowie an der zunehmenden Mediatisierung unserer Lebenswelt orientieren: Dazu gehören Vergegenständlichung – etwas wird zum Gegenstand (z. B. von Arbeit oder von Diskurs) und Verdinglichung – etwas (vorher Offenes) wird so verfestigt, dass es nicht mehr änderbar ist und so, wie es geworden ist, hingenommen werden muss.

Ich möchte diesen Vorgang zuerst an dem sehr einfachen Beispiel von Terminen illustrieren. Terminplanung gehört von jeher zur gemeinsamen Arbeit. Bis vor kurzem wurden Termine telefonisch abgesprochen und in einem Terminkalender notiert. Bei der Terminplanung am Internet wird der Termin zum *Objekt*, meist auch graphisch so dargestellt. Er ist dinghaft erfahrbar und für alle Beteiligten zugreifbar. Er durchläuft *Zustände in der Zeit*: er ist vereinbart, kann noch geändert werden, wird wahrgenommen oder ist abgelaufen. Er ist *operationalisiert*: Man kann einen Termin anlegen, ihn mit Attributen ausstatten, verschieben, wiederholen oder löschen. Man kann auch Rechte vergeben, wer diese Operationen durchführen darf.

So wird der Terminkalender zum komplexen *Artefakt*, bestehend aus einzelnen Terminobjekten, und die Terminplanung zum *operational rekonstruierten Verfahren*. Wie ein Terminkalender gestaltet ist, welche Operationen er erlaubt und so weiter, ist eine *Frage des Designs*.

Was aber sind *Wissensartefakte*? Obwohl die Unterscheidung nicht scharf sein kann, meine ich damit Artefakte, die nicht selbst Gegenstand von Wissensprozessen sind, sondern Wissensprozesse unterstützen: zum Beispiel als Vorstufen oder Zwischenergebnisse (wie Entwurfszeichnungen,

---

2 Auf Deutsch wird das Zugreifen auf eine Website auch *Besuchen* genannt. Wie wäre es also mit „Sein heißt besucht werden"!

Diagramme etc.) oder als Ordnungsschemata bzw. Verweisstrukturen von Wissensinhalten, um die Ergebnisse von Wissensprozessen zu erschließen.

3.3 Verformbare Wissensartefakte

Schon der Terminkalender ist *verformbar*: Jedes Termin-Attribut, wie Ort, Zeit, Dauer, usw. lässt sich ändern und ganze Termine können verschoben werden oder verschwinden.

Doch gewinnt die Verformbarkeit dort ihre eigentliche Bedeutung, wo es sich um Wissensartefakte zur Visualisierung und Animation handelt.

Wieder ein einfaches Beispiel. Im Design – von der Softwareentwicklung bis zur Architektur und so weiter – bilden Entwurfszeichnungen die Grundlage für Kommunikation und Planung. In vielen Design-Sparten besteht in der Anfertigung dieser Zeichnungen die *Kunst* des Designers. In wissenschaftlichen Kontexten geht es *um präzise Darstellung formaler oder technischer Gegebenheiten* und Zusammenhänge.

Anhand von Entwurfszeichnungen lässt sich die Eignung und Qualität eines geplanten Artefaktes nach verschiedenen Kriterien mit unterschiedlichen Beteiligten antizipieren und beurteilen. Häufig müssen die Zeichnungen einmal oder öfter revidiert werden – ein insgesamt aufwändiger Prozess, der seit Jahrzehnten technisch immer anspruchsvoller unterstützt wird.

Die letzte Stufe dieser technischen Umsetzung macht die Entwurfszeichnung zum operationalisierten Wissens-(bzw. Design-)Artefakt. Sie gestattet es, mit wenig Aufwand unterschiedliche Varianten eines Designs anzufertigen, die Konsequenzen einzelner Design-Entscheidungen durchzuspielen und programmtechnisch zu überprüfen.

Dies ist auch bei der wissenschaftlichen Berechnung und der Prognose von zukünftigen Entwicklungen von Bedeutung, da je nach Annahmen verschiedene Verläufe berechnet und visualisiert werden können. Wir erleben das bei Diskussionen über die Pandemie ebenso wie bei Prognosen über den Klimawandel.

Die Visualisierung und Gegenüberstellung verschiedener Möglichkeiten hilft, den Wissensprozess nicht frühzeitig auf *einen* Lösungsvorschlag bzw. *einen* Verlauf festzulegen. Vielmehr wird die Aufmerksamkeit auf die *Klasse von Möglichkeiten* gelenkt und eine Grundlage zu deren Verständnis und Abwägung geschaffen.

Dies ist ein erster Hinweis darauf, wie sich Wissensprozesse durch die Nutzung von informationstechnisch verfügbaren Wissensartefakten ändern.

4 Wissensbildung mittels Internet-Technologien

Die herkömmliche Tradition wissenschaftlicher Tätigkeit gründet sich weitgehend auf Materialien, die als Handschriften, gedruckte Texte, graphische oder kunstvoll gebaute Modelle und Visualisierungen vorliegen. Wie ändert sich diese Tätigkeit durch die Informationstechnologien?

4.1 Informatisierung der Wissenschaften

Sicherlich ist eine der großen Wirkungen, die unser informatisiertes Zeitalter auf alle Wissenschaften hat, dass sie von einem anderen *Fachjargon* überschwemmt werden, der ihnen eigentlich fremd ist. Der Effekt ist universell spürbar.

Es ist vielfach üblich, munter mit informatischen Fachbegriffen zu sprechen. Nicht immer geht das gut. So läuft heute fast alles, was mit dem Einsatz von Informationstechnik zu tun hat, unter „Digitalisierung". Im technischen Bereich steht „digital" im Gegensatz zu „analog", diese Begriffe sind dort wohldefiniert. Heutzutage werden aber auch online angebotene Lehrveranstaltungen gern als „digital" bezeichnet – eine herkömmliche Lehrsituation in Klassenzimmern oder Hörsälen ist dann „analoge Lehre", auch wenn dieser Begriff im neuen Kontext bedeutungslos ist.

Weit über den Fachjargon hinaus gehen das auf der Methoden- und Medienebene angesiedelte informatisierte Denken und die technischen Möglichkeiten der Umsetzung. Sie wirken auf den Gegenstandsbereich wissenschaftlicher Erkenntnis. Umgekehrt bilden sich im Zuge der zunehmenden Informatisierung allmählich spezielle Informatikmethoden für die Wissenschaften heraus.

4.2 Daten, Information, Wissen

Nur wenig Raum kann hier die Klärung der Begriffe Daten, Information und Wissen einnehmen, obwohl gerade ihre Unterscheidung für ein sinnvolles Arbeiten am Internet wesentlich ist. Ich verweise dazu auf die Arbeiten von Rafael Capurro, Klaus Fuchs-Kittowski und Klaus Kornwachs – und vielen anderen. Streng genommen werden am Computer immer nur Daten gespeichert: Information entsteht durch menschliche Interpretation der Daten, während Wissen die Einordnung von Information in menschliche Sinnzusammenhänge beinhaltet. Dagegen steht jedoch der verbreitete Sprachgebrauch, wonach über das Internet „Information" zur Verfügung gestellt werden und das „Wissen der Welt" zugänglich ist, so als ob Information und Wissen sich vom erkennenden Menschen trennen ließen. Diese Ambiguität lässt sich nicht ganz vermeiden, wir verwenden die Begriffe Informa-

tion und Wissen im Zusammenhang mit der Informationstechnik auf mehreren Ebenen. In vielen Diskursen ist von „Wissen" die Rede, das, etwa mit Verfahren der Künstlichen Intelligenz, maschinell erzeugt wird. Ich werde das aber von menschlichem Wissen klar abgrenzen.

4.3 Nutzung Operationalisierter Wissensartefakte

Wissenschaftliches Arbeiten am Internet ist wesentlich durch die Entwicklung und Nutzung von informationstechnisch gespeicherten und operationalisierten Wissensartefakten gekennzeichnet. Wie das im Einzelnen erfolgt, betrifft natürlich jede Wissenschaft anders.

An anderer Stelle habe ich meiner Diskussion ein Beispiel vorangestellt, das ich wörtlich zitieren möchte, weil es das Potenzial der Internettechnologien für eine neue Qualität wissenschaftlicher Arbeit so deutlich macht:

> „Ich hatte einmal[3] die Gelegenheit, einen Einblick in ein sehr wichtiges Vorhaben zu bekommen, das – wie ich finde – in vorbildlicher Weise den Nutzen des Internets für die historische Erkenntnis sowie die Veränderungen, die entstehen, wenn Quellensammlungen am Internet verfügbar werden, illustriert: das ‚Digitale Zettelarchiv des Wörterbuchs der ägyptischen Sprache' an der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften. Das ist ein ungeheures Unterfangen. Die Berlin-Brandenburgische Akademie hat ja das Erbe der Preußischen Akademie der Wissenschaften übernommen, die 1945 aufgegeben und als Akademie der DDR umgegründet wurde, die Akademie-Vorhaben sind daher zum Teil sehr alt. Insbesondere beruht das Altägyptische Wörterbuch auf einem Schatz von Schriften, Bildern und Karten, der von den spezialisierten Fachkräften seit den zwanziger Jahren angesammelt, annotiert, klassifiziert und indiziert wurde. Es hat die gesamte DDR-Zeit und davor das Dritte Reich unbeschadet überstanden, und war zur Zeit meines Besuches schon deshalb besonders ehrwürdig, weil es in den Räumen angesiedelt war, die vor dem Krieg von den großen Physikern der damaligen Akademie genutzt wurden. Während seiner gesamten Existenz stand dieses Vorhaben – trotz widriger politischer Umstände – in fortdauerndem Austausch mit vergleichbaren Vorhaben in anderen europäischen Ländern und gab der interessierten Fachöffentlichkeit Auskünfte über die vorhandenen Quellen und ihre Interpretation. Um das leisten zu können, verwaltete das Projekt ein so genanntes Zettelarchiv – es war der eigentliche Schatz, der Mehrwert, der durch langjährige wissenschaftliche Arbeit entstanden ist.
>
> Seit einigen Jahren wird das Zettelarchiv digitalisiert und am Internet als webbasierte Informationsressource verfügbar gemacht. Was ändert sich? Den technischen Zugang und den souveränen Umgang mit der Technik vorausgesetzt, er-

3 Circa 1996, im Rahmen meiner Tätigkeit als Beraterin im Projekt Wissenswissenschaft der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften.

> gibt sich die ungeheure Chance, dass jederzeit von überall her Einsicht in dieses Archiv erfolgen kann. Allerdings bedeutet Einsicht nehmen noch keine sinnvolle Arbeit. Dazu ist nämlich ein Verständnis der Indizes notwendig, die im Rahmen der Digitalisierung vergegenständlicht und operationalisiert wurden. Wenn ich Anfragen stelle, wie ich es aus Spaß getan habe, komme ich nicht weit. Wer das tun will, muss die der Informationsressource zugrunde liegende Ordnung verstehen lernen. Diese Ordnung wird dinghaft erfahrbar.“ (Floyd 2005: 62f.)

Ich weiß übrigens nicht, ob das hier skizzierte Projekt abgeschlossen wurde und zu welchen Ergebnissen es geführt hat. Es sind ja verschiedene Stufen der Operationalisierung des Wissensarchivs denkbar: einmal nur das bloße Digitalisieren, das Einscannen und das Aufbauen eines Wissensartefaktes mit einer entsprechend komplexen Struktur, oder aber auch die dynamische Umsetzung von Verweisen, die in diesem Zettelarchiv angelegt sind, und so weiter. In jedem Falle verändert diese Digitalisierung die möglichen Arbeitsformen für alle Interessierten.

4.4 Rückbindung von Wissensartefakten an menschliches Wissen

Das Beispiel macht auch deutlich, wie exteriorisiertes Wissen an Menschen gebunden sein muss, die in der Lage sind, die einzelnen Wissensinhalte einzuordnen und zu interpretieren, aber auch ihre Ordnungsschemata zu verstehen.

Wir wissen aus der Geschichte, gerade aus der altägyptischen Geschichte, dass einmal vorhandenes Wissen nicht für immer Wissen bleiben muss, wenn die Gemeinschaft der Wissenden, die eine Tradition der Lehre und des Lernens über die Zeit hinweg aufrecht erhalten, verloren geht. Denn das Verständnis für die Artefakte haftet nicht den Artefakten selber an, sondern muss in ihrem Erlernen erworben werden.

Wie Naur in seiner Abhandlung über „Programming as Theory Building“ festgestellt hat, ist sogar die Newtonsche Mechanik nicht einfach ein System von Gesetzen und mathematischen Gleichungen (vgl. Naur 1985). Sie wird nur dann zu Wissen, wenn ich diese Gesetze interpretieren und anwenden kann, das heißt, sie muss in eine wissenschaftliche Tradition eingebettet sein.

Bei der informationstechnischen Exteriorisierung von Wissensartefakten und ihrer Weitergabe an beliebige Interessierte kann dies zum Problem werden. Denn wer eine Informationsressource aus dem Internet abruft, ist unter Umständen nicht vertraut mit den Diskurszusammenhängen, aus denen sie hervorgegangen ist.

Wenn wir uns Informationsressourcen als Wissen aneignen wollen, gilt es, auch den Kontext und die Interpretationsschemata mit zu erschließen, soweit wir das können. Das betrifft, genau genommen, alle über das Internet zugänglichen Quellen.

4.5 Etablieren und Sichten von Quellen

Beim Arbeiten am Internet gewinnen Quellen den Status von Datenbeständen. Die Datenbanken, in denen sie verwaltet werden, sind nach Themengebieten strukturiert und über wissenschaftliche Portale zugänglich. Nicht nur die web-basierten Informationsressourcen selbst werden verdinglicht, sondern auch ihre Ordnungsschemata, die die Voraussetzungen für sinnvolles wissenschaftliches Arbeiten liefern, werden exteriorisiert.

Der Unterschied zum herkömmlichen wissenschaftlichen Arbeiten ist zwar graduell, aber er kann in anders erlebte Qualität umschlagen. Man sucht etwa Informationen „im Internet". Hat man sie nicht gefunden, wird nur selten der Rat gegeben, in eine Bibliothek zu gehen. Vielmehr soll die Suche optimiert werden. Oder man lässt es bleiben. Dann „gibt es" diese Quelle eben nicht. Das Kennen von geeigneten Suchkriterien, das Verwenden von Schlüsselwörtern, um die eigenen Arbeiten optimal zu platzieren, wird zur neuen Überlebenskunst. Das Internet erweckt die Illusion einer in sich geschlossenen Welt, in der alles Relevante vorhanden ist.

In den letzten Jahrzehnten hat sich gezeigt, dass die Architektur von Wissen in keiner Weise nach sachlich-objektiven Gesichtspunkten zustande kommt, sondern durch Machtprozesse, dass also jede Standardisierung die Herrschaft einer Sichtweise über andere verfestigt. Scheinbar objektive Kriterien werden verwendet und die Technik bildet eine unsichtbare Wand zwischen Materialien, die aufgenommen worden sind, und anderen, die sozusagen ausgegrenzt bleiben. Diese Materialien werden mit der Zeit für die meisten als nicht mehr als existent erscheinen – es sei denn, sie werden durch neue Forschungsarbeiten wieder erschlossen und einbezogen.

4.6 Kategoriensysteme und Ordnungsschemata

Im Zusammenhang mit der Informatisierung werden Begriffe zur Bezeichnung von Schemata zur Einordnung von Wissensinhalten, die ursprünglich aus ganz unterschiedlichen Kontexten stammen, nahezu synonym verwendet. Dazu gehören unter anderem die Begriffe Klassifikation, Taxonomie und Ontologie.

Der besonders anspruchsvolle Begriff *Ontologie* zeigt schon durch seine Geschichte die zunehmende Verdinglichung auf: Ursprünglich die „Lehre

vom Seienden“, wurde eine Ontologie bereits in der Philosophie zum formalen Gebilde. Im Sinne des Essentialismus sollte eine Ontologie die als universell betrachtete logische Ordnung von Begriffen, die angeblich dem gesamten Seienden zugrunde liegen, festhalten.

Im Zuge der Klassifikation und Kategorisierung von Wissensinhalten in den verschiedensten Bereichen mutierten Ontologien zu formalen Ordnungsschemata zur Erschließung von Wissensbeständen. Durch die informationstechnische Implementierung werden diese Ontologien jetzt vergegenständlicht und bilden die Grundlage zum technisch vermittelten sogenannten Teilen und Wiederverwenden von Wissen. Daraus entstand der Begriff von *situierten Ontologien*:

> “A situated ontology is a world model used as a computational resource for solving a particular set of problems. [...] World models (ontologies) in computational applications are artificially constructed entities. They are created, not discovered.” (Mahesh/Nirenburg 1995; für weitere Erläuterungen vgl. Floyd/Ukena 2005)

Und so findet sich die erstaunte Ontologie jetzt wieder als technisch implementiertes, operationalisiertes Artefakt. Ontologien in diesem Sinne sind zwar situiert. Sie wurden für einen bestimmten Kontext geschaffen, spiegeln die Perspektiven der dort Beteiligten wider und beruhen auf Kompromissen verschiedener Sichtweisen. Durch das Verfügbarmachen am Internet werden sie jedoch zu universellen Ordnungsschemata, die den Zugang zu Wissen regeln.

Anstelle der philosophisch postulierten Universalität tritt nun eine neuartige Universalität, die technisch vermittelt und durchgesetzt wird. War ursprünglich der Anspruch, die essentielle logische Ordnung der Welt wiederzugeben, so ist eine Ontologie für eine (Teil-)Welt von Wissensbeständen ein mehr oder weniger geglücktes Design-Konstrukt und mag außerhalb ihres Entstehungskontexts als willkürlich erscheinen. Doch ihre Strukturen werden unweigerlich unsere Wissensprozesse prägen.

4.7 Vergegenständlichte Perspektivität und Standardisierung

Warum ist das wichtig? Das ist deswegen wichtig, weil wir uns im Zusammenhang mit den großen Suchmaschinen einer Kategorisierung web-basierter Informationsressourcen gegenübersehen, die nicht von uns stammt, die uns zum Teil nicht zugänglich ist, und die manchmal nicht einmal nach für uns nachvollziehbaren inhaltlichen Kriterien erfolgt. Bei der technischen Umsetzung wird aber die jeweils gewählte Perspektive verfestigt und abso-

lut gesetzt, der Urheber oder die Urheberin verschwindet, sie scheint objektiv und wird selbst zum Gegebenen.

Diese Standardisierung bringt einerseits eine Reduktion mit sich. Andererseits eröffnet sich die Möglichkeit, dass – je mehr solche Klassifikationen, solche perspektivisch geordneten Wissensbestände verfügbar werden und wir damit umgehen lernen – das Zustandekommen und die Beschaffenheit dieser Ordnungsschemata auf einer Meta-Ebene zum Gegenstand von Erkenntnis werden kann. Durch die Informationstechnik werden überkommene oder neu geschaffene Ordnungsschemata verfestigt, vergegenständlicht und explizit gemacht. Dann können sie auch spielerisch ausgelotet, diskutiert, verhandelt und gegeneinander gehalten werden.

4.8 Neue Erkenntnismöglichkeiten

Eine noch weiter gehende Frage ist allerdings: Ermöglicht das Arbeiten am Internet Formen der Erkenntnis, die vordem nicht möglich gewesen sind? Das kann insbesondere durch Synthese verschiedener Quellen, durch neue Formen der Visualisierung und der Verknüpfung ausgelöst werden und eröffnet eine Fülle von Fragen, die ich nicht beantworten kann.

Dies betrifft verschiedene Ebenen des wissenschaftlichen Arbeitens:

- *Einzelne Quellen*: Wird mehr Information für mehr Menschen verfügbar oder verstellen die über das Internet zugänglichen Quellen den Blick auf andere?
- *Relevanz von Quellen*: Fördern standardisierte Suchbegriffe den Zugriff auf bestimmte Quellen, während andere verborgen bleiben? Wie können Quellen für Fragestellungen aus anderen, eigenen Perspektiven gefunden werden?
- *Aufbau von Informationsressourcen*: Wer entscheidet, was aufgenommen wird oder nicht? Gibt es erkennbare Herausgeber oder Herausgeberinnen? Wird die Auswahl begründet? Für welche Diskursgemeinschaft sind sie intendiert?
- *Strukturierung von Wissensbeständen*: Wer bestimmt sie? Inwieweit werden sie als „pseudo-objektiv“ mit technischen Mitteln durchgesetzt? Gibt es die Möglichkeit, eigene Strukturierungen zu erarbeiten und auf die standardisierten Strukturen zu beziehen?
- *Verweisstrukturen*: Wie verhalten sich die technischen Links zu den informell geführten Zettelkästen? Gelingt es jetzt, sich die thematischen Assoziationen anderer zu erschließen und die eigenen deutlich zu machen?

Ich sehe also die Chance innovativer Formen von Wissensprozessen durch drei Faktoren: die Vergegenständlichung von Wissensartefakten, die informationstechnisch gestützte Durchdringung und Synthese aus vielfältigen Quellen sowie die Ausnutzung von Visualisierung und Animation, um künstliche Welten am Bildschirm aufleben zu lassen.

5 Nutzung Künstlicher Intelligenz in Wissensprozessen

Im Folgenden beziehe ich mich auf meinen Beitrag zum Buch von Sybille Krämer „Geist – Gehirn – Künstliche Intelligenz" (vgl. Floyd 1994), interpretiere ihn aber aus dem Blickwinkel: Wie lassen sich Ergebnisse von KI-Systemen, die maschinell sogenanntes Wissen erzeugen, in menschliches Wissen einbinden und transformieren?

Unser Alltag wie unsere Arbeit in Wissensprozessen sind längst von KI-Systemen durchdrungen. Die Welt der web-basierten Informationsressourcen ist ohne Künstliche Intelligenz nicht erschließbar. Diese Systeme beruhen meistens auf einer Mischung von Ansätzen aus der symbolischen und subsymbolischen Künstlichen Intelligenz und dem Data Mining.

5.1 Automaten und intelligente Agenten

Eine einfache und besonders vertraute „Künstliche Intelligenz" ist die *Suchmaschine*, mit der wir täglich arbeiten. Über die *intelligenten Assistenten*, die beanspruchen, besser zu wissen, was wir eigentlich schreiben oder tun wollen, mögen wir uns freuen oder ärgern. Vielleicht bewundern wir, welch tiefes Sprachverständnis in manchen *Übersetzungssystemen* verankert ist, während wir andere belächeln. Und so weiter. All dies sind – in der Sprechweise von Dirk Siefkes „Kleine Systeme" (vgl. Siefkes 1992), Heinz Züllighoven hat sie „Automaten" genannt (vgl. Züllighoven et al. 1998). Ein Automat arbeitet mir zu, ich muss seine Arbeitsweise nicht kennen, aber ich kann ihn an- und abstellen und seine Wirkungsweise beherrschen.

Dagegen stehen die „Großen Systeme" der Künstlichen Intelligenz, die *intelligenten Agenten*, die als quasi-autonome Instanz auftreten, mit Menschen konkurrieren oder Menschen ersetzen. Wo vorher menschliche Experten – in Absprache mit Kolleg/innen sowie mithilfe von Nachschlagewerken, Handbüchern und der je spezifischen unterstützenden Technik – Entscheidungen getroffen haben, tritt jetzt die „Künstliche Intelligenz", die aufgrund von modelliertem Wissen und implementierten Schlussregeln, aufgrund von maschinellem Lernen und der Durchsuchung riesiger Datenbestände eigenständig und ohne menschliches Zutun automatisierte Ergebnisse für Wissensprozesse bereithält.

5.2 Unterschiedliche Ansätze der Künstlichen Intelligenz

Regelbasierte Wissensbasierte Systeme der Symbolischen Künstlichen Intelligenz gelten heute als GOFAI[4]. Ihr Ansatz besteht in der kontextfreien Modellierung von abgrenzbarem Regelwissen sogenannter Experter in einem Bereich (einer Domäne) und seiner späteren kontextgebundenen Interpretation. Die Anwendung von Expertensystemen erfolgt in Sinn- und Handlungszusammenhängen, wo das Fachwissen der jeweiligen Experten die Grundlage für Beratung, Entscheidungsfindung oder die Festlegung von Bearbeitungsfolgen bildet.

Beim subsymbolischen Ansatz der Künstlichen Intelligenz ist dagegen keine explizite Modellierung des Domänenwissens erforderlich. Vielmehr wird die neuronale Intelligenz unseres Gehirns nachgebildet, dabei sind künstliche Neuronen über ebenfalls künstliche Synapsen miteinander verbunden. Wissen kommt wesentlich durch die Erkennung von Mustern zustande und wird durch eine Schaltung dieser Synapsen realisiert. In einer Trainingsphase gelingt es, die Schaltung der Synapsen nach und nach so zu optimieren, dass das Ergebnis der menschlichen Mustererkennung gleichwertig oder sogar überlegen wird.

Im Data Mining schließlich wird sogenanntes „Wissen“ aus der Untersuchung, Klassifizierung und Bewertung von großen Datenmengen abgeleitet. Dadurch treten etwa künstlich erzeugte Profile hervor, die das Verhalten von Menschen in bestimmen Zusammenhängen (zum Beispiel Wahlen) vorhersagen und eine Einflussnahme ermöglichen.

Aber: Maschinenwissen ist noch kein Menschenwissen – und es ist in vielen Fällen unklar, ob und wie es in Menschenwissen überführt werden kann.

Um die Wechselbezüge zwischen KI-Systemen, ihrer Rückbindung in menschliches Wissen und in verantwortungsvolles Handeln auszuloten, müssen wir sie uns als Artefakte in den jeweiligen Handlungszusammenhängen vor Augen führen und erwünschte bzw. unerwünschte Einsatz-Szenarien antizipieren.

5.3 Menschliche Verantwortung und algorithmische Rechenschaftspflicht

Zunehmend wird der Einsatz von Algorithmen mit oder ohne KI-Komponente so autonom gestaltet, dass ihre Ergebnisse ohne weiteres menschliches Zutun verwendet werden und von den Betroffenen nicht mehr hinterfragt werden können. Daher ist die Forderung nach einer Ethik der Algorithmen verbreitet.

---

4 GOFAI: Good Old-Fashioned Artificial Intelligence.

Nun können aber Algorithmen nicht verantworten, das können nur Menschen. Deshalb lehne ich Begriffe wie *responsibility* für Algorithmen ab. Die Verantwortung liegt bei den Urhebern und Nutznießern dieser Algorithmen. Für das, was zu fordern ist, eignet sich besser der Begriff *accountability*, den ich hier mit Rechenschaftspflicht übersetzt habe. Auch diese Forderung richtet sich an Menschen: sicherzustellen, dass Algorithmen über ihre Entscheidungen und die dafür maßgeblichen Gründe auf Anfrage Rechenschaft geben, z. B. in Form eines Ablaufprotokolls, sodass diese Entscheidung nachvollziehbar wird und gegebenenfalls auch in Frage gestellt bzw. zurückgewiesen werden kann.

Nur dann lassen sich autonome intelligente Agenten in Wissensprozesse und verantwortungsvolles Handeln sinnvoll einbetten.

6 Kulturell geprägte Wissenszugänge

Bei der gesamten bisherigen Diskussion wurde „Wissen" als Grundbegriff der Zivilisation vorausgesetzt. Das mag in unserer Kultur, sofern es sich um wissenschaftliches Arbeiten handelt, annähernd so geworden sein, gilt aber zu hinterfragen, wenn wir uns auf kulturübergreifende Zusammenarbeit einlassen.

Was wir mit „Wissen" meinen, wird von Kindheit an durch unsere Sprache und Kultur geprägt, ohne dass uns das als Bias erscheint. Später lernen wir andere Sprachen kennen und haben die Gelegenheit, uns der Unterschiede zwischen semantischen Wortfeldern in verschiedenen Sprachen bewusst zu werden.

Die Gesellschaft, in der die Cyberscience eingepflanzt ist, ist eine globalisierte, in der die Denktraditionen verschiedener Kulturen aufeinandertreffen. Von besonderer Bedeutung ist die Beziehung zwischen der eigenen Sprache und der englischen: „To know" ist nicht dasselbe wie das deutsche „Wissen". Um es auf Deutsch zu übersetzen, brauchen wir vier Verben: *Kennen, Erkennen, Wissen* und *Können*. Im Deutschen wird die *Tätigkeit* des Erkennens, zu wissen, mit demselben Wort benannt wie ihr *Ergebnis*, das Wissen. Das geht im Englischen nicht. Dem *Knowledge* fehlt die ganzheitliche Bedeutung des Deutschen Wissensbegriffs, der auch mit *Einsicht* zu tun hat und etymologisch mit Weisheit und Gewissen verwandt ist. Das zeigt sich insbesondere beim Begriff „Wissenschaft", den es so im Englischen nicht gibt. Die *humanities* sind keine *science*, aber im Deutschen Geistes*wissenschaften*.

Wegen der Dominanz der englischen Sprache, die durch die Internettechnologien noch verstärkt wird, setzt sich allerdings das englische semantische Feld immer mehr durch. Die „wissenschaftliche Methode“ sollte auf Deutsch eigentlich „naturwissenschaftliche Methode“ heißen. Trotz der ursprünglichen Differenz, werden – vor allem durch Rückübersetzungen – die deutschen Begriffe im Umfeld von Wissen dem englischen Knowing immer mehr angeglichen. Oder es werden einfach die englischen Ausdrücke beibehalten.

Noch ganz anders verhält es sich, wenn das Englische mit anderen Kulturen zusammentrifft, die sich von unserer stärker unterscheiden. Im Sommer 2000 hatte ich bei der Internationalen Frauenuniversität die Gelegenheit, mit 19 Frauen aus allen Kontinenten ein Workshop über *Knowledge Coconstruction* durchzuführen. Ich stellte ihnen die Aufgabe, sich – ausgehend vom englischen *Knowledge* – in ihre eigene Sprache und Kultur zu versetzen, die Worte aufzuspüren, die dem *Knowledge* in ihrer Sprache entsprechen und das konzeptuelle Umfeld von *Knowing* in ihrer Kultur deutlich zu machen. Das Ergebnis sollten sie in einer „Wissensblume“ veranschaulichen. Anstelle eines einheitlichen *tree of knowledge*, der die ganze Welt umspannt, wollten wir ein *flower bouquet of knowledges* zusammenstellen und so die Diversität der Wissenszugänge in verschiedenen Kulturen aufzeigen.

Das Ergebnis war beeindruckend (vgl. Floyd 2002b). Da waren Frauen aus drei verschiedenen Religionen. Die Katholikin aus Argentinien verfertigte eine Doppelblume mit zwei Stielen für Wissen und Glauben, die Musliminnen aus Ägypten und dem Sudan eine Blume mit zwei Seiten, die eine für gewöhnliches Wissen, die andere für tiefes Wissen aus dem Koran. Die Buddhistin aus Sri Lanka machte in ihrer Blume deutlich, dass jedes Wissen bedingt ist – geprägt durch die Religion, die Geschichte, die Kultur usw. der Erkennenden. Ganz anders die Albanerin: Sie bastelte ein Himmel-und-Hölle, um den Weg der Erkenntnis aufzuzeigen, denn in ihrer Kultur hat das wesentlich damit zu tun, dass wir uns immer wieder aufs Neue aus dem Dunkel der Unwissenheit lösen und für das Licht der Erkenntnis entscheiden.

Für unsere Diskussion war besonders die Wissensblume einer Kenianerin bedeutsam. In ihrer Muttersprache Kisuaheli ist Wissen untrennbar an die erkennende, wissende Person gebunden. Dieser Zugang zu Wissen stammt aus einer Kultur, in der Wissen bis vor kurzem noch nicht verschriftlicht war, sondern in der Gemeinschaft mündlich von Vätern an Söhne und von Müttern an Töchter weitergegeben wurde. Dieser Auffassung schlossen sich auch andere Afrikanerinnen an. Ich fragte eine Teilnehmerin aus dem

Tschad, was sie denn tun würde, wenn sie über verschriftlichtes Wissen sprechen wollte, das allen zur Verfügung steht. Ganz einfach, antwortete sie, wir sagen das auf Französisch. Angehörige aus manchen Kulturen müssen also, wenn sie international wissenschaftlich arbeiten wollen, mehrere Stufen der Exteriorisierung überspringen lernen. Die ehemalige Kolonialsprache bietet eine zweite Ebene, um sich über europäisch geprägte Formen des Erkennens und Wissens auszudrücken.

Durch die Internettechnologien kommt für viele eine weitere Ebene dazu, die angloamerikanische. Das gilt im Übrigen auch für uns. Längst haben wir uns etwa daran gewöhnt, Texte oder Bilder zu „teilen", während wir sie im Deutschen eigentlich nur „mitteilen" können. Denn in unserer Sprache gibt es kein Äquivalent für „sharing". Und das ist nur eines von vielen Beispielen.

Mit diesem Abschnitt wollte ich Sie, meine Leserinnen und Leser, dafür sensibilisieren, dass es in der globalisierten Welt im Prinzip sehr unterschiedliche Zugänge zu Wissen und Erkenntnis gibt, dass diese Unterschiede aber immer mehr zurückgedrängt werden. Denn die Globalisierung findet in einem postkolonialen, angloamerikanisch geprägten Zeitalter statt, das sich insbesondere durch die westliche Wissenschaft und Techniknutzung manifestiert.

7 Globalisierte, IT-gestützte Wissensprojekte

Eine meiner wichtigsten Lebenserfahrungen ist die in kulturübergreifenden Wissensprojekten. Sie haben zu einer großen Bereicherung geführt und sind bisher erfolgreich zu Ende gegangen. Im Folgenden will ich auf spezifische Herausforderungen dieser Projekte hinweisen und daraus Lektionen ableiten, die ich selbst, so gut ich kann, beherzige, und die auch für andere nützlich sein könnten.

Meine ersten Erfahrungen mit globalisierten Wissensprojekten habe ich von 1998 bis 2002 beim Aufbau, der Durchführung und der Auswertung des Projektbereichs „Information" der Internationalen Frauenuniversität gemacht (vgl. Floyd 2002a, b). Selbstverständlich war diese Veranstaltung nur im Internetzeitalter denkbar, brachte sie doch allein in Hamburg Frauen aus 60 Ländern in allen Kontinenten und in Ozeanien zusammen.

Schon die Mitglieder des interdisziplinären Curricular-Teams, die u. a. aus USA, Norwegen, Mexiko, Indien und den Fidschi-Inseln stammten, vertraten sehr unterschiedliche Kulturen und Traditionen wissenschaftlicher Arbeit. Die Kunst der in Hamburg Ansässigen bestand darin, diese unter-

schiedlichen Perspektiven aufzugreifen und in einem gemeinsamen Studienprogramm produktiv umzusetzen.

Der Großteil der Arbeit fand weltweit verteilt statt. Erst durch die informationstechnisch umgesetzte Kommunikation wird eine solche Zusammenarbeit möglich, ihre Koordination erfolgte damals über E-Mails, heute verstärkt über Messenger-Dienste und elektronische Meetings.

Wir mussten im laufenden Prozess lernen, wie die Arbeit zwischen dem Hamburger Koordinationsteam und den internationalen Mitgliedern so zu verteilen war, dass die Beteiligten jede für sich ihre Arbeit leisten konnten, während wir den Rahmen schufen, in dem alle aufgehoben wurden.

Lektion 1: Globalisierte Projekte müssen koordiniert werden. Die Koordination muss gewährleisten, dass Einzelne unabhängig voneinander arbeiten können und ihre (Zwischen-)Ergebnisse über geeignete Medien regelmäßig ausgetauscht werden.

Bald zeigte sich jedoch, dass der Zusammenhalt dieses Teams nur dadurch gewährleistet werden konnte, dass die Koordinatorin Silvie Klein-Franke von Hamburg aus immer wieder aufs Neue die Beteiligten kontaktierte, auf dem Laufenden hielt und motivierte. Entscheidend für die Aufrechterhaltung der Motivation und den Erfolg unserer Zusammenarbeit waren die wenigen internationalen Meetings in Hamburg.

Lektion 2: Bei globalisierten Projekten ist es entscheidend, ein Gefühl der Zusammengehörigkeit herzustellen und zu kultivieren.

Bei der Entwicklung des Curriculums achteten wir sorgfältig darauf, Lehr- und Lernformen zu bevorzugen, in denen möglichst wenig ein dominanter europäisch/nordamerikanischer wissenschaftlicher Arbeitsstil durchgesetzt wurde, sondern ein interkultureller Austausch stattfand. Wir entschieden uns für interdisziplinäre Projekte. Diese Entscheidung hat es ermöglicht, dass wir die enormen Verständigungsschwierigkeiten zwischen den Kulturen aushalten und mit der Zeit überwinden konnten. In einer Projektgruppe war es etwa Wochen lang nicht möglich, gemeinsam Entscheidungen zu treffen. Eine externe Moderatorin musste geholt werden. Dann zeigte sich, dass die Frauen aus unterschiedlichen Kulturen so konträre Auffassungen über Höflichkeit hatten, dass es ihnen nicht gelang, zueinander „Nein“ zu sagen, weil sie die Gepflogenheiten der anderen nicht kannten oder fehldeuteten. Dieses Problem wurde dadurch bewältigt, dass die Teilnehmerinnen sich einigten, anstelle des schwierigen Nein-Sagens einen Blitz zu zeichnen. Diese einfache Technik, von der Moderatorin erlernt, ermög-

lichte die Kommunikation und die Gruppe kam erfolgreich zu einem gemeinsamen Ergebnis.

Lektion 3: Ein globalisiertes Wissensprojekt kann nur dann gelingen, wenn die Beteiligten lernen, kulturelle Unterschiede zu sehen, zu achten und damit sorgsam umzugehen.

Rückblickend bin ich dankbar, dass unser Projektbereich Information trotz dieser und zahlreicher anderer Herausforderungen erfolgreich zu Ende gebracht werden konnte und in einem großen interkulturellen Fest ausgeklungen ist. Für mich war sie eine wichtige Station in einem langjährigen Lernprozess, aber auch der Ausgangspunkt für mein weiteres Engagement in Äthiopien, das durch die Beteiligung von Rahel Bekele aus Addis Abeba, die anschließend bei mir promovierte, zustande kam.

Meine zweite, große Erfahrung mit globalisierter Zusammenarbeit, die heute noch andauert, ist die in Äthiopien. Vor dem Hintergrund zweier Promotionsbetreuungen seit 2002 und vielfältigen wissenschaftlichen Beratungstätigkeiten seit 2006 bin ich seit 2015 in einem Projekt TEMACC (Technology Enabled Maternal and Child healthCare) engagiert. Das ist eine österreich-äthiopische Initiative in „ICT for Development", bei der ausgelotet wird, wie die Möglichkeiten der Informations- und Kommunikationstechnologien genutzt werden können, um den Zugang von Müttern und Kleinkindern zur primären Gesundheitsversorgung in ländlichen Gebieten zu verbessern (vgl. Bekele et al. 2019, 2020).

Ich bin tief überzeugt, dass eine echte interkulturelle Zusammenarbeit nur dann gelingen kann, wenn wir uns auf die Partnerkultur so sehr wie möglich einlassen. In unserem Fall geht es um Äthiopien, nicht um Afrika allgemein, schon gar nicht um Entwicklungsländer allgemein, deren kultureller Horizont sehr unterschiedlich ist. Es wird eine Zusammenarbeit auf Augenhöhe angestrebt, bei der die gesamte Feldforschung und technische Entwicklung in Äthiopien vom äthiopischen Team durchgeführt wird und die Beteiligten aus Österreich ihre Expertise zur Verfügung stellen und beratend tätig sind. Im ersten Durchlauf dieses Projekts war auch das Management und die Verwaltung bei der Johann-Kepler-Universität Linz, der österreichischen Partnerorganisation, angesiedelt.

Im Laufe unserer Zusammenarbeit haben wir gemerkt, dass wir in Österreich nur sehr begrenzt teilhaben konnten an dem, was ich auf Englisch *rich process* genannt habe, also dem lebenserfüllten Prozess von Begegnungen, Schwierigkeiten und kreativen Lösungsfindungen, in dem sich die Feldforschung und die kontextualisierte IT-Systementwicklung vollzieht. Stattdes-

sen schlägt sich dieser Prozess notgedrungen in einer von außen auferlegten Folge von Dokumenten nieder, die jeweils nur eine Momentaufnahme wiedergeben und aus Sicht der am lebendigen Prozess Beteiligten bestenfalls eine Störung darstellen. Aus dieser Erfahrung folgt ein Zweifaches.

Lektion 4: Alle Beteiligten sollten auf geeignete Weise in den lebendigen Prozess der Projektdurchführung einbezogen werden. Alle Akteure sollten die Verantwortung für die Einhaltung ihrer eigenen Termine und anderer Verbindlichkeiten selbst tragen.

Und als letztes möchte ich einen Punkt ansprechen, den wir nicht gern explizit machen und auf den Tisch bringen. In globalisierten Wissensprojekten wird oft so getan, als ob unter allen Beteiligten Chancengleichheit herrschte. Jedoch gibt es, insbesondere bei Nord-Süd-Zusammenarbeit, drastische Unterschiede in den Lebensumständen, in der Ausbildung und im Zugang zu Ressourcen jeglicher Art. Dazu kommt, dass solche Projekte vom Norden finanziert werden und, ob wir wollen oder nicht, ein Machtgefälle mit sich bringen: Wer bezahlt, schafft an. Auch diese, manchmal schmerzlichen Gegebenheiten wirken auf den Wissensprozess ein. Und daher:

Lektion 5: Bei der Planung und Arbeitskoordination in globalisierten Wissensprojekten ist es unerlässlich, auch die Lebensumstände und Rahmenbedingungen der Beteiligten in politischer, ökonomischer und technischer Hinsicht zu berücksichtigen.

Damit will ich Sie, meine Leserinnen und Leser nicht etwa von einer kulturübergreifenden Zusammenarbeit entmutigen oder gar abhalten. Ganz im Gegenteil, ich will Ihr Bewusstsein schärfen, damit eine solche Zusammenarbeit gelingen kann.

8 Schlussbemerkungen

In diesem Beitrag habe ich versucht, die wissenschaftliche Arbeit in der Cyberscience von verschiedenen Seiten zu beleuchten.

Die technische Seite führt einerseits dazu, dass Materialien, Modelle, Texte und Visualisierungen zu informationstechnisch implementierten Wissensartefakten werden: operationalisiert, verformbar und grenzenlos weitergebbar.

Dabei wird eine objektive Sichtweise von Wissen unterstellt, die sich nur an den Inhalten der wissenschaftlichen Erkenntnis orientiert, ohne ihren Kontext zu berücksichtigen. Das ist insbesondere der Fall, wenn „Wissen“

durch Algorithmen, insbesondere durch Künstliche Intelligenz, gewonnen wird.

Ganz im Gegensatz dazu stehen scheinbar die Betrachtungen über Wissensprojekte, in denen situiertes Wissen geschaffen wird, insbesondere wenn es globalisierte Projekte sind. Hier wird besonders deutlich, wie der Kontext auf die Entstehung und Herausbildung von Wissen einwirkt.

Und dieses Wechselspiel zwischen dem formalen und technisch umgesetzten Vorgehen bei der Erkenntnisfindung und der eigenen situierten Erkenntnis im Austausch mit anderen, das – glaube ich – ist das Potenzial der Cyberscience für die Zukunft. Wir sollten uns darauf einlassen und gemeinsam lernen, wie wir einerseits mit den Chancen umgehen können ohne andererseits die Gefahren überhand nehmen zu lassen.

Literatur

Argyris; Chris; Schön, Donald A. (1978): Organizational Learning. A Theory of Action Perspective. Vol. 1. Reading, MA.

Bekele, Rahel; Groher, Iris; Sametinger, Johannes; Biru, Tesfaye; Floyd, Christiane; Pomberger, Gustav; Oppelt, Peter (2019): „User-Centered Design in Developing Countries: A Case Study of a Sustainable Intercultural Healthcare Platform in Ethiopia. " Proceedings of the IEEE/ACM Symposium on Software Engineering in Africa (SeiA) 2019, 11–15.

Bekele, Rahel; Biru, Tesfaye; Sametinger, Johannes; Groher, Iris; Pomberger, Gustav; Floyd, Christiane (2020): „Adapting Ethnography for Design Research: Lessons Learnt from Design of Mobile Systems for Rural Health Care in Ethiopia". Proceedings of the 40th International Conference on Information Systems, ICIS 2019, Munich, Germany, December 15–18, 2019, ed. by Helmut Krcmar; Jane Fedorowicz; Wai Fong Boh; Jan Marco Leimeister; Sunil Wattal. – https://aisel.aisnet.org/icis2019/is_health/is_health/12/

Floyd, Christiane (1987): „Outline of a Paradigm Change in Software Engineering". Computers and Democracy – a Scandinavian Challenge, ed. by Gro Bjerknes; Pelle Ehn; Morton Kyng. Aldershot/Hampshire, 192–210.

Floyd, Christiane (1994): „Künstliche Intelligenz – Verantwortungsvolles Handeln". Geist – Gehirn – Künstliche Intelligenz. Zeitgenössische Modelle des Denkens, hrsg. von Sybille Krämer. Berlin, 256–278.

Floyd, Christiane (2002a): „Globale, vernetzte Wissensprojekte am Beispiel der Internationalen Frauenuniversität". Stufen zur Informationsgesellschaft, hrsg. von Christiane Floyd; Christian Fuchs; Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt am Main, 391–417.

Floyd, Christiane (2002b): „Towards Knowledge Co-construction". Feminist Challenges in the Information Age, ed. by Christiane Floyd; Govind Kelkar; Silvie Klein-Franke; Cheris Kramarae; Cirilia Limpangog. Opladen, 203–222.

Floyd, Christiane (2005): „Esse est percipi? To Be is to Be Accessed!“. Vom Nutzen und Nachteil des Internets für die historische Erkenntnis, hrsg. von Angelika Epple; Peter Haber; Patrick Jucker-Kuppe. Zürich, 55–69 (Geschichte und Informatik, Bd. 15).

Floyd, Christiane (2011): „Universität «leben» in der Informationsgesellschaft“. Baustelle Informationsgesellschaft und Universität heute, hrsg. von Frank Göttmann; Thomas Reuther. Paderborn, 107–120.

Floyd, Christiane; Ukena, Stefan (2005): „On Designing Ontologies for Knowledge Sharing in Communities of Practice“. Proceedings of Philosophical Foundations of Information Systems Engineering 2005 (PHISE'05). Berlin u. a. O., 559–569.

Krämer, Sybille (2004): „Technik als Kulturtechnik – Kleines Plädoyer für eine kulturtechnische Erweiterung des Technikkonzepts“. Technik – System – Verantwortung, hrsg. von Klaus Kornwachs. Münster u. a. O., 157–164 (Technikphilosophie, Bd. 10).

Mahesh, Kavi; Nirenburg, Sergei (1995): „A Situated Ontology for Practical NLP“. In: Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing. International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-95). Montreal, August 1995, 19–21.

Naur, Peter (1985): „Programming as theory building“. Microprocessing and Microprogramming (Vol. 15/No. 5), 253–261 (wieder abgedruckt in Naur, Peter: Computing. A Human Activity. New York 1992, 37–48).

Nentwich, Michael (2003): Cyberscience. Research in the Age of the Internet. Wien.

Nygaard, Kristen (1986): „Program Development as a Social Activity“. Information Processing 86. Proceedings of the IFIP 10th World Computer Congress: Dublin, Ireland, September 1–5, 1986, ed. by Hans-Jürgen Kugler. Amsterdam, 189–198 (IFIP Congress Series, Vol. 10).

Schön, Donald A. (1983): The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. London.

Siefkes, Dirk (1992): Formale Methoden und kleine Systeme. Lernen, leben und arbeiten in formalen Umgebungen. Wiesbaden.

Suchman, Lucy A. (1987): Plans and Situated Actions – the Problem of Human-Machine Communication. Cambridge, MA.

Züllighoven, Heinz; Bäumer, Dirk; Bleek, Wolf-Gideon; Bürkle, Ute; Dörre, Ingrid; Franz, Michael; Gryczan, Guido; Hess, Jürgen; Knoll, Rolf; Krabbel, Anita; Lilienthal, Carola; Megert, Dani; Riehle, Dirk; Rieth, Peter; Roock, Stefan; Siebirsky, Wolf; Slotos, Thomas; Strunk, Wolfgang; Weske, Dirk; Wetzel, Ingrid; Wiegand, Falk; Wolf, Henning; Wulf, Martina (1998): Das objektorientierte Konstruktionshandbuch – nach dem Werkzeug- & Material-Ansatz. Heidelberg.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 79–102*

Christian Stary, Klaus Fuchs-Kittowski

Zur Methodologie sozio-technischer Informationssystem- und Arbeitsgestaltung

Erkenntnistheoretische Überlegungen zum Einsatz von Design Science im Kontext der Entwicklung von Informationssystemen

Abstract

In this article, we review epistemological constructs of design science and the related approach to unlocking requirements for practice-oriented solutions in organisational contexts and design cycles aligned with them. We use some insights from recent research on realism and truth to develop a more reflective position on human-centred technology design in the context of work processes.

Keywords/Schlüsselwörter

Design science, Epistemology, Human-centred digitalization, Information systems, Realism, Socio-technical system development

Design Science, Erkenntnistheorie, Humanzentrierte Digitalisierung, Informationssysteme, Realismus, sozio-technische Systementwicklung

1 Einleitung

Mit der strategischen Konzeption von „Industrie 4.0“, mit der neuen Phase der globalen, digitalen Netze, des „Internet der Dinge“ und der „cyber-physischen Systeme“ wird eine neue Etappe der Digitalisierung bzw. Automatisierung und damit der Ersetzung, Neusetzung und Modifikation menschlicher Tätigkeiten angestrebt und schrittweise erreicht. Es wird erneut der Anspruch erhoben, neue Horizonte flexibel automatisierter Wertschöpfung zu eröffnen. Technisch soll das diesmal mittels konnektionistischer Künstlicher Intelligenz, Maschinenlernen, Robotik, Big Data und schneller Netzkommunikation in Verbindung mit aktuellen Entwicklungen in der Softwaretechnik erreicht werden.

Es zeigt sich, dass bei der gegenwärtigen gewaltigen Steigerung der Rechenleistung und Erhöhung der Speicherkapazität der digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und der damit verbundenen vielfältigen, oftmals unerwarteten neuen und integrativen Einsatzmöglichkeiten der IKT, neue Probleme auftreten, aber auch viele Grundprobleme der Informatik und des IKT-Einsatzes bestehen geblieben sind, alte Probleme folglich „nur" in neuer Form auftreten. Dies gilt insbesondere bezüglich der sozio-technischen Gestaltung der Arbeitswelt, für die dafür erforderliche Methodologie einer am Menschen orientierten Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung – siehe beispielsweise die erweiterten Möglichkeiten von Office Support Software.[1]

Es stellt sich wie zuvor, jetzt erneut und noch dringender die Frage nach dem Wesen der Digitalisierung bzw. Automatisierung, ihrem Verständnis als einen sozialen und gesellschaftlichen Prozess, nach der dementsprechend ausgerichteten Umsetzungskonzeption, nach einer am Menschen, an der Entfaltung seines Arbeitsvermögens orientierten Gestaltung von digitalen Systemen in Einheit mit einer an Produktivität und Agilität orientierten Organisationsentwicklung, Arbeits- und Technikgestaltung. Dabei rückt in Forschung und Entwicklung der Informatik bzw. Wirtschaftsinformatik der Umgang mit grundlegenden Konzepten wie Organisation, Information, Algorithmus, Aufgaben und Aktivität als Ausdruck menschlichen Handelns in den Mittelpunkt. Der erkenntnistheoretische und schließlich ethisch begründbare Umgang mit diesen Konzepten und Begriffen der Anwendung wird somit zum Teil der Informatik bzw. Wirtschaftsinformatik als angewandter Disziplin. Die Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Technik und Strukturen, wie Modelle von Arbeitsabläufen, und zwar aus unterschiedlichen Perspektiven (Arbeitsorganisation, Sprachwissenschaften, Wissensmanagement etc.) ist somit inhärenter Bestandteil ihrer selbst. Dies inkludiert die Hinwendung zum Menschen in seiner Gesamtheit als kreativ tätiges Wesen in seiner Umwelt (vgl. Stary/Fuchs-Kittowski 2020).

Das erkenntnistheoretische Anliegen sozio-technischer Systemgestaltung mit Methoden und Werkzeugen der Informatik/Wirtschaftsinformatik beschäftigt sich mit dem Verhältnis von Modellen als Ausschnitt der wahrnehmbaren Realität und deren Umsetzung mittels digitaler Systeme zu den Abläufen und Strukturen der realen Welt und der damit verbundenen menschlichen Handlungspraxis. Der Umgang mit diesem Verhältnis findet sich in Konzepten und methodischen Herangehensweise an die Gestaltung und Entwicklung sozio-technischer Informationssysteme wieder. Sie prägen

1 Vgl. https://www.forba.at/wp-content/uploads/2021/04/Handout_Riesenecker_April2021.pdf

das Selbstverständnis der Informatik und Wirtschaftsinformatik sowie die Nutzung ihrer Erkenntnisse und Systeme. Erkenntnistheoretische Überlegungen helfen zu reflektieren und zu elaborieren, welchen Zugang Entwickler und Nutzer von der Wahrnehmung bis zum Durchdringen des Wesens von Dingen und Ereignisse, Strukturen und Prozessen auszeichnen bzw. haben können oder sollen (vgl. Stary/Fuchs-Kittowski 2020).

Im Spannungsfeld zwischen technisch Machbarem und sozial Wünschenswertem bewegt sich die künftige Entwicklung zwischen einer technik-zentrierten Perspektive, die lebendiges Arbeitsvermögen weitgehend nachzuahmen und zu ersetzen trachtet, und einer praxisorientierten Perspektive, der zufolge sich die Gestaltung von Computersystemen und Organisationsformen an der Entfaltung lebendigen Arbeitsvermögens orientiert. Ist bei der ersten Perspektive der Verlust praktischer, für den Störfall aber benötigter Handlungskompetenz zu befürchten, so zielt die zweite Perspektive auf die menschengerechte, partizipativ-reflexive Gestaltung von Organisationsformen, Arbeitsaufgaben, technischen Arbeitsmitteln und ihren Interaktionsformen mit dem Fokus auf Entfaltung praktischer Handlungskompetenz in agilen Organisationen ab. Dabei werden insbesondere Fragen nach angemessener Funktionsteilung zwischen Menschen und Automat, nach Transparenz und Nachvollziehbarkeit selbsttätiger Abläufe sowie nach Möglichkeiten und Bedingungen menschlichen Eingriffs vordringlich. In diesem Kontext erhält die Frage nach der Methodologie der Softwareentwicklung und der ihr zugrunde liegenden Epistemologie erneute Aktualität (vgl. Brödner/Fuchs-Kittowski 2020; Fuchs-Kittowski/Stary 2022).

In der Folge soll ein mittlerweile etablierter Ansatz zur Gestaltung und Entwicklung von Informationssystemen orientierter Ansatz, der Design Science-Based Research oder kurz Design Science Ansatz, nach erkenntnistheoretischen Konstrukten und der damit verbundenen Vorgehensweise zur Erschließung human-zentrierter Unterstützung untersucht werden. Wir nutzen die Erkenntnisse der neueren Forschung zum Realismus, um eine reflektierte Position zur humanzentrierten Technologiegestaltung im Kontext von Arbeitsprozessen zu entwickeln.

2 Design Science als Ansatz zur Entwicklung sozio-technischer Systeme

Design Science in Information Systems Research (vgl. Hevner et al. 2004) oder kurz Design Science hat in den letzten Jahren vermehrt an Bedeutung in der Wirtschaftsinformatik gewonnen. Sein dualer und iterativer Charakter

in Bezug auf sozio-technische Entwicklung von Artefakten bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Theorien bzw. grundlegenden Konzepten begünstigt die schrittweise abgesicherte Entstehung von Lösungen, selbst bei Veränderungen der Ausgangslage. Die Methodologie orientiert sich an mehreren Prinzipien:

- *Motivation des Anliegens und Ableitung von Anforderungen an Lösung*: Ein Design Science-Projekt sollte ein existierendes Problem individueller oder kollektiver Handlungspraxis lösen.
- *Bestimmung eines Gestaltungsgegenstandes (Artefakts)*: Im Gegensatz zur traditionellen technischen Systementwicklung kann das Ergebnis auch eine Methode, ein Modell, eine Dienstleistung oder (digitales) Produkt sowie eine Kombination von Ergebnissen unterschiedlichen Typs sein. Wesentlich ist allerdings, gemäß dem Anspruch von Design Science, ein Problem der Handlungspraxis in einem organisationalen Kontext zu lösen, und dies am Ergebnis nachweislich mit praktischem Nutzen zu belegen.
- *Design inkludiert die Gestaltung, die Demonstration und Evaluierung und erfolgt in Zyklen*: Dabei wird über die Granularität der Design-Zyklen keine Aussage getroffen. Ob das Ergebnis das Problem löst, ist im Rahmen jedes Zyklus praktisch zu demonstrieren und entsprechend der vor dem Zyklus fest zu legenden Anforderungen zu evaluieren.
- *Das Vorgehen muss dem Ablauf wissenschaftlichen Arbeitens entsprechen*: Sowohl bei der Ableitung von Anforderungen und der Entwicklung von Lösungsansätzen als auch der Evaluierung von Ergebnissen sind etablierte Methoden korrekt anzuwenden. Darüber hinaus ist der bestehende Stand an Wissen zu erheben und zu berücksichtigen.
- *Berücksichtigung und Weiterentwicklung von Theorien und Konzeptbildungen*: Gemäß der Forschungsorientierung sollte neben der Entwicklung einer Lösung zu einem Anliegen der Praxis ein Beitrag zur Konzept- bzw. Theorienbildung geleistet werden. Dies kann durch Zugrundelegung einer bestimmten Theorie oder/und durch die Entwicklungsarbeit an einer Theorie erfolgen.
- *Zeitlich-inhaltliche Offenheit der Entwicklung*: Ein erzieltes Ergebnis mit Hilfe eines Design-Zyklus kann inkrementell in weiteren Zyklen weiterentwickelt werden. Dabei können sowohl neue Anforderungen berücksichtigt werden als auch bereits erfüllte alternativ gelöst bzw. kontinuierlich auf Basis neuer Erkenntnisse angepasst werden.

– *Dokumentation und Kommunikation*: Das Anliegen sowie die Ergebnisse sollten geteilt und Interessierten zugänglich gemacht werden. Dem entsprechend sind die jeweiligen Schritte und Ergebnisse zu dokumentieren und der fachlich relevanten Praxisgemeinschaft zur Verfügung zu stellen.

Design Science liefert folglich für die Ableitung von Anforderungen bei einem Anliegen an dessen Lösung eine Bearbeitungsstruktur, die konzeptionelle und praktische Beiträge zu Lösungsfindung bündelt und inkrementell an einem zu bestimmenden Gestaltungsgegenstand bearbeiten lässt.

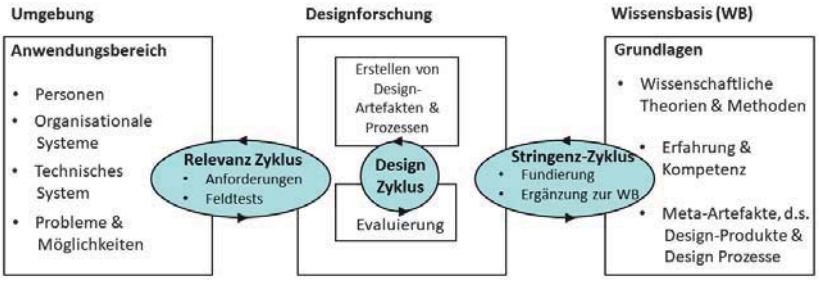


Abb. 1: Design im Kontext von Relevanz und wissenschaftlicher Güte
Quelle: nach Hevner 2007

Vorgehensmodelle zur Umsetzung von Design Science-basierter Entwicklung sollten einem iterativen Prozess folgen, der durch drei weitere Zyklen charakterisiert wird: Relevanz-, Design- und wissenschaftlicher Güte-Zyklus (vgl. Hevner 2007). Der Relevanz-Zyklus bezieht sich auf die Anwendungsdomäne im Sinne der Unterstützung von dort verankertem Arbeitshandelns, und ihre aktuellen Potenziale und Probleme. Relevante Anliegen zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus einem Anwendungsgebiet als Ausgangspunkt der forschungsgeleiteten Entwicklung Problemlagen und Potenziale erfassen. Je konkreter dies erfolgt, desto konkretere Bewertungskriterien können für die Gestaltungsansätze abgeleitet werden. Der Anwendungsbereich selbst wird durch das Zusammenspiel von Menschen, organisatorischen und technischen Systemen bestimmt.

Die iterative Gestaltung von Artefakten sollte nach den Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens erfolgen, sodass relevante Themen auch mit entsprechender Genauigkeit und Qualitätssicherung bearbeitet werden. Dies impliziert die Nachvollziehbarkeit jeder Aktivität zu Erreichung von Lösungsansätzen entlang des Design Science-Prozesses. Somit verknüpft der

Relevanzzyklus das Umfeld eines Vorhabens mit den Kernentwicklungsaktivitäten, während der Gütezyklus diese Aktivitäten mit einer für die Bearbeitung des Anliegens relevanten Wissensbasis verbindet. Der Design-Zyklus iteriert zwischen den Kernentwicklungsaktivitäten, und zwar der Gestaltung und Evaluierung von Artefakten.

Das Vorgehensmodell nach Ken Peffers et al. (vgl. Peffers et al. 2007) ermöglicht Arbeitsgestaltung, wie sich am Beispiel von Additiver Fertigung Vorhaben in Makerspaces zeigen lässt (vgl. Kaar/Stary 2021; siehe Abb. 2 und 3). Die aus dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse zeigen nicht nur, wie neuartige Wertschöpfungsketten erprobt werden können, sondern welche Strukturen gemäß Design Science die aktive Erschließung neuartiger Arbeitsprozesse unterstützen. Im gegenständlichen Fall organisieren die Durchführenden eines additiven Fertigungsprozesses den von einem Mentor unterstützten Lernablauf selbst. Auch das Vorhaben wird durch die Interessen einer Person an additiver Fertigung ausgelöst. Es beginnt mit der systematischen Entwicklung eines konkreten Ziels, der Definition von Meilensteinen sowie zu erwartender Unterstützung und reicht bis zur Reflexion von Ergebnissen.

Im Rahmen der Bestimmung der Ausgangslage (siehe links unten in Abb. 2) werden Kompetenzen sowie die Generierung von Wissen angesprochen: Wissen bezieht sich auf Erfahrung und grundlegendes Verständnis, sowie dessen Anwendung. Diese befähigt Lernende bzw. Personen der additiven Fertigung, ein Artefakt durch informierte Nutzung zu planen und anhand von Design-Zyklen zu entwickeln. Innovation zielt schließlich auf neuartige Entwicklungen durch additive Fertigungstechnologien ab.

Um die Aktivitäten im Projekt zu strukturieren und die Fähigkeiten zur Durchführung von additiven Fertigungsschritten zu vermitteln bzw. zu erwerben, wird zwischen allen Projektmitgliedern und einem Projektverantwortlichen ein Lernvertrag ausgehandelt. Er wird dokumentiert und von allen Parteien nachweislich akzeptiert. Die dokumentierten Vereinbarungen und Lernergebnisse bilden auch die Grundlage für die Bewertung der Projektergebnisse.

Ein Lernvertrag besteht dabei aus Daten zur Projektorganisation, wie Name des Projekts, Dauer, Anforderungen Tätigkeiten etc., Kompetenzniveau, Ziele des Vorhabens einschließlich ihrer Begründung, und inhaltliche in Bezug auf technische Arbeiten (Konstruktion, Material, Produktion) und (Forschungs-)Recherche. Die Aktivitäten des Design-Zyklus umfassen Arbeiten mit bereitgestellten Inhalten: Erarbeiten der zum Projekt gehörenden

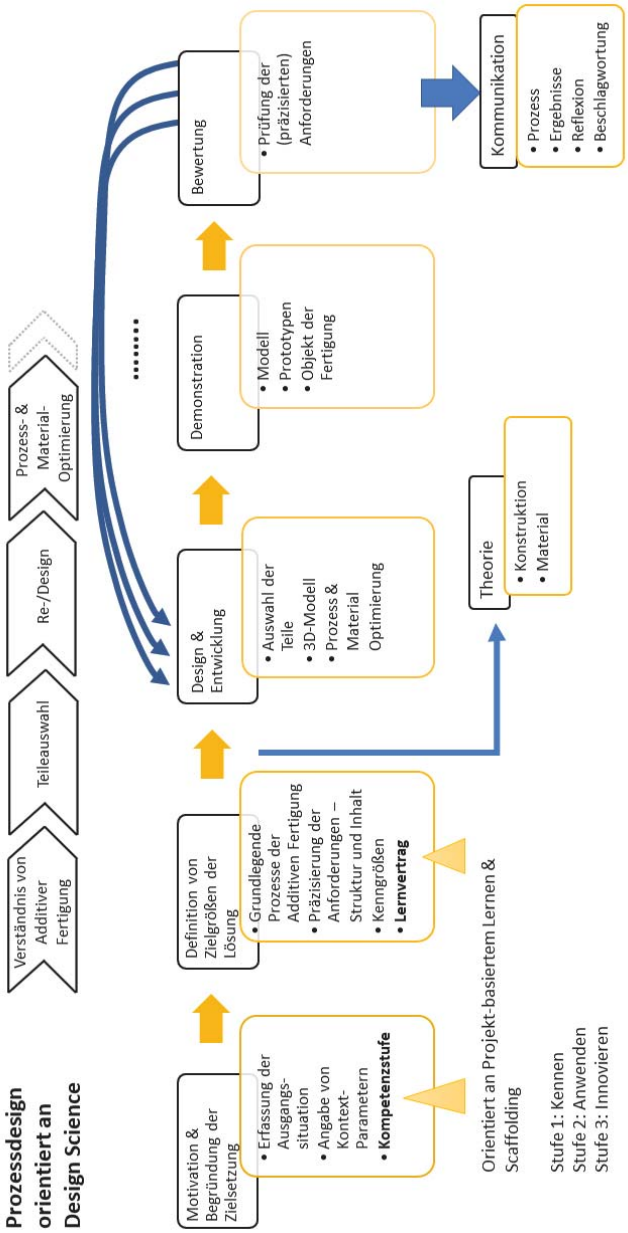


Abb. 2: Design Science Entwurfs-Zyklen in pragmatischem Kontext

Quelle: aus Kaar/Stary 2021

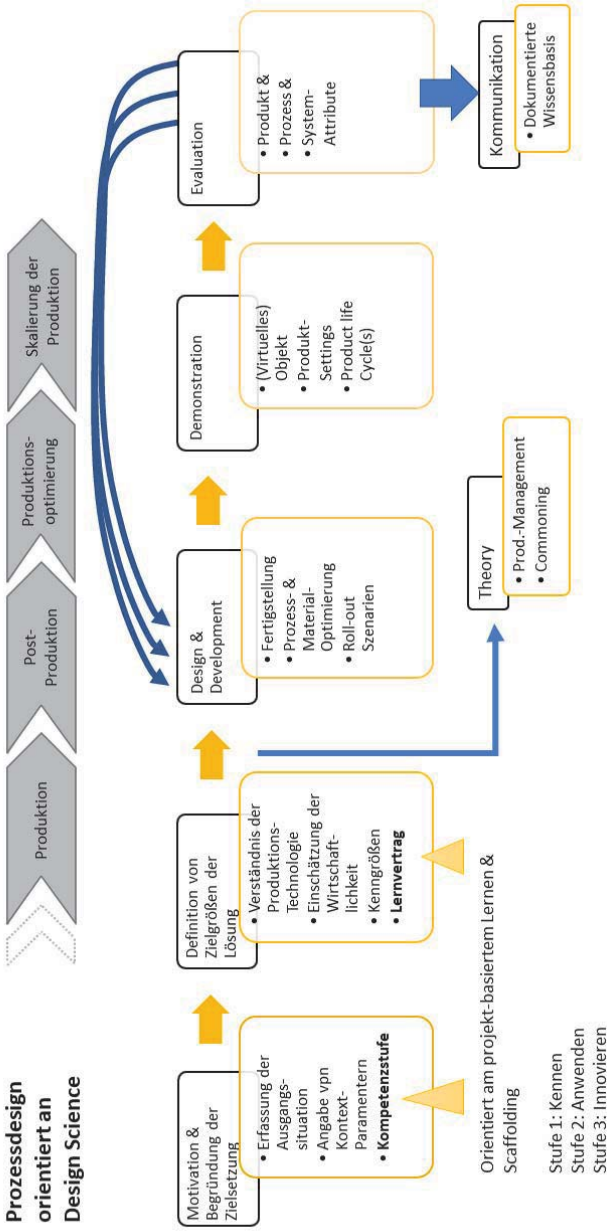


Abb. 3: Nachbearbeitung produzierter Werkstücke

Quelle: aus Kaar/Stary 2021

Inhalte. Diese Inhalte stehen den Nutzer/inne/n des Makerspace während ihres Projektverlaufs zu additiver Fertigung und danach zum Selbststudium in Form von Videos, multimedialen Dokumenten, zusätzlichen Ressourcen und Beispielen zur Verfügung. Üblicherweise werden Inhalte in einzelnen Phasen vor dem sozialen Austausch studiert. Sie werden nach projektspezifischen Fragen (an Moderatoren oder Peers) für eine effektive Wissensgenerierung aufbereitet.

Durch das aktive Projektmanagement erwerben die Durchführenden im Rahmen der Projektarbeit Kompetenzen in der Planung, Kalkulation, Durchführung, Bewertung und Bewertung von Projekten zur additiven Fertigung. Bei Unterstützungsbedarf können neben Peers auch der/die Facilitator/in oder Mentor/in sowie gegebenenfalls Expert/inn/en kontaktiert werden. Der Lernvertrag bietet darüber hinaus eine Struktur zur Evaluation und Reflexion, einschließlich des Lernprozesses selbst und damit metakognitive Elemente. Der Wissensaustausch erfolgt neben persönlichen Treffen von Peers, Mentor/inn/en oder Moderator/inn/en durch Workshops und Dokumentationen, die mit praktischen Projektaufgaben verknüpft sind. Jedes Projekt wird in einer gemeinsam zugänglichen Wissensbasis dokumentiert, sowohl aus Prozess- als auch aus Ergebnissicht. Sowohl der Ablauf eines Projekts als auch die Ergebnisse können zur zukünftigen Entwicklung im Rahmen von Design-Zyklen beitragen und werden daher bewahrt.

3 Wahrheit und Wirklichkeit – Über die Möglichkeit ihres Erkennens

Wie bereits dargestellt, ist die Wiedergewinnung des Realismus in Richtung eines konstruktiven Realismus für die Entwicklung und insbesondere Gestaltung der zunehmend digitalisierter Lebenswelten hilfreich (vgl. Stary/Fuchs-Kittowski 2020). Neben der geistes- und sozialwissenschaftlichen Reflexion räumen wir der methodischen Gestaltbarkeit sozio-technischer Systeme einen bedeutsamen Platz ein. Dabei kommt der Frage nach Wahrheit und Wirklichkeit, nach der Möglichkeit die Wirklichkeit zu erkennen, wahre Aussagen über ihr Sein und ihre Entwicklung zu gewinnen, zentrale Bedeutung zu.

Max Delbrück, der Begründer der Molekularbiologie, hat sich in der letzten Periode seines Forscherlebens theoretisch wie experimentell mit Problemen der Erkenntnis beschäftigt. Er schrieb ein wichtiges Buch zum Thema: „Wahrheit und Wirklichkeit – Über die Evolution des Erkennens“ (vgl. Delbrück 1986). Für die Entwicklung der Molekularbiologie war die Wahl eines

entsprechenden Forschungsobjektes entscheidend. Es war der Phage. Dann wandte er sich dem Verhalten einfacher Lebewesen zu, um das Phänomen der Wahrnehmung zu analysieren. Das sehr einfache Forschungsobjekt dafür war der Pilz Phoikomyces.

Die von ihm durchgeführte Analyse der visuellen Wahrnehmung führte ihn dazu, den anfänglich noch vertretenen naiven Realismus aufzugeben

> „und eine mögliche konzeptionelle Verbindung zwischen Gehirn und Verstand anzudeuten. Denn es stellte sich heraus, dass sich diese visuellen Regionen im Gehirn so entwickelt haben, dass sie aus der Eingabe (Input) der Sinne alles herausfiltern, was für die Tiere irrelevant ist.“ (Fischer 1985: 249–250)

Vom Gehirn werden die eingehenden Signale zu Strukturen komprimiert und mit Bedeutungen belegt. Die Signale, der visuelle Input wird im Gehirn zur Form mit der größten Bedeutung abstrahiert. Information ist daher nicht als unmittelbare Widerspiegelung (Abbild) zu verstehen, sondern, wie wir mit unserem Informationskonzept herausgearbeitet haben (vgl. Fuchs-Kittowski 1992, 1997), *der Prozess der Wahrnehmung setzt am Abbild an, dies wird zur Struktur mit Bedeutung abstrahiert* (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 1977).

Was wir wirklich dann sehen, sind keine Signale ohne Bedeutung, keine rohen Daten mehr, sondern die Qualitäten eines Objekts, die nach dem Abstraktionsprozess von den Sinnesdaten noch geblieben sind und uns etwas bedeuten. Die Verarbeitung der Sinnesdaten durch diesen Abstraktionsprozess erfolgt unbewusst bzw. vorbewusst und ist daher auch durch Introspektion nicht zu erfassen.

Damit verlässt Delbrück die Position des naiven Realismus und gewinnt einen neuen erkenntnistheoretischen Standpunkt. Der Biograph Peter Fischer hebt hervor, dass Delbrück diesem neuen Standpunkt

> „keinen Namen gibt. Er bleibt bei der fundamentalen Annahme einer Welt außerhalb von uns und unabhängig von unserer Erfahrung. Doch nun ist die innere Wirklichkeit eine Konstruktion aus Sinnesdaten, dessen Korrespondenz mit der äußeren Wirklichkeit sich prinzipiell dem Wissen entzieht. Das ‚Ding an sich‘ bleibt unerkannt, wie vor zweihundert Jahren schon Immanuel Kant in der ‚Kritik der reinen Vernunft‘ herausgearbeitet hat.“ (Fischer 1985: 250)

Der Molekularbiologe Gunther S. Stent, einer der bekanntesten Schüler von Max Delbrück, schreibt in seiner Einleitung zum Buch „Wahrheit und Wirklichkeit“ ebenfalls, dass Delbrück im Verlauf der Darstellung eine Entwicklung vom naiven Realisten zu einer Position vollzieht, die er dem Strukturalismus zuordnet, damit also an der Existenz einer realen Welt außerhalb

und unabhängig von uns festhält, dass aber unsere innere Wirklichkeit die äußere Wirklichkeit der Dinge im Prinzip nicht erfasst (vgl. Stent 1986).

Dann gilt es u. E. jedoch auf der Grundlage der Erkenntnisse von Delbrück und Stent *sowie einem vertieften Verständnis der Information, auch noch über das agnostizistische Moment des Strukturalismus*, welches unter Berufung auf die „Kritik der reinen Vernunft" von Immanuel Kant vertreten wird, *zu überwinden*. Stent, mit dem einer der Autoren (Klaus Fuchs-Kittowski) eine ganze Reihe tiefgehender philosophische Diskussionen hatte, sagt über Delbrücks Position auch, dass Wahrnehmung für Delbrück

> „Aufnahme und Interpretation von Signalen aus der Umgebung ist und dass diese eine uralte Erfindung der Natur sein muss. Er steigt von der Erkenntnistheorie des naiven Realismus zu der des Strukturalismus auf. Den Strukturalismus verbindet mit dem naiven Realismus der fundamentale Glaube an die Existenz einer realen Welt, die außerhalb von ihm liegt und die unabhängig von seinen Empfindungen ist. Doch, indem er versteht, dass das, was sein Bewusstsein erreicht, eine hochgradig abstrakte Struktur aus transformierten Sinnesdaten ist, erkennt der strukturelle Realist an, dass seine innere Wirklichkeit nur ein Konstrukt ist, dessen wahre Korrespondenz mit der äußeren Wirklichkeit der Dinge im Prinzip nicht erfassbar ist." (Stent 1986: 20)

Die neueren neurobiologischen Erkenntnisse der abstrakten Wesen der visuellen Wahrnehmung seien demzufolge eine Bestätigung der Position von Kant, dass das „Ding an sich" für uns unerkennbar bleibt. – Diese agnostizistische Position ist jedoch zu überwinden.

Gegenüber der klassischen Informationstheorie von Claude Shannon haben wir von vornherein geltend gemacht, dass sie von der semantischen und pragmatischen Dimension der Information abstrahiert. Sie ist daher nur eine Signaltheorie. Dies wusste natürlich Shannon selbst sehr wohl, wurde jedoch von vielen Nachfolgern oftmals übersehen. Deshalb gilt es immer wieder, deutlich zu machen, dass die klassische Theorie der Information nur die Aktivität des Senders und nicht die Aktivität des Empfängers sieht. Wird die Aktivität des Empfängers berücksichtigt, sieht man, dass Information keine vorgegebene Struktur ist, sondern ein Verhältnis zwischen Sender und Empfänger und nur als ein solches Verhältnis, nicht als Substanz, existiert. Betrachtet man die Aktivität des Empfängers, dann tritt der geschilderte Verarbeitungs- bzw. Abstraktionsprozess der Signale aus der Umwelt in den Vordergrund. Dies bedeutet jedoch nicht, dass damit die Aktivität des Senders völlig aus dem Blick genommen wird. Vielmehr sind beide Seiten dieses Verhältnisses von Sender und Empfänger zu beachten.

Horst Völz hatte in seinen frühen Arbeiten zu Information diese als „das Getragene“ definiert. Dem hatten wir entgegengehalten, dass die Information als das vom Signal getragene angesehen wird, sie schon von Beginn an gegeben ist, die Aktivität des Empfängers bei der Gewinnung der Information unberücksichtigt bleibt. Wenn alles schon vom Sender her gegeben ist und nur vom Signal herangetragen wird, fallen in der Tat die geschilderten Transformations- und Abstraktionsprozesse weg. Wenn man diese jetzt beachtet, muss dies nicht bedeuten, dass das von dem vom Sender ankommenden Signal gar nichts an den Empfänger herangetragen wird. Den tatsächlichen Beitrag des Senders mit seinen Signalen zum Gesamtgeschehen nennt Horst Völz heute „Informat“ (vgl. Völz 2017).

Der „Informat“, durch den letztlich der Output erfolgt, entsteht durch den Input, die Signale als Informationsträger und die Strukturen und Prozesse im System (vgl. Völz 2018). Die Präzisierung des Informationsverständnisses für die Informatik durch Werner Zorn ist hier ebenfalls zu beachten (vgl. Zorn 2016).

Wenn man also bei der, in der Wissenschaftsgeschichte schwer errungenen, Anerkennung der Aktivität des Empfängers auch anerkennt, dass es weiterhin auch die Signale – die Informationsträger – sind, die zur Wahrnehmung Wichtiges beitragen, ist auch der Agnostizismus, der angibt, dass unsere innere Wirklichkeit keinerlei Referenz zur äußeren Wirklichkeit hätte, überwindbar.

Es ist auch zu prüfen, ob die Einordnung der von Delbrück entwickelten erkenntnistheoretischen Position, die er wohl absichtlich keinen speziellen Namen gibt, wirklich richtig ist. Denn wenn sich Delbrück auf das Kant‘sche „Ding an sich“ bezieht, dann im Sinne der biologischen Erkenntnistheorie von Konrad Lorenz. Er stellt sich, wie bei Lorenz, die Frage, wie es kommt, dass die a priori gegebenen Denkkategorien so gut mit den Realkategorien zusammenpassen? Die Antwort darauf hatte Lorenz bereits gegeben, indem er aufzeigte, dass dies das Ergebnis der Evolution des Erkenntnisapparates ist. Was dem Individuum vererbt wird, haben seine Vorfahren gelernt. Dinge, die für das Individuum a priori sind, sind für die Art a posteriori.

Wie nun der Kinderpsychologe Jean Piaget zeigen konnte, sind diese a priori gegebenen Kategorien jedoch erst beim Erwachsenen voll herausgebildet. Kinder nehmen noch anders wahr (vgl. Piaget 1936, 1957). Sie lernen unsere Welt erst in einem, wie Delbrück sagt, dialektischen Prozess zwischen Nervensystem und Umwelt kennen. Piaget nennt seine erkenntnistheoretische Position „hypothetischen Realismus“. Er erkannte, dass die

Kant'schen Kategorien sich erst im Verlauf der Kindheit allmählich herausbilden.

Der Strukturalismus als philosophische Richtung hat andere Grundlagen. Er nimmt bekanntlich seinen Ausgangpunkt von den grundlegenden Gedanken des Schweizer Sprachwissenschaftlers Ferdinand de Saussure (1857–1913), die er in seinem Hauptwerk „Cours des Linguistique générale" von 1916 dargelegt hat (vgl. Brügger/Vigso 2008).

Es geht also um eine strukturelle Sprachwissenschaft, eine wissenschaftstheoretisch- erkenntnistheoretische Position, wie sie von de Saussure zu Beginn des 20. Jh.s entwickelt wurde. Weiterhin gibt es den Strukturalismus als einen Modebegriff, der insbesondere in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts fast alle Bereiche speziell der französischen Kultur beeinflusst hatte. Das wissenschaftliche Konzept des Strukturalismus im Sinne von de Saussure hatte bedeutenden Einfluss auf die Sprachwissenschaft, auf die Semantik bzw. strukturelle Semantik, aber auch auf die Anthropologie und Soziologie.

Von Anthony Giddens wurde der Versuch unternommen, den Strukturalismus durch Aktivierung der Struktur zu überwinden. Dieser Ansatz, in dem Struktur in aktives Handeln, in einen Prozess umschlägt, wurde von Giddens organisationstheoretisch umgesetzt. Diese organisationstheoretische Strukturationstheorie von Giddens (vgl. Giddens 1988) wurde u. a. von Bernd Pape und Arno Rolf für die Organisationsgestaltung beim Einsatz von IKT fruchtbar gemacht (vgl. Pape/Rolfs 2004).

de Saussure verwendet selbst den Begriff „Strukturalismus" gar nicht. Er spricht von System. Von der Sprache als System. Mit der strukturellen Methode in der Sprachwissenschaft und dann auch in den anderen Wissenschaften beispielsweise in der Anthropologie, wird deutlich gemacht, dass sich die Vielzahl der Ergebnisse aus einer konkreten Analyse, als einzelne Elemente zu einer Struktur zusammenfassen, verdichten lassen.

Wenn man von Struktur spricht, meint man die Abhängigkeit zwischen den Teilen des Systems als Ganzem und zwischen den Abhängigkeiten der Teile. Die Struktur bildet sich nicht nur aus den Beziehungen zwischen den Teilen, sondern bildet ein Ganzes. Sie ist eine autonome Einheit interner Abhängigkeiten. Diese Einheit wird zum Träger der Bedeutung der Information.

Das steht dahinter, wenn gesagt wurde, dass bei der Wahrnehmung die hereinkommenden Sinnesdaten durch einen Abstraktionsprozesse zu einer Struktur verdichtet werden. Zu einer solchen erkenntnistheoretischen Position gelangen wir auf der Grundlage unseres semiotischen Verständnisses

der Information: Information als Trias von Form (Syntax), Inhalt (Semantik) und Wirkung (Pragmatik).

Dieses Verständnis beruht auf Erkenntnissen der Sprachwissenschaft und der Semiotik von Charles S. Peirce. Es wäre jedoch zu kurz gegriffen, wenn damit diese philosophisch-erkenntnistheoretische Position dem Strukturalismus zugeordnet würde. Dies gilt u. E. auch für Delbrück.

In unserem Schema der Struktur-Funktions-Wechselwirkung zum Verständnis der Information und ihrer Entstehung (als verallgemeinerter Hyperzyklus) besteht die Struktur, als Träger der Semantik, aus den geschilderten Abhängigkeiten und nicht nur, wie in der klassischen Systemtheorie, aus den Elementen und den Beziehungen zwischen den Elementen. Als diese Ganzheit wird sie in der komplizierten Wechselbeziehung zwischen Struktur und Funktion zum Träger der Bedeutung (siehe Abb. 4).

Information ermöglicht erst organisierte Strukturen, die komplizierte Funktionen realisieren können. Wobei die Information erst durch die Funktion, über die damit erfolgende Bewertung ihre Bedeutung erhält und damit entsteht. Es ist also ein in sich widersprüchlicher Kreisprozess und wechselseitiger Bedingungsprozess: von Abbildung (Struktur), Interpretation (Be-

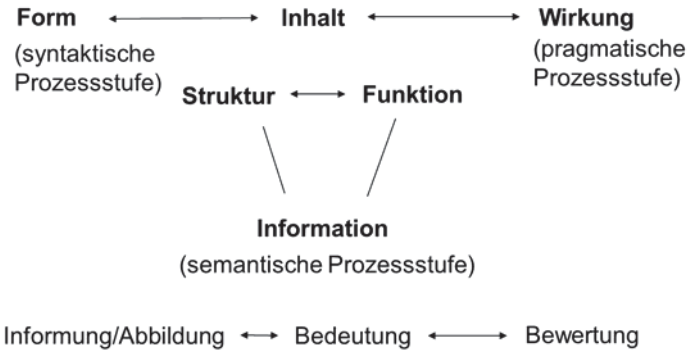


Abb. 4: Ritualisierung und Funktionalisierung – Struktur-Funktionszusammenhang – vermittelt über Bedeutungen, die erst in der Wechselwirkung im Prozess von Informung (Abbildung), Bedeutung und Bewertung entstehen – Verallgemeinerung des Hyperkreises

Der Begriff des Hyperzyklus wurde von Manfred Eigen im Zusammenhang mit seiner darwinistischen Theorie der Lebensentstehung, zum Verständnis der molekularen Selbstorganisation und Evolution eingeführt (vgl. Eigen 1971).

Quelle: nach Fuchs-Kittowski 1998

deutung) und Bewertung (Funktion, Verhalten), der zur Entstehung von Information führt.

Für die Möglichkeit des Erkennens der Wirklichkeit, der Gewinnung wahrer Aussagen über ihr Sein und Werden, bedeutet dies, dass in der praktischen, sinnlichen, die Welt verändernden Tätigkeit, wie Karl Marx es schon in den Thesen zu Ludwig Feuerbach aussagte, dass das Ding an sich ein Ding für uns wird (vgl. Marx 1958).

4 Fachlich und sozial verantwortbarer Technologieeinsatz auf Basis des konstruktiven Realismus

Aufbauend auf die oben dargestellten Erkenntnisse zum konstruktiven Realismus wollen wir in diesem Teil der Arbeit zeigen, dass Gestaltungsprozesse sozio-technischer Systeme im Sinne der Design Science einige epistemische Elemente besitzen, deren semantische Erschließung wesentlich für die Systementwicklung ist.

Während Sven Carlsson versuchte, Design Science innerhalb des kritischen Realismus zu verorten (vgl. Carlsson 2019), positionierten Alan R. Hevner et al. Design Science gemäß eines pragmatischen Paradigmas (vgl. Hevner 2007; Hevner et al. 2004). Im Gegensatz zur verhaltensorientierten Wissenschaft beschäftigt sich Design Science nicht mit dem, was ist, d. h. dem Geben wahrheitsgetreuer und abstrahierte Darstellungen einer bereits existierenden Welt, sondern mit dem, was sein könnte. Damit haben die Ergebnisse keinen fundierten erkenntnistheoretischen Charakter wie die Verhaltenswissenschaft, sondern entsprechend der Funktion von Design Science, die wahrgenommene Nützlichkeit, Qualität und Wirksamkeit eines Design-Artefakts stellt den Wahrheitsanspruch.

Zur methodologischen Unterstützung und Reflexion der in Abschnitt 2 erläuterten Prinzipien stellen Hevner und Samir Chatterjee einige Fragen, die zur Erreichung nutzbringender Ergebnisse im Sinne des Design Science-Ansatzes eingesetzt werden können und sollten (vgl. Hevner/Chatterjee 2010). Wir fassen diese mit Bezug zum Wesen des Ansatzes zusammen:

- Was ist die das Vorhaben begründende Forschungsfrage? – Verweis auf forschungsgeleiteten Ansatz der Design Science
- Welche Gestaltungsanforderungen leiten sich daraus ab? – Betonung von Gestaltungsaspekten auf Basis festgelegter Anforderungen

- Was ist das Artefakt? Wie lässt es sich anhand der abgeleiteten Gestaltungsanforderungen begründen? Wie wird es dargestellt? – Festlegung des Artefakts als Einstiegspunkt sämtlicher Gestaltungsaktivitäten
- Welche Design-Zyklen ergeben sich aus beteiligten Theorien bzw. Konzepten, den Gestaltungsanforderungen und dem Artefakt? – Die Bestimmung der Granularität kann von unterschiedlichen Faktoren abhängen, insbesondere von Anforderungen, zugrunde gelegten Theorien/Konzeptentwicklung und Zielen des Vorhabens
- Wurde die bestehende Wissensbasis zur Gestaltung der Design-Zyklen und des Artefakts berücksichtigt? – Bezug zu bestehendem Wissen und dem Stand der Forschung
- Welche Implikationen haben die Gestaltungsanforderungen an die Evaluierung und umgekehrt? – Jeder Zyklus sollte diesbezüglich in sich schlüssig sein
- Wie soll das Artefakt in den Anwendungsbereich integriert werden? Eignen sich die Demonstrationen im Rahmen der Design-Zyklen dazu? – Unterstützung der Handlungspraxis als Akzeptanzkriterium und Zielsetzung des Ansatzes
- Wird das im Rahmen der Design-Zyklen generierte Wissen der Wissensbasis hinzugefügt? Welcher Art ist dieses Wissen? – Erfahrungen, Theorien, Konzepte, Methode, Metawissen – sämtliche Arten dienen der Weiterentwicklung

Mit diesen Fragen werden nicht nur methodisch Hinweise zur adäquaten Operationalisierung von Design Science orientierter Forschung und Entwicklung gegeben, sondern auch die Kontextsensitivität im Sinne der wahrgenommenen Gestaltbarkeit von Artefakten bzw. die Bearbeitung eines Anliegens angesprochen. Im Rahmen seiner Untersuchung zur Design Science-Epistemologie stellt Göran Goldkuhl verschiedene epistemische Typen vor, die sich auf den Entwicklungsprozess und damit die Operationalisierung des Design Science-Ansatzes beziehen (vgl. Goldkuhl 2020). Epistemisches Wissen bezeichnet auch Dinge oder Tatsachen, welche sich auf das Wissen einzelner Personen in einer bestimmten Situation beziehen. Es spricht in diesem Sinn den momentanen Kenntnisstand einer Person zu einem bestimmten Sachverhalt explizit an (vgl. Ausgangspunkt der Gestaltungsüberlegungen des Vorgehensmodells in Abschnitt 2).

Goldkuhl unterscheidet bewertendes und erklärendes Hintergrundwissen, sogenannte Pre-Design-Wissen, von prospektivem Wissen mit Entwurfshypothesen (mit In-Design-Wissen bezeichnet), und präskriptives Wissen

mit Gestaltungsprinzipien, sogenanntes Post-Design-Wissen. Er folgt gleichermaßen bestimmter Phasen der Wissensentwicklung, die sich durch die Bearbeitung eines Anliegens nach den Prinzipien der Design Science ergeben. Als Artefakt-Typ gibt er sozio-technische Artefakt an. Dies bedeutet, dass es immer einer Gebrauchskontext, d. h. einen sozialen Praxiskontext geben muss. Bei sozio-technischen Artefakten gibt es folglich auch immer IKT-Anteile, insbesondere auch exklusiv digitale Artefakte. Nach Goldkuhl bedeutet dies eine Fokussierung auf Design als Produkt, so dass bei epistemischem Wissen dieses Berücksichtigung findet.

Aus praktischen Einsätzen lässt sich ableiten, dass unterschiedliches Wissen bei der Gestaltung sozio-technischer Systeme erforderlich ist (vgl. Karr/Stary 2021). Angewandt auf allgemeine Entwicklungsprozesse lässt sich ein Referenzrahmen aus drei miteinander verbundenen Ebenen angeben, deren gemeinsame Basis durch ein Gestaltungsziel bezüglich des Inhalts und Humanpotenzials gegeben ist. Komponenten sind zum einen somit domänenspezifisches Wissen, wie beispielsweise die Wertschöpfungskette additiver Fertigung, sowie das humane Entwicklungspotenzial, beispielsweise die individuelle Qualifikation von Arbeitskräften aus der Produktion. Beide bilden den Rahmen für domänenspezifische Design Science-Prozesse, einschließlich Design-Zyklen und Unterstützungsangeboten.

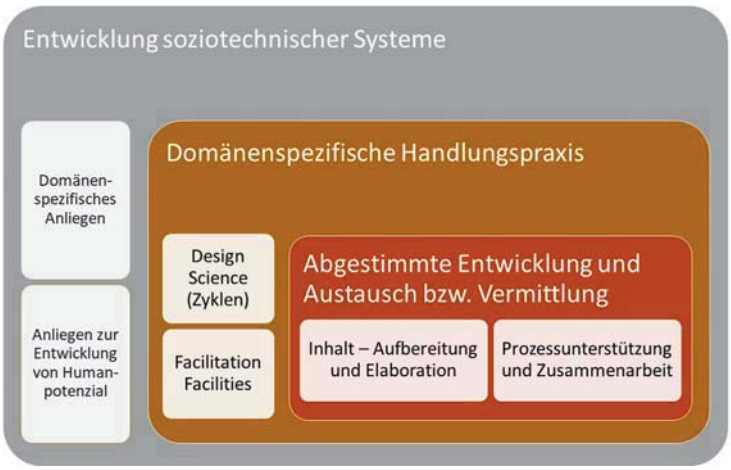


Abb. 5: Wissensarten im Kontext sozio-technischer Systementwicklung

Eigene Darstellung

Der operative Kern liegt auf den beiden darunter liegenden Schichten und zeichnet sich durch die Ausrichtung von Entwicklung und Unterstützung aus. Es koordiniert die Bereitstellung und Ausarbeitung von Inhalten mit Prozessführung und Zusammenarbeit. Letzteres beinhaltet das Teilen ausgearbeiteter Inhalte und Projektergebnisse.

Bei der Herleitung der für Design Science wesentlichen Wissenstypen lässt sich Goldkuhl von Jürgen Habermas leiten, der explizit festgehalten hat, dass unterschiedlicher Charakter von Wissen mit unterschiedlichen Geltungsansprüche oder Formen von Erdung verbunden ist. Ausgehend von seiner Darstellung (bei Habermas Satzformen) können die semantischen Bedingungen zur Gültigkeit dieses Wissens geklärt werden (vgl. Habermas 1981). Dies lässt sich nach Goldkuhl durch den Unterschied zwischen einer Beschreibung und einer Vorschrift oder einem Rezept verdeutlichen. Hinsichtlich der Beschreibungen ist der Hauptgültigkeitsanspruch die Wahrheit. Eine Beschreibung wird danach bewertet, ob sie wahr oder nicht wahr ist. Eine wahre Beschreibung wird als gültig erachtet. Ein Rezept hingegen wird bezüglich seiner Angemessenheit eingeschätzt.

Beschreibungen und Vorschriften sind von unterschiedlicher epistemischer Natur: Jene der Beschreibung (als Satz) ist, dass es eine korrekte Darstellung von etwas gibt, das existiert; der epistemische Typ eines Rezepts (als Satz) ist, dass es eine nützliche Empfehlung gibt, um etwas zu schaffen, das erst wird.

Anliegen oder Vorhaben, welche nach den Prinzipien der Design Science bearbeitet bzw. umgesetzt werden, zielen auf die Schaffung einer Lösung eines praktischen Handlungsproblems in organisationalem Kontext. Der pragmatische Charakter wird sowohl seitens der Schaffung einer Lösung als auch in deren Anwendung sichtbar. Dabei wird durch die Artikulation von Wissen (Sätzen als Wissensrepräsentationen), etwa im Rahmen der Problemformulierung oder Erfassung aktueller Handlungspraktiken, grundlegendes Hintergrundwissen sowie der Kontext für die Design-Zyklen, d. h. den Entwurfsprozess in Design Science, geschaffen. Diese Art von Wissen ist beschreibend, und angemessen. Die epistemische Charakterisierung soll besagen, dass es sich um bewertendes Wissen handelt. Problembeschreibungen sind von menschlichen Einschätzungen des aktuellen Geschehens abhängig. Weniger explizit in dieser Bewertung sind die Werte und Ziele von Handlungspraktiken, insbesondere von Schwierigkeiten oder Abweichungen von Gewünschtem (normatives Wissen).

Design Science nimmt an, dass es neben dem Hintergrundwissen auch einen Einfluss von vorhandenem, abstraktem Wissen mit Relevanz für die

Gestaltung von Artefakten gibt. Dieses Wissen kann auch das Werte- und Zielsystem ansprechen und wird als Kerntheorie bezeichnet. Sie wird im Design-Prozess bestimmt und dem Anliegen/Vorgehen zur Verfügung gestellt. Kerntheorien können auch eine mögliche Welt, die durch den Gestaltungsprozess entstehen könnte, betreffen. Das im Rahmen dieses Gestaltungsprozesses kontinuierlich entstehende, und am demonstrierten Artefakt sichtbar gemachte Wissen hat ideellen Charakter – es soll die menschliche Handlungspraxis in organisationalem Kontext verbessert werden – und wird dem entsprechend als ideelles und erkenntnistheoretisch als prospektives Wissen charakterisiert. Nach Goldkuhl ist es das Wissen über das Mögliche, einer zu schaffenden begehrenswerten Welt, die normatives Wissen von Zielen und Werten berücksichtigt. Als Anforderung definiert und mittels Evaluierung überprüft, kann daraus präskriptives Wissen entstehen, das mit dem Artefakt kodifiziert wird (*acting in design*).

Daraus lässt sich eine epistemische Logik des Design Science-Prozesses formulieren. Drei Stufen lassen sich mit ihren jeweiligen Wissenstypen identifizieren, wie in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Wissensarten und zugehörige Weltzustände im Design Science-Prozess

Design Science Phase	**Wissensart**	**Epistemischer Typ**	**Entsprechender Zustand der „Welt“**
Pre-Design	Situationsangepasstes Wissen über Problem und Praxis-Kontext Ausgewähltes abstraktes rezentes Wissen zur möglichen Problemlösung („Kerntheorie“)	Evaluatives Hintergrundwissen Erklärendes Hintergrundwissen	„World-as-is“
In-Design	Ideen und Vorschläge Werte und Ziele	Prospektives Wissen Normatives Wissen	„World-as-might-be“
Post-Design (= Gebrauch, Nutzung)	Wissen über Artefakt-Eigenschaften, welche Nutzungssituation beeinflussen	Präskriptives Wissen	„World-as-become“ „World-to-become“

Quelle: nach Goldkuhl 2020

Die Wissensarten und zugehörigen Weltzustände helfen, den Beitrag der Design Science-basierten Vorgehensweise zur Wiedergewinnung des Realismus in Richtung eines konstruktiven Realismus für die Entwicklung sozio-technischer Systeme zu bestimmen. Die Frage nach Wahrheit und Wirklichkeit wird durch die Wahrnehmungen und Gestaltungsmöglichkeiten der

an der Entwicklung Beteiligten bestimmt. Die Operationalisierung des Design Science-Ansatzes strukturiert den sich abwechselnden, iterativen Vorgang von Wahrnehmung und Gestaltung. Dabei kommt der Bestimmung des Forschungsobjekts, wie schon von Delbrück erkannt, zentrale Bedeutung zu.

Durch die zyklische Verbindung der Aktivitäten bei Design Science-basierter Entwicklung bestimmen eigentlich zwei Forschungsobjekte das Geschehen: Zum einen die Anforderungen und zum anderen der Artefakt, dessen Verhalten am Demonstrator evaluiert wird. Im Mittelpunkt steht zu Beginn die Welt-wie-sie-ist und wahrgenommenes Potenzial zu ihrer Veränderung im Sinne einer Problemlösung durch die Bestimmung von Anforderungen an eine Lösung. Letztere weist auf die Welt-wie-sie-sein-soll hin.

Um nun wahrgenommene Information mit Hilfe der von Delbrück „möglichen konzeptionellen Verbindung zwischen Gehirn und Verstand“ (Fischer 1985: 249–250) zur Gestaltung zu nutzen sind, werden wahrgenommene Signale zu bedeutungstragenden Strukturen, etwa Anforderungen an eine Lösung, geformt bzw. abstrahiert. Da die Verarbeitung der wahrgenommenen Signale unbewusst bzw. vorbewusst erfolgt, kann dieser Zuweisungsprozess von Bedeutung als unmittelbare Konstruktion der Wirklichkeit durch die wahrnehmende Person bezeichnet werden. Dies entspricht dem Ansatz des konstruktiven Realismus. Wesentlich ist der mit der Strukturzuweisung verbundene Vorgang der Bedeutungsweisung. Bei Design Science-basiertem Vorgehen geschieht dies bei der Bestimmung von Anforderungen und dem Design bzw. der Evaluierung von Artefakten.

Erkenntnistheoretisch wird somit die Grenze des Strukturalismus durch den Bezug zur Pragmatik überwunden, indem die innere Wirklichkeit als Konstrukt über gestaltende Tätigkeit im Sinne der äußeren Wirklichkeit von Dingen erfassbar macht. Folgen wir der semantisch-pragmatischen Kontextualisierung der Signalübermittlung, wie wir sie in Abschnitt 2 anhand des Nachrichtenaustausches gezeigt haben, so stellt die Zielgruppe des Artefakts den Empfänger dar, der im seinem Verhältnis zum Sender (in Design Science-Fall der Designer) den Bedeutungsgehalt der am Artefakt sichtbar gemachten Inhalte fest. Dies geschieht üblicherweise im Rahmen der Evaluierung des demonstrierten Artefakts am Ende eines Design-Zyklus, also in der Design Science-Pragmatik.

Durch die Aktivitäten des Empfängers und der danach anschließenden Bearbeitung der Evaluierungsergebnisse durch den Sender, entweder durch direkte Gestaltung des Artefakts oder Bearbeitung der Anforderungen überwindet dieser Ansatz die strukturalistische Verhaftetheit des konstruktiven

Realismus. Die Strukturbildung im Rahmen der Anforderungsbestimmung und der Gestaltung des Artefakts, und damit die Bedeutungszuweisung ist ein aktiver Wahrnehmungs- und bewusster Generierungsprozess des Artefakt-Nutzers (Empfängers) auf Basis der Signalübermittlung durch den Designer (Sender). Damit gewinnt die innere Wirklichkeit einer Person eine Referenz zur äußeren Wirklichkeit, die sich schließlich im Artefakt manifestiert.

Wesentlich ist in dem Prozess aktives Handeln, der sich in den Design-Zyklen des Vorgehens niederschlägt. Die Strukturen sind in den jeweiligen Handlungsschritten des Gestaltenden und Artefakt-Nutzers definiert. Neben der Erfassung des Anliegens inklusive Zielsetzung sind dies die Beschreibung bzw. Ableitung der Anforderungen, der Artefakt, der Demonstrator und die Evaluierungsergebnisse und schließlich die Dokumentation.

Wenden wir das Schema der Struktur-Funktions-Wechselwirkung zum Verständnis von Bedeutung und ihrer Entstehung an, besteht die Struktur, als Träger der Semantik, aus den geschilderten Abhängigkeiten. Als Ganzheit wird sie in der komplizierten Wechselbeziehung zwischen Struktur und Funktion zu Träger der Bedeutung (siehe Abb. 6). Für die Möglichkeit des Erkennens der Wirklichkeit, der Gewinnung wahrer Aussagen über ihr Sein

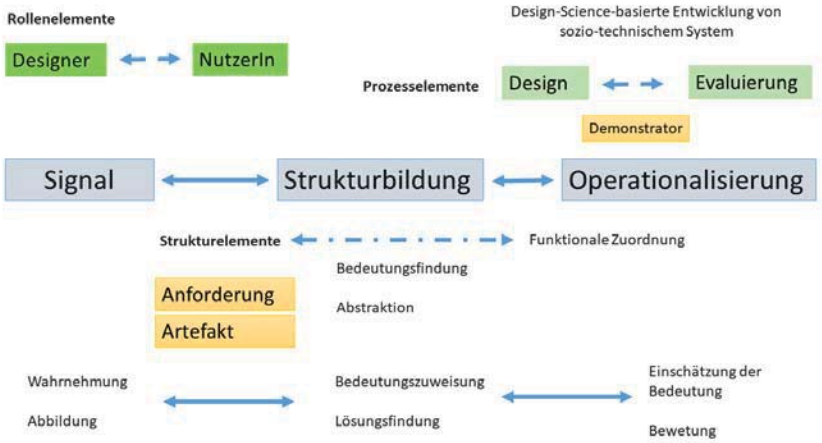


Abb. 6: Funktionalisierung – Struktur-Funktions-Zusammenhang – vermittelt über Bedeutungen, die erst in der Wechselwirkung im Prozess von Informung (Abbildung), Bedeutung und Bewertung entstehen – Design Science-Hyperkreis

Eigene Darstellung

und Werden, bedeutet dies, dass in der praktischen, sinnlichen, die Welt verändernden Tätigkeit, das Ding an sich ein Ding für Lösungssuchende und -nutzende wird.

5 Zusammenfassende Schlussfolgerung

Wenn wir die Gestaltung sozio-technischer Systeme aus der erkenntnistheoretischen Sicht bei Design Science-basierter Entwicklung betrachten, so begünstigt sie die Position des konstruktiven Realismus. Die Auseinandersetzung mit der menschlichen Wahrnehmung, die sich auf Abbilder der Realität (im Sinne einer Informung im Rahmen von bedeutungsfindenden strukturbildenden Abstraktionsprozessen bezieht, erlaubt das Erkennen des konstruktiven Anteils bei der Erschließung der Welt-wie-sie-zur-Zeit-ist. Damit werden Anforderungen identifizierbar, die handlungsanleitend bei der Gestaltung, Demonstration und Evaluierung von Lösungsansätzen Wirklichkeiten zwischen Gestaltenden und Lösungsnutzenden schaffen, und somit der agnostizistischem Tendenz des Strukturalismus‘ und einer unabhängig existierenden Realität entgegenwirken, sodass das Wesen von Dingen aktiv erschlossen werden kann.

Strukturen bilden sich nicht nur aus den Beziehungen zwischen den Teilen eines Entwicklungsprozesses und seiner Ergebnisse, sondern bilden auch Ganzheiten im Sinne autonomer Einheiten interner Abhängigkeiten. Diese Einheiten werden zu Trägern von Bedeutung, die in der Wechselwirkung von handelnden Akteuren ihre Funktion am Gestaltungsgegenstand entfaltet und gleichzeitig bewertbar macht. Es ist der wechselseitige Bedingungsprozess von Abbildung (Struktur), Interpretation (Bedeutung) und Bewertung (Funktion, Verhalten), der zur Entstehung von gestaltbaren Artefakten über Information als Träger von Bedeutung für die beteiligten Handlungsträger führt.

Literatur

Brödner, Peter; Fuchs-Kittowski, Klaus (2020): „Vorwort“. Zukunft der Arbeit – Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von „Digitalisierung“ und „Künstliche Intelligenz“, hrsg. Peter Brödner; Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin, 15–17 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 67).

Brügger, Niels; Vigso, Orla (2008): Strukturalismus. Paderborn.

Carlsson, Sven (2010): „Design Science Research in Information Systems: A Critical Realist Approach". Design Research in Information Systems. Theory and Practice, ed. by Alan R. Hevner; Samir Chatterjee. New York u. a. O., 209–233.

Delbrück, Max (1986): Wahrheit und Wirklichkeit. Über die Evolution des Erkennens. Hamburg/Zürich.

Eigen, Manfred (1971): „Selforganization of Matter and the Evolution of Biological Macro Molecules". Die Naturwissenschaften (58/10), 465–523.

Fischer, Peter (1985): Licht und Leben. Ein Bericht über Max Delbrück, den Wegbereiter der Molekularbiologie. Konstanz.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1992): „Reflections on the Essence of Information". Software Development and Reality Construction, ed. by Christiane Floyd; Heinz Züllighoven; Reinhard Budde; Reinhard Keil-Slawik. Berlin u. a. O., 416–432.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1996): „Information neither Matter nor Mind – On the Essence ad on the Evolutionary Stages Concept of Information". World Futures. Journal of General Evolution 50, No. 1–4, 551–570.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1998): „Information und Biologie: Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie". Biochemie, ein Katalysator der Biowissenschaften. Berlin, 5–17 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 22, H. 3).

Fuchs-Kittowski, Klaus; Stary, Christian (2022): „Methoden zur Gestaltung soziotechnischer Informationssysteme". Daten, Information Wissen Computernetze – Essays zur Cyberscience, Wissenschaftsforschung und Informatik, hrsg. Klaus Fuchs-Kittowski. Berlin (im Druck) [zuerst in: Banse, Gerhard; Reher, Ernst-Otto (Hg.): Beiträge zur Allgemeinen Technologie. Berlin 2014, 129–204 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 36)].

Fuchs-Kittowski, Klaus; Tschirschwitz, Reiner; Wenzlaff, Bodo (1977): „Information als Verhältnis zwischen physikalischer Wirkung und Organisation". Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin. Gesellschaftswissenschaftliche Reihe 26/5, 627–636.

Giddens, Anthony (1988): Die Konstitution der Gesellschaft. Grundzüge einer Theorie der Strukturierung. Frankfurt am Main.

Goldkuhl, Göran (2020): „Design Science Epistemology. A Pragmatist Inquiry". Scandinavian Journal of Information Systems 32/1, 39–80.

Habermas, Jürgen (1981): Theorie des kommunikativen Handelns. Bd. 1: Handlungsrationalität und gesellschaftliche Rationalisierung. Frankfurt am Main.

Hevner, Alan R. (2007): „A Three Cycle View of Design Science Research". Scandinavian Journal of Information Systems, 19/2, 87–92.

Hevner, Alan R.; Chatterjee, Samir (2010): „Design Science Research in Information Systems". Design Research in Information Systems. Theory and Practice, ed. by Alan R. Hevner; Samir Chatterjee. New York u. a. O., 9–22.

Hevner, Alan R.; March, Salvatore T.; Park, Jinsoo; Ram, Sudha (2004): „Design Science in Information Systems Research". MIS Quarterly 28/1, 75–115.

Kaar, Claudia; Stary, Christian (2021): „Digital Learning Support for Makers: Integrating Technical Development and Educational Design". Information 12/5 (May), 209. https://doi.org/10.3390/info12050209.

Marx, Karl (1958): [Thesen über Feuerbach] [1888]. Marx, Karl; Engels, Friedrich: Werke. Bd. 3. Berlin, 533–535.

Pape, Bernd; Rolf, Arno (2004): „Integrierte Organisations- und Softwareentwicklung für kooperative Lernplattformen in der Hochschullehre". Wissensprojekte – Gemeinschaftliches Lernen aus didaktischer, softwaretechnischer und organisatorischer Sicht, hrsg. von Bernd Pape; Detlev Krause; Horst Oberquelle. Münster u. a. O., 287–310.

Peffers, Ken; Tuunanen, Tuure; Rothenberger, Marcus A.; Chatterjee, Samir (2007): „A Design Science Research Methodology for Information Systems Research". Journal of Management Information Systems 24/3, 45–77.

Piaget, Jean (1936): Origins of Intelligence in the Child. London.

Piaget, Jean (1957): Construction of Reality in the Child. London.

Stary, Christian; Fuchs-Kittowski, Klaus (2020): „Zur Wiedergewinnung des Realismus als notwendige Grundlage einer am Menschen orientierten Informationssystemgestaltung und Softwareentwicklung". Leibniz Online. Zeitschrift der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin e.V. 41. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2020/12/03_Stary_Fuchs_Realismus-v2_rh-fk-cs_rh-cs.pdf.

Stent, Gunter S. (1986): „Einleitung und Übersicht". Wahrheit und Wirklichkeit. Über die Evolution des Erkennens, hrsg. von Max Delbrück. Hamburg/Zürich, 11–34.

Völz, Horst (2017): Das ist Information. Aachen.

Völz, Horst (2018): Wie wir wissend wurden – Nicht alles ist Information. Aachen.

Zorn, Werner (2016): „Von der Nützlichkeit verständlicher Begriffsdefinitionen am Beispiel ‚Information'". Informatik und Gesellschaft Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, Frank Fuchs-Kittowski; Werner Kriesel. Frankfurt am Main, 39–53.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 103–123*

Klaus Kornwachs

Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens – Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information*

Abstract

The concept of Pragmatic Information arose from the operational view, according to which information that is received has an effect. This "effect" is to be understood in general terms and depends on which system description one chooses. Pragmatic information is conceptualized as a generalized product of firstness and confirmation, which as a perspectival quantity can only be determined system-specifically. In the context of physical systems, one can use the notion of pragmatic information to model the effect on a receiving system. The physically possible observation of changes in structures and/or behavior is in turn describable as information (output) and as recorded observation it can be interpreted as writing.

Keywords/Schlüsselwörter

General systems theory, Information, Physical interaction, Pragmatic information, Reading and writing of symbols, System description

Allgemeine Systemtheorie, Information, Lesen und Schreiben von Symbolen, Physikalische Wechselwirkung, Pragmatische Information, Systembeschreibung,

1 Einleitung

Es ist immer noch festzustellen, dass die herkömmlichen Disziplinen der Wissenschaften erhebliche Schwierigkeit haben, die alltägliche Tatsache erklären zu können, warum und wie Information eine Wirkung ausübt, sei dies in struktureller, in kognitiver, in biologischer oder in soziologischer Hinsicht. Da es in der Tat unmöglich ist, diese vier angedeuteten Aspekte auf eine allein, z. B. auf die physikalische Beschreibungsebene zu reduzieren (vgl. Lucadou/Kornwachs 1983), ist es methodologisch sicher gerecht-

* Vgl. als Langfassung mit ausführlicher Literatur Kornwachs 2022.

fertigt, sich zunächst auf die „einfache“ Ebene des Problems zu begeben und nochmals nachzufragen, inwiefern das, was wir Information nennen, ganz allgemein in der Lage ist, auf Systeme, d. h. systemtheoretisch beschreibbare Objekte oder Gegenstandsbereiche, eine Wirkung auszuüben. Diese Wirkung muss im Sinne einer im Kontext der Systembeschreibung beobachtbare, und damit letztlich „messbare“ Veränderung, sein. Dies korrespondiert am ehesten mit der strukturellen und mit der systemtheoretischen Sichtweise, die nicht physikalistisch konzipiert sein soll, aber durchaus eben als interessanten Spezialfall auch physikalisch beschreibbare Gegenstandbereiche umfassen kann.[1]

Es hat viele Versuche gegeben, die Vielfalt des Informationsbegriffs sowohl historisch (vgl. Ott 2004) und philosophisch (vgl. Capurro 1978, 1996) wie vereinheitlichend darzustellen (vgl. Fuchs/Hofkirchner 2002; Völz 1983, 1996). In der Tat haben sich die Anwendungen eines naturalisierten Informationsbegriffs, vor allem im Zusammenhang von Evolution (Entstehen von Information) und Thermodynamik und Entropie (Entstehen von Strukturen fern vom thermodynamischen Gleichgewicht) in diesen Disziplinen nützlich erwiesen.[2]

Es hat sich aber gezeigt, dass Bedeutungsaspekte und ebenfalls pragmatische Aspekte der Information sich nicht auf einen syntaktischen oder statistischen Informationsbegriff reduzieren lassen, der im Kontext physikalischer Systeme verbleibt (vgl. Zoglauer 1996[3]).

Der Begriff der Pragmatischen Information[4] entstand aus einer strikt operationalen Sichtweise, wonach Information, die rezipiert wird, eine beim Empfänger beobachtbare Wirkung hat. Diese Wirkung wird zunächst systemtheoretisch verstanden, dann erst ist eine Spezifizierung für physikalische, biologische oder kognitive Gegenstandsbereiche möglich.

---

1 Darunter verstehen wir nicht die soziologische Systemtheorie (vgl. Luhmann 1984), sondern die Allgemeine Systemtheorie im Sinne von Karl Ludwig von Bertalanffy (vgl. Bertalanffy 1973), George J. Klir (vgl. Klir 1969, 1985) und Mihajlo D. Mesarovic (vgl. Mesarovic 1972). Ein Spezialfall dieser Theorie ist die Regelungstheorie (vgl. z. B. Padulo/Arbib 1974). Alle neueren Darstellungen bauen letztlich auf diesen mathematischen Konzepten auf.

2 Vgl. für die Evolution Eigen/Schuster 1979, für die Thermodynamik Prigogine 1972, für den Bereich der Synergetics Haken1978; vgl. auch für die Informatik Fuchs-Kittowski 1997.

3 Naturalismus ist nicht mit Physikalismus zu verwechseln (vgl. dazu Filk/Römer 2011; Römer 2020); zum hypothetischen Zusammenhang von Information und Energie vgl. Ising 2018.

4 Zur Begriffs- und Entstehungsgeschichte der Pragmatischen Information vgl. Gernert 2006. Ein objektivistischer Standpunkt, wonach es eine Relation zwischen Zeichen und Wirklichkeit unabhängig vom Beobachter geben würde (vgl. Oller 2011), wird hier verneint.

Eine solche Spezifizierung wird am Ende dieses Beitrags lediglich für physikalische Gegenstandsbereiche vorgenommen.[5] Sowohl Senden wie Empfangen sind bei physikalischen Gegenstandbereichen, wenn sie im Zusammenhang mit Information systemtheoretisch modelliert werden sollen, mit „Schreiben" und „Lesen" verbunden. Hier wird der Zusammenhang von Gegenstandbereichen, die mit Zeichen zu tun haben (z. B. informationsverarbeitende Systeme), und Gegenstandbereiche, in denen ratenabhängige Prozesse ablaufen, thematisiert.

2 Information ist noch kein Wissen – Information als perspektivischer Begriff

In der Informationstheorie sind die Versuche erfolglos geblieben, von der syntaktischen Ebene Schlüsse auf der semantischen oder gar pragmatischen Ebene zu ziehen. Die Versuche in der Linguistik, aus formalen grammatikalischen Analysen (z. B. der Chomsky-Grammatiken) eine Semantik oder gar Pragmatik einer Sprache abzuleiten, sind ebenfalls nicht erfolgreich gewesen (vgl. Montague 1974 oder schon früher Bar-Hillel/Carnap 1953). Die Semantik ist aus der Syntax nicht deduzierbar. So ist es auch nicht möglich, die Spezifität von Bedeutung oder Wirkung für konkret vorliegende Information in gegebener Rezeptionssituation allein aufgrund der Analyse einer vorliegenden Botschaft vorherzusagen.[6]

Als Konsequenz aus dieser Einsicht hat es Bemühungen gegeben, die Bedeutungshaltigkeit einer Information nicht aus der statistischen Analyse der Botschaft, sondern aus ihrer beobachtbaren Wirkung heraus zu erschließen. Damit wurde auch das Einbahnstraßenmodell des Kanals zwischen Sender und Empfänger zu einem Kreismodell erweitert. Der Sender wird zum Empfänger, da er die Wirkung seiner gesendeten Information beim Empfänger beobachtet, und der Empfänger wird zum Sender, indem er seine Wirkung so zeigt, dass sie beim Sender beobachtbar ist.[7]

Mit dieser Vorstellung wurde eine Verbindung zwischen der Regelungstheorie, die das Feedback betrachtete, und der Informationstheorie geschaf-

---

5 Leider sind diese Ansätze seit den 1990er Jahren nicht mehr im nennenswerten Umfang weitergeführt worden (eher auf der Ebene statistischer Maße verbleibt Graben 2006). Daher wird auf zum Teil weiter zurückliegende Literatur Bezug genommen.

6 Darauf hat schon Friedhart Klix hingewiesen (vgl. Klix 1973).

7 Die erste Erwähnung findet sich bei Heinz Zemanek (vgl. Zemanek 1959: 18); erste Ansätze finden sich bei Peter Gäng (vgl. Gäng 1967), dann bei Carl Friedrich von Weizsäcker (vgl. Weizsäcker, CF 1972) und Ernst Ulrich von Weizsäcker (vgl. Weizsäcker, EU 1972, 1974).

fen, die sich auf den formalen Apparat der Systemtheorie verallgemeinern ließ.[8] Der Effekt der Information auf ein System wurde damit wieder physikalisch, aber auch im Bereich der Biologie interessant, da in dieser Sichtweise Informationen im Sinne strukturierter Wechselwirkungen zwischen Systemen als mögliche Ursachen für den Aufbau von Strukturen, seien sie topologischer, prozessualer oder funktionaler Art, vermutet werden konnten. Hinzu kam, dass im Rahmen der Evolutionstheorie die Ausbildung neuer reproduktionsfähiger Strukturen (sprich Organismen) als Informationsentstehung verstanden werden konnte.[9]

Konferenzen der letzten Jahrzehnte versuchten, einen interdisziplinär akzeptablen Begriff von Information herauszuarbeiten.[10] Ein Blick auf die Diskussionen zeigt, dass Information im Sinne der Fragen von „wieviel", „über was", „für wen" letztlich ein perspektivischer Begriff ist. Das heißt, dass solche Fragen ohne die Miteinbeziehung des Systems, indem insbesondere der Empfänger neben dem Sender, dem Kanal und dem Rückkanal eine spezielle Rolle spielt, nicht beantwortet werden können.

3 Pragmatische Information

3.1 Information und System

Die beiden Weizsäckerschen Hauptsätze der Pragmatischen Information lauten:

> „Information ist, was verstanden werden kann."

und

> „Information ist, was Information erzeugt." (Weizsäcker, CF 1971: 351f.)

Das klassische Modell der Informationsübertragung, ausgehend von einem Sender, der einen Inhalt (Wissen I) codiert und in Information ausdrückt und als Botschaft (message = Zeichenreihe) codiert und der Empfänger, der die Botschaft empfängt, decodiert und dann durch Prozesse interpretiert, was dann zur Bildung von Wissen II führt, wird erweitert nach Abbildung 1: Der

---

8 Einen Überblick geben Gernert 2004 sowie Atmanspacher et al. 1992; für die Gebiete Biologie und Physik vgl. Roederer 2016.

9 Im Rahmen der Biophysikalischen Chemie vgl. Eigen 1972 sowie Eigen/Schuster 1979, systemtheoretisch vgl. Pattee 1977, in Bezug auf Pragmatische Information vgl. Schweitzer 1999, von informationstheoretischer Seite vgl. Fuchs-Kittowski 1998, 2017.

10 *Pars pro toto*: Leopoldina, Halle 1972; Physics and Computation, MIT 1982; Ganzhorn-Symposium, Neuenahr 1984; Bertelsmann-Symposium, Bremen 1990; Physics and Computation, Dallas 1992; 125th Seminar of Haereus Foundation on Information, Cottbus 1994.

Empfänger reagiert (verhält sich, handelt) aufgrund von Wissen II. Dieses Verhalten soll im einfachsten Fall für den Empfänger beobachtbar sein. Der Empfänger wird dadurch zum Sender einer Information, die der Sender, nun als Empfänger, decodiert, interpretiert. Damit kann er seine intendierte Botschaft (Wissen I) mit dem interpretierten Verhalten des Empfängers (Wissen II interpretiert durch den Sender) vergleichen und daraus den Schluss ziehen, ob seine Botschaft verstanden worden ist oder nicht.

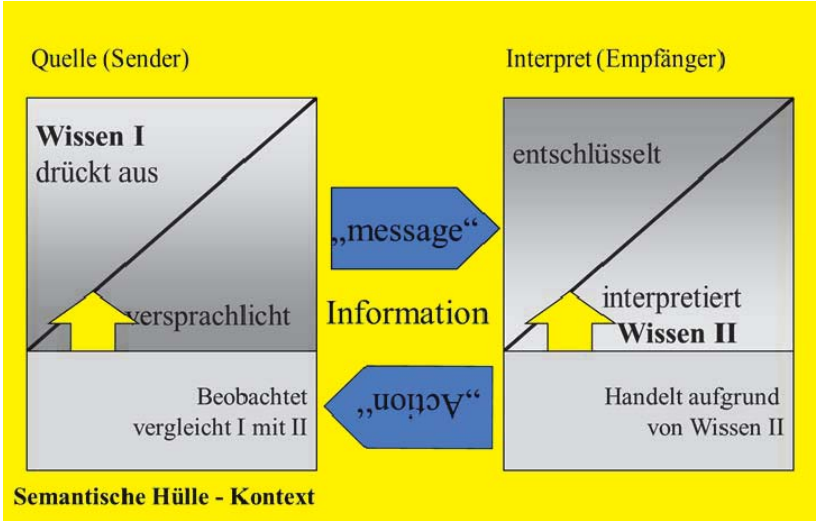


Abb. 1: Pragmatisches Modell der Kommunikation (direkt)
Eigene Darstellung

Dieses fast triviale Modell setzt eine ganze Reihe nicht-trivialer Bedingungen voraus: Die wichtigste ist die Existenz einer sog. semantischen Hülle. Dies besagt, dass die Interpretation der jeweiligen Botschaften (direkte Botschaft und Botschaft durch die Reaktion vermittelt) im gleichen Kontext, d. h. in etwa dem gleichen Vorwissen interpretiert werden muss.

Das Konzept der Pragmatischen Information versucht nun, zunächst ein qualitatives Maß dafür zu entwickeln, inwiefern die Botschaft des Senders verstanden worden ist. Dazu ist es erforderlich, den Empfänger von Seiten des Senders, der ja eine Reaktion des Empfängers erwartet, zu beschreiben. Dies tun wir an dieser Stelle, indem wir generalisierend, d. h. unabhängig von den unterschiedlichen Gegenstandbereichen und Kontexten, den Emp-

fänger als ein formales System beschreiben, das sich aus Elementen zusammensetzt und das durch deren Elementarverhalten, durch die Beziehungen zwischen den Elementen, die Struktur, und dem Gesamtverhalten charakterisiert werden kann. Wir behandeln damit Pragmatische Information weder naturalisierend noch soziologisch oder physikalisch, sondern als perspektivische deskriptive Größe anhand von Systembeschreibungen. Wir umgehen damit die Fallstricke von „ontological committements".

Eine Reaktion des Empfängers kann dann darin bestehen, dass sich sein Gesamtverhalten ändert im Gegensatz zum erwarteten „Normalverhalten" oder dass sich das Verhalten der Elemente verändert oder sich sogar die Struktur ändert.

Wenn man die mengentheoretisch konzipierte probabilistische Informationstheorie in Betracht zieht, würde das Gesagte bedeuten, dass Information als eine wirkende Größe beobachtet werden kann, die die Wahrscheinlichkeitsverteilung von Prozessen verändert, indem sie innerhalb n-facher Alternativen neue Alternativen aufbaut, hinzufügt oder eliminiert.

3.2 Erstmaligkeit und Bestätigung

Der Sender kann nicht entscheiden, ob seine Botschaft beim Empfänger angekommen und „verstanden" worden ist, wenn er weder eine Verhaltensänderung noch eine Strukturveränderung beobachten kann – „es tut sich nichts", würde man umgangssprachlich sagen. Das heißt, der Empfänger verhält sich wie gewohnt, er bestätigt die bisherige Kenntnis über sein Verhalten. Das Maß für die Bestätigung könnte man damit auf 1 normieren. In diesem Fall ist das Maß für die Pragmatische Information, die der Sender abgegeben hat, bezüglich des Empfängers Null, da keine Wirkung zu beobachten ist. Das andere Extrem wäre, dass der Empfänger sich vollkommen stochastisch verhält, also jede seiner beobachtbaren Veränderungen überraschend ist, weil sie nicht in ein Muster passen. In diesem Fall wäre die Erstmaligkeit oder Überraschung maximal und käme damit einem weißen Rauschen gleich. Auch dann wäre bezüglich der Pragmatischen Information das Maß ein Nullwert, man würde daraus schließen müssen, dass die „gesendete Information" nicht verstanden worden ist. Das bedeutet auch, dass die Bestimmung, welches Maß an Pragmatischer Information in einer Botschaft oder Signalfolge gelegen haben könnte, immer eine posthoc-Bestimmung durch die Empfängerreaktion sein kann. Geht man vom Diktum aus, dass eine Messung erst dann einen Wert ergibt, wenn die Messung abgeschlossen ist, ist es ontologisch gesehen sinnlos zu sagen, die Signalfolge habe schon vor dem Empfang eine Pragmatische Information enthalten.

Eine Reaktion des Empfängers ist dann beobachtbar, wenn man Differenzen zu Verhalten und/oder Struktur über eine gewisse Mindestzeit festgestellt kann. Die Forderung der temporären Irreversibilität bedeutet auch, dass diese Veränderungen zumindest metastabil irreversibel sein müssen.[11]

In qualitativer Schreibweise wurde als ein Maß für die Wirksamkeit der Pragmatischen Information eine Verbindung aus Erstmaligkeit und Bestätigung vorgeschlagen. Die erste Vermutung über diese Verknüpfung war, falls quantitativ überhaupt ausdrückbar, eine Multiplikation.

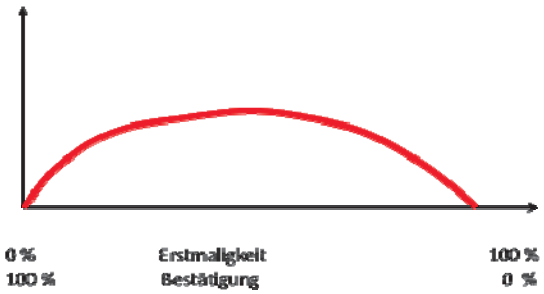


Abb. 2: Maß für die Pragmatische Information $PI = E \bullet B$

Schematische Darstellung, mit hypothetischem Maximum – Erstmaligkeit und Bestätigung erscheinen hier noch reziprok.

Quelle: Adaptiert aus Weizsäcker, EU 1974: 99; dort ist das Maximum „offen“ gelassen

In den Grenzfällen vollkommener Bestätigung und keiner Erstmaligkeit sowie maximaler Erstmaligkeit und fehlender Bestätigung wäre das Maß für die Wirksamkeit der Pragmatischen Information Null. Wenn die Kurve dazwischen nicht trivial sein soll, muss sie mindestens ein Extremum haben, das nicht unbedingt in der Mitte der Skala liegen muss. Wir nehmen an, dass dieses Maximum positiv definit ist (siehe Abb. 2). Ernst Ulrich von Weizsäcker hat sein Modell erweitert zur einer nach oben offenen Erstmaligkeit, dies würde dann der Darstellung in Abbildung 3 entsprechen.

11 Vgl. zur Abschätzung für solche Minimalzeiten und Modelle für irreversible Verhaltensänderungen Kornwachs 1987: 409, und dort Endnoten 29 bis 30, 499f.

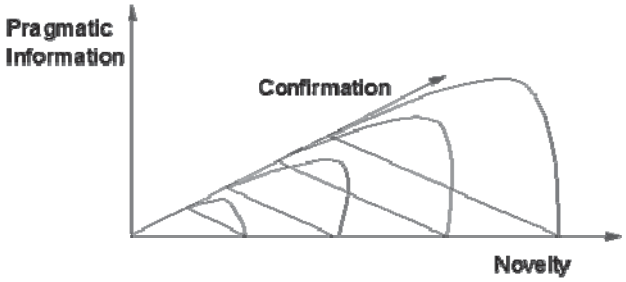


Abb. 3: Pragmatische Information mit unbegrenzter Erstmaligkeit und nicht-reziproker Bestätigung

Quelle: nach Weizsäcker/Weizsäcker 1984a, b: 176

Man könnte damit eine Prototheorie der Pragmatischen Information damit beginnen, dass man postuliert:

1. Das Maß der Auswirkung auf ein Empfängersystem hängt ab von der Zusammensetzung aus Erstmaligkeit E und Bestätigung B als notwendige Bedingung

   $PI = \boldsymbol{F}\ (E \bullet B)$
   mit $E \bullet B \neq B \bullet E$ (Gl. 1)

   und mit einer noch näher zu bestimmenden Funktion $\boldsymbol{F}$ und einem Verknüpfungsoperator „ • “. Die Verknüpfung hängt von der spezifischen Systembeschreibung und Erwartungen des Senders ab und ist, als Hypothese, nicht kommutativ.[12]
2. Die Auswirkung einer Information auf einen Empfänger (System) als Maß für die Effektivität der Pragmatischen Information *Eff (PI)* kann man nur durch Änderungen in seiner Veränderung der Struktur ΔS und/oder in einem Verhalten ΔV erfassen, also

   $Eff\ (PI) = \Delta V \otimes \Delta S$
   mit $\Delta V \otimes \Delta S \neq \Delta S \otimes \Delta V$ (Gl. 2)

   und einem weiteren, noch näher zu bestimmenden Verknüpfungsoperator „$\otimes$“. Die Verknüpfung hängt von der spezifischen Systembeschreibung des Empfängers ab und ist, als Hypothese, ebenfalls nicht kommutativ.

12 Das bedeutet in operativer Schreibweise, dass die Bestimmung der Erstmaligkeit und Bestätigung je nach Reihenfolge der Bestimmung nicht zu identischen Ergebnissen führen kann.

Wenn wir die Bestimmung der Veränderung von Struktur ΔS und Verhalten ΔV als Operatoren auffassen, die bezeichnen, welche Beobachtungen bzw. Messungen man am System vornehmen kann, so kann man die Erstmaligkeit und die Bestätigung auf folgende Weise bestimmen:

Es seien

die erfolgte Verhaltensänderung	ΔV	=	$V_{vorher} - V_{nachher}$
die erwartete Verhaltensänderung	ΔV_r	=	$V_{vorher} - V_{nachher,\ r}$
die erfolgte Strukturänderung	ΔS	=	$S_{vorher} - S_{nachher}$
die erwartete Verhaltensänderung	ΔS_r	=	$S_{vorher} - S_{\ nachher,\ r}$

Mit d als einem von der Systembeschreibung abhängigen Differenzmaß[13] wird das Maximum über alle Erwartungen r gesucht, so dass sich die Erstmaligkeit bestimmen lässt zu

$$E = max_r \langle d(\Delta V, \Delta V_r); d(\Delta S, \Delta S_r) \rangle \qquad \text{(Gl. 3)}$$

Mit d als einem wiederum von der Systembeschreibung abhängigen Differenzmaß wird das Minimum über alle Erwartungen r gesucht, so dass sich die Bestätigung (normiert auf 1 als volle Bestätigung) bestimmen lässt zu

$$M = 1 - min_r \langle d(\Delta V, \Delta V_r); d(\Delta S, \Delta S_r) \rangle \qquad \text{(Gl. 4)}$$

Verknüpft man die beobachtbare Wirkung der Pragmatischen Information von Gl. 2 $Eff(PI) = \Delta V \otimes \Delta S$ mit den Voraussetzungen von Erstmaligkeit und Bestätigung von Gl. 1, also $PI = \boldsymbol{F}(E \bullet B)$, also

$$Eff(PI) = \Delta V \otimes \Delta S = Eff(\boldsymbol{F}(E \bullet B) \qquad \text{(Gl. 5)}$$

dann ist die Pragmatische Information von beiden Seiten bestimmbar: Der erste Term in Gl. 5 besagt, dass sich das Ausmaß der Wirkung der Pragmatische Information anhand von Struktur und/oder Verhaltensänderung bestimmen lässt (Gl. 2), und der zweite Term der Gleichung Gl. 5 sagt, dass die Pragmatische Information vom Sender ausgesehen eine bestimmte Funktion von feststellbarer Erstmaligkeit und Bestätigung erfüllen muss. Dies wird als notwendige Voraussetzung einer Wirkung beim Empfänger angesehen. Die obige Gleichung Gl. 5 aus Gl. 1 und Gl. 2 wäre dann ein Idealfall, wenn man bei Kenntnis von Erstmaligkeit und Bestätigung die Wirkung auf den Empfänger abschätzen könnte. Damit bleibt die Aufgabe der näheren Bestimmung der Funktion ***F*** für jede spezielle Systembeschreibung.

---

13 Gernert hat für verschiedene Systemtypen, für Strukturen und Zeitreihen Differenz- und Ähnlichkeitsmaße angegeben, die je nach Systembeschreibung angewendet werden können (vgl. Gernert 2011).

3.3 *Einige Konsequenzen des Ansatzes*

Man kann die Konsequenzen dieser Sichtweise kurz so zusammenfassen: Sich verändernde Systeme sind Quellen von Information. Information und System sind zwei sich bedingende Weisen der Beschreibung. Konsequenterweise kann Pragmatische Information daher Systeme aufbauen (Biologie, Organisation, Systemstrukturen), aber auch abbauen (zerstören).

Ist das System aus dem physikalischen Gegenstandsbereich, kann man versuchen, der Pragmatischen Information eine Wirkung zuschreiben. Ist damit Information eine wirkende Entität im physikalischen Sinne? Im Rahmen der Physik kann man unter bestimmten Bedingungen diesen Ansatz wählen. Dies wird weiter unten durchgeführt. Generell gilt jedoch, dass wenn Information ein perspektivischer Begriff ist, der von der gewählten Systembeschreibung abhängt, er nicht verallgemeinert in eine Reihe der Begriffe von Materie und Energie gestellt werden kann. Er stellt vielmehr eine beschreibungsabhängige Strukturgröße eines als Systems beschreibbaren Gegenstandsbereichs dar, der sich verändern kann. Somit ist auch nicht zu erwarten, dass Information – wie physikalisch auch immer definiert – eine Erhaltungsgröße wäre.[14]

4 Der Empfänger – das unbekannte Wesen

4.1 *Die Wirkung im empfangenden System*

Aus der Systemtheorie ist bekannt, dass man aus dem Verhalten der Elemente und der Struktur in idealen Fällen (z. B. eine elektronische Schaltung) das Gesamtverhalten ausrechnen kann. Aus dem Verhalten kann man aber nicht ohne weiteres auf die Struktur schließen.[15]

Bisherige Modelle sehen die Beeinflussung eines Systems durch Information (oder besser durch ein Signal, eine Störung oder eine Regelgröße) darin, dass das System in einen anderen Zustand übergeht, was es bei Nichtvorliegen dieser äußeren Bedingung nicht tun würde. Die Zustände, die angenommen werden können, liegen jedoch durch die Definition des Zustandsraums fest. Man denke an ein elektrisches Schaltwerk, das durch elektrische Impulse in Schwingungen versetzt wird. Von diesen Gegebenheiten ist die

---

14 Auch ist die Gleichsetzung von thermodynamisch definierter Entropie und dem Informationsmaß von Claude E. Shannon als „Negentropie“, welches er ebenfalls wegen der formalen Ähnlichkeit auf Vorschlag von Norbert Wiener „Entropie“ nannte, bis auf einen Faktor und ein Vorzeichen, nur unter ganz bestimmten speziellen Bedingungen möglich (vgl. Hägele 1998, 2004: 5; Lyre 2002; Weizsäcker, CF 1974).

15 Zum Formalismus vgl. Kornwachs 1996: 183 Appendix.

Systemtheorie früher vornehmlich ausgegangen: alles, was eine Zustandsänderung bewirkte, war vermöge der autonomen Dynamik des Systems oder durch äußere Einflüsse interpretiert zustande gekommen. Diese äußeren Einflüsse nannte man kurzerhand und irreführenderweise Nachricht oder gar Information (Beispiel: Schieberegister).

4.3 Beschreibung der Veränderungen

Wie kann man Strukturveränderungen ΔS quantitativ ausdrücken? Dies ist eine erste Annäherung an die Weise, wie man die Terme in Gl. 3 und Gl. 4 im konkreten Fall bestimmen könnte.[16]

Man kann also konsequenterweise zulassen, dass Information die Struktur des Empfängers verändert. In der kybernetischen Lernmatrix wurde schon früh gerade durch die Bildung assoziativer Verknüpfungen (assoziative Netze) die Rezeption solcher Information modelliert (vgl. Steinbuch 1961).[17] Bei diesen Strukturveränderungen sind zwei Strukturbegriffe zu unterscheiden:

- Struktur der Verknüpfung zwischen Subsystemen innerhalb eines Systems.[18] Eine Änderung der Struktur durch die Rezeption von Pragmatischer Information führt zu den Problemen der unvollständigen Beschreibung bei komplexen Systemen (vgl. Kornwachs/Lucadou 1982, 1984). Beispiele wären das biologisches Wachstum aufgrund der genetischen Information oder der Aufbau und Zerfall von Organisationen.
- Struktur der Zustandsüberführungsfunktion; bei Automaten ist die dies State-transition-matrix. Eine Änderung dieser Struktur führt unmittelbar zu einer direkten Verhaltensänderung resp. zur Generierung eines „neuen“ Verhaltens.

Es bieten sich folgende Möglichkeiten an:

- Vergleich von Topologien (Element – Verbindung) mit und ohne Rezeption von Pragmatischer Information PI durch graphentheoretische Methoden, z. B. Graphgrammatiken (vgl. Gernert 2006);
- Entstehen / Hinzufügen neuer Elemente oder Ejektion bisheriger Elemente;[19]

16 Zum Formalismus sei auf Kornwachs 2022 verwiesen.
17 Günter Palm spricht von „Assoziativen Netzen“ (vgl. Palm 1981).
18 Sogenannte „UC-Struktur“ (vgl. Klir 1969: 69).
19 In der Diskussion wurde zurecht darauf hingewiesen, dass man bei einer mengentheoretisch basierten Systemdefinition, wie sie hier in Übernahme von Mesarovic verwendet wird (vgl. Mesarovic 1972), dynamische Mengen definieren müsste, bei denen Elemente hinzukommen und weggehen. Da bedeutet, dass man in dem Tupel der Systembeschrei-

- Auf- und Abbau von Relationen;
- nicht auf Turing-Maschinen (vgl. Turing 1937) emulierte, sondern echte, dezidierte Neuronale Netze und die Beobachtung der Ausbildung von neuen Attraktoren.[20]

Wie kann man Verhaltensänderungen ΔV quantitativ ausdrücken? Hier bieten sich folgende Möglichkeiten an: Die Verteilung der Erwartungswahrscheinlichkeiten ist einmal möglich, indem neue einzelne Alternativen aufgebaut oder eingeführt werden oder indem die Verteilungen selbst geändert werden. Dies entspräche auch hinsichtlich der Transinformation einer Änderung der Kanalkapazität. Wird die Kanalkapazität zu Null, wird eine „Verbindung" innerhalb eines Systems abgebaut. Dies entspricht also auch einer Strukturveränderung des Systems (vgl. Kornwachs/Lucadou 1984). Dann könnte man so vorgehen:

- Vergleich der statistischen Verteilung des Blackbox Outputs mit und ohne Empfang der Pragmatischen Information;[21]
- bei analogen Signalen: Least Square Analysen mit vollständigen Funktionensystemen, Fourieranalysen und entsprechende Koeffizientenvergleiche;
- operativ-handlungstheoretisch: Veränderung von Handlungsmustern (Intention, Illokution, veränderte oder neue operative Klassen);
- Strukturveränderung (siehe oben), die zu Verhaltensänderung führen können, aber nicht müssen.

Die Änderung des Verhaltens eines Systems aufgrund der Rezeption von Pragmatischer Information kann man klassifizieren, je nach dem, in welchem Gegenstandbereich man sich befindet,

---

bung $S = \{\alpha, \phi, \sigma, \pi, T\}$ das Verhalten der Elemente $\phi(t)$, die Struktur $\pi(t)$ und die Konsistenz der Subsysteme $\sigma(t)$ als zeitabhängige Größen auffassen muss. Das bedeutet, dass man die Zugehörigkeitsrelation zu Mengen dynamisch konzipieren müsste. Solche Mengendefinitionen sind mit bisher noch nicht bekannt. Vielleicht ist das auch ein Grund zu sehen, dass wir hier noch viel zu klassisch denken.

20 Zuweilen wird dies bei Neuronalen Netzen auch als „Lernen" bezeichnet (vgl. Haken 1988, Kap. 12, insbes. 163ff.).

21 Wird der Empfänger beobachtet, wie er auf ein Signal reagiert, kann er als (weiteren) Kanal aufgefasst werden, und man registriert den Unterschied zwischen dem erwartbaren Verhalten des Kanals (Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen Zuständen) vor und nach dem Empfang einer „Botschaft". Diese Differenz wird in Differenzen zwischen statistischen Verteilungen ausgedrückt, und dies entspricht dem Transinformationsbegriff bei Claude E. Shannon und Warren Weaver (vgl. Shannon/Weaver 1976). Allerdings verbleibt der Ansatz auf der statistischen Ebene (vgl. Weinberger 2001, Fig. 1).

- nach dem Aufbau neuer Verhaltensweisen – dies würde dem assoziativen Lernen resp. dem bedingten Reflex entsprechen,
- nach dem Aufbau bzw. der Konstruktion neuer Zustandsüberführungsfunktionen[22] und
- nach der Änderung der konkreten Trajektorienkonfiguration (Bahnen) im Zustandsraum in Abhängigkeit von den Anfangs- und Randbedingungen.

Es ist nochmals festzuhalten, dass die einzelnen Komponenten der Pragmatischen Information wie Erstmaligkeit und Bestätigung für sich allein keine Wirkung auf ein System ausüben. Vielmehr machen beide (unter Annahme eines verallgemeinerten Produktansatzes $B = E \bullet B$) die Pragmatische Information aus, die eben durch die Wirkung auf ein System erst gekennzeichnet ist. Insofern ist Pragmatische Information keine Shannonsche Information.[23]

5 Bedingungen der Rezeption (Lesen) und Speichern (Schreiben) von Zeichen

5.1 Die physikalische Betrachtungsweise

Unter den bisher in Kapitel 4 gemachten Voraussetzungen betrachten wir den Informationsprozess auf Seiten des Empfängers. Wir gehen vereinfachend davon aus, aus der Informationsfluss durch einen wie immer auch gearteten Kanal (siehe Abb. 1) einen Trägerprozess mit mindestens einer modellierbaren observablen Variablen geschieht. Auf der Ebene der Signalverarbeitung ist dies zum einen eine stückweise durchgeführte Serien-Parallel-Transformation (Senden – Speichern – Senden) von Zuständen durch den ebenfalls als System aufgefassten Kanal, die aber den Kanals als System unverändert lässt.

Die physikalischen Bedingungen der Informationsverarbeitung beziehen sich sowohl auf den Spender, den Kanal und den Empfänger, der wiederum als Sender interpretierbar ist.[24]

---

22 Dies würde beim Computer dem Aufbau neuer Algorithmen und damit einer induzierten Selbstprogrammierung entsprechen. Diese Selbstprogrammierung ist in Strenge mit von Neumann-Maschinen noch nicht realisiert worden; zur Theorie vgl. Neumann 1951. Selbstadaptive Programme rekurrieren lediglich auf endliche vorgegebene Alternativen. Zu angeblich sich selbst aufrufenden Programmen vgl. Kornwachs 1989.

23 Man kann durchaus eine Korrespondenzbeziehung herstellen: Für geeignete Bedingungen und Systembeschreibungen erweist sich der formale Ausdruck des Shannonschen Informationsbegriff als Spezialfalls des Pragmatischen Informationsbegriffs; zu Details vgl. Kornwachs/Lucadou 1982.

24 Es gibt über solche physikalische Bedingungen eine ganze Reihe von Literatur, so zum Beispiel das Sonderheft des „Journal of Theoretical Physics“ (Vol. 21, 1982) der Konfe-

5.2 *Zeichen physikalisch*

Wir stellen zunächst fest, dass metastabile Zustände sich als Speichermöglichkeit für Zeichen eignen, da es immer eine Umwelt gibt, in der sie nicht gespeichert sind. Deshalb ist auch eine absolut stabile, d. h. potenziell für hinreichend lange Zeit unveränderliche Konfiguration nicht zeichenhaltig, da keine Differenz zur Umgebung feststellbar ist.

Ein räumliches Muster als Voraussetzung für ein Zeichen wird letztlich realisiert durch solche metastabilen Zustände des Trägers, diese sind physikalisch unterscheidbar von ihrer Umgebung und diese Unterscheidung soll für eine hinreichend lange Zeit möglich sein. Diese Zeit ist endlich. Es existiert innerhalb eines zeichenhaft interpretierbaren Trägerzustandes eine räumliche Entropiedifferenz zur Umgebung, die invariant ist gegen Spiegelung, Drehung, Vertauschung und Permutation. Diese Operationen verletzten jedoch die Spezifität der als Information zu interpretierenden Struktur und damit die Genuität der Zeichenreihe. Andererseits stellen sie jedoch gerade die Möglichkeit dar, eine räumliche Darstellung neu zu codieren. Die Spezifität und damit die Genuität der Zeichenreihe bleibt für den Empfänger trivialerweise nur dann erhalten, wenn er den Code, d. h. die Abbildung von einem Elementarzeichenrepertoire in ein anderes kennt.

Damit kann die Entstehung eines Signals aus metastabilen Zuständen erklärt werden: Die Oberfläche eines räumlichen Musters wird durch einen Lichtstrahl (oder mittelbar durch das Auge) abgetastet. Aus der räumlichen Darstellung rechts wird eine als Zeichenreihe interpretierbare Zeitreihe und umgekehrt. Dadurch entsteht, vermöge der verschiedenen physikalisch-energetischen Reaktionen, eine Modulation des Strahls durch die Randbedingungen der Oberfläche (siehe Abb. 4). Analoges gilt für das zeitlich nacheinander Auslesen eines Schieberegisters, dessen elektrische Zustände ebenfalls metastabile Zustände darstellen.

Die Bildung von metastabilen Zuständen aufgrund einer eingehenden Information (und hier ist natürlich ausschließlich Pragmatische Information gemeint), setzt ebenfalls wieder eine Serien-Parallel-Transformation voraus (diesmal in der anderen Richtung). Sie muss so bewerkstelligt werden, dass ein physikalisch „formbares“ Medium vorhanden ist, dessen Potenzialkurve U durch äußere Eingriffe geändert werden kann, so dass die Schwelle ΔE

---

renz über „Computation and Physics“. Es weist eine ganze Reihe von interessanten Ansätzen auf. Dabei sind einige von ihnen selbstverständlich und andere noch bei weitem von einer physikalisch reifen Erklärung entfernt. Zur weiteren Diskussion dieser Bedingungen sei auf Kornwachs 2022 verwiesen.

für den metastabilen Zustand groß genug ist, so dass bestimmte Freiheitsgrade des Systems „eingefroren“ werden können. Diesen Vorgang könnte man „Schreiben“ nennen.

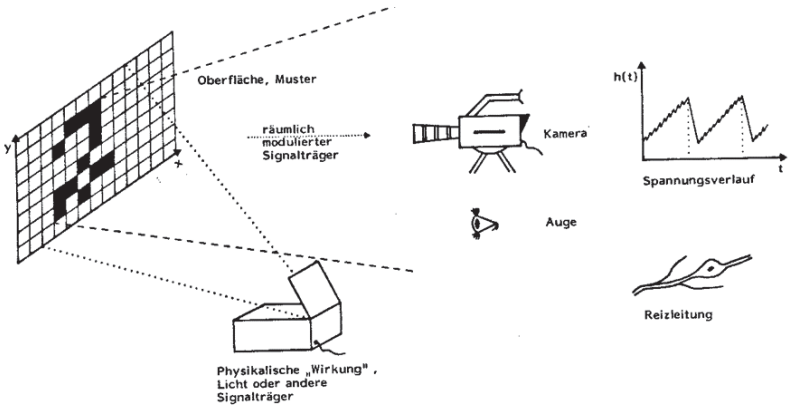


Abb. 4: Modulation eines physikalischen Trägers durch die Randbedingungen einer Oberfläche

Eigene Darstellung

Dieses „Einfrieren“ ist z. B. durch Anlegen von äußeren elektrischen und/oder magnetischen Feldern, durch Katalysieren von Reaktionen etc. möglich (vgl. Enz 1979; Enz/Fricke 1979; Haken 1978, Kap. 9.8) oder auch durch mechanische Einwirkung (beispielsweise Hieroglyphen in Steintafeln). Dieses „Einfrieren“ ist auch die Voraussetzung für das Speichern von Zeichen.

5.3 Information als Randbedingung?

Zeichen stellen im Lesevorgang eine Präparation des „lesenden“ Systems dar, indem sie für den lesenden Trägerprozess und seine Dynamik (d. h. hier die entsprechenden Differentialgleichungen einschließlich der Randbedingungen) die Randbedingungen darstellen. Dies setzt eine irreversible und eine selektive Dynamik voraus, das lesende System muss eine physikalische Realisation eines endlichen Automaten (FSA) sein. Sowohl Computer als auch lebende Zelle erfüllen diese Bedingung, auch wenn sie sonst nicht miteinander vergleichbar sind. Sind sie genügend groß (makroskopisch), können sie die Irreversibilitätsbedingungen erfüllen (vgl. Weizsäcker, CF 1974). Die Größe ist aber keine notwendige Bedingung, wenn ein anderer

Mechanismus für die Realisation der Irreversibilität gefunden werden kann (vgl. Prigogine 1979). Die selektive Signalerkennung setzt eine symbolische, d. h. zeichenhafte Randbedingung voraus, also eine bestimmte Strukturkohärenz und eine Entropiedifferenz.

Man kann nun die einzelnen Schritte der Informationsverarbeitung angeben und interpretieren:

- Schreiben: Präparation des Systems durch Randbedingungen, deren Struktur Systemgesetzen gehorchen.
- Verarbeitung: Diese bedeutet eine Transformation der repräsentativen metastabilen Konfiguration in eine andere.
- Lesen: Messung am benachbarten System: wie ist die irreversible, „eingefrorene“ Auswirkung des eigenen Signals, das das benachbarte System als Randbedingung interpretieren muss.

Die Voraussetzungen hierzu sind generell, dass ein physikalisch mögliches, raumzeitliches Arrangement der Systeme, Prozesse (d. h. Dynamiken) und Randbedingungen getroffen werden kann. Im künstlichen Bereich ist dies der Computer, im natürlichen Bereich ist dies vermöge der Evolution die lebende Zelle – diese beiden scheinen im Augenblick die einzigen physikalischen Realisationen dieser Möglichkeiten zu sein.

6 Wirkende Strukturen

Anwendungen des Pragmatischen Informationsbegriffs finden sich mittlerweile in der Literatur in den unterschiedlichen Gebieten; allerdings wird er entsprechend auch unterschiedlich definiert.

Wissen und Information bleiben unterschiedliche, gleichwohl perspektivische Begriffe und sind in Hinsicht auf die verschiedenen Gegenstandsbereich nur im Rahmen einer allgemeinen künftigen Strukturwissenschaft zu vereinheitlichen. Die Verwendung eines unklaren Informationsbegriffs in Technologie, Soziologie und Ökonomie hat ohne ein tieferes Verständnis dieser Wechselwirkung zwischen System und Pragmatischer Information lediglich metaphorischen Charakter. Der nachrichtentheoretische Informationsbegriff nach Shannon kann zwar als Spezialfall der Pragmatische Information aufgefasst werden; dies gilt aber nur dann, wenn man dezidiert präparierte Systemen wie beispielweise Nachrichtenkanäle beschreibt.

Wenn wir besser verstanden haben, wie die Physik des Lesen und Schreibens funktioniert, was dem Steuern und Beobachten realer Konfigurationen z. B. in der Produktionstechnik oder der Organisation von Dienstleistungen

entspricht, die wir systemtheoretisch beschreiben können, dann können wir vielleicht auch besser beurteilen, welche Methoden und Schritte sich digitalisieren, d. h. durch intelligente Steuerungen unterstützen oder sogar teilweise ersetzen lassen und vor allem welche nicht. Dabei sind vor allem Produktionsprozesse von Interesse, die nicht mehr durch unmittelbar physikalische, sondern zunehmend als symbolische repräsentierte Prozesse gesteuert werden. Man denke nur an die Konzepte der digitalen Zwillinge, die algorithmisch realisierte Modelle der Prozesse in Echtzeit darstellen. Hier ist das Konzept „Industrie 4.0“ wohl erst der Anfang.

Bleibt anzumerken, dass die Qualität der Systembeschreibung, die ja ein Modell repräsentiert, ein notwendiges Kriterium für den Grad des Zutreffens der Aussagen über die Wirkung der Pragmatischen Information ist. Die Aussage, die aufgrund der Pragmatischen Information verstanden wurde, ist dann pragmatisch wahr, wenn der Empfänger der Information im Sinne des Senders adäquat reagiert. Diese Adäquatheit zwischen Intention des Senders und Reaktion des Empfängers garantiert selbstverständlich keine Wahrheit im Sinne einer *adaequatio mentes et rei* (vgl. Thomas von Aquin 1986).

Literatur

Atmanspacher, Harald; Kurths, Jochen; Scheingraber, Herbert; Wackerbauer, Renate; Witt, Annette (1992): „Complexity and Meaning in Nonlinear Dynamic Systems“. Open Systems & Information Dynamics 1/2, 269–289.

Bar-Hillel, Yehoshua; Carnap, Rudolf (1953): „Semantic Information“. British Journal for the Philosophy of Science 4, 144–157.

Bertalanffy, Karl Ludwig von (1973): General System Theory [1968]. Harmondsworth.

Capurro, Rafael (1978): Information. München.

Capurro, Rafael (1996): „On the Genealogy of Information“. Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept, ed. by Klaus Kornwachs; Konstantin Jacoby. Berlin u. a. O., 259–270.

Eigen, Manfred (1972): „Molekulare Selbstorganisation und Evolution“. Informatik, hrsg. von Scharf, Joachim-Hermann. Leipzig, 171–223 (Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Bd. 37/1, Nr. 206).

Eigen, Manfred; Schuster, Peter (1979): The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization. Berlin u. a. O.

Enz, Charles Paul (1979): „Beschreibung nicht-konservativer nicht-linearer Systeme (1. Teil)“. Physik in unserer Zeit 10/4, 119–125

Enz, Charles Paul; Fricke, Jochen (1979): „Beschreibung nicht-konservativer nicht-linearer Systeme (2. Teil)“. Physik in unserer Zeit 10/5, 141–144

Filk, Thomas; Römer, Hartmann (2011): „Generalized Quantum Theory: Overview and Latest Developments“. Axiomathes 21/2, 211–220.

Fuchs, Christian; Hofkirchner, Wolfgang (2002): „Ein einheitlicher Informationsbegriff für eine einheitliche Informationswissenschaft“. Stufen zur Informationsgesellschaft. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Christiane Floyd; Christian Fuchs; Wolfgang Hofkirchner. Frankfurt am Main u. a. O., 241–281.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1997): „Information – Neither Matter nor Mind – on the Essence and on the Evolutionary Stage Conception of Information“. World Futures 50, No. 1–4, 551–570.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1998): „Information und Biologie: Informationsentstehung – eine neue Kategorie für eine Theorie der Biologie“. Biochemie – ein Katalysator der Biowissenschaften. Kolloquium anläßlich des 85. Geburtstages von Samuel Mitja Rapoport. Berlin, 5–17 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 22, H. 3).

Fuchs-Kittowski, Klaus (2017): „Zur Entstehung und Erhaltung von Information in lebendiger Organisation – Grundkategorien einer Theorie der Biologie und der Informatik“. Leibniz Online. Zeitschrift der Leibniz-Sozietät 30, 1–24.

Gäng, Peter (1967): „Pragmatische Informationen“. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft 8, 77–90

Gernert, Dieter (2004): „Formal Treatment of Systems with a Hidden Organizing Structure, with Possible Applications to Physics“. International Journal of Computing Anticipatory Systems 16, 114–124.

Gernert, Dieter (2006): „Pragmatic Information. Historical Exposition and General Overview“. Mind & Matter 4/2, 141–167.

Gernert, Dieter (2011): „Distance and Similarity in Generalised Quantum Theory“. Axiomathes 21, 303–313.

Graben, Peter beim (2006): „Pragmatic Information in Dynamic Semantics“. Mind & Matter 4/2, 169–193.

Hägele, Peter C. (1998): „Strukturbildung, Evolution und die Hauptsätze der Thermodynamik“. Zur Diskussion um Schöpfung und Evolution. Gesichtspunkte und Materialien zum Gespräch, hrsg. von Edith Gutsche; Peter C. Hägele; Hermann Hafner. 4. Aufl. Marburg, 211–291.

Hägele, Peter C. (2004): Was hat Entropie mit Information zu tun? Vortragsmanuskript. Universität Ulm (unveröffentlicht)

Haken, Hermann (1978): Synergetics. An Introduction. Berlin u. a. O.

Haken, Hermann (1988): Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems. Heidelberg u. a. O.

Ising, Hartmut (2018): Information and Energy. – https://www.researchgate.net/publication/347750309_Information_and_Energy; https://figshare.com/articles/dataset/Information_and_energy_pdf/2115400/7.

Klir, George J. (1969): An Approach to General System Theory. New York.

Klir, George J. (1985): Architecture of Systems Problem Solving. New York/London.

Klix, Friedhart (1973): Information und Verhalten. Kybernetische Aspekte der Informationsverarbeitung. Berlin.

Kornwachs, Klaus (1987): Offene Systeme und die Frage nach der Information. Habil.-Schrift. Universität Stuttgart.

Kornwachs, Klaus (1989): „Self-Reference and Information". The Paradigm of Self-Organization, ed. by Gerhard Dalenoport. Amsterdam, 309–321.

Kornwachs, Klaus (1996): „Pragmatic Information and System Surface". Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept, ed. by Klaus Kornwachs; Konstantin Jacoby. Berlin, 163–185.

Kornwachs, Klaus (2022): „Zur Systemtheorie des Lesens und Schreibens – Skizze einer Theorie der Pragmatischen Information". Leibniz Online. Internetzeitschrift der Leibniz-Sozietät (in Vorbereitung).

Kornwachs, Klaus; Lucadou, Walter von (1982): „Pragmatic Information and Nonclassical Systems". Cybernetics and Systems Research, ed. by Robert Trappl. North-Holland/ Amsterdam, 191–197.

Kornwachs, Klaus; Lucadou, Walter von (1984): „Komplexe Systeme". Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität, hrsg. von Klaus Kornwach. Frankfurt am Main/New York, 110–165.

Lucadou, Walter von; Kornwachs, Klaus (1983): „The Problem of Reductionsm from a System Theoretical Viewpoint – How to Link Physics and Psychology". Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie 14/2, 338–349.

Luhmann, Niklas (1984): Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. Frankfurt am Main.

Lyre, Holger (2002): Informationstheorie. Eine philosophisch-naturwissenschaftliche Einführung. München.

Mesarovic, Mihajlo D. (1972): „A Mathematical Theory of General Systems". Trends in General Systems Theory, ed. by George J. Klir. New York u. a. O., 251–269.

Montague, Richard (1974): „English as a Formal Language". Formal Philosophy. Selected Papers of Richard Montague, ed. by Richmond H. Thomason. New Haven/London, 188–221.

Neumann, John von (1951): „The General and Logical Theory of Automata". Cerebral Mechanism of the Behavior. The Hixon Symposium, ed. by Lloyd A. Jeffress. New York, 1–41 (deutsch: „Allgemeine und logische Theorie der Automaten". Kursbuch 8, März 1967, 139–192).

Oller, John W. (2011): „Pragmatic Information". Biological Information: New Perspectives – Proceedings of the Symposium. Singapore, ed. by Robert J. Marks II; Michael J. Behe; William A. Dembski; Bruce L. Gordon; John C. Stanford, 64–86. http://www.World scientific.com/doi/abs/10.1142/9789814508728_0003.

Ott, Sascha (2004): Information – Zur Genese und Anwendung eines Begriffs. Konstanz.

Padulo, Louis; Arbib, Michael A. (1974): System Theory – A Unified State-Space Approach to Continuous and Discrete Systems. Washington.

Palm, Günter (1981): Neural Assemblies. An Alternative Approach to Artificial Intelligence. Heidelberg u. a. O.

Pattee, Howard Hunt (1982): „Cell Psychology. An Evolutionary Approach to the Symbol-Matter Problem". Cognition and Brain Theory 5/4, 325–341.

Prigogine, Ilya (1972): „Structure, Entropy and Quantum Theory“. Informatik, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Leipzig, 139–150 (Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Bd. 37/1, Nr. 206).

Prigogine, Ilya (1979): Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften. München.

Roederer, Juan G. (2016): „Pragmatic Information in Biology and Physics“. Philosophical Transactions of the Royal Society A, Vol. 374, Issue 2063. https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsta.2015.0152.

Römer, Hartmann (2020): „Physikalismus“. Zeitschrift für Anomalistik 20/3, 240–277.

Schweitzer, Frank (1999): „Structural and Functional Information. – An Evolutionary Approach to Pragmatic Information“. The Question for a Unified Theory of Information, ed. by Wolfgang Hofkirchner. Amsterdam, 215–330.

Shannon, Claude E.; Weaver, Warren (1976): The Mathematical Theory of Communication [1949]. Chicago/London (deutsch: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München 1976).

Steinbuch, Karl (1961): „Die Lernmatrix“. Kybernetik 1/1, 36–45.

Thomas von Aquin (1986): „De Veritate (Von der Wahrheit)“. Thomas von Aquin: Von der Wahrheit (Quaestio I). Lat.-dt. Hamburg (lat. Text in: https://www.corpusthomisticum.org/qdv01.html).

Turing, M. Allan (1937): „On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem“. Proceedings of the London Mathematical Society, 2nd ser. 42/1, 230–265.

Völz, Horst (1983): Information I. Studie zur Vielfalt und Einheit der Information. Theorie und Anwendung vor allem in der Technik; Information II. Ergänzungsband zur Vielfalt und Einheit der Information. Theorie und Anwendung vor allem in der Biologie, Medizin und Semantik. Berlin.

Völz, Horst (1996): „Meaning Outline of the Term Information“. Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept, ed. by Klaus Kornwachs; Konstantin Jacoby. Berlin, 19–39.

Weinberger, Edward D. (2001): „A Theory of Pragmatic Information and its Application to the Quasispecies Model of Biological Evolution“. Bio Systems 66/3, 105–119.

Weizsäcker, Carl Friedrich von (1971): Die Einheit der Natur. Studien. München.

Weizsäcker, Carl Friedrich von (1972): „Evolution und Entropiewachstum“. Informatik, hrsg. von Joachim-Hermann Scharf. Leipzig, 515–530 (Nova Acta Leopoldina, Neue Folge, Bd. 37/1, Nr. 206).

Weizsäcker, Carl Friedrich von (1974): „Evolution und Entropiewachstum“. Offene Systeme I. Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution, hrsg. von Ernst U. von Weizsäcker. Stuttgart, 200–221.

Weizsäcker, Christine; Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1984a): „Überraschung und Bestätigung gibt Information“. Information und Ordnung, hrsg. von Gerhard Schaefer. Köln, 89–98.

Weizsäcker, Christine; Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1984b): „Fehlerfreundlichkeit. Offenheit – Zeitlichkeit – Komplexität“. Zur Theorie der Offenen Systeme, hrsg. von Klaus Kornwachs. Frankfurt am Main/New York, 167–201.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1972): „Unterschiede zwischen genetischer und Shannon'scher Information". Philosophische und ethische Probleme der modernen Genetik. II. Kühlungsborner Kolloquium, hrsg. von Erhard Geißler; Hermann Ley. Berlin, 160–167.

Weizsäcker, Ernst Ulrich von (1974): „Erstmaligkeit und Bestätigung als Komponenten der pragmatischen Information". Offene Systeme I, hrsg. von Ernst U. von Weizsäcker. Stuttgart, 82–113.

Zemanek, Heinz (1959): Elementare Informationstheorie. München/Wien.

Zoglauer, Thomas (1996): „Can Information be Naturalized?". Information – New Questions to a Multidisciplinary Concept, ed. by Klaus Kornwachs; Konstantin Jacoby. Berlin, 187–207.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 125–131*

Nadine Schumann, Yaoli Du

Pragmatische Information in Interaktion

Abstract

We address the concept of information in human-machine-interaction. We present a pragmatic-interactive approach that focuses on the usability of technologies and the users' possibilities for action. In the context of social interaction research, triangulation is a guiding principle that can also be applied to the description of interaction between humans and machines. To understand the relationship between humans and machines, we focus on the mediating role of technologies and the interactive role of new smart environments shaping our techno-cognitive ecology. The pragmatic-interactive approach to information can be used to describe how access to usability is designed, meaning is created through triangulation and stabilised in use.

Keywords/Schlüsselwörter

Cognitive ecology, Human-centered design, Pragmatic action patterns, Triadic interaction

Human-centered Design, Mensch-Maschine-Interaktion, pragmatische Handlungsmuster, technisch-kognitive Ökologie

1 Einleitung

Als einer der führenden Wissenschaftler proklamiert Luciano Floridi die 4. Revolution, eine Revolution, welche durch unsere neuen Informations- und Kommunikationstechnologien unser Verständnis von Welt und uns selbst verändert (vgl. Floridi 2014: 94). Diese Technik erzeugt nach Floridi eine Infosphäre, in welcher wir untereinander und mit Maschinen, die Informationen auch in logischer Weise automatisch verarbeiten können, teilen und interagieren. In der interdisziplinären Debatte bezüglich der konkreten Interaktion von Mensch und Maschine werden aufgrund unterschiedlicher Kontexte sehr verschiedene Definitionen und Bedeutungen der Kernbegriffe Information und Interaktion diskutiert.

In diesem Aufsatz schlagen wir einen pragmatischen interaktiven Ansatz zum Verständnis des Informationsbegriffes in der Mensch-Maschine-Interaktion vor, denn das klassische Informationskonzept der Kommunikationstheorie, das Sender-Empfänger-Modell, reicht nicht aus, um zu erklären, wie Bedeutung entsteht und wie sie in kommunikative Handlungsmuster eingeht. Der Begriff der Kommunikation in Interaktion kann sich nicht nur auf die syntaktische Beschreibung von Information beschränken, sondern muss auch eine semantische Bedeutung enthalten, die durch Gebrauch verstanden werden kann. Um diese Phänomene adäquat beschreiben zu können, brauchen wir einen geeigneten Informationsbegriff. Mit dem Begriff der Pragmatischen Information lässt sich beschreiben, wie der Zugang zur Benutzbarkeit gestaltet wird und wie Bedeutung durch Triangulation generiert und im aktiven Gebrauch stabilisiert wird.

2 Interaktion in Triangulation

Bevor wir die Interaktion von Mensch und Maschine untersuchen, lohnt es sich, einen genaueren Blick auf die notwendigen Bedingungen menschlicher Interaktion zu werfen. Alternativ zum klassischen dyadischen Sender-Empfänger-Modell wird das Konzept der Triangulation in sozialer Interaktion präsentiert. Dieser Ansatz ist in der gegenwärtigen Forschung zur sozialen Kognition prominent und überwindet die Engstellung des Sender-Empfänger-Modells.

Die Grundannahme des dyadischen Modells impliziert, dass beide Partner, der Sender und der Empfänger, aufgrund ihrer gemeinsamen Funktion der Informationsverarbeitung symmetrische Positionen einnehmen. In diesem Modell wird Bedeutung durch Information ersetzt. In der Theorie von Claude E. Shannon und Warren Weaver bleibt Information rein syntaktisch und wird ausdrücklich unabhängig von den Bedeutungsebenen konzipiert (vgl. Shannon/Weaver 1949). In diesem Modell ist jedoch nicht klar, wie der Mensch die Fähigkeit erwirbt, Bedeutung in sozialen Interaktionen zu empfangen, zu transformieren und zu verstehen. Mit Blick auf Studien zur frühkindlichen Entwicklung wird deutlich, wie Bedeutung entsteht und wie sie in kommunikative Handlungsmuster einfließt.

Mit dem Leitkonzept der Triangulation werden die triadische Beziehung in der sozialen Interaktion hervorgehoben und so die Bedingungen für soziale Kognition aufgezeigt. Ausgangspunkt in der frühkindlichen Entwicklung ist zunächst die Dyade von Mutter und Kind. Spätestens mit der durch Michael Tomasello berühmt gewordenen 9. Monatsrevolution wird die Dyade in eine Dreiecksrelation umgewandelt (vgl. Tomasello 1999: 62). Durch dekla-

ratives Zeigen und intersubjektive Gesten des anderen Agenten wird der Zugang zu symbolischer Interaktion ermöglicht (vgl. Fuchs 2013: 667). Auf diese Weise verwandeln sich Objekte in gemeinsame symbolische Objekte.

Diese triadische Beziehung führt zu einer Objekt-Triangulation, die notwendigerweise zu einer gemeinsamen Wahrnehmung von Selbst und Anderem, also zu einer geteilten Intentionalität führt (vgl. Fuchs 2013: 667). In dieser triadischen Beziehung zwischen Kind, Betreuungsperson und Objekten ist ein gemeinsamer intentionaler Raum verfügbar. Kinder begreifen nun, wie wir als Gemeinschaft die Artefakte nutzen – wozu sie da sind (vgl. Tomasello 1999: 84). Diese sozialen Praktiken erzeugen in ihrem langen historischen Prozess bestimmte Formen von gewohnheitsmäßig strukturierten Bezugsrahmen. Diese Rahmen formen kognitive und motivierende Bedingungen für weitere soziale Handlungen. Mit diesen Erfahrungen erwirbt das Kind pragmatische Handlungsmuster.

Neben der Objekt-Triangulation spielt die Einbeziehung einer dritten Person eine grundlegende Rolle für die Entwicklung sozialer Kognition. In der sogenannten Subjekt-Triangulation kommt eine dritte Sicht auf die dyadische Beziehung selbst hinzu. In dieser triadischen Interaktionsbeziehung entwickelt sich das Verständnis der Perspektive des anderen, da sie als Beobachter oder Zeuge einen Blick von außen ermöglicht (vgl. Fuchs 2013: 668). Der springende Punkt ist, dass das Kind sich seines eigenen und des Standpunkts der anderen bewusst werden kann. Dieses Bewusstsein für unterschiedliche Perspektiven ermöglicht es, unterschiedliche Sichtweisen flexibel zu wechseln und zu vergleichen.

3 Mensch – Technik – Welt

Das Verhältnis zwischen Mensch und Technik ist der Ausgangspunkt für die Verortung der Mensch-Maschine-Interaktion. Im heutigen Zeitalter von Informations- und Kommunikationstechnologien bieten Computer eine umfassendere Bedeutung von Maschine an und stellen mehrere Möglichkeiten der Nutzung zur Verfügung. In der Diskussion über die Beziehung zwischen Mensch und Technik sind zwei Ansätze für uns relevant.

Zum einen lenkt der postphänomenologische Ansatz von Don Ihde die Aufmerksamkeit auf verschiedene Beziehungen von Mensch und Welt, die durch Technologien vermittelt werden (vgl. Ihde 1990). Ihde unterscheidet vier Relationen:

1. die verkörperte Relation (z. B. Brille),
2. die hermeneutische Relation (z. B. Thermometer),

3. die Alteritätsrelation (z. B. Auto, Computer) und
4. die Hintergrundrelation (z. B. WLAN-Router).

Während die ersten beiden Relationen die vermittelnde Form von Technik betonen, charakterisiert die Alteritätsrelation Technik als Gegenüber oder als Quasi-Andere in der Interaktion. Im Falle von sozialen Robotern ist diese Beziehung entscheidend für die direkte Interaktion von Menschen mit einem künstlichen Gegenüber. In der Hintergrundbeziehung schließlich spielen Technologien keine grundlegende Rolle in unserer Erfahrung. Stattdessen unterstützen sie den Kontext unserer Erfahrung in einer impliziten Weise, indem sie funktionieren, ohne aktiv wahrgenommen zu werden (vgl. Ihde 1990: 72–112).

Zum anderen bezieht sich die Material Engagement Theory (MET) von Lambros Malafouris auf das Verhältnis von menschlicher Kognition und Werkzeuggebrauch in der kulturellen Evolution. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie materielle Dinge unsere kognitive Struktur beeinflussen (vgl. Malafouris 2013: 247). In dieser Darstellung sind Werkzeuge Teil von kognitiven Prozessen. Aufgrund der starken Plastizität der menschlichen Kognition gibt es keine klare Grenze zwischen Mensch und Technik. Demnach sind materielle Objekte nicht nur passive Werkzeuge, sondern konstruieren auch eine Ökologie der materiellen Welt, die wiederum die kognitive Ökologie des Menschen prägt und die Möglichkeiten menschlichen Handelns erweitert (vgl. Ihde/Malafouris 2018: 197–198).

Die heutigen Informations- und Kommunikationstechnologien stellen einen neuen Typ von Umgebungstechnologien dar, der als „Active Technological Environments“ bezeichnet wird: Diese aktiven technologischen Umgebungen als Infosphäre[1] grenzen sich von den passiven Hintergrundtechnologien ab, indem sie aktiv mit dem Menschen und den materiellen Objekten verbunden sind, für die sie eine Umgebung bilden (vgl. Aydin et al. 2019: 322). Smarte Umgebungen entstehen durch technologische Entwicklungen wie das Internet der Dinge (IoT), das auf semantischen Web-Technologien beruht. Charakterisiert man menschliche kognitive Fähigkeiten in Bezug auf ihre technisch-kognitiven Ökologie, indem man auf die vermittelte, aktive Rolle der Technologien hinweist, dann wird ersichtlich, dass das klassische funktionalistische Sender-Empfänger-Modell nicht angemessen ist.

1 “Minimally, infosphere denotes the whole informational environment constituted by all informational entities, their properties, interactions, processes, and mutual relations” (Floridi 2014: 41).

4 Information als pragmatisches Handlungsmuster

Wir schlagen vor, Information[2] als pragmatische Muster zu verstehen. Erstens, die pragmatischen Muster sind im Vollzug mit der materiellen und sozialen Umgebung verkörpert, d. h. unsere technisch-kognitive Ökologie wird durch pragmatische Handlungsmuster vermittelt. Zweitens können pragmatische Muster als technologische Artefakte durch stabilisierten Gebrauch vergegenständlicht werden. Genauer gesagt, unsere Nutzung von Technologien konstituiert unsere aktiven technologischen Umgebungen. Und diese konstituieren und verarbeiten Informationen als Bedeutung in einer aktiven und nicht-direktionalen Weise.

Diese aktive Rolle der materiellen Umwelt kann auch in der Affordanztheorie von Gibson gesehen werden. Der Begriff Affordanz wurde von James J. Gibson im Rahmen eines ökologischen Ansatzes zur visuellen Wahrnehmung eingeführt und entwickelt (vgl. Gibson 1979). In Bezug auf die Interaktion von Mensch und Maschine verknüpft der Designer Norman die Theorie der Affordanz im Hinblick auf human-centered design. Die ursprüngliche Definition von Affordanz durch Gibson als Handlungsmöglichkeiten, welche sowohl vom Körper als auch von der Umwelt abhängen, wird von Norman als Wahrnehmung von Handlungsmöglichkeiten durch den Nutzer behandelt. Nach Donald Norman bezieht sich die Affordanz auf die wahrgenommenen und tatsächlichen Eigenschaften eines Dings, die bestimmen, wie das Ding möglicherweise benutzt werden kann (vgl. Norman 2002: 9). Der Fokus ist auf den Nutzer und seine Perspektive verschoben, im Vordergrund stehen Benutzbarkeit und Benutzerfreundlichkeit „with emphasis on making products usable and understandable“ (Norman 2002: 188).

5 Maschine im Dreieck

Legt man in Bezug auf die Interaktion von Mensch und Maschine den Fokus auf den Nutzer, dann wird die Entstehung und Stabilisierung pragmatischer Handlungsmuster verständlich. Folgt man der Standarddefinition nach ISO 9241, so sind Nutzer im Allgemeinen Personen, „die mit einem System, Produkt oder Dienst interagieren“ (ISO 2018). Hierbei können Nutzer in der Interaktion verschiedene Rollen spielen: der Endnutzer, der das System bedient und die Ergebnisse nutzt, und Personen, die das System unterstützen, wie z. B. das Team von Entwicklern, Designern, Supervisoren oder Gemeinschaften, die das System warten. Diese verschiedenen Interaktions-

2 Zur Übersicht verschiedener Definitionen von Information vgl. Capurro 2000, Kap. 3.

weisen der jeweiligen Nutzer haben direkte Auswirkungen auf die Entwicklung des interaktiven Systems.

Der iterative technologische Entwicklungsprozess bezieht sich auf drei verschiedene Konstellationen der Interaktion, auf

(1) die Zusammenarbeit zwischen dem Endnutzer und dem Entwicklungsteam,
(2) die Interaktion zwischen dem Endnutzer und dem Produkt und
(3) die Beziehung zwischen dem Produkt und dem Team während des Entwicklungsprozesses, der Wartung und dem Support.

Diese Beziehungen bilden eine triadische Interaktion, die dem eingangs erwähnten Begriff der Objekt-Triangulation recht ähnlich ist. Im Falle der Softwareentwicklung ist die potenzielle Nutzbarkeit des Produkts in der ersten Phase nicht klar definiert und kann erst durch die Nutzung im iterativen Prozess entwickelt werden. Hier geht es darum, ob der Prototyp funktioniert und ob das Produkt benutzerfreundlich ist.

Der Endnutzer und das Entwicklungsteam haben das gleiche Ziel, nämlich eine erfolgreiche Interaktion zwischen dem Endnutzer und dem Produkt zu erreichen. Der Ursprung des gemeinsamen Ziels liegt in der gemeinsamen Welt, die auf zwei Arten beschrieben werden kann:

(1) Die bestehenden Infrastrukturen unseres globalen Netzwerks ermöglichen Kompatibilität zwischen einem neuen Produkt und der aktuellen technologischen Umgebung des Produkts. Die aktuellen Active Technological Environments können neue Handlungsmöglichkeiten bieten.
(2) Soziokulturelle Praktiken stellen einen gemeinsamen intentionalen Raum zu Verfügung, in dem unsere Handlungen mit bestimmten Bedeutungen in ihrem Gebrauch stabilisiert werden.

Mit dem Begriff der Pragmatischen Information lässt sich beschreiben, wie Bedeutung durch Triangulation generiert und in unserer aktiven Nutzung stabilisiert wird. Die technologisch und intersubjektiv vermittelten sozialen Interaktionen erweitern unser sprachliches Verhalten, unsere Kommunikationsmöglichkeiten und die Erfahrungen des Einzelnen im Umgang miteinander. Semantische Bedeutung entsteht in der triadischen Interaktion durch Gebrauch, und dies kann nicht durch das Sender-Empfänger-Modell der Kommunikation erklärt werden.

Unsere neuen Informations- und Kommunikationstechnologien verändern unser Verständnis von Welt und von uns selbst. Gemeinsam mit diesen neuen Technologien erzeugen wir eine Infosphäre, in welcher wir unterein-

ander und mit Maschinen Handlungsmuster bilden, interpretieren und damit umgehen lernen.

Literatur

Aydin, Ciano; González Woge, Margoth; Verbeek, Peter-Paul (2019): „Technological Environmentality: Conceptualizing Technology as a Mediating Milieu“. Philosophy & Technology 32/1, 321–338.

Capurro, Rafael (2000): Einführung in den Informationsbegriff. – http://www.capurro.de/infovorl-kap3.htm [03.01.2022].

Floridi, Luciano (2014): The 4th Revolution: How the Infosphere is Reshaping Human Reality. Oxford.

Fuchs, Thomas (2013): „The Phenomenology and Development of Social Perspectives“. Phenomenology and the Cognitive Sciences 12, 655–683.

Gibson, James J. (1979): The Ecological Approach to Visual Perception. Boston.

Ihde, Don (1990): Technology and the Lifeworld: From Garden to Earth. Bloomington.

Ihde, Don; Malafouris, Lambros (2019): „Homo faber Revisited: Postphenomenology and Material Engagement Theory“. Philosophy & Technology 32, June, 195–214.

ISO – International Organization for Standardization (2018): ISO 9241-11:2018-03 Ergonomics of Human-System Interaction, Part 11: Usability: Definitions and Concepts. https://www.iso.org/standard/63500.html.

Malafouris, Lambros (2013): How Things Shape the Mind: A Theory of Material Engagement. Cambridge.

Norman, Donald (2002): The Design of Everyday Things. New York.

Shannon, Claude E.; Weaver, Warren (1949): The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL

Tomasello, Michael (1999): The Cultural Origins of Human Cognition. Cambridge.

2

Experiment und Modell

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 135–156*

Werner Krause, Erdmute Sommerfeld*

Universalien des Denkens und Entropiereduktion im Denken**

Über die Messung von Denkleistungen, über die Abbildung kognitiver Strukturtransformationen auf neuronale Strukturen und über einen möglichen Weg zur Bestimmung einer mentalen Grammatik

Abstract

Human thinking is assumed as a process bringing order into ideas. Against this background the human information process is represented as a chain of microstates which are based upon time-independent synchronicity between EEG-signals (Microstates). Experimental evidence is adduced supporting the assertion that mental performance is expressed in the degree of concatenation if microstates, quantifiable as a decrease in entropy. The universal "Verkürzung" – a special cognitive procedure in human thinking – causes a higher decrease in entropy. The universal "Verkürzung" is transformed into special microstate sequences with special microstates, characterized by topological properties, named as special neural structures. Mental grammar could be experimentally determined when the coding problem of microstates is solved. A possible method is shown.

Keywords/Schlüsselwörter

Decrease of entropy, Measurement of mental performance, Microstate sequences, Systematics of cognitive structure transformations, Universals of thinking

Entropiereduktion, Messung von Denkleistungen, Mikrozustands-Sequenzen, Systematik kognitiver Strukturtransformationen, Universalien des Denkens

---

* Wir hatten das Glück, mit Kollegen zusammenzuarbeiten, die – jeder auf seinem Spezialgebiet – zu dieser Forschung beigetragen haben und die uns im Laufe der vielen Jahre zu Freunden geworden sind: Gundula Seidel, Bärbel Schack †, Frank Heinrich, Uwe Kotkamp, Martin Grunwald, Fred Sobik, Christine Schleussner und Steffen Theilemann.

** Den diesjährigen Preisträgern des Wiener-Schmitt-Preises, unserem langjährigen Direktor des ZKI Horst Völz und Klaus Fuchs-Kitttowski ist dieser Beitrag gewidmet.

Der Anspruch

Denken als Ordnungsbildung aufzufassen bedeutet, dass Entropiemaße anwendbar werden. Wenn Universalien des Denkens Bestandteile des Denkens sind, dann sollten auch Universalien des Denkens mittels Entropiereduktion messbar sein.

Der Rahmen

Um die Zuverlässigkeit eines Mensch-Maschine-Regler-Systems vorausberechnen zu können, musste die Übertragungsfunktion des Menschen bekannt sein. Das galt für die analoge Informationsverarbeitung. Bei der digitalen Informationsverarbeitung ist es wesentlich komplizierter: Man muss die individuelle Software des Menschen kennen, um die Software des Rechners so gestalten zu können, dass der Rechner vorausschauend die Schwächen und Fehlleistungen des Individuums erkennt und dass der Rechner diesem Menschen Information so anbietet, dass Korrektur und Lernen für diesen Menschen aufwandsminimierend geschehen. Anna-Marie Metz, Michael Berg und Heinz-Jürgen Rothe haben jüngst in ihren Beiträgen zum Kolloquium anlässlich des 90. Geburtstages von Friedhart Klix darauf hingewiesen (vgl. Berg 2018; Metz 2018; Rothe 2018). Dazu bedarf es einer Theorie der menschlichen Informationsverarbeitung. Eine solche Theorie existiert bisher nicht.

Die Vorgehensweise

Wir wollen hier Gedanken vorstellen, die zu diesem Fernziel einmal beitragen könnten. Dazu wollen wir den Weg skizzieren, der für uns zu Beginn der 1960er Jahre an der Humboldt-Universität unter der Leitung von Klix mit einer „Psychophysik kognitiver Prozesse“ begann, über das Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der Deutschen Akademie der Wissenschaften und späteren Akademie der Wissenschaften der DDR (AdW) führte und schließlich an den Universitäten Leipzig und Jena fortgesetzt wurde. Dabei beschränken wir uns auf Denken, auf eine Systematik kognitiver Strukturtransformationen und die objektive Messung von Denkleistungen und weiter eingeschränkt auf ein „kleines Wegstück“: die Abbildung einer kognitiven Prozedur – der Universalie des Denkens „Verkürzung“ – auf eine neuronale Struktur. Hierin sehen wir eine der Voraussetzungen, um das von Klix postulierte Ziel einer mentalen Grammatik erreichen zu können.

***

Der Denkprozess lässt sich auf drei Ebenen untersuchen, der externen, der internen und der neuronalen Ebene (siehe Abb. 1). Für alle drei Ebenen ist die Messung einer Sequenz von „Zeichen“ erforderlich. Auf der externen Ebene ist es eine Sequenz von Handlungsschritten, auf der internen Ebene eine Sequenz kognitiver Operationen und auf der neuronalen Ebene eine Sequenz von Mikrozuständen.

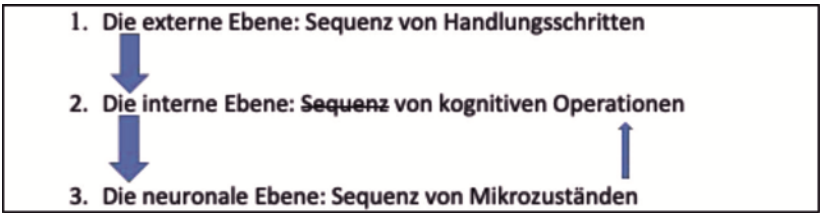


Abb. 1: Schematische Darstellung der Möglichkeiten der Prozessanalyse

Die dicken Pfeile kennzeichnen die Transformationen, die im Beitrag besprochen werden. Der dünne Pfeil kennzeichnet die Rücktransformation (Codierung), die bisher noch nicht gelöst ist. Die durchgestrichene Sequenz symbolisiert die Unmöglichkeit der Messung auf dieser Ebene.

Eigene Darstellung

Auf der internen Ebene ist die Sequenz von kognitiven Operationen nicht messbar. Wir umgehen das Problem durch Transformation auf die neuronale Ebene, weil auf der neuronalen Ebene eine Sequenz der Mikrozustände messbar ist. Gelingt die Rücktransformation von der neuronalen auf die interne Ebene, dann kann über diesen „Umweg“ die Sequenz kognitiver Operationen bestimmt und können daraus Regeln für eine mentale Grammatik erfasst werden.

Wir wollen also hier zeigen, dass die Verkürzung – eine Universalie des Denkens –

- einer Systematik kognitiver Strukturtransformationen entstammt,
- durch eine Messgröße, die Entropiereduktion, quantifizierbar und
- als neuronale Struktur nachweisbar ist.

Damit kann der Denkprozess als Ordnungsbildung objektiv mittels Entropiereduktion gemessen werden.

1 Die externe Ebene

Es galt in den 1950er Jahren fast als Sakrileg: Man kann Denken nur dann untersuchen, wenn man Denkabläufe in Handlungsabläufe umsetzen kann. Hubert Sydow (Erfassung der subjektiven Metrik und deren Veränderung im Denkprozess; vgl. Sydow 1970), Bodo Krause (Erfassung des Begriffes Struktur und seiner Eigenschaften in der Psychologie, zusammen mit Klix; vgl. Klix/Krause 1969) und Werner Krause (Markoffketten-Analyse beim Strategieerwerb; vgl. Krause 1970) haben damals an der Humboldt Universität und später Erdmute Sommerfeld (heuristische Strategien; vgl. Sommerfeld 1972) und Wilfried Gundlach (Kommunikationsprozess im Problemlösen; vgl. Gundlach/Schulz 1970, 1987) an der Akademie unter der Leitung von Klix mit diesem Ansatz Problemlösungsprozesse untersucht: eine *Sequenz von Handlungsschritten* wurde registriert. Aus den Eigenschaften solcher Sequenzen (zumeist Regelmäßigkeiten) wurde auf Strategien geschlossen.

Die beiden Autoren erhielten Anfang der 1970er Jahre im ZKI die Aufgabe, für das Schnittstellenminimierungsproblem eine Lösung zu finden. Das Schnittstellenminimierungsproblem gehört zur Klasse der großen kombinatorischen Probleme, für die es zur damaligen Zeit keine mathematische Lösung gab, ausgenommen der Trivialfall einer vollständigen Suche. Warum im ZKI?

Einer der Gründungsgedanken des ZKI war die Verbindung und wechselseitige Befruchtung zwischen natürlicher und künstlicher Informationsverarbeitung, also zwischen kognitiver Psychologie und künstlicher Intelligenz. Ein prototypisches Beispiel war die Entwicklung von lernabhängigen Klassifizierungsverfahren (vgl. Unger/Wysotzki 1981), zum einen auf der Grundlage von Merkmalsvektoren, wie aus der Analyse der menschlichen Informationsverarbeitung bekannt (vgl. Goede/Klix 1971), zum anderen auf der Grundlage des Anpassens von Trennebenen in mehrdimensionalen Räumen. Entsprechendes galt für die Analyse und Synthese von Problemlösungsprozessen, so auch für das Problem der Schnittstellen-Minimierung.

Das Problem: Eine Schaltung von 100 Bauelementen soll z. B. auf fünf Leiterplatten so verteilt werden, dass der Kabelbaum zwischen den Leiterplatten ein Minimum wird. Es lässt sich leicht ausrechnen, dass es dafür 10^{54} Möglichkeiten gibt. Bei vollständiger Suche und der damaligen Rechengeschwindigkeit hätte der Lösungsprozess 10^{40} Jahre benötigt. Ein einigermaßen versierter Konstrukteur löst dieses Problem in etwa drei bis vier Stunden. Dabei wird natürlich nicht die optimale Lösung erreicht, aber im

Allgemeinen eine brauchbare Lösung. Im Experiment konnten – angeregt durch eine Arbeit von J. M. Krüschanowski (1968) – Sequenzen von Handlungsschritten registriert und so Hypothesen über Strategien (heuristische Regeln) bestätigt werden. Mit den Ergebnissen der Forschungen zu Problemlöse-Algorithmen hat Sommerfeld (1972, 1979) eine Software zur Zuordnung von Bauelementen zu Bausteinen nach dem Prinzip der Schnittstellenminimierung (SMA) sowie zur anschließenden automatischen Platzierung dieser Bausteine auf Leiterplatten (SMPA) entwickelt. Für 30 mit dem Programm berechnete Platzierungen konnten mit einem Trassierungsprogramm aus der Industrie (vgl. Saedler/Schäller 1974) im Mittel 97 % der Leitungsführungen automatisch bestimmt werden. Der Rechner benötigte dafür etwa drei Stunden.

Wenngleich auf diese Weise ein technisches Problem lösbar wurde, so war das Ergebnis für uns doch unbefriedigend, denn: Bevor der erste Handlungsschritt zu beobachten ist, muss intern ein Denkprozess ablaufen. Den wollten wir aufklären. Dass es sich bei dem angeführten Beispiel um *Verkürzungen* handelt, ist offensichtlich.

2 Die interne Ebene

Der interne Denkablauf kann als Sequenz kognitiver Operationen aufgefasst werden. Der Begriff der kognitiven Operation geht auf Otto Selz zurück (vgl. Selz 1913).

Es hat danach nicht an Ansätzen gefehlt, den intern ablaufenden Denkprozess aufzuklären, wenngleich das Bild von der „Schallmauer“, das Klix in seinen Erinnerungen erwähnte (vgl. Klix 2004), nicht untypisch für diese Situation damals war und heute noch ist. Hier einige Aufzählungen:

- Hubert Sydow (1970) hat mit seiner Dissertation eine Methode entwickelt, die subjektive Metrik und deren Veränderung im Denkprozess zu erfassen.
- Der umfassende Beitrag von Friedhart Klix und Bodo Krause (1969) über den Begriff der Struktur in der Psychologie skizziert Einheiten, auch interne Einheiten.
- Die Auffassung „Denken als Ordnungsbildung“ eröffnet neue Messmöglichkeiten mittels Entropie (vgl. Krause 1991).

Die von Klix (1992) angegebenen vier kognitiven Prozeduren (Ketten kognitiver Operationen) *Vergleich, Verkettung, Verdichtung* und *Verkürzung* nennt er später in seinem Buch gemeinsam mit Karl Lanius (vgl. Klix/

Lanius 1999) *Universalien des Denkens*. Sie zeichnen sich durch ihre Anforderungsinvarianz und durch eine evolutionäre Begründung aus. Sie sind Spezialfälle der nachfolgenden Systematik. Mit der Systematik kognitiver Strukturtransformationen können wir den Universalien modelltheoretisch ausgezeichnete Eigenschaften zuordnen.

Erdmute Sommerfeld (1994, 2018) hat eine Systematik kognitiver Strukturtransformationen vorgelegt und damit eine Systematik kognitiver Operationen. In Tabelle 1 ist diese Systematik dargestellt. Bei kognitiven Strukturtransformationen haben wir es mit der Transformation *struktureller* Information zu tun (vgl. Sommerfeld 2014). Transformationen einer kognitiven Struktur als Träger struktureller Information sind auf der Basis von Graph-Transformationen formalisierbar (vgl. Sommerfeld/Sobik 1994). Unter dem Aspekt der Änderung der repräsentierten strukturellen *Information* als auch der diese Information repräsentierenden *Struktur* wurden Vollständigkeitsbetrachtungen durchgeführt und damit erreicht, dass sich die Vielfalt der Erscheinungsformen kognitiver Operationen in wenige Klassen, nämlich genau neun Klassen (unter Vernachlässigung des Falles „keine Änderung") einordnen lässt. Dass solche Vollständigkeitsbetrachtungen für eine Theorienbildung fundamental sind, steht außer Zweifel. Jedoch lässt sich eine Bezugssetzung zwischen dieser Systematik und der neuronalen Ebene (siehe Abb. 1 und Punkt 3) vorerst nicht herstellen.

Wir beschränken uns im Folgenden auf die Universalie *Verkürzung*. Bezüglich dieser Universalie *Verkürzung* denke man etwa an den Übergang von der Addition (2 + 2 + 2 +2 + 2) zur Multiplikation (5*2) oder an den Wechsel vom Begrifflichen ins Bildhaft-Anschauliche (Doppelrepräsentation).

Die *Messung* einer *Sequenz* kognitiver Operationen – als Voraussetzung für eine interne Analyse des Denkprozesses – ist bis heute *nicht möglich*.

Die Wirkung *einer* kognitiven Operation – die Transformation von extern nach intern – können wir im Experiment belegen. Das soll gezeigt werden.

Als Anforderung wählten wir eine deduktive Inferenzanforderung, ein mehrrelationales Ordnungsproblem (vgl. Krause 2000; Krause et al. 1987).

Das Problem: Gegeben ist folgender Text:

> „Jan ist höher als Gerd. Gerd ist höher als Kurt. Kurt ist höher als Ernst. Ernst ist höher als Max. Hans ist vor Max. Dirk ist vor Hans. Sepp ist vor Dirk. Paul ist vor Sepp. Karl ist tiefer als Paul. Fritz ist tiefer als Karl. Bernd ist tiefer als Fritz. Lutz ist tiefer als Bernd."

Der Text muss behalten werden, um anschließend Fragen beantworten zu können, z. B.: „Ist Kurt höher als Dirk?"

Tab. 1: Einordnung der Klix-Operationen und der Klix-Prozeduren (symbolisiert durch K_i, i = 1,…, 9) zur Ausbildung und Transformation interner Repräsentationen in die Systematik kognitiver Strukturtransformationen

Struktur / *Struktureller Informationsgehalt*	*Keine Änderung*	*Vergrößerung*	*Verkleinerung*	*Vergrößerung und Verkleinerung*
keine Änderung		spezifische Inversion von K_1(+)	Spezifische K_2(–)	spezifische Inversion von K_1(+) und spezifische K_2(-)
Vergrößerung	–	K_3(+), K_4(+), K_5(+), K_6(+): Vergleich, K_7(+): Verkettung, K_8(+): Verdichtung, **K_9(+): Verkürzung**	spezifische K_2(–)	K_i(+), i=3, …,9 und spezifische K_2(–)
Verkleinerung	–	spezifische Inversion von K_1(+)	**K_1(–), K_2(–)**	K_i(-), i=1,2 und spezifische Inversion von K_1(+)
Vergrößerung und Verkleinerung	–	K_i(+), i=3, …,9 und spezifische Inversion von K_1(+)	K_i(-), i=1,2 und spezifische K_2(–)	K_1(+), K_2(+), K_3(-), K_4(–), K_5(–), K_6(–): Vergleich, K_7(–): Verkettung, K_8(–): Verdichtung, **K_9(–): Verkürzung**

Klix-Operationen: K_1: Aktivation, K_2: Inhibition, K_3: Substitution, K_4: Transition, K_5: Projektion, K_{10}: Inversion; Klix-Prozeduren: K_6: Vergleich, K_7: Verkettung, K_8: Verdichtung, K_9: Verkürzung.

In die Matrix sind die Original-Operationen und -Prozeduren eingetragen, nicht ihre Inversionen. Die (+) und (–) zeigen an, ob die Ausgangsinformation mitgespeichert wird (+) oder nicht (–).

Quelle: nach Sommerfeld 1994, 2018

Gemessen wird die Antwortzeit. Logischerweise würde man erwarten, dass die Antwortzeit mit wachsender Inferenzschrittanzahl ansteigt. Das Umgekehrte wird gemessen: die Antwortzeit fällt mit wachsender Inferenzschritt-

anzahl ab. Wir konnten damals zeigen, dass die Versuchspersonen den Text in eine bildhaft anschauliche Vorstellung transformieren und den (sequenziellen) Inferenzprozess so auf einen Vergleichsprozess verkürzen.

Unterstellen wir einen Minkowski-Raum mit der Distanz d zwischen zwei Punkten $x = (x_1, x_2,\ldots, x_m)$ und $y = (y_1, y_2,\ldots, y_m)$ und bestimmen den Minkowski-Parameter r und die Dimension m des Minkowski-Raumes durch Anpassung, dann erhalten wir für jede Versuchsperson die folgenden Minkowski-Parameter r (siehe Tab. 2).

$$d(x,y)=\left[\sum_{i=1}^{m}\left|x_i-y_i\right|^r\right]^{\frac{1}{r}} \tag{1}$$

Mit r wird der Typ der Metrik bezeichnet. Durch r = 1 wird eine City-Block-Metrik und durch r = 2 eine euklidische Metrik (kürzester Abstand) beschrieben.

Tab. 2: Minkowski-Parameter r aus der Antwortzeit und dem Distanzrating für jede einzelne Versuchsperson bestimmt

Versuchsperson	Minkowski-Parameter r (aus Antwortzeit)	Minkowski-Parameter r (aus Distanzrating)
1	1,2	2,0
2	2,2	2.3
3	1,4	1,7
4	2,0	2,4
5	1,4	1,1
6	2,0	2,4
7	2,0	2,3
8	1,0	2,3

Quelle: aus Krause et al. 1987; vgl. auch Krause 2000

Die beste Anpassung ergibt sich für die Dimension m = 2. Der Text wird also hier in eine Raumvorstellung transformiert, die zweidimensional ist. Alle hier untersuchten Versuchspersonen transformieren den Text in einen „Raum“, *verkürzen* damit den Inferenzprozess auf einen Vergleichsprozess, jedoch ist die Vergleichsprozedur interindividuell (und auch intraindividuell anforderungsabhängig) verschieden. Die einen Versuchspersonen benutzen

eine City-Block-Metrik (r = 1), die anderen eine euklidische Metrik (r = 2), also den kürzesten Abstand im Raum.

Ob diese Interpretation so nachvollzogen wird oder nicht, mag durchaus strittig sein, wichtig ist, dass mit dieser Analyse auf der internen Ebene Eigenschaften nachweisbar sind, die im Text (also auf der externen Ebene) nicht enthalten sind. Sie müssen das Resultat des Aufbaues einer kognitiven Struktur während des Transformationsprozesses von extern nach intern sein.

Soweit der experimentelle Beleg für eine *Ein*schritt-Transformation.

Im Allgemeinen verlangt eine Anforderungsbewältigung mehr als einen Lösungsschritt. Wir müssen also komplexere Anforderungen betrachten und tun dies hier auch vor dem Hintergrund der Doppelrepräsentation (bildhaft-anschauliche Vorstellung versus Begriff).

Um die Universalie des Denkens „Verkürzung" nachzuweisen, stellte uns Frank Heinrich Mathematikaufgaben aus der Geometrie zusammen (vgl. Heinrich 1997), die bekanntlich durch Formelmanipulation *und* durch geometrische (also bildhaft-anschauliche) Transformation lösbar sind, wobei die bildhaft-anschauliche Transformation zumeist für die Verkürzung steht. Als Beispiel für die Menge gegebener Aufgaben:

„Wieviel Diagonalen hat ein 23-Eck?"

Interpretativ könnte man sich zur Lösung dieser Aufgabe Folgendes vorstellen:

1) rechnerisch, d. h., iterativ: Dreieck, Viereck, Fünfeck, … etc., und
2) bildhaft-anschaulich durch die Betrachtung von nur einer Ecke mit anschließender Hochrechnung.

Dass die bildhaft-anschauliche Vorgehensweise wesentlich kürzer ist als die oben beschriebene iterative Reihenentwicklung, ist intuitiv nachvollziehbar. Im Extremgruppenvergleich mathematisch Hochbegabter versus Normalbegabter fanden wir ein Verhältnis der Lösungszeiten von 1 zu 2. Die kognitive Prozedur der Verkürzung – also eine Universalie des Denkens – muss jedoch auf der neuronalen Ebene nachgewiesen werden.

Eine *Sequenz kognitiver Operationen* entzieht sich – wie erwähnt – einer Messung auf der internen Ebene. Dagegen können wir auf der neuronalen Ebene eine *Sequenz* messen.

3 Die neuronale Ebene

Mit der von Dietrich Lehmann et al. (1987) entwickelten Methode gelang es, den Denkprozess als *Sequenz* von Mikrozuständen mittels EEG zu erfassen

(vgl. auch Krause 2017a). Ein Mikrozustand ist eine zeitlich konstante Aktivation über der Topologie des Kopfes. Wir verwendeten hier das von Schack entwickelte Verfahren zur Segmentierung und Clusterung von EEG-Kohärenzen (vgl. Schack 1997; Schack et al. 1999, 2001; Schack/Krause 1995).

3.1 Sequenz der Mikrozustände

Da auf dieser neuronalen Ebene eine Sequenz im Denkprozess messbar ist, können wir zur Quantifizierung des Denkprozesses alle Methoden anwenden, die die Bestimmung der Eigenschaften von Sequenzen ermöglichen. So kann aus der Messung der Wahrscheinlichkeiten und der bedingten Wahrscheinlichkeiten die Entropie nach Claude Shannon als ein Maß für die Ordnung der Sequenz bestimmt werden.[1] Krause et al. (2003) und Schack (1999) haben für die Auswertung unserer Mikrozustandssequenzen die Entropie*reduktion* gewählt.

Mit dem Shannon-Ansatz lässt sich die Entropiereduktion H_{red} wie folgt berechnen:

$$H_{red} = H - \sum_{i=1}^{N} p(i) \text{ x } H(i) \tag{2}$$

i, j = 1,..., N (Anzahl der Mikrozustände)

mit

$$H = -\sum_{j=1}^{N} p(j) \text{ x } ld\,(p(j)) \tag{3}$$

$$H(i) = -\sum_{j=1}^{N} p(j/i) \text{ x } ld\,(p(j/i)) \tag{4}$$

H ist die Entropie, die allein durch die Auftrittswahrscheinlichkeiten p der Mikrozustände bestimmt ist, und mit H(i) bezeichnen wir die Entropie, die durch die bedingten Wahrscheinlichkeiten p_i/p_j der Mikrozustände bestimmt

1 Für die zweite Ebene, die der internen Repräsentation, haben wir zwar keine Messdaten dieser Art, aber es erhärtet sich der Verdacht, dass auch auf dieser Ebene ein Prozess der Ordnungsbildung stattfindet, speziell durch Verdichtung, also durch Zuordnung von Elementen zu Klassen. Kategorienbildung finden wir sowohl beim Behalten als auch beim Denken. Wenn die Erfassung der Kategorienbildung gelingt, sollte sich auch auf dieser Ebene mit Hilfe des Boltzmann-Ansatzes eine Entropiereduktion, also Ordnungsbildung messbar nachweisen lassen (vgl. Krause 2000). Werner Ebeling weist mit Bezug auf Rustin L. Stratonovich (1975, 1985) darauf hin, dass beide Ansätze, der thermodynamische (Boltzmann) und der informationstheoretische (Shannon) Ansatz, mathematisch isomorph sind (vgl. Ebeling 2018).

ist. Aus der Differenz ergibt sich die Entropiereduktion H_{red} (vgl. Klix 1992; Schack 1999; vgl. auch Ebeling 2018).

Mit der *Entropiereduktion* H_{red} liegt damit ein experimentelles *Maß* für die Ordnungsbildung im *Denken* vor.

Ausgewertet hat Seidel (2004) die ersten zehn Sekunden nach dem Instruktionsverstehen beim Lösen des mathematischen Problems. Für unsere Hochbegabten (die Stichprobenauswahl und Stichprobenschichtung findet sich in Seidel 2004 und Krause 2006) ergab sich auf einer Skala von 0 bis 2,59 (bei Anzahl N der Mikrozustände = 6) eine Entropiereduktion von 1,21 und für unsere Normalbegabten ein Wert von 0,90. Die Unterschiede sind signifikant. Hochbegabte weisen – innerhalb der ersten zehn Sekunden beim Lösen eines mathematischen Problems – eine höhere Entropiereduktion auf als Normalbegabte. Dieser Befund ist von Li Zhang und ihren Mitarbeitern an der South East Universität in Nanjing, China, bestätigt worden (vgl. Zhang 2017; Krause/Zhang 2018; vgl. auch Zhang et al. 2017). Für die chinesischen Hochbegabten ergab sich eine Entropiereduktion von 0,89 und für die chinesischen Normalbegabten eine Entropiereduktion von 0,71 (siehe Abb. 2).

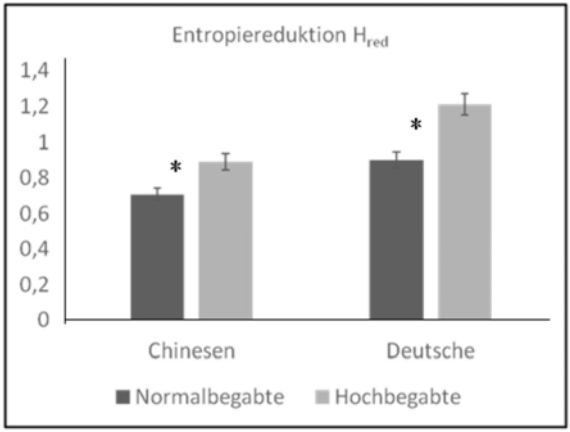


Abb. 2: Entropiereduktion bei mathematisch Hoch- und Normalbegabten, Vergleich zwischen chinesischen und deutschen Probanden

Sowohl die Unterschiede zwischen hoch- und normalbegabten deutschen Probanden als auch die Unterschiede zwischen hoch- und normalbegabten chinesischen Probanden sind signifikant (*).

Quelle: eigene Darstellung

Interpretativ bedeutet dies: Mathematisch Hochbegabte weisen innerhalb der ersten zehn Sekunden beim Lösen eines mathematischen Problems eine höhere Ordnung der Mikrozustandssequenzen auf als Normalbegabte. Klix formulierte das so: „Hochbegabte wissen, worauf es ankommt“ (Klix 1992: 441).

Bildet sich die Universalie „Verkürzung“ in der Entropiereduktion ab?

Wenn wir die bei unseren Hochbegabten beobachtete Entropiereduktion auf die Universalie „Verkürzung“ zurückführen wollen, dann sollte die Entropiereduktion nur dann zu beobachten sein, wenn eine Verkürzung beim Lösen eines Problems möglich ist. Ist eine Verkürzung nicht möglich, sollte kein Unterschied zwischen unseren mathematisch Hoch- und Normalbegabten zu beobachten sein. Wie Abb. 3 zeigt, ist das der Fall.

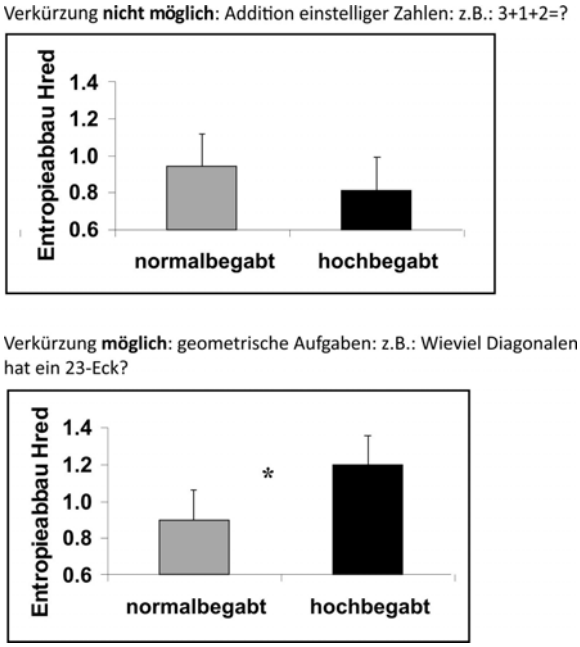


Abb. 3: Einfluss der Verkürzung auf die Entropiereduktion

Der signifikante Unterschied ist mit * gekennzeichnet.

Quelle: nach Seidel 2004

Damit werden Denkleistungen quantifizierbar.

Dennoch bleibt offen, in welchen Eigenschaften sich die „Verkürzung“ niederschlägt:

– In ausgezeichneten Sequenzen oder / und
– in topologischen Eigenschaften der Mikrozustände.

3.2 Ausgezeichnete Sequenzen der Mikrozustände

Die in Schack (1999) entwickelte Auswertmethode haben wir in Sommerfeld/ Krause (2013) ausführlich dargestellt. Hier beschränken wir uns auf eine Markoffketten-Analyse, wie sie von Seidel durchgeführt wurde (vgl. Seidel 2004). Abbildung 4 zeigt das Ergebnis.

Die Mikrozustände sind mit 1 bis 6 bezeichnet. Die Strichdicke gibt die Übergangshäufigkeiten an. Oben sind zum Vergleich Anforderungen angeboten worden (Addition von Zahlen), bei denen nicht verkürzt werden kann.

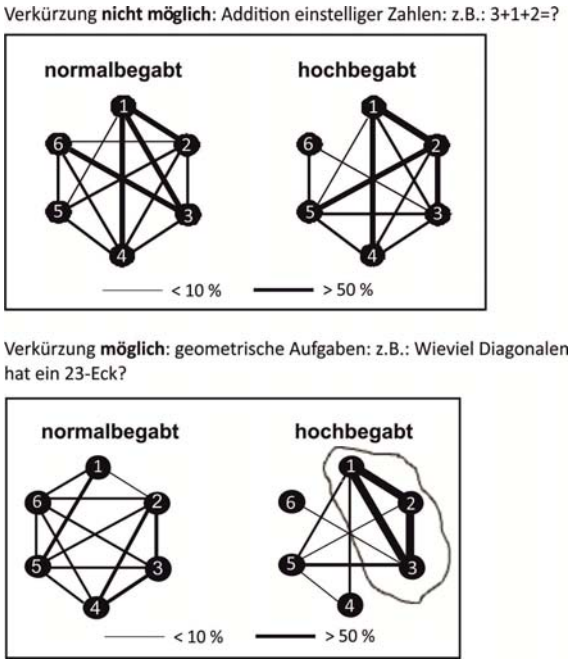


Abb. 4: Einfluss der Verkürzung auf die Verkettung

Hohe Übergangshäufigkeiten zwischen den Mikrozuständen 1, 2 und 3 bei Hochbegabten, wenn Verkürzung möglich ist.

Quelle: nach Seidel 2004

Erwartungsgemäß gibt es zwischen den beiden Extremgruppen auch keine Unterschiede in den Markoffketten.

Unten sind die Markoffketten beim Lösen der geometrischen Aufgaben (z. B. 23-Eck) dargestellt. Für diese Klasse von Aufgaben kann – beispielsweise durch Modalitätswechsel – der Lösungsprozess verkürzt werden. Die Hochbegabten verkürzen, die Normalbegabten nicht.

Die Verkürzung schlägt sich in höheren Übergangshäufigkeiten zwischen wenigen ausgezeichneten Mikrozuständen nieder.

Wodurch sind nun diese Mikrozustände ausgezeichnet? Wir haben auf der internen Ebene (vgl. oben Abschnitt 2) die Verkürzung mit der Transformation ins Bildhaft-Anschauliche begründet. Ist diese Vermutung berechtigt, dann sollten wir unter topologischem Aspekt zumindest einen Mikrozustand finden, der sich durch eine erhöhte Aktivation rechts temporo-parietal auszeichnet.

3.3 Eigenschaften ausgezeichneter Mikrozustände in ausgezeichneten Sequenzen

Zur Topologie: In einer früheren Auswertung (vgl. Krause et al. 2003) unserer Untersuchungen (vgl. Seidel 2004), die unabhängig von der Mikrozustandssequenzanalyse geschah, konnten wir zeigen, dass unsere Hochbegabten bereits 800 ms nach dem Ende des Instruktionsverstehens (Analyseintervall 1.200 ms) rechts temporo-parietal eine erhöhte Aktivation aufwiesen, wenn die gestellte Anforderung eine Verkürzung erlaubte. Bei den Normalbegabten war das zum gleichen Zeitpunkt nicht der Fall. Offensichtlich bildet sich die Verkürzung auch in der Topologie ab (die Maps finden sich in Krause 2006, Abb. 15 bis 18).

Die funktionale Abhängigkeit zwischen der externen und der internen Ebene wird durch eine psychophysische Funktion beschrieben (vgl. Fechner 1860). Die funktionale Abhängigkeit zwischen der externen und der neuronalen Ebene konnten wir ebenfalls durch eine psychophysische Funktion erfassen: Die Aktivationsdauer eines speziellen kortikalen Areals sollte der Lösungszeit umgekehrt proportional sein. Daraus ergibt sich ein negativer Anstieg des Funktionsverlaufes (vgl. Krause 2017b). Das Besondere daran ist, dass sich diese Funktion nur über dem kortikalen Areal nachweisen lässt, das für die Verkürzung verantwortlich ist: das Elektrodenpaar C4P4, also rechts temporo-parietal. Für alle anderen Elektrodenpaare ist der Anstieg der Funktion nicht signifikant von Null verschieden.

Beziehen wir die oben beschriebenen ausgezeichneten Mikrozustandssequenzen in die topologische Betrachtung mit ein, was uns damals nicht

möglich war, dann sollten wir erwarten, dass die topologisch so ausgezeichneten Mikrozustände genau in den ausgezeichneten Mikrozustandssequenzen auftreten sollten.

In der neueren Arbeit von Zhang et al. (2020) wird die Vermutung nahegelegt, dass an den ausgezeichneten Ketten Hochbegabter jene Mikrozustände (rechts temporo-parietal) beteiligt sind, die für die Transformation ins Bildhaft-Anschauliche verantwortlich gemacht werden (siehe Abb. 5).

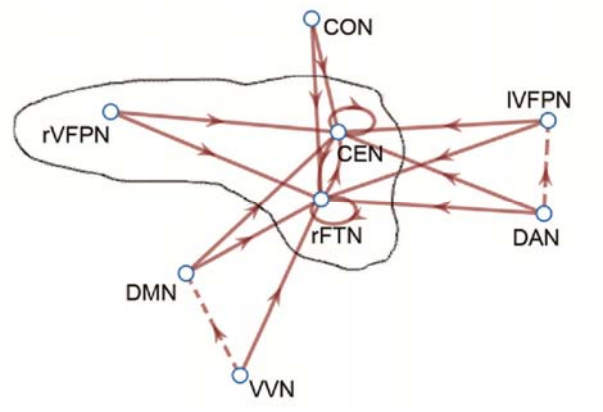


Abb. 5: Markoffketten der Mikrozustandssequenzen aus Zhang et al. 2020 als Differenz der Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Extremgruppen (Hochbegabt [Hb] minus Normalbegabt [Nb])

Ausgezogene Linie: Übergangswahrscheinlichkeiten bei Hb größer als bei Nb, bei den gestrichelten Linien ist es umgekehrt. Die Knoten geben die 8 Mikrozustände an, die durch Buchstaben bezeichnet sind. Dabei bedeuten: CEN (central executive), rVFPN (rechts ventral frontoparietal), rFTN (rechts frontotemporal), VVN (ventral visual), lVFPN (links ventral frontoparietal), CON (cingulo-opercular), DMN (default mode) und DAN (dorsal attention), N (network). Mit Stift per Hand umrandet: ausgezeichnete Kette. Erläuterung im Text.

Quelle: aus Zhang et al. 2020

Unglücklicherweise sind die Übergangswahrscheinlichkeiten in der Originalarbeit nicht direkt angegeben, sodass eine ausgezeichnete Kette analog Abbildung 4 nicht angegeben werden kann. Jedoch weisen die Autoren darauf hin, dass sich die Mikrozustände CEN (central executive network) und rFTN (right frontotemporales network) durch ihre Eigenübergänge auszeich-

nen. Zudem sind die Auftrittshäufigkeiten[2] der Mikrozustände CEN, rFTN und rVFPN (right ventral frontoparietal network) bei Hochbegabten gegenüber Normalbegabten erhöht (bei rFTN um das Vierfache, bei CEN und rVFPN um das 1,5 fache).

Dieses Plausibilitätsargument nutzend, haben wir in der Arbeit von Zhang et al. (2020) aus acht Mikrozuständen die drei so ausgezeichneten Mikrozustände ausgewählt, die eine Unterkette analog der von uns bestimmten Unterkette (siehe dazu Abb. 4) bilden (siehe Abb. 6).

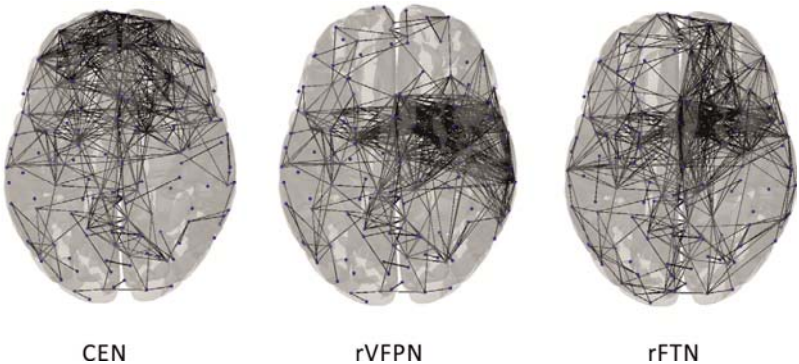


Abb. 6: Topologie der 3 gemäß Abbildung 5 ausgezeichneten Mikrozustände aus Zhang et al. 2020

Die Linien stehen für aus dem EEG bestimmte Kohärenz zwischen den Messpunkten. Dabei bedeuten die Bezeichnungen CEN zentrales exekutives Netzwerk, rFTN rechts frontotemporales Netzwerk und rVFPN rechts ventrales frontoparietales Netzwerk. Erläuterungen im Text.

Quelle: aus Zhang et al. 2020

Die Mikrozustände rFTN und rVFPN sind dem in unseren Untersuchungen ausgezeichneten Mikrozustand hinsichtlich seiner topologischen Aktivation ähnlich. Wir wollen sie deshalb als Indiz für eine bildhaft-anschauliche Repräsentation innerhalb einer so ausgezeichneten Kette interpretieren. Auch die bereits 2010 von James Prescott et al. (2010) durchgeführten fMRT-Un-

2 Zur Auftrittshäufigkeit: Die meisten älteren Untersuchungen beschränken sich auf vier Mikrozustände, so auch in Zhang et al. 2016. Von den vier Mikrozuständen zeichnet sich *ein* Mikrozustand durch hohe Aktivation rechts temporo-parietal aus. Bemerkenswert sind die Dauer und die Auftrittshäufigkeit dieses so ausgezeichneten Mikrozustandes in der Arbeit Li Zhang et al. (2016): *Dieser Mikrozustand tritt* bei Hochbegabten achtmal *häufiger* auf als bei Normalbegabten, während sich die Dauern (55 ms bei Normalbegabten versus 70 ms bei Hochbegabten) nicht signifikant unterscheiden (vgl. Krause 2022).

tersuchungen zur mentalen Rotation bei mathematisch Hochbegabten unterstützen diese Interpretation. Der Mikrozustand CEN wird zumeist für Steuerungsprozesse verantwortlich gemacht. Wenn man dieser Argumentation folgt, dann ließe sich aus den neuesten Untersuchungen von Zhang et al. (2020) gemäß unserer oben ausgestellten Hypothese schlussfolgern, dass bei *Verkürzung* auf der internen Ebene auf der neuronalen Ebene ausgezeichnete Mikrozustandssequenzen mit *temporo-parietaler Aktivation rechts* und mit frontaler Aktivation ausgebildet werden. Semantik bildet sich damit auf Struktur ab und zwar sowohl auf die Relationen als auch auf die Elemente selbst.

Wir geben hier einen kritischen Einwand aus der Diskussion wieder: Eine kritische Frage lautete: Könnte es nicht sein, dass die Entropiereduktion auch durch Müdigkeit (innerhalb der zehn Sekunden, die ausgewertet wurden) beeinflusst wird? Dann würde man mit der Entropiereduktion nicht Denkleistung, sondern Wachheitsgrad messen. Das ist ein berechtigter Einwand, denn man kann sich gut vorstellen, dass Wachheitsgrad die Ausführung kognitiver Operationen (hier Transformation ins Bildhaft-Anschauliche und damit die Möglichkeit der Verkürzung) behindert. Unsere Antwort: In der Tat, Änderung im Wachheitsgrad schlägt sich auch in der Entropiereduktion nieder. Aber: im Vortrag haben wir mit Hilfe der Untersuchungen von Zhang et al. (2020) gezeigt, dass sich die Universalie „Verkürzung" nicht nur auf eine Größe – die Entropiereduktion auf einer Skala von 0 bis 2,59 – abbilden lässt, sondern auf eine Struktur: genauer eine neuronale Struktur, die aus der Verkopplung von drei Mikrozuständen besteht: Aktivation frontal, zweimal Aktivation rechts-parietal. Fassen wir die beiden letzteren zusammen, dann sind zwei Mikrozustände an der „Verkürzung" beteiligt, die eine Unterscheidung erlauben: Müdigkeit sollte eine Veränderung frontal bewirken. Transformation ins Bildhaft-Anschauliche eine Veränderung rechts-parietal.

Mit diesen Befunden ist gezeigt, dass sich die *Verkürzung als eine Universalie des Denkens* auf der *neuronalen Ebene experimentell als neuronale Struktur* nachweisen lässt.

Als Aufgabe bleibt die Lösung des Codierungsproblem: die Zuordnung kognitiver Operationen zu den Mikrozuständen bzw. deren Verkettung. Gelingt eine Lösung (eine erste Überlegung wäre die Anwendung der Methode nach Posner: Man bietet zwei Anforderungen, die sich in genau einer kognitiven Operation unterscheiden und fragt nach der Differenz in den Mikrozustandssequenzen), wäre darüber auch die Sequenz kognitiver Operationen messbar und mehr noch, aus der Sequenz kognitiver Operationen kann man

dann die bedingten Wahrscheinlichkeiten und in einem ersten Schritt deren Erzeugungsregeln, also eine mentale Grammatik bestimmen.

Unglücklicherweise steht uns heute keine neue Datenbasis zur Verfügung. Aus einer Analyse der Mikrozustandssequenz eines mathematisch Hochbegabten, die Seidel (2004) gemessen hat, deren Bedeutung wir aber damals nicht verstanden haben, lässt sich mit den hier vorgelegten neuen Ergebnissen formulieren: Die Universalie „Verkürzung" als neuronale Struktur tritt immer dann auf, wenn vorher eine spezifische Kombination von Mikrozuständen (vorerst noch nicht interpretierbar) aufgetreten ist. Dies wiederholt sich in der Sequenz. Das ist zwar Kasuistik. Dennoch ließe sich so eine erste „Wenn-Dann"-Regel für eine mentale Grammatik formulieren.

Und noch eins ist uns wichtig: Die einfachst mögliche theoretische Annahme über den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess ist die Abbildung des Prozesses auf eine Sequenz. Obwohl wir zeigen konnten, dass die bedingten Wahrscheinlichkeiten der Mikrozustände der Sequenz und damit die Entropiereduktion sensibel gegenüber Leistungsveränderungen im Denken sind, muss doch konstatiert werden, dass mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten zugedeckt wird, was eigentlich aufgeklärt werden müsste. Denn: die Entscheidung für die Auswahl eines Nachfolgers zum Vorgänger hängt, wie wir aus der Analyse von Problemlöseprozessen wissen, z. B. auch noch vom Zielabstand und vom Anfangsabstand, vom Motiv (z. B. Einfachheit), vom Vorwissen etc. ab. Um dem menschlichen Informationsverarbeitungsprozess genauer Rechnung zu tragen, müsste die Transformation der Mikrozustände innerhalb der jeweiligen Sequenz betrachtet werden, genauer die Transformation von Zuständen (Problemlösen), die Transformation von kognitiven Strukturen (Transformation *struktureller* Information; vgl. Sommerfeld 2009, Sommerfeld/Krause 2013) und die Transformation von Räumen (z. B. Ausbildung einer Doppelrepräsentation, Änderung der subjektiven Metrik im Denkprozess). Solche Transformationen könnten dann als ausgezeichnete Subsequenzen von Mikrozuständen abgebildet werden, wir haben sie neuronale Strukturen genannt. Es wäre schon ein verführerischer Gedanke, wenn sich eine kognitive Operation auf einen Mikrozustand und eine kognitive Prozedur (z. B. die Universalien) auf eine neuronale Struktur abbilden ließen.

Kommen wir zum Ausgangspunkt unseres Textes zurück. Wenn zu Zeiten von Gustav Theodor Fechner noch mit Differentialgleichungen die Reiz-Empfindungsbeziehungen beschrieben wurden, so sind es heute Systematiken, Vektorräume, Transformation von Räumen, Invarianten, Markoffketten, Grammatiken, diskrete Prozesse etc. und der Fokus ist auf das Spektrum

vom Verhalten zum neuronalen Netz gerichtet. Die Entwicklung der Wissenschaft – um den Beitrag auch in den Rahmen dieser Tagung einzuordnen – bringt abhängig von der Notwendigkeit auf ganz natürliche Weise neue Disziplinen hervor. So auch hier. Eine „Psychophysik kognitiver Prozesse“ ist es nicht geworden, aber eine Elementaranalyse menschlicher Informationsverarbeitung. Dieser Bezeichnung hätte Friedhart Klix sicher auch zugestimmt.

Literatur

Berg, Michael (2018): „Experimentelles Denken in der Diagnostik kognitiver Funktionen“. Friedhart Klix. Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker, hrsg. von Werner Krause; Erdmute Sommerfeld. Berlin, 165–178 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 135). https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/08/15-Michael-Berg.pdf.

Fechner, Gustav Theodor (1860): Elemente der Psychophysik. Leipzig.

Ebeling, Werner (2018): „Entropie, Information und Emergenz“. Leibniz-Online. Wissenschaftliche Internet-Zeitschrift der Leibniz-Sozietät, 32, 3–8. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/03/Ebeling.pdf.

Goede, Karin; Klix, Friedhart (1972): „Lernabhängige Strategien der Merkmalsgewinnung und der Klassenbildung beim Menschen“. Zeichenerkennung und Klassifizierungsprozesse in biologischen und technischen Systemen, hrsg. von Friedhart Klix; Werner Krause; Hubert Sydow. Berlin (Kybernetik-Forschung, Bd. 1).

Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1970): „Über einen Ansatz zur Untersuchung des kognitiven Leistungsverhaltens von Gruppen“. Die Struktur des Kollektivs in sozialpsychologischer Sicht, hrsg. von Manfred Vorwerg. Berlin, 25–45.

Gundlach, Wilfried; Schulz, Gisela (1987): „Ist die Effektivität von Problemlösungen aus Diskussionen voraussagbar?“. Psychologie für die Praxis, 4, 350–368.

Heinrich, Frank (1997). Diskussionsmaterial zur Untersuchung der Doppelrepräsentations-Hypothese und einige Bemerkungen aus mathematikdidaktischer Sicht (Manuskript, unveröffentlicht).

Klix, Friedhart (1992): Die Natur des Verstandes. Göttingen.

Klix, Friedhart (2004): „Friedhart Klix“. Psychologie in Selbstdarstellungen. Bd. 4, hrsg. von Helmut E. Lück. Lengerich, 168–192.

Klix, Friedhart; Krause, Bodo (1969): „Zur Definition des Begriffes ‚Struktur’, seiner Eigenschaften und Darstellungsmöglichkeiten in der Experimentalpsychologie“. Zeitschrift für Psychologie, 176, 22–54.

Klix, Friedhart; Lanius, Karl (1999): Wege und Irrwege der Menschenartigen. Wie wir wurden, wer wir sind. Stuttgart u. a. O.

Krause, Werner (1970): „Untersuchungen zur Komponentenanalyse in einfachen Problemlöseprozessen“. Zeitschrift für Psychologie, 177, 199–249.

Krause, Werner (1991): „Ordnungsbildung im Denken und kognitiver Aufwand“. Zeitschrift für Psychologie (Suppl.), Jg. 11, 404–421.

Krause, Werner (2000): Denken und Gedächtnis aus naturwissenschaftlicher Sicht. Göttingen.

Krause, Werner (2006): „Außergewöhnliche menschliche Informationsverarbeitung – Extremgruppenvergleiche“. Leibniz Online. Wissenschaftliche Internet-Zeitschrift der Leibniz-Sozietät, 2, 1–32. – http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2012/11/02-2-Krause.pdf.

Krause, Werner (2017a): „Entropiereduktion im Denken“. Leibniz Online. Wissenschaftliche Internet-Zeitschrift der Leibniz-Sozietät, 25, 1–16. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/01/WKrause-1.pdf.

Krause, Werner (2017b): „Processing of Information in Microstates“. Leibniz-Online. Wissenschaftliche Internet-Zeitschrift der Leibniz-Sozietät, 25, 1–26. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2017/01/WKrause-2.pdf.

Krause, Werner (2022): „Ein Glücksfall“. Probleme sind zum Lösen da – Eine mathematisch-didaktische Festschrift zur Verabschiedung in den Ruhestand von Prof. Dr. Frank Heinrich, hrsg. von Frank Förster; Torsten Fritzlar; Benjamin Rott. Münster (im Druck).

Krause, Werner; Seifert, Rosemarie; Sommerfeld, Erdmute (1987): Ausbildung und Transformation kognitiver Strukturen im Problemlösen. Forschungsbericht. Berlin (Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Akademie der Wissenschaften der DDR) (ZKI-Informationen, Nr. 2/87).

Krause, Werner; Seidel, Gundula; Heinrich, Frank (2003): „Entropy Reduction in Mathematical Giftedness“. Human Behaviour in Design. Individuals, Teams, Tools, ed. by Udo Lindemann. Berlin u. a. O., 63–71.

Krause, Werner; Zhang, Li (2018): „Entropiereduktion im Denken in China“. Wissenschaftliche Mitteilung. Klassensitzung der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, am 14. Februar 2018. – https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/02/Entropiereduktion-text-5.2.2018-mit-Li-Zhang.docx.pdf [24.03.2021].

Krüschanowski, J. M. (1968): „Konstruktive Projektierung“. Die Anwendung von Rechenautomaten zur Projektierung von Rechenautomaten, hrsg. von N. A. Matjuchin. Moskau, 153–166 (russ.).

Lehmann, Dietrich; Ozaki, Hisaki; Pal, Ivan (1987): „EEG Alpha Map Series: Brain Microstates by Space-oriented Adaptive Segmentation“. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 67/3, 271–288.

Metz, Anna-Marie (2018): „Psychophysiologie und menschliche Informationsverarbeitung“. Friedhart Klix. Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker, hrsg. von Werner Krause; Erdmute Sommerfeld. Berlin, 153–163 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 135). https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/ 08/14-Anna-Maria-Metz.pdf.

Prescott, James; Gavrilescu, Maria; Cunnington, Ross; O’Boyle, Michael W.; Egan, Gary F. (2010): „Enhanced Brain Connectivity in Math-gifted Adolescents: An fMRI Study Using Mental Rotation“. Cognitive Neuroscience, 1/4, 277–288.

Rothe, Heinz-Jürgen (2018): „Mensch-Maschine-Systeme in der Industrie 4.0 – Zur Aktualität der ingenieurpsychologischen Arbeiten von Friedhart Klix“. Friedhart Klix. Naturwissen-

schaftler, Psychologe, Vordenker, hrsg. von Werner Krause; Erdmute Sommerfeld. Berlin, 143–152. (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 135). – https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/08/13-Heinz-J%C3%BCrgen-Rothe.pdf.

Saedler, Jürgen; Schäller, Kurt (1974): Maschinelles Entwurfssystem für Leiterplatten mit zwei Verdrahtungsebenen. Dissertation. Berlin (Humboldt-Universität).

Schack, Bärbel (1997): Adaptive Verfahren zur Spektralanalyse instationärer mehrdimensionaler biologischer Signale. Habilitationsschrift. Ilmenau (Technische Universität).

Schack, Bärbel (1999): „Dynamic Topographic Spectral Analysis of Cognitive Processes". Analysis of Neurophysiological Brain Functioning, ed. by Christian Uhl. Berlin u. a. O., 230–251.

Schack, Bärbel; Krause, Werner (1995): „Dynamic Power and Coherence Analysis of Ultra Short-term Cognitive Processes – a Methodical Study". Brain Topography, 8, 127–136.

Schack, Bärbel; Grieszbach, Gert; Krause, Werner (1999): „The Sensitivity of Instantaneous Coherence for Considering Elementary Comparison Processing. Part I: The Relationship between Mental Activities and Instantaneous EEG Coherence". International Journal of Psychophysiology, 31/3, 219–240.

Schack, Bärbel; Seidel, Gundula; Krause, Werner; Heinrich, Frank (2001): „Coherence Analysis of the Ongoing EEG by Means of Microstates of Synchronous Oscillations". Engineering in Medicine and Biology Society, 2001. Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE/EMBS, Oct 25–28, Istanbul. Vol. 2, 1792–1795.

Seidel, Gundula (2004): Ordnung und Multimodalität im Denken mathematisch Hochbegabter: sequentielle und topologische Eigenschaften kognitiver Mikrozustände. Berlin.

Selz, Otto (1913): Über die Gesetze des geordneten Denkverlaufes. Eine experimentelle Untersuchung. Stuttgart.

Sommerfeld, Erdmute (1972): „Heuristische Regeln für das Problem der Schnittstellenminimierung beim Entwurf von Leiterplatten". Analyse und Synthese von Problemlösungsprozessen, hrsg. von Friedhart Klix; Werner Krause; Hubert Sydow. Berlin, 160–177 (Kybernetik-Forschung, Bd. 2).

Sommerfeld, Erdmute (1979): Zur Analyse und Synthese von Problemlösungsprozessen bei einer Klasse von Zerlegungsproblemen. Dissertation. Berlin (Akademie der Wissenschaften der DDR).

Sommerfeld, Erdmute (1994): Kognitive Strukturen. Mathematisch-psychologische Elementaranalysen der Wissensstrukturierung und Informationsverarbeitung. Münster u. a. O.

Sommerfeld, Erdmute (2009): „Aufklärung von Basisprozessen menschlicher Informationsverarbeitung. Ein systematischer Zugang durch Elementaranalyse von Denkprozessen bei der Lösung von Ordnungsproblemen?". Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 101, 93–110. – https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/ 2012/11/ 12_sommerfeldt.pdf.

Sommerfeld, Erdmute (2014): „Strukturelle Information, Interne Repräsentation, Interpretation, Reduktion". Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 118, 91–104. https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/02/10_sommerfeld.pdf.

Sommerfeld, Erdmute (2018): „Die Klix-Operationen und -Prozeduren: anforderungsinvariant und mathematisch exakt". Friedhart Klix. Naturwissenschaftler, Psychologe, Vordenker, hrsg. von Werner Krause; Erdmute Sommerfeld. Berlin, 75–97 (Sitzungsberichte der Leib-

niz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 135). – https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2018/08/09-Erdmute-Sommerfeld.pdf.

Sommerfeld, Erdmute; Sobik, Fred (1994): „Operations on cognitive structures – their modelling on the basis of graph theory". Knowledge Structures, ed. by D. Albert. Berlin, 146–190.

Sommerfeld, Erdmute; Krause, Werner (2013): „‚Objektiv, aber speziell': Psychologie als Naturwissenschaft". Leibniz Online. Wissenschaftliche Internet-Zeitschrift der Leibniz-Sozietät 15, 1–23. http://leibnizsozietaet.de/wpcontent/uploads/2013/11/sommerfeld_krause-3. pdf.

Stratonovich, Ruslan L. (1975): Teorija informacii (Information Theory). Moskva (Sovieckoje Radio) (russ.).

Stratonovich, Ruslan L. (1985): „On the Problem of the Valuability of Information". Thermodynamics and Regulation of Biological Processes, ed. by Ingolf Lamprecht; Aleksandr Il'ič Zotin. Berlin, 105–120.

Sydow, Hubert (1970): „Zur metrischen Erfassung von subjektiven Problemzuständen und zu deren Veränderung im Denkprozess". Zeitschrift für Psychologie, 178, 1–50.

Unger, Siegfried; Wysotzki, Fritz (1981): Lernfähige Klassifizierungssysteme. Berlin.

Zhang, Li (2017): Mitteilung per E-Mail am 08. August.

Zhang, Li; Cao, Mingna; Shi, Bo (2016): „Identifying Gifted Thinking Activities Through EEG Microstate Topology Analysis". Neural Information Processing. 23rd International Conference, ICONIP 2016, Kyozo, Japan, October 16–21, 2016. Proceedings. Part I, ed by Akira Hirose; Seiichi Ozawa; Kenji Doya; Kazushi Ikeda; Minho Lee; Derong Liu. Cham, 123– 130 (LNCS 9947).

Zhang, Li; Gan, John Q.; Wang, Haixian (2017): „Neurocognitive Mechanisms of Mathematical Giftedness: A Literature Review". Applied Neuropsychology Child, 6/1, 79–94.

Zhang, Li; Gan, John Q.; Zhu, Yanmei; Wang, Jing; Wang, Haixian (2020): „EEG Source-space Synchrostate Transitions and Markov Modeling in the Math-gifted Brain during a Long-chain Reasoning Task". Human Brain Mapping, 41, 3620–3636.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 157–159*

Daniel H. Rapoport, Falk Nette, Philipp Grüning

3D-Bewegungsanalyse von Immunzellen für die Diagnostik

Abstract

Characteristic motion patterns of cells, in particular immune cells, can be used to diagnose diseases like e.g. chronic inflammations. To this end, we have developed a method to measure many thousand 3D migration paths at once. We used this method to record the chemotacic response of neutrophils from asthmatics and non-asthmatics within a collagen matrix. A deep neuronal network was then employed to learn the discriminating features of the motion patterns to discern between the two groups.

Keywords/Schlüsselwörter

Asthma diagnosis, Cell based diagnostics, Cell tracking, Graph neural network, Motion analysis

Asthma-Diagnose, Bewegungsanalyse, tiefe neuronale Netze, Zelltracking, zellbasierte Diagnostik

Digitale inline-Holographie (vgl. dazu Xu et al. 2001) ist eine einfache Methode, um dreidimensional Zellen abzubilden und zu lokalisieren, die sich in einer durchsichtigen Matrix (z. B. Kollagen Typ I) befinden. Dabei wird Licht einer LED zunächst durch eine Lochblende und dann durch die Probe mit den Zellen geleitet; es entstehen Beugungsbilder, die im optischen Nahfeld (1 bis 5 mm) mit einem einfachen Bildsensor aufgezeichnet werden können. Aus den Beugungsbildern lassen sich mit Hilfe eines Algorithmus die Orte der Beugungszentren (Zellen) errechnen (inverses Problem, „angular spectrum method"; vgl. Picart 2015). Der platzsparende Aufbau solcher Mikroskope gestattet ihren Betrieb in herkömmlichen Brutschränken, was die Beobachtung von Zellen und Zellbewegungen auch über längere Zeiträume ermöglicht. Die entstehenden Zeitserien enthalten die 3D-Bewegungen vieler tausend Zellen gleichzeitig; diese Bewegungen lassen sich mit Tracking-Algorithmen als dreidimensionale Zell-Trajektorien extrahieren (open source tracking framework „trackpy"[1]).

1 Soft-matter/trackpy: Trackpy v0.4.2, Oct. 2019.

Wir haben mit der Methode des inline-holographischen 3D-Zelltrackings Immunzellen aus dem Blut (neutrophile Granulocyten) verfolgt, um ein allgemeines Diagnoseverfahren daraus abzuleiten. Aus früheren Arbeiten war bekannt, dass Neutrophile bei Asthmatikern dem Gradienten eines Chemokins wie z. B. N-formyl-methionyl-leucyl-phenylalanine (fMLP) signifikant verlangsamt folgen (vgl. Sackmann et al. 2014). Wir haben dieses Vorwissen genutzt, um ein neuronales Netz mit Zell-Trajektorien der Neutrophilen von Asthmatikern und Nicht-Asthmatikern zu trainieren. Dabei wurde der Klassifikationsfehler zwischen beiden Gruppen (Kontrolle und Asthma) minimiert. Im Ergebnis war das trainierte neuronale Netz in der Lage, die Zuordnung von Zelltracks zur richtigen Gruppe mit ~ 80 % Genauigkeit zu treffen. Diese Genauigkeit wird sich mit der Verfügbarkeit weiterer Tracking-Daten von Asthma-Neutrophilen sicher steigern lassen. Der entscheidende Punkt ist jedoch weniger die erzielte Genauigkeit als vielmehr die Tatsache, dass das Netz die Merkmale, anhand derer es die Entscheidung trifft, selbstständig erlernt. Dadurch ist das Verfahren generell in der Lage, charakteristische Unterschiede im Bewegungsmuster zweier Zellpopulationen zu erkennen, auch wenn diese nicht vorher bekannt waren. Überdies werden sich künftig aus Zellbewegungsdaten nicht nur Diagnosen oder Prognosen über einen Krankheitsverlauf treffen lassen, sondern auch Hypothesen über den Einfluss einer Krankheit auf das Immunsystem ableiten. Schließlich ist das Verfahren auch explorativ einsetzbar, d. h. man kann es verwenden, um gezielt nach diskriminierenden Charakteristika von zellulären Bewegungsmustern zu suchen.

Literatur

Picart, Pascal (ed.) (2015): New Techniques in Digital Holography. Instrumentation and Measurement Series. London.

Sackmann, Eric Karl-Heinz; Berthier, Erwin; Schwantes, Elisabeth A.; Fichtinger, Paul S.; Evans, Michael D.; Dziadzio, Laura L.; Huttenlocher, Anna; Mathur, Sameer K.; Beebe, David J. (2014): „Characterizing Asthma from a Drop of Blood Using Neutrophil Chemotaxis“. PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111/16, 5813–5818. – https://doi.org/10.1073/pnas.1324043111.

Xu, Wenbo; Jericho, Manfred H.; Meinertzhagen, Ian A.; Kreuzer, Hans-Jürgen (2001): „Digital In-line Holography for Biological Applications“. PNAS – Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 98/20, 11301–11305. – https://doi.org/10.1073/pnas.19136139.

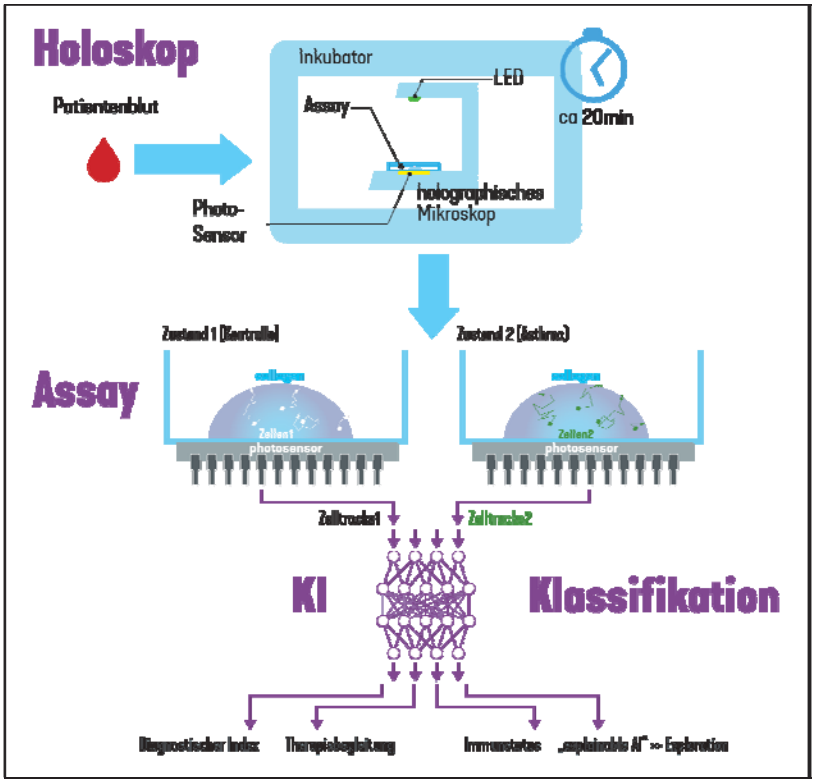


Abb. 1: Schema eines Asthma-Diagnoseverfahrens, das auf der Analyse von Zellbewegungen beruht

Aus einem Tropfen Vollblut werden die neutrophilen Granulocyten isoliert und ca. 20 min im 3D-Gradienten eines Chemokins (z. B. fMLP) beobachtet. Mit den Zellpfaden wird ein tiefes neuronales Netz darauf trainiert, den Klassifikationsfehler zwischen beiden Gruppen (Kontrolle und Asthma) zu minimieren. Wichtig ist, dass die Methode verallgemeinert werden kann, um jedwede Krankheit zu diagnostizieren, die mit einem charakteristisch veränderten Bewegungsverhalten der Immunzellen einhergeht. Dabei ist es nicht notwendig, die charakteristischen Abweichungen des Bewegungsverhaltens im Vorhinein zu kennen. Umgekehrt lässt sich das Verfahren auch nutzen, um ganz allgemein nach Charakteristika von Zellbewegungen zu suchen.

Eigene Darstellung (D. H. Rapoport)

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 161–174*

Rainer Fischbach

Gedanken zum epistemischen Status von Modellen

Abstract

Model building is a method of research as well as of prognosis and planning. Since the arrival of digital data processing it disposes about an instrument of increasing flexibility and power, although not about one capable of compensating for a lack of understanding or data. While converting deeply structured conceptual models into linear sequences of storage words poses methodological problems, increasing model sophistication often generates resource requirements ascending stronger than linear with granularity. Growing dependence of political decisions on model-based prognosis demands a deeper understanding of their epistemic problems, particularly of the unavoidable difference between model and reality.

Keywords/Schlüsselwörter

Computing resource requirements, COVID-19, Forecasting, Model building, Prognosis, Rumsfeld matrix

COVID-19, Computerressourcen, Modellbildung, Prognose, Rumsfeld-Matrix, Vorhersage

Dass die Leistungsfähigkeit von Digitalrechnern in den letzten Jahrzehnten sowohl was ihre Geschwindigkeit im Sinne von Operationen pro Zeiteinheit und im Sinne der Anzahl von parallel nutzbaren Prozessoren als auch was ihre Speicherkapazität angeht, um Größenordnungen gewachsen ist, stellt eine selbstverständliche Voraussetzung heutiger Wissenschaftspraxis dar. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob ihre Fähigkeit, den Prozess wissenschaftlicher Erkenntnis oder gar deren Umsetzung in nutzbare Technik bzw. in gesellschaftliche Interventionen zu unterstützen, in gleichem Maße gewachsen ist. Grenzen setzt natürlich die nicht in gleichem Maße gewachsene menschliche Fähigkeit, Fragestellungen und Hypothesen zu entwickeln, experimentelle Anordnungen zu konstruieren, Messungen vorzunehmen, Berechnungen zu spezifizieren und in ausführbare Programme zu überführen. Automatisierung vermag diese Grenzen auszudehnen – nicht nur im

Labor, sondern auch im Verhältnis von Hypothese zu Berechnung. Dies ist das Feld der Modellierung durch Software. Während in der Anfangszeit mittels Software die Rechenverfahren, wie etwa die zur Lösung von linearen Gleichungssystemen oder von Differentialgleichungen, automatisiert wurden, indem die Einzelschritte zu einem Verarbeitungsfluss gefügt wurden, werden seit den 1970ern zunehmend Rechenverfahren und die Datenstrukturen, auf denen diese operieren, zu Gebilden komponiert, die ganze Gegenstandsbereiche mit ihrer Dynamik abbilden sollen. In der Technik leisten solche Modelle heute in Gebieten, in denen es gut bewährte Theorien gibt, als Werkzeuge für Konstruktion, Planung, Beschaffung, Fertigung, Logistik etc. wertvolle Dienste und ersparen oft – klassische Felder bilden etwa die Statik und Dynamik von Konstruktionen – viele aufwendige Tests, doch haben sich Modellstudien auch als wissenschaftliche Disziplin etabliert und sie werden zunehmend zur Begründung politischer Forderungen und entsprechender Entscheidungen herangezogen. Im Zusammenhang der Legitimation von Maßnahmen gegen COVID-19 exponierte sich diese Vorgehensweise der Öffentlichkeit in besonderer Weise als politisches Instrument und lädt dadurch zur methodischen Überprüfung ein. Haben nach dem gültigen Verständnis von Wissenschaft Hypothesen sich im Experiment zu bewähren, dem sie in Gestalt des Modells gegenüberstehen, dann entsteht in Situationen, in denen das Experiment, sei es, weil ethisch unvertretbar, sei es, weil es um die Zukunft geht, nicht verfügbar ist, eine epistemisch ungeklärte Situation. Wenn an einem solchen Punkt Modelle an die Stelle von Experiment und Messung treten sollen, stellt sich umso mehr die Frage nach deren epistemischem Status und konkret nach Qualitätsmaßstäben für sie. Dies sind dann zunächst Fragen nach Softwarequalität und Datenqualität, doch dann nach der Gewichtung von Merkmalen des Gegenstands in der Modellierung, d. h. insbesondere wovon diese abstrahiert, nach deren Transparenz und nicht zuletzt, ob die Gewinnung der Daten und der Umgang mit ihnen ethischen Maßstäben entsprechen.

Die Bedeutung von Modellen

Systematisch vorgehende, intersubjektive und reproduzierbare Erkenntnis ist auf Modelle ihrer Gegenstände angewiesen. Modelle sollen Komplexe von Erscheinungen erklären und einordnen sowie ihr Verhalten vorhersagen. Das Modell ist die partielle Nachbildung des Gegenstandes aus bekannten, handhabbaren Elementen. Es bildet den Gegenstand unter einer bestimmten Zielsetzung nicht vollständig, sondern verkürzt ab (vgl. Stachowiak 1973: 131ff.). Die Verkürzung ergibt sich oft bewusst aus der Zielsetzung der

Modellierung, doch kann sie auch Folge eines unzureichenden Verständnisses des Gegenstandes oder mangelnder Mittel zu dessen detaillierterer Abbildung sein. Sie ist jedenfalls in mehrfacher Weise konstitutiv für die Funktionen des Modells. Für die Erkenntnisfunktion, da, einmal abgesehen davon, dass hinsichtlich vieler Gegenstände sowohl das Wissen als auch die Mittel dazu fehlen, ein Modell, das die Komplexität des Gegenstandes identisch abbildete, so undurchschaubar wäre wie dieser selbst, und für die Prognosefunktion, weil der Vorzug eines Modells doch darin bestehen soll, verfügbar zu sein, bevor die modellierten Ereignisse eintreten, und im Kontext von Planungen auch deutlich geringeren Aufwand verursachen soll als die geplante Sache bzw. Aktivität – was beides bei einer unverkürzten Modellierung schwer zu erreichen wäre.

Modelle abstrahieren einerseits nicht nur von Merkmalen ihres Gegenstandes, sondern besitzen andererseits auch Merkmale, die ihr Gegenstand *nicht* aufweist. Letztere entstehen aus Eigenschaften der Modellelemente, die mit dem Gegenstand nichts zu tun haben. Die astronomischen Uhren, die in früheren Jahrhunderten als Modelle des Planetensystems dienten, umfassten z. B. Zahnräder und Gestänge, die nichts davon abbildeten, sondern die Abbildung nur unterstützen. Um ein Modell zu verstehen, ist eine doppelte Abstraktion erforderlich, nämlich sowohl von dem, was am Gegenstand außerhalb des die Modellierung leitenden Interesses bzw. der diesem zur Verfügung stehenden Mittel liegt, als auch von dem, was im Modell unmittelbar nichts vom Gegenstand abbildet. Ein treffendes Verständnis kann sich deshalb unabhängig vom Handlungszusammenhang der Modellierung, also von deren pragmatischer Dimension, nicht bilden. Die Charakterisierung der Beziehung zwischen Modell und Gegenstand als Widerspiegelung ist deshalb inadäquat. Spiegelungen sind totale, injektive und zu sich selbst inverse Abbildungen – was auf die Modellrelation nicht zutrifft. Treffender wäre es, von strukturellen Ähnlichkeiten und selektiven Analogien bzw. Proportionalitäten zu sprechen – selbst wenn die Repräsentation der Größen digital erfolgt.

Vertiefte Erkenntnis der Beschaffenheit eines Gegenstandes, Prognose seines Verhaltens oder Planung einer Sache bzw. Aktivität: das sind die wesentlichen Zwecke, zu denen Modelle erstellt werden. Von anderen Zwecken wie denen der Übung oder des Spiels sei hier abgesehen. Ebenfalls außerhalb der Betrachtung bleibt der Begriff des Modells aus der mathematischen Logik, wo man unter einem Modell einer Menge von Axiomen eine spezifische Struktur versteht, die diese Axiome unter einer bestimmten Interpretation von deren Termini durch Komponenten der Struktur erfüllt. Die Funktion von Modellen in Bezug auf jene zuvor genannten Zwecke ist sinnvoll nur

im Zusammenhang von Theorien der jeweiligen Gegenstände zu diskutieren. Keine Theorie im Sinne der empirisch-analytischen Wissenschaften kommt ohne Modellvorstellungen aus. Auch das Experiment als wesentliches Werkzeug ist von solchen Vorstellungen abhängig, da sich ohne solche kaum sinnvolle Fragestellungen entwickeln lassen. Wissenschaft bewährt sich letztlich nicht im bloßen Datensammeln, sondern darin, dass sie gehaltvolle Hypothesen und Modelle entwickelt, aus denen empirisch, d. h. durch korrespondierende Experimente, überprüfbare Vorhersagen ableitbar sind. Dabei gab es durchaus auch Fälle, in denen erst eine neue Hypothese mit einem entsprechenden Modell Licht auf ein bereits vorhandenes Korpus von Daten zu werfen vermochte. Dies war z. B. bei der Entstehung der modernen Astronomie der Fall. Abweichungen zwischen modellbasierter Vorhersage und experimentellen Ergebnissen können wiederum zur Anpassung oder auch Verwerfung von Hypothesen und Modellen führen. Dies allerdings erst, nachdem geklärt ist, dass Modell *und* Experiment korrekt aufgebaut und ausgeführt wurden.

Klaus Fuchs-Kittowski und Jens Reich schlugen das sogenannte Lungenflügel-Diagramm vor, um den Zusammenhang von Modell und Experiment zu veranschaulichen (siehe Abb. 1). Dieses Diagramm stellt jedoch nur eine der vielen Funktionen der Modellierung im Erkenntnisprozess dar: die des ausgearbeiteten rechnerischen Modells, das als Gegenpart des Experiments seit den 1970ern zunehmend auf Computern implementiert wird. Doch die Modellbildung ist im Prozess der Theorieentwicklung auf allen Stufen präsent, nicht nur als Gegenpart zum Experiment. Als Ersatz für das Experiment fungiert die Modellierung dort, wo es, wie in der Technik, hinreichend bewährte Theorien gibt, so dass die Planung auf viele Tests, wie Experimente in diesem Kontext heißen, verzichten kann, und dort, wo Experimente nicht möglich sind. Beim Test geht es weniger im die Überprüfung der Theorie als vielmehr um deren Angemessenheit für die vorliegende Aufgabe bzw. darum, ob die konstruktive Lösung funktioniert und korrekt ausgeführt wurde. Doch selbst wenn Computermodelle Tests zunehmend ersetzen, wird man in der Technik auf Tests bzw. eine Erprobung der Produkte in der Praxis selten verzichten können.

Ganz anders ist die Lage dagegen in den meisten Fällen, in denen das Experiment nicht zur Verfügung steht, sei es, weil es ethisch nicht vertretbar wäre, sei es, weil es um die Zukunft geht. Hier sind in vielen Fällen die theoretischen Grundlagen unsicher, die Daten lückenhaft oder die Modelle wegen unzureichender Ressourcen nicht in der erforderlichen Auflösung implementierbar bzw. es liegt eine Kombination dieser Mängel vor. Gerade

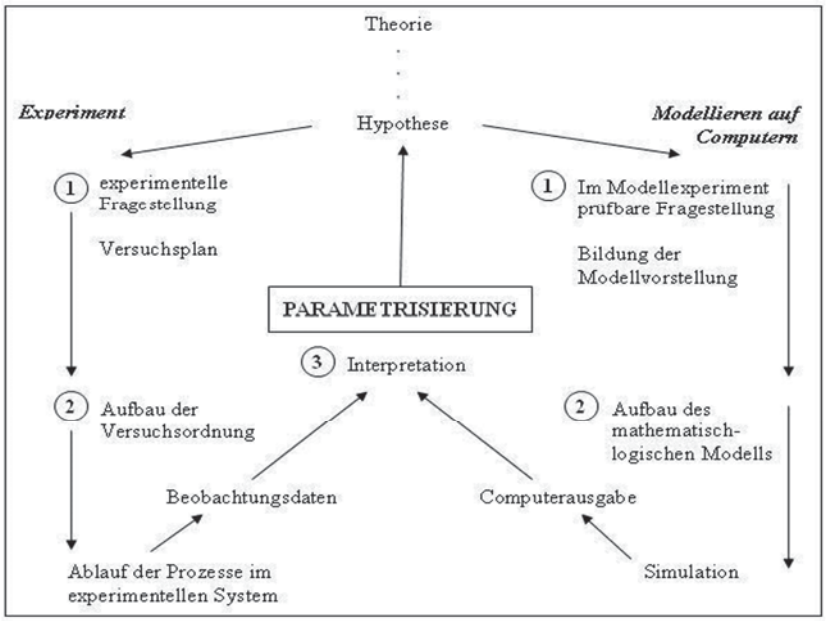


Abb. 1: Lungenflügel-Diagramm

Quelle: nach Fuchs-Kittowski 2007: 45

hinsichtlich der Fragen, an denen ein großes öffentliches Interesse besteht – die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung im nationalen wie im globalen Rahmen, die Entwicklung des globalen wie des regionalen Klimas, die Verbreitung von Infektionskrankheiten, etc. – bleibt die Modellbildung oft auf unsichere bzw. lückenhafte Fundamente angewiesen. Der Bericht des Club of Rome zu den *Grenzen des Wachstums* (vgl. Kupper 2018), der als Paradigma einer auf großmaßstäblicher, computergestützter Modellierung basierenden Prognose gelten kann, ragt durch seinen Erfolg wie durch seinen Misserfolg heraus: erfolgreich war er, sofern er nicht nur zu einer bis heute wirksamen und wachsenden Sensibilisierung für seine Fragestellung führte, sondern auch der angewandten Modellierungstechnik den Weg zu breiter Rezeption ebnete; nicht erfolgreich, weil seine Aussagen so weit neben der dann tatsächlich eingetretene Entwicklung lagen, dass er auch eine Rolle als paradigmatische Warnung vor den Fallstricken dieser Technik spielen muss, die nicht übersehen werden darf, auch wenn wir heute vieles besser können und auch weit leistungsfähigere Instrumente zur Verfügung haben.

Beachtung erfordert gerade auch die technische Spezifik von Computermodellen. Modellelemente können sonst Größen, physische, geometrische bzw. graphische Gebilde oder Daten sonstiger Art sein, ihre genaue Beschaffenheit und ihr Zusammenhang mittels mathematischer Formeln, verbalen, vielleicht durch Zeichnungen oder Diagramme unterstützten Beschreibungen gegeben sein. Computermodelle bestehen dagegen letztlich aus Folgen von Speicherworten, die Modellelemente entweder in der Form von Operanten oder von Operationen repräsentieren und schließlich der Ausführung der letzteren auf den ersteren. Die Entwicklung eines Computermodells setzt ein, mittels der herkömmlichen verbalen, mathematischen, graphischen Mittel erstelltes, konzeptionelles Modell voraus – wobei die Kluft zwischen diesem und den unspezifischen, durch Gleichförmigkeit gekennzeichneten, Strukturen des Computers zu überbrücken, eine methodische Herausforderung beinhaltet, an der sich die Informatik bis heute abarbeitet.

Ein Blick zurück

Das vorherrschende Bild der Computertechnik, der Informatik und ihrer inzwischen in eine unüberschaubare Breite gewachsenen Anwendungsgebiete ist das von Disziplinen, die sich in einem sich beschleunigenden Fortschritt befinden. Schon das Bild des statischen Bildes erscheint inadäquat, treffender scheint eher der englische Begriff *moving picture* zu sein, da auch der deutsche Begriff *Film* viel zu unspezifisch ist und auch zu harmlos klingt. Doch nachdem man ein paar Jahrzehnte dieses *moving picture* miterlebt hat, verspürt man auch die Versuchung, in den Rückspiegel zu schauen, um noch einmal einen Blick auf die hinter uns liegenden Landschaften zu werfen. Die wichtigen Fragen sind die nach den Stufen, die entscheidende Verbesserungen gebracht haben, auf der einen und nach den Problemen, die gleich geblieben sind, auf der anderen Seite – wobei auch in Betracht zu ziehen ist, ob nicht gerade die vielen sichtbaren Fortschritte verdecken, was an Schwierigkeiten geblieben ist. Diese Fragen für das gesamte Feld stellen oder gar beantworten zu wollen, wäre vermessen, doch sei versucht, sie bezüglich der hier thematisierten Problematik der Modellierung wenigstens zu skizzieren.

Die Arbeit mit Computermodellen bzw. der Versuch, solche zu bauen und praktisch anzuwenden, ist zunächst mit drei Schwierigkeiten konfrontiert:

1. ein vielfältig strukturiertes, unter Umständen auch hochkomplexes mentales Artefakt auf eine nachvollziehbare, d. h. auch für Dritte verständliche, überprüfbare und gegebenenfalls korrigierbare und erweiterbare

Weise in das homogene, rein linear strukturierte Medium des Computerspeichers abzubilden;
2. dabei mit den Beschränkungen des nur in endlichen Mengen vorhandenen physischen Speichers umzugehen;
3. die spezifizierten Operationen innerhalb von angesichts der Aufgabenstellung sinnvollen Zeiträumen mittels der gegebenen Prozessoren von beschränkter Leistung auszuführen.

Tatsächlich konnten in den letzten Jahrzehnten entscheidende Fortschritte in allen drei Punkten erzielt werden, ohne jedoch die Schwierigkeiten vollständig aufzuheben. Von Bedeutung sind auch Verbesserungen, die nicht auf Hardware zurückgehen, sondern auf Systemsoftware, die deren Nutzbarkeit erhöht. Wichtige Beiträge dazu waren der virtuelle Speicher, der den Adressraum jenseits der Grenzen des physisch vorhandenen Halbleiterspeichers zu nutzen erlaubt, und Mehrprozesssysteme, die auf einem einzigen physischen Prozessor mehrere logisch parallele Prozesse ermöglichen – was insbesondere die Implementierung dynamischer Modelle mit einer Vielzahl von Agenten erleichtert. Allerdings haben diese Verbesserungen auch Kosten in Form von zusätzlichen Prozessorzyklen, Speicherworten und Ein/Ausgabeoperationen.

Im Unterschied zu den Punkten 2. und 3., bei denen Fortschritte aus Forschung und Entwicklung in Form von anwendbaren Produkten in die Praxis gelangen, ist dies bei Punkt 1. nur bedingt der Fall. Wesentliche Hilfsmittel sind hier Methoden und Werkzeuge wie z. B. Programmiersprachen und entsprechende Übersetzer, die produktiv nur durch aktive Aneignung einzusetzen sind. Die Entwicklung verlief hier vor allem in den ersten Jahrzehnten sehr langsam und noch langsamer verlief die breite Übernahme durch die Praxis. Die vielfältigen Leistungen auf diesen Gebieten zu würdigen übersteigt den hier gegebenen Rahmen, doch als Marksteine seien hier Publikationen hervorgehoben wie der Band *Structured Programming* (vgl. Dahl et al. 1972), dessen Beiträge mit Überlegungen zur Datenstrukturierung und zur Technik der Objektorientierung weit über das hinausgingen, was auch noch Jahrzehnte später unter diesem Begriff verstanden werden sollte, die wesentliche Argumente für die Objektorientierung entfaltende Diskussion der Kriterien, denen die Strukturierung von Softwaresystemen folgen sollte, durch David Parnas (vgl. Parnas 1972) und schließlich das polymorphe Hindley-Milner Typsystem (vgl. Milner 1978), das den Bereich der sauber und nachvollziehbar modellierbaren Sachverhalte entscheidend ausdehnte. Entscheidend sind in diesem Zusammenhang zwei Aspekte: zunächst, dass

es nicht allein darum geht, das Geschäft der Modellierung produktiver zu machen, d. h. zu erleichtern und zu beschleunigen, sondern auch darum, es als kommunikativen Akt ernst zu nehmen, es nachvollziehbar und überprüfbar zu machen und weiterhin, dass diese so verstandene Tätigkeit Voraussetzungen hat in Gestalt einer methodischen und sprachlichen Bildung – wobei letztere sich nicht allein auf Sprachen für die Modellierung und Programmierung erstrecken sollte, sondern auch auf die natürlichen. Die Fähigkeit, Sachverhalte in klarer natürlicher Sprache zu beschreiben, gehört inzwischen zu den knappsten Ressourcen der Technologiebranchen auch außerhalb der Softwareentwicklung.

Die Leistungsfähigkeit der Hardware steigerte sich in den letzten Jahrzehnten um Größenordnungen, doch mit nachlassenden Raten. Beispielhaft dafür die Speicherausstattung eines Arbeitsplatzrechners für anspruchsvollere Aufgaben, die sich von Anfang der 1980er bis Anfang der 1990er Jahre tausendfach, von 64 KB auf 64 MB, steigerte, doch für die nächste Steigerung um diesen Faktor auf 64 GB schon zwei Jahrzehnte benötigte. Allerdings stiegen der *verfügbare* Speicher und die *verfügbaren* Prozessorzyklen nicht in gleichem Maße an wie die von der Hardware bereitgestellten, da der Ressourcenhunger der Systemsoftware und auch der Anwendungen, auf die man heute kaum verzichten kann, die Geschenke des technischen Fortschritts zu einem beachtlichen Teil wieder auffrisst. Nicht nur, dass *Moore's Law* nicht mehr uneingeschränkt gilt, *Wirth's Law* (vgl. Wirth 1995) begrenzt seine Wirksamkeit, in geringerem Maße auf den Servern, deutlich stärker jedoch in der persönlichen Arbeitsumgebung.

Beharrliche Probleme

Doch auch unabhängig von solchen Behinderungen wächst der Nutzen von Leistungssteigerungen der Hardware auch dort, wo man sie relativ ungehindert nutzen kann, nicht proportional zu ihnen. Eine Wetterprognose, die zwar sehr genau mittels eines elaborierten Modells erstellt wurde, deren Berechnung jedoch erst fertig ist, wenn das vorhergesagte Wetter schon eingetreten ist, mag durchaus von wissenschaftlichem Interesse sein, etwa bezüglich der Frage, wie korrekt bestimmte Modelle einen Verlauf vorhersehen können, doch hilft sie z. B. Bauern, Seeleuten oder denen, die einen Ausflug planen, wenig. Doch geht es hier um mehr als nur um einen Kompromiss zwischen Korrektheit und Zeitigkeit. Vielmehr war gerade die Wetterprognose das Feld, auf dem zuerst ein fundamentales Problem einer ganzen Modellklasse sichtbar wurde: nichtlineare Systeme können ein chaotisches

Verhalten zeigen, d. h. kleinste Abweichungen in den Ausgangsbedingungen können schon nach wenigen Iterationen zu großen Abweichungen in den Ergebnissen führen (vgl. Saravanan 2022: 27–33). Durch eine höhere Auflösung des Erfassungsrasters, genauere und vor allem konsistent gemachte Daten kann man die Reichweite, bis zu der solche Modelle stabil innerhalb eines akzeptablen Bereichs bleiben – bei der Wettervorhersage mit sehr guten Resultaten auf drei, mit gerade noch brauchbaren auf sieben Tage –, ausweiten, doch das Problem prinzipiell nicht aus der Welt schaffen. Die letzten Jahrzehnte brachten eine nahezu exponentielle Steigerung des verfügbaren Speichers und der Prozessorleistung, doch nur eine lineare Steigerung des Zeitraums bzw. der Zuverlässigkeit der Vorhersage, ja es besteht sogar Anlass zu der Vermutung, dass die lineare Steigerung in einen Sättigungsverlauf übergeht (vgl. Saravanan 2022: 42). Selbst die massive Steigerung der Rechnerleistung bringt nur schwindende Grenzerträge.

Ein Modell stellt auch im günstigsten Fall nur eine endliche Annäherung an seinen Gegenstand dar. Grenzen setzen oft nicht nur die verfügbaren Mittel zur praktischen Ausführung, also bei Computermodellen Speicherumfang und Prozessorleistung, sondern auch das unzureichende Verständnis von Detailfragen. Auch Wetter- und Klimamodelle können bestimmte Aspekte des Geschehens nicht detailliert wiedergeben, sondern müssen Näherungsformeln mit geeigneten Parametern benutzen, wobei genau die Bestimmung dieser Parameter ebenso entscheidend wie schwierig ist. Eine Erfahrung, die ich anhand einer deutlich simpleren Aufgabe machte, mag das illustrieren. In der Folge der Ölkrise der 1970er Jahre wurde Energieeinsparung zu einem politischen Thema, das sich 1977 in einem, 1983 verschärften, Gesetz für den Bausektor und entsprechenden Neufassungen der DIN 4108 niederschlug. Die Idee, die Planer mit einer Anwendung für die gerade aufkommenden Arbeitsplatzrechner zu unterstützen, lag da nahe und für die Modellierung der Struktur der Bauwerkshülle mit ihren physikalischen Parametern waren Werkzeuge wie das damals neue UCSD-Pascal (vgl. Bowles 1977) wie geschaffen. Während der Nachweis der durch die Norm geforderten Mindestdämmung mittels einer simplen Funktion zu bewerkstelligen war, hätten Aufgaben wie die Ermittlung des Wärmebedarfs und des in einer Konstruktion anfallenden Tauwassers streng genommen eine Simulation mit Hilfe von elaborierten Wettermodellen erfordert. Doch hier bot die DIN eine Abkürzung an: der dynamische Verlauf war durch einen stationären Fall zu ersetzen, dessen Parameter für unterschiedliche Regionen und Städte einer Tabelle zu entnehmen waren. Diese Parameter beruhten auf Erfahrungswerten.

Auf ungesicherten Boden begab man sich jedoch, indem man die Entscheidung für einen Wärmeschutz, der über die gesetzlichen Anforderungen hinausging, ökonomisch zu fundieren versuchte, wie ich das damals vor mehr als vier Jahrzehnten unternahm. Wärmeschutz ist ein Beispiel abnehmender Grenzerträge, eine lineare Steigerung des Wärmedurchlasswiderstands bringt nur exponentiell abnehmende Erträge. Den möglichen Einsparungen an Energie sind die kapitalisierten Kosten der dazu nötigen konstruktiven Aufwände über den Investitionszeitraum gegenüberzustellen. Dazu hätte man Modelle der Energie- und der Finanzmärkte gebraucht. Mangels solcher Modelle lag es nahe, konstante Raten für die Steigerung der Energiepreise und den Zins anzunehmen. Doch die Annahmen, die man damals unter dem Eindruck der Ölkrise gemacht hatte, stellten sich alle als falsch heraus: während in den 1980er Jahren politische Arrangements mit den führenden Förderländern den realen Ölpreis senkten und niedrig hielten, sollten die Federal Reserve und in ihrem Gefolge die anderen Notenbanken den Zinssatz in ungeahnte Höhen treiben. Wärmedämmung blieb, ganz anders als das fehlerhaft parametrisierte Modell es vorhergesehen hatte, ein schlechtes Geschäft. Tatsächlich blieben die Energiepreise im Verhältnis zum Konsumentenpreisindex seit Jahrzehnten ungefähr gleich und sanken im Verhältnis zu den Einkommen beständig (vgl. Flassbeck 2021).

Um die Komponenten des skizzierten Modells in der durch Ramalingam Saravanan modifizierten Rumsfeld-Matrix (vgl. Saravanan 2022: 194−196) zu lokalisieren: die Berechnung der durchschnittlichen Wärmeleitzahl liegt im Felde der *known kowns*, die des Wärmebedarfs und des anfallenden Tauwassers in dem der *well-known unknowns* und die von Ersparnis bzw. Verlust durch zusätzliche Wärmedämmung in dem der *poorly known unknowns*. Saravanans Differenzierung der *known unknowns* in *well-known* und *poorly known* war durch die Lage in der Klimamodellierung motiviert, wo es für bestimmte Prozesse und Zusammenhänge, die gegenwärtig in Folge der zu geringen Auflösung der Modelle nicht explizit darstellbar sind, bewährte parametrische Näherungen gibt, während bei anderen große Ungewissheit besteht und bestenfalls Intervalle ohne Wahrscheinlichkeitsdichte für die Parameter angegeben werden können. Ein Beispiel für den ersten Fall sind die Turbulenzen an Grenzflächen, Beispiel für den zweiten die Rollen der Aerosole und der Wolkenbildung.

Über eine zentrale Eigenschaft des Klimas besteht weiterhin Ungewissheit: auch immer elaboriertere Modelle konvergieren nicht gegen einen bestimmen Wert für dessen Sensitivität gegenüber der CO_2-Konzentration, vielmehr scheint sich das Intervall eher aufzuspreizen, so dass von einem *un-*

	← **Accuracy** →	
↑ **Awareness** ↓	Known knowns	Well-known unknowns Poorly known unknowns
	Unknown knowns	Unknown unknowns

Abb. 2: Modifizierte Rumsfeld-Matrix

Quelle: nach Saravanan 2022: 194–196

certainty plateau (vgl. Saravanan 2022: 188) die Rede ist. Hier ist es nicht, wie beim Wetter, der chaotische Charakter der Zusammenhänge, sondern das mangelnde Verständnis wichtiger Faktoren, das den Fortschritt begrenzt. Auch *brute force* verspricht hier kaum Erfolg, da die Verfeinerung der Modellauflösung mit einer kubischen Steigerung des Speicher- und des Energiebedarfs einhergeht, dabei jedoch von der Leistungssteigerung, die zunehmend durch die Vervielfachung der Prozessorkerne und deren Unterstützung durch Graphikprozessoren, die auf Matrizenoperationen spezialisiert sind, zu erzielen ist, kaum profitiert (vgl. Saravanan 2022: 262–267).

Neue Aufbrüche?

Die Parallelisierung und die Graphikprozessoren geben vor allem KI-Techniken neuen Schub, die schon länger bekannt sind doch bisher unter dem Mangel an adäquater Rechnerleistung litten. Die dort zum Einsatz kommenden Modelle beruhen nicht auf einer inhaltlichen Analyse des Gegenstands, sondern auf statistischen Eigenschaften bestimmter Merkmale bzw. der diese repräsentierenden Variablen, zwischen denen Zusammenhänge mittels klassischer Techniken der Regression bzw. der Clusterbildung oder mittels (tiefer) neuronaler Netze konstruiert werden. Doch sinnvoll sind auch diese Verfahren nur, wenn man eine brauchbare Hypothese hat, die man ohne ein analytisches Verständnis des Gegenstandes schwerlich zu entwickeln vermag, und man zudem über qualitativ hochwertige Daten verfügt, die es erlauben, aus ihnen Zusammenhänge zu konstruieren. Dies nennt sich heute Maschinenlernen, doch Konditionierung ist wohl der treffendere Begriff. Nicht aus der Welt zu schaffen ist damit das Problem der Induktion, weil selbst aus noch so vielen, noch so guten Daten kein Gesetz ableitbar ist (vgl. Fischbach 2020).

Die statistischen Verfahren sind relativ erfolgreich, wo es um rekurrierende Sachverhalte prinzipiell gleicher Natur geht, für die ein großer Vorrat

an Beispielen existiert, wenn sie auch nicht die Zuverlässigkeit erreichen, über die klassische analytische Modelle in Bereichen verfügen, von denen ein profundes theoretisches Verständnis vorhanden ist. Doch ist die personalisierte Werbung auch schon bei einer Treffsicherheit lukrativ, die bei einem Finite-Elemente-Modell (FEM) für mechanische Lastsituationen von Konstruktionen einer Katastrophe gleichkäme. In der Proliferation entsprechender Modelle auf Gebieten, von denen es weder ein adäquates Verständnis noch verlässliche Daten gibt, liegt vor allem eine Gefahr, wenn darauf weitreichende Entscheidungen gegründet werden. Grundsätzlich stößt die Modellbildung an Grenzen, wo es darum geht, eine Zukunft vorherzusagen, für die es weder Beispiele gibt, die Ansätze für statistische Modellierung böten, noch ein hinreichendes theoretisches Verständnis, das es erlaubte, ein analytisches Modell zu konstruieren. Diese Grenzen sind auch durch noch so viel Rechnerleistung nicht aufzuheben. Doch selbst dort, wo, wie z. B. bei den Klimamodellen, eine feinere Granularität eine höhere Genauigkeit verspricht, scheitert dies an der disproportionalen Steigerung des Ressourceneinsatzes, den das erforderte.

Selbst in Bereichen, von denen es profunde theoretische Einsichten gibt, kann die Konstruktion angemessener Modelle scheitern. Dies ist z. B. in der Epidemiologie der Fall, wo klar ist, dass man dabei die Netzwerke der sozialen Kontakte zugrunde legen müsste. Doch genau davon gibt es keine hinreichenden Daten. Im Grunde müsste man die realen Kontakte 1:1 abbilden. Hier stößt man an eine Grenze der Reduzierbarkeit, die Saravanan als *Carrol-Borges-Limit* bezeichnet (vgl. Saravanan 2022: 189), doch wird schnell klar, dass in Netzwerken Clustereffekte eintreten, die die exponentielle Ausbreitung eines Pathogens verhindern. Das Gleiche tun Faktoren wie eine bereits vorhandene Immunität durch unerkannt gebliebene Infektionen bzw. Kontakt mit verwandten Pathogenen und diverse Umweltbedingungen, von denen manche offenkundig eine Saisonalität aufweisen. Um all diese Faktoren durch eine Parametrisierung zu erfassen, die es erlaubte, dem Carrol-Borges-Limit auszuweichen, fehlt bisher jedoch eine hinreichende Datengrundlage.

Fragwürdig an der aktuellen Situation ist nicht nur, dass Modellierungen, die Einfluss auf den politischen Umgang mit COVID-19 ausüben, die Beschäftigung mit solchen Aspekten vermeiden, indem sie globale Annäherungen benutzen, die exponentielles Wachstum unterstellen, sondern auch, dass es von offizieller Seite keine Bemühungen zu geben scheint, entscheidende Parameter durch empirische Forschung, die auch eine, von Anfang an versäumte, breit angelegte Kohorten-Studie umfassen müsste, zu bestimmen.

Eine Invariante des bisherigen Geschehens ist, dass diese Modellierungen sich gegenüber der Realität immer wieder als alles andere denn als Annäherungen erweisen und ihre Autoren zur Erklärung der Differenz von Prognose und Realität nicht mehr einfällt als die Ad-hoc-Hypothese, dass die doch den Erfolg der durch die Regierungen ergriffenen Maßnahmen beweise. Es gibt hier tatsächlich sehr viele *poorly known unknowns*, die für manche Modellierer immer noch *unknown unknowns* zu sein scheinen. Man darf gespannt sein, ob die außerordentlich detaillierte Kritik, die der Astrophysiker Bernhard Müller am aktuellen Stand der Modellierung auf diesem Gebiet vorgelegt hat (vgl. Müller 2021), Früchte trägt. Erschwerend kommt hinzu, dass es hier, anders als bei den Klima- und Wettermodellen, keinen breiten und offenen wissenschaftlichen Diskurs zu geben scheint.

Trotz großer Fortschritte sowohl beim Werkzeugkasten der Modellierung als auch bei der verfügbaren Hardware gibt es nicht nur beharrliche Probleme, sondern auch Hürden, die sich immer höher auftürmen, je mehr man sich ihnen nähert. Letzteres mag daran liegen, dass elaboriertere Modelle mehr Ressourcen verlangen als die Halbleitertechnik, die Kraftwerke und nicht zuletzt die Financiers zu liefern vermögen, doch ist nicht auszuschließen, dass es auch prinzipielle Grenzen gibt. Auf Probleme trifft die immer feinere Ausarbeitung der Modelle, bei der Grenzen des theoretischen Verständnisses auftauchen und selbst, wo diese überwindbar wären, es unmöglich erscheint, die erforderlichen Parameter vollständig und korrekt zu ermitteln. Diese Situation verschärft sich, wenn es nicht um rekurrierende, sondern um neue Phänomene geht und der Einordnung und Prognose nur begrenzte Zeit zur Verfügung steht. Eine Gesellschaft, die, getrieben durch sich auftürmende Problemlagen, zunehmend in die Abhängigkeit von Modellierungen gerät, benötigt nicht zuletzt jedoch vor allem ein geschärftes Bewusstsein und ein vertieftes Verständnis vom epistemischen Status von Modellen, davon, was sie zu leisten vermögen und was nicht, wenn sie nicht den Verlockungen eines billigen Szientismus erliegen möchte. Eine Disziplin der Modellkritik zu etablieren, läge in der Konsequenz dieser Lage.

Literatur

Bowles, Kenneth L. (1977): Microcomputer Problem Solving Using PASCAL. New York u. a. O.

Dahl, Ole-Johan; Dijkstra, Edsker W.; Hoare, Charles A. R. (1972): Structured Programming. London Press.

Fischbach, Rainer (2020): „Big Data – Big Confusion: Weshalb es immer noch keine künstliche Intelligenz gibt“. Berliner Debatte Initial, 31/1, 136−147. https://www.academia.edu/64910746/Big_Data_Big_Confusion_Weshalb_es_immer_noch_keine_k%C3%BCnstliche_Intelligenz_gibt [27.10.2021].

Flassbeck, Heiner (2021): „Zu teuer oder zu billig? Eine Analyse der Preisentwicklung von Kraftstoffen“. Relevante Ökonomik, 12. November. – https://www.relevante-oekonomik.com/2021/11/12/zu-teuer-oder-zu-billig-eine-analyse-der-preisentwicklung-von-kraftstoffen/ [21.01.2022].

Fuchs-Kittowski, Klaus (2007): „Zur (informatischen) Modellbildung im Methodengefüge der Wissenschaft. Zur revolutionären Rolle der Methoden in der Wissenschaft“. Wissenschaft und Technik in theoretischer Reflexion, hrsg. von Heinrich Parthey; Günter Spur. Frankfurt am Main, 31−78 (Jahrbuch Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2006). http://www.wissenschaftsforschung.de/Jahrbuch2006.pdf [29.01.2022].

Kupper, Patrick (2018): „Dennis Meadows et al., Die Grenzen des Wachstums (1972)“. Geschichte des politischen Denkens. Das 20. Jahrhundert, hrsg. von Manfred Brocker. Frankfurt am Main, 548−561. – https://diglib.uibk.ac.at/download/pdf/4632858?name=Dennis%20Meadows%20u%20a%20Die%20Grenzen%20des%20Wachstums%201972[21.01.2022].

Milner, Robin (1978): „A Theory of Type Polymorphism in Programming“. Journal of Computer and System Sciences 17, 348−375. – https://doi.org/10.1016%2F0022-0000%2878%2990014-4 [27.10.2021].

Müller, Bernhard (2021): „Zur Modellierung der Corona-Pandemie − Eine Streitschrift: Addendum zum Thesenpapier 8.0 zur Pandemie durch SARS-CoV-2/Covid-19“. Monitor Versorgungsforschung 14/6. – http://doi.org/10.24945/MVF.06.21.1866-0533.2354 [27.10.2021].

Parnas, David Lorge (1972): „On the Criteria to Be Used in Decomposing Systems into Modules“. Communications of the ACM 15, December 12. – http://dx.doi.org/10.1145/361598.361623 [27.10.2021] (Nachdruck in Hoffman, Daniel M.; Weiss, David M. (eds.): Software Fundamentals. Collected Papers by David L. Parnas. Boston 2001, 551−567).

Saravanan, Ramalingam (2022): The Climate Demon. Past, Present, and Future of Climate Prediction. Cambridge, MA.

Stachowiak, Herbert (1973): Allgemeine Modelltheorie. Wien.

Wirth, Niklaus (1995): „A Plea for Lean Software“. IEEE Computer 28/2, 64–68. – https://doi.org/10.1109%2F2.348001 [27.10.2021].

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 175–193*

Gisela Jacobasch

Mathematische Modellierung von Stoffwechselwegen roter Blutzellen und Malariaparasiten

Abstract

A mathematical model is described for the energy and oxidative metabolism of erythrocytes. It was used to calculate stationary and time-dependant metabolic states. Glycolysis and pentosephosphate pathway are regulated independently by an oxidative or energetic load. But the control mechanisms are coppled strongly in enzyme deficient red blood cells (PK-, G6PD-enzymopathies). Strong interactions exist also in the energy- and redoxmetabolism in plasmodium infected erythrocytes. The merozoites use the specific properties of their own control enzymes for the maturation and reproduction.

Keywords/Schlüsselwörter

Enzymopathies, Mathematical models for enzymes and metabolic pathways, Plasmodium

Enzymopathien, Malariaparasiten, Mathematische Enzym- und Stoffwechselmodelle

Das Ziel unserer Arbeiten zur mathematischen Modellierung war, die kausalen Zusammenhänge von Stoffwechselwegen in roten Blutzellen und ihre Regulation zu erkennen und bei Erkrankungen anzuwenden. Die erste Aufgabenstellung dazu war die Glykolyse der Erythrozyten des Menschen (siehe Abb. 1).

Wir reinigten und charakterisierten die kinetischen Eigenschaften aller beteiligten Enzyme unter Bedingungen der intrazellulären Ionenzusammensetzung. Weiterhin wurden die intrazellulären Metabolit-Konzentrationen bei 37°C und den pH-Werten 7,4 und 8,2 bestimmt. Anhand dieser experimentellen Daten konnte abgeleitet werden, welche Reaktionen nahe den thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen ablaufen und welche weit davon entfernt sind (vgl. Jacobasch et al. 1974; Otto et al. 1974). Für Letztere wurden Differentialgleichungen aufgestellt. Diese Befunde bildeten die Grundlage für die Erarbeitung eines mathematischen Modells der Glykolyse (vgl. Heinrich/Rapoport 1974; Rapoport et al. 1974). Da drei Reaktionen der Gly-

kolyse-Kette entfernt vom thermodynamischen Gleichgewicht ablaufen, wurde geschlussfolgert, dass die Geschwindigkeit des anaeroben Abbaus der Glukose durch einen Mehrschrittkontrollmechanismus erfolgt. Dazu zählen zwei Enzyme am Anfang des Stoffwechselweges, die Hexokinase (HK) und die Phosphofruktokinase (PFK) sowie die Pyruvatkinase (PK) im unteren Abschnitt der Sequenz. Um diese drei Kontrollschritte und ihre Bedeutung exakt einschätzen zu können, wurde von Reinhart Heinrich und Tom A. Rapoport die Kontrollstärke und die Effektor-Stärke definiert (vgl. Schuster et al. 1988). Daraus ließ sich schlussfolgern, dass unter normalen Bedingungen dem HK-PFK-System die größte Bedeutung in der Kontrolle zukommt. Die PK-Reaktion hat in roten Blutzellen eine besondere Funktion, da über ihre Aktivität der 2,3-Bisphosphoglycerat-Weg reguliert wird und dadurch die Sauerstoffabgabe aus dem Hämoglobin an die Gewebezelle des Organismus variiert werden kann. Der nächste Schritt bestand darin, das Glykolyse-Modell zu erweitern. Es wurde ein entsprechendes Modell für den oxidativen Pentosephosphat-Weg und den ATP-Umsatz erarbeitet (siehe Abb. 1).

Durch das erweiterte mathematische Modell wurde es möglich, Konsequenzen zu erfassen, die sich aus oxidativen und energetischen Belastungen der Erythrozyten ergeben (vgl. Jacobasch 2000). Dieses erweiterte Modell lieferte die Grundlage dafür, es bei klinischen Fragestellungen anzuwenden. Diese klinisch orientierten Arbeiten konzentrierten sich erstens auf angeborene Stoffwechselstörungen, wie enzymopenisch bedingte hämolytische Anämien, und zweitens auf Wechselwirkungen im Energie- und Redox-Stoffwechsel in Erythrozyten bei Malariaerkrankungen.

Enzymopathien der Pyruvatkinase (PK) und Glykose-6-Phosphatdehydrogenase (G6PD)

Zur Durchführung der Untersuchungen wurde von mir eine internationale Zusammenarbeit aufgebaut. In mehreren Ländern wurden Zentrallabore geschaffen, wo Patienten nach einheitlichen Kriterien getestet wurden. Die Blute aller vermuteten Defektträger wurden in Berlin biochemisch und molekularbiologisch analysiert. Es war die erste große Studie, die für die G6PD und PK in Mitteleuropa durchgeführt wurde. Da die Mehrzahl der Patienten unterschiedliche Mutationen im Pyruvatkinase-Gen roter Blutzellen aufwiesen, war das mathematische Modell besonders hilfreich, denn es war notwendig, den Schweregrad der Erkrankung für jeden Patienten festzustellen. Zu klären war weiterhin, ob hohe Belastungen in einem der Stoffwechselwege Konsequenzen für die Kontrolle der anderen haben, da sie durch G6P

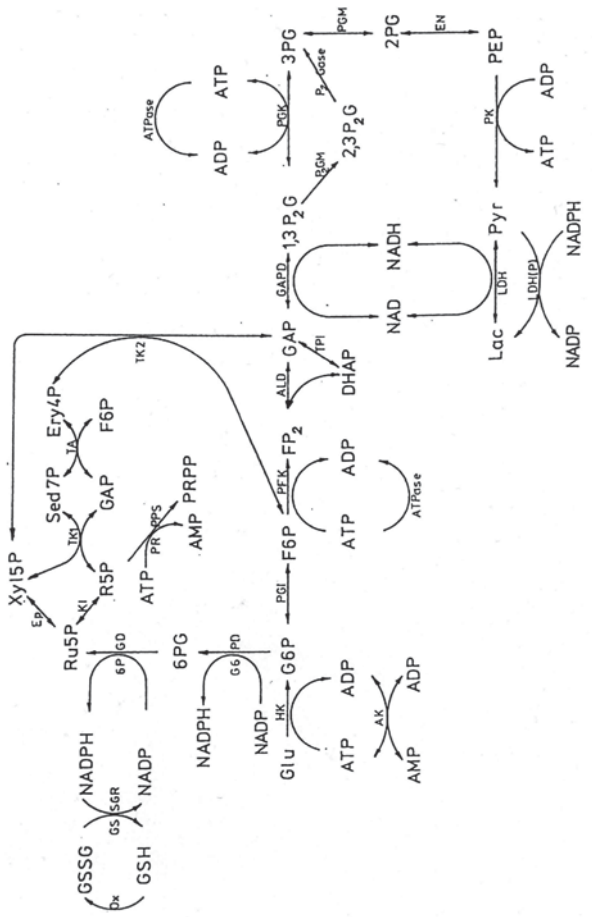


Abb. 1: Stoffwechselweg des Erythrozyten

Glykolyse, Pentosephosphatweg, Glutathionsysystem und Phosphoribosylpyrophosphat-Bildung, ATPase energieverbrauchend

Ox NADPH verbrauchende Reaktionen

Gleichgewichtsreaktionen sind durch Doppelpfeile, Reaktionen nahe dem Gleichgewicht durch einen Pfeil in eine Richtung gekennzeichnet

Eigene Darstellung

verbunden sind. In Abbildung 2 ist das Verhalten des quasi steady state-Flux-Kontroll-Koeffizienten in Abhängigkeit von einer energetischen und oxidativen Belastung für Erythrozyten von Kontrollpersonen dargestellt.

Abbildung 3 zeigt die quasi steady state-Belastungscharakteristik des In-vivo-Modells.

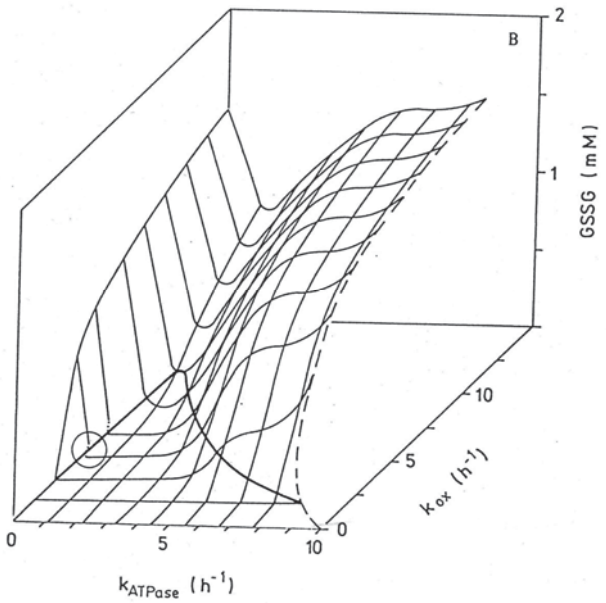


Abb. 2: Einfluss einer oxidativen und energetischen Belastung auf den G6P-Umsatz im oxidativen Pentosephosphat-Weg in steady-state Invivo-Modell normaler Erythrozyten

Eigene Darstellung

Die Befunde zeigen, dass bei Erythrozyten von Kontrollpersonen die Glykolyse und der Pentosephosphat-Weg unabhängig voneinander reguliert werden, d. h., eine energetische Belastung der Glykolyse bewirkt bei ihnen keine zusätzliche oxidative Belastung und umgekehrt bewirkt eine oxidative Belastung des oxidativen Pentosephosphat-Weges keine zusätzliche energetische Belastung. Diese unabhängige Regulation der zwei Stoffwechselwege ist dagegen bei PK- und G6PD-Defektträgern aufgehoben (vgl. Holzhütter et al. 1985; Jacobasch 2015). Die Kontrolle des Erythrozyten-Stoffwechsels verändert sich bei Defektträgern. Aufgrund des PK-Defektes gewinnt dieses

Enzym an Kontrollstärke. Daraus resultiert eine Erhöhung der zellulären Phosphoenolpyruvat (PEP)-Konzentration mit Rückstauung aufgrund der Reversibilität der Mutase-Reaktionen. Der erhöhte 1,3-Bisphosphoglycerat-Spiegel führt zum gesteigerten Umsatz über die Dismutase zu 2,3-Bisphosphoglycerat. Letzteres verstärkt die Hemmung auf das HK-PFK-System. Daraus resultiert eine verminderte Glykolyserate und ATP-Bildung (siehe Abb. 4 und 5).

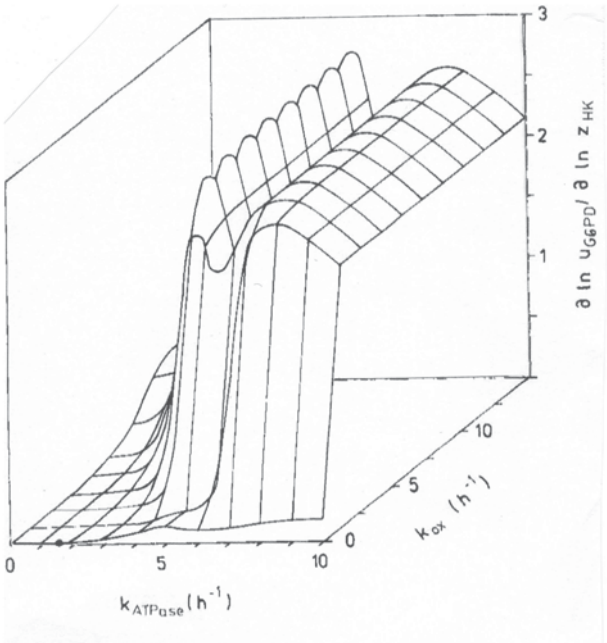


Abb. 3: Verhalten des quasi steady-state Flusskontroll-Effizienten bei energetischer und oxidativer Belastung von Kontroll-Erythrozyten.

Eigene Darstellung

Die verstärkte Hemmung der Hexokinase unter diesen Bedingungen bewirkt auch einen verringerten Glukoseumsatz über den oxidativen Pentosephosphat-Weg (vgl. Holzhütter et al. 1985; Jacobasch 2000, 2015). Das bedeutet zugleich eine Verringerung der NADPH-Bildung.

Das erweiterte mathematische Modell wurde sowohl zur Einschätzung stationärer als auch zeitabhängiger Stoffwechselvorgänge genutzt.

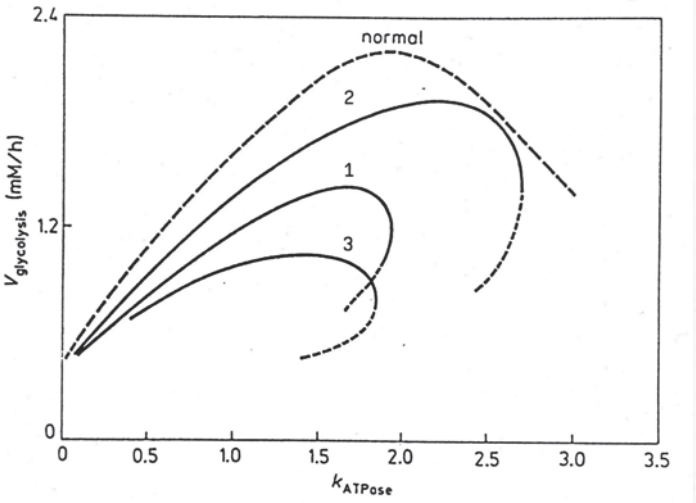


Abb. 4: Energetische Belastung (kATPase) auf die Glykolyse-Rate der Erythrozyten von Kontrollen und PK-Defektträgern

Eigene Darstellung

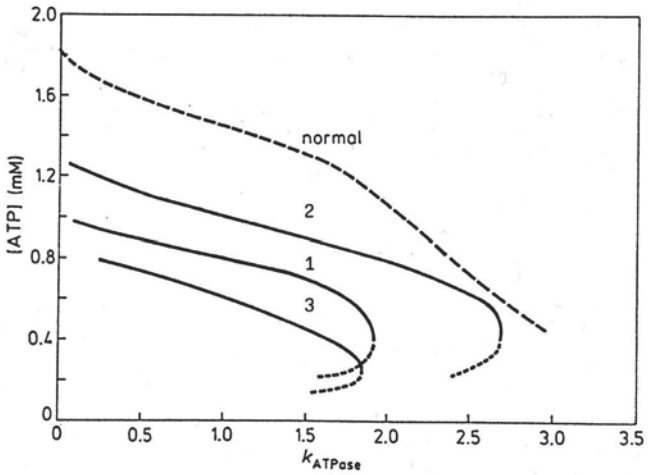


Abb. 5: Einfluss ATP-verbrauchender Prozesse (kATPase) auf die zelluläre ATP-Konzentration bei Kontrolle und PK-Defektträgern

Eigene Darstellung

Da nicht nur die Mutationen sondern auch die gesamte Sequenz des PK-Gens roter Blutzellen durch uns aufgeklärt wurde, wäre es auch möglich gewesen, eine Gentherapie bei den Patienten vorzunehmen (vgl. Leunzher et al. 1997). Die Vorarbeiten dazu mussten jedoch nach der Wende abgebrochen werden.

Auch für die erfassten G6PD-Defektträger wurde das Stoffwechselmodell erfolgreich angewendet. Die Anzahl der Mutationen war hier nicht so groß, wie bei den PK-Defektträgern (vgl. Jacobasch 2000, 2015). Für jede der analysierten Varianten wurde eine Differentialgleichung aufgestellt, um exakt die Schweregrade des klinischen Krankheitsbildes und der Belastungsfähigkeit einzuschätzen (vgl. Schuster et al. 1989). Der G6P-Umsatz über den oxidativen Pentosephosphat-Weg ist in G6PD-defekten roten Blutzellen vermindert und konnte auch nicht durch Methylenblau gesteigert werden. Das erklärt, warum sowohl bei oxidativer als auch energetischer Belastung in diesen Zellen die Konzentration des oxidierten Glutathions rasch ansteigt (siehe Abb. 6 und 7; vgl. Heinrich/Rapoport 1974; Schuster et al. 1988).

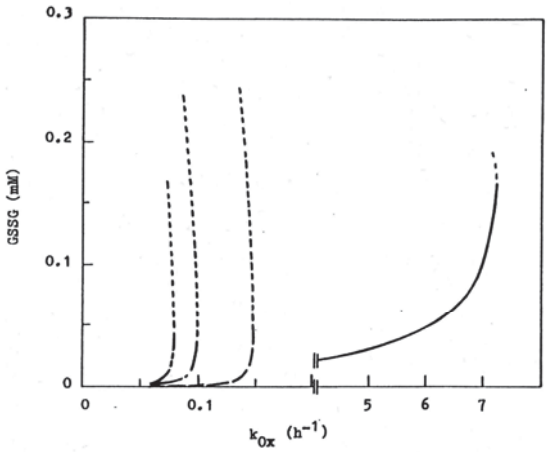


Abb. 6: Verhalten der oxidierten Glutathion-Konzentration (GSSG) bei energetischer Belastung (kATPase) roten Blutzellen von drei verschiedenen G6PD-Defektträgern

Erythrozyten von Kontrollpersonen zeigen keine Abhängigkeit

Eigene Darstellung

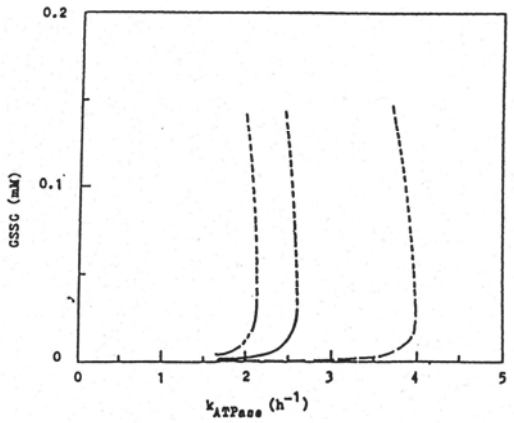


Abb. 7: Einfluss einer oxidativen Belastung (kox) auf den GSSG-Spiegel bei einer Kontrolle mit drei verschiedenen G6PD-Defektträgern im steady-state-Langzeitmodell

Kontrolle: durchgezogene Linie; punktiert: instabiler Zustand

Eigene Darstellung

Die Schwere des Krankheitsbildes bei G6PD-Defektträgern ist ebenfalls abhängig von den Auswirkungen, die sich aus der Mutation für die Struktur und G6PD-Aktivität der Variante ergeben. Im Unterschied zu PK-Enzymopathien sind G6PD-Defekte nicht nur auf Erythrozyten beschränkt, sondern betreffen alle Zellen des Organismus. Durch eine verstärkte Synthese der G6PD-Varianten können in einigen Geweben die klinischen Auswirkungen abgeschwächt werden. In schweren Fällen ergeben sich Konsequenzen insbesondere für weiße Blutzellen und das Auge.

Die Halbwertzeiten der PK- und G6PD-defekten roten Blutzellen sind verkürzt. Die Mechanismen des Zellunterganges unterscheiden sich. Während G6PD-defekte Zellen intravasal hämolysieren, werden PK-defekte Zellen rigide und schließlich in Milz und Knochenmark abgebaut. Zur Bestimmung der Rigidität wurde eine empfindliche Filtrationsmethode für verdünnte Blutsuspensionen ausgearbeitet (vgl. Jacobasch et al. 1982; siehe Abb. 8). Die Filtrationszeiten wurden elektronisch erfasst.

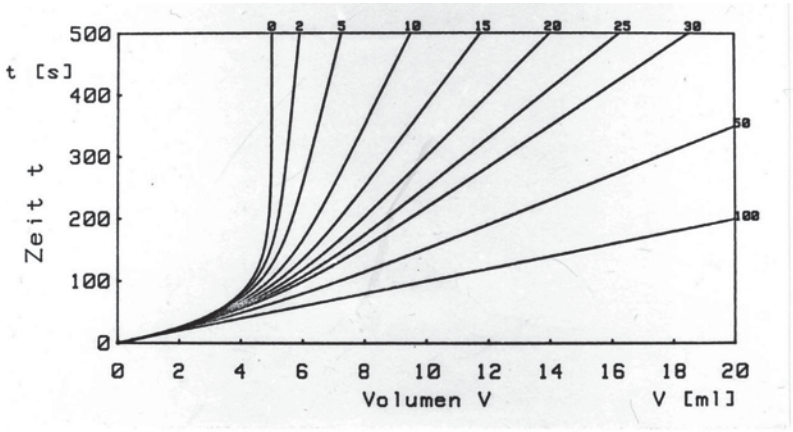


Abb. 8: Computersimulierte Filtrationskurven von verdünnten Blutsuspensionen von Kontrollen

Eigene Darstellung

Zur Auswertung wurde ein mathematisches Modell entwickelt, mit dem aus den computersimulierten Filtrationskurven die Rigiditätswerte K (10^{-3}s) errechnet wurden. Diese Werte korrelierten signifikant mit dem Schweregrad der PK-Enzymopathie. Während Blutsuspensionen mit HK2 von Kontrollen einen Wert von K = 18,8 zeigten, stiegen diese bei PK-Defektträgern entsprechend dem Schweregrad der Erkrankung auf 30 bis 200 an. Die Befunde waren die Grundlage für die klinische Behandlung und die Prophylaxe zur Verhinderung einer sekundären Hämochromatose, wodurch die Lebenserwartung der Patienten verlängert wurde. Die enge Zusammenarbeit mit den Familienangehörigen der Patienten wurde auch genutzt, um den Kindern und Jugendlichen eine optimale Schulbildung zu ermöglichen und Berufe zu erlernen, in denen sie tätig sein und in einem entsprechenden Zentrum klinisch betreut werden konnten.

Malaria

In PK- und G6PD-defekten roten Blutzellen entwickeln sich kaum Malaria-Parasiten (siehe Abb. 9 und 10; vgl. Jacobasch 2000).

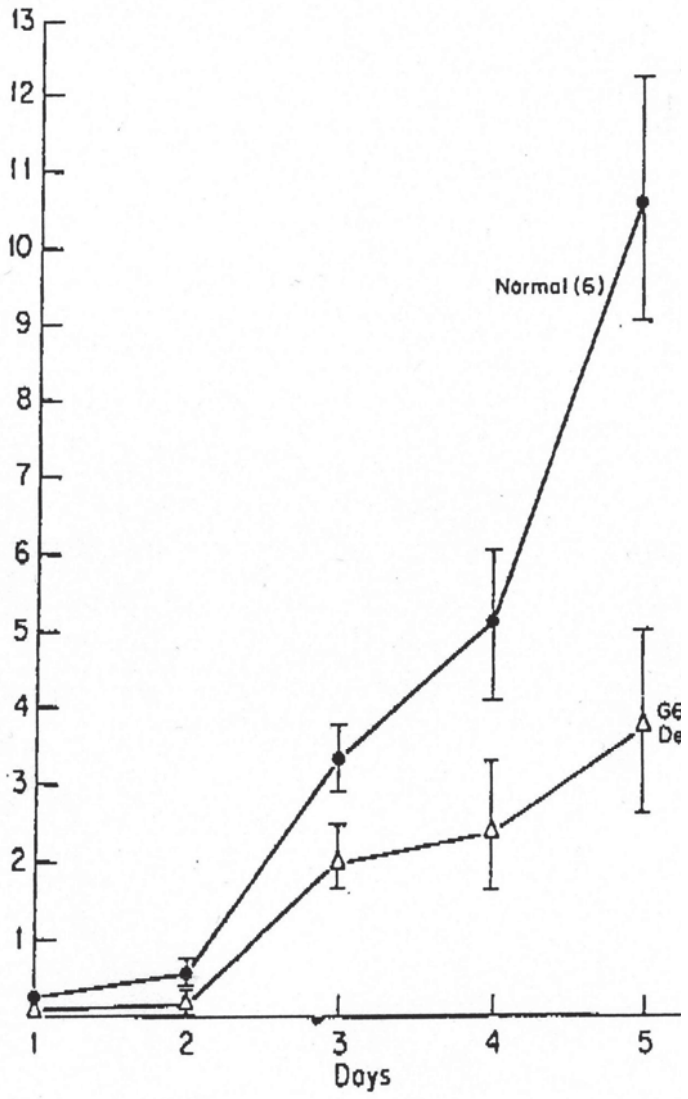


Abb. 9: Plasmodium falciparum-Infektion roter Blutzellen gesunder Kontrollen mit G6PD-Defektträgern

Eigene Darstellung

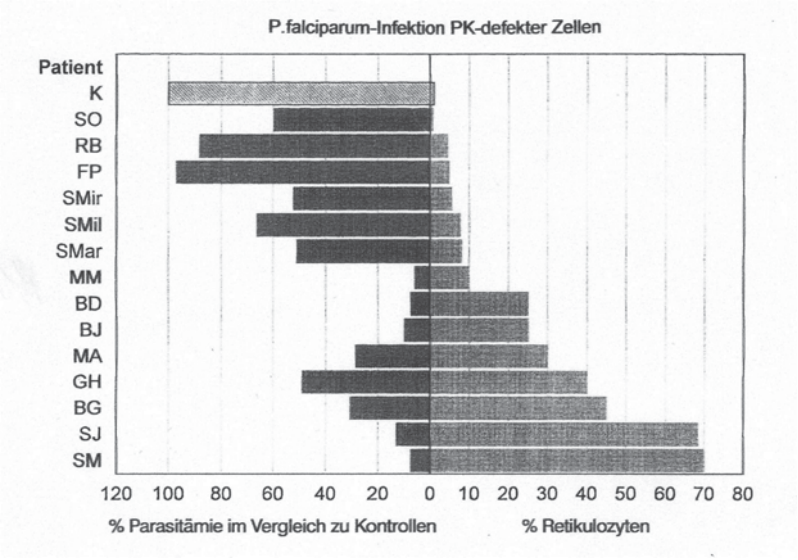


Abb. 10: Plasmodium falciparum-Infektion roter Blutzellen von gesunden Kontrollpersonen und Pyrunvatkinase-Defektträgern mit unterschiedlichem Anteil an Retikulozyten

Eigene Darstellung

Lassen sich aus diesem Wissen Strategien zur Bekämpfung von Plasmodien-Infektionen ableiten? Effektive Methoden existieren nicht, obwohl seit mehr als 100 Jahren vergeblich versucht wird, mit Wirkstoffen und Impfungen dieses Problem zu lösen. Lediglich lokale Umweltveränderungen wie z. B. in Italien und Nordvietnam hatten Erfolg. G6PD-Defekte treten seit Jahrhunderten in Malariagebieten auf, da ihre Träger einen Selektionsvorteil haben. PK-Defektträger wurden dagegen bisher nicht in Malariagebieten beschrieben. Da Merozoiten sich in G6PD- und PK-defekten roten Blutzellen kaum entwickeln, müssen die Glykolyse und der oxidative Pentosephosphat-Weg der Wirtszelle eine besondere Rolle bei der Infektion spielen. Aus einer exakten Kenntnis der Wechselwirkungen dieser Stoffwechselwege von Plasmodien und Wirtszelle sollte sich deshalb eine erfolgversprechende Strategie zur Lösung der Erkrankung ableiten lassen. Zwei Zielstellungen bieten sich an. Erstens die Verhinderung der Infektion von Erythrozyten durch Merozoiten und zweitens die Unterbindung der intrazellulären Entwicklung von Merozoiten. Beides sind sehr komplexe Vorgänge. Die Invasion der Wirtszelle umfasst mehrere Schritte: Erstens die Erkennung der

Oberfläche der Wirtszelle durch den Parasiten, zweitens seine Anheftung, drittens seine Einschleusung in die Zellmembran und viertens sein Eintritt in die Wirtszelle. In diesem Mehrschrittprozess hat die Bande 3 eine entscheidende Funktion (siehe Abb. 11).

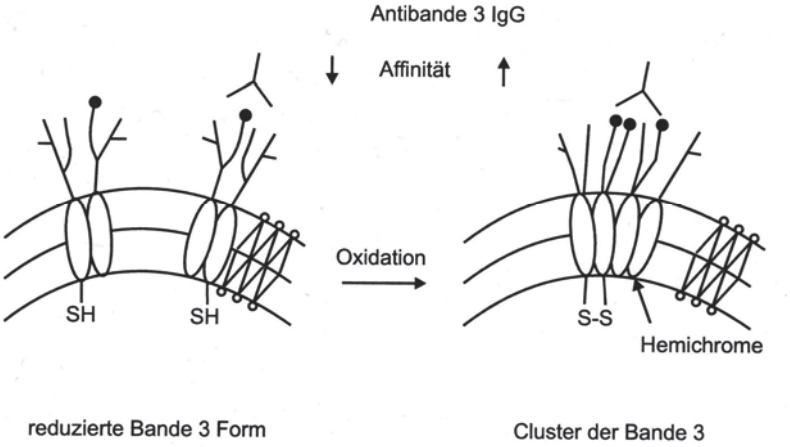


Abb. 11: Das Bande-3-Protein liegt im normalen reduzierten Zustand als Dimer in der Zellmembran vor. Bei oxidativer Belastung tritt eine Clusterung ein

Eigene Darstellung

Bande 3 ist ein integrales Membran-Protein (vgl. Jacobasch 2000). Mit ihrer externen Domäne ist sie an der Bindung des Merozoiten beteiligt. Die Transmembrane Domäne vermittelt die Zellbindung, wodurch ihre zytoplasmatische Domäne die Einschleusung des Merozoiten durch Bindung an das Zytoskelett (Spektrin und Ankyrin) vollenden kann. Interessant ist, dass Antikörper gegen Bande 3 die Einschleusung von Merozoiten in die Wirtszelle unterbinden, ebenso Defekte der Bande 3. Da die Bande 3 mit der Pyruvatkinase (PK) in enger Wechselwirkung steht, ist zu vermuten, dass die Hemmung der Merozoiten-Invasion in PK-defekte Wirtszellen auch auf nachgewiesene Veränderungen der Bande 3 zurückzuführen ist (siehe Abb. 11). Auch an der Infektionsblockade G6PD-defekter Wirtszellen ist die Bande 3 aufgrund der Clusterung beteiligt. Nach Abschluss des Infektionsvorganges bildet der Merozoit im Erythrozyten ein neues komplexes Stoffwechselsystem zur Energiegewinnung aus. Obwohl Plasmodien über Mitochondrien und damit über eine Atmungskette verfügen, erfolgt der Energiegewinn in der

Wirtszelle in Form von ATP durch die Glykolyse. Merozoiten können alle Glykolyse-Enzyme bilden mit Ausnahme der für den 2,3-Bisphosphoglyzerat-Zyklus. Auch für die Glykolyse der Malariaerreger sind Hexokinase (HK), Phosphofruktokinase (PFK) und Pyruvatkinase (PK) Kontrollenzyme. Die Kontrollstärken dieser Enzyme unterscheiden sich von denen der Erythrozyten. Die Glykolyse-Enzyme des Parasiten weisen eine wesentlich höhere Aktivität als die der Wirtszelle auf, um überwiegend mehr als eine Größenordnung. Lediglich die PFK ist nur zwei bis drei Mal aktiver als das Erythrozyten-Enzym. Sowohl die Struktur als auch die Eigenschaften der Kontrollenzyme weisen Unterschiede auf. Das trifft sowohl auf die pH-Abhängigkeit, den isoelektrischen Punkt und einige kinetische Eigenschaften zu. Das pH-Optimum der Glykolyse von Plasmodien liegt bei 7,2, in Erythrozyten bei 8,5. Der Glukoseumsatz ist deshalb im Parasiten-Kompartment infizierter roter Blutzellen höher als im Wirtszell-Segment. Daraus resultiert eine Azidose und Hypoglykämie. Der ATP-Spiegel bleibt jedoch etwa konstant in beiden Kompartments. Das Gleiche gilt auch für den G6P-Spiegel. Aber die intrazelluläre Konzentration dieser Metabolite steigt mit zunehmender Parasitämie an. Mit der Erhöhung der ATP- und Protonenkonzentration wird jedoch die PFK-Aktivität der Erythrozyten gehemmt. Das bedeutet, dass der Parasit ATP aus seinem Kompartment in das Erythrozytenzytosol enzymatisch transloziert. Dazu verfügt er über eine spezifische Translokase (vgl. Kanaani/Ginsburg 1988). Die Befunde umfangreicher experimenteller Arbeiten zeigen, dass zwischen den Glykolyse-Enzymen der Plasmodien und denen der Erythrozyten signifikante Oberflächendifferenzen bestehen. Die Unterschiede in den Peptidsequenzen betragen 75 %. Lediglich im Bereich des aktiven Enzymzentrums stimmen die Sequenzen überein. Diese Feststellung entspricht den DNA-Sequenzen. Auffällig ist weiterhin, dass die meisten Gene für die Glykolyse-Enzyme des Parasiten nur über sehr wenige Introns verfügen.

Da die Glykolyse-Rate von Plasmodien-infizierten Wirtszellen hauptsächlich durch die parasitäre PFK bestimmt wird, kann dieses Kontrollenzym als ein geeignetes Zielobjekt für eine Chemotherapie eingeschätzt werden. Das Enzym wurde gereinigt und charakterisiert. Die Präparationen erwiesen sich als schwierig, weil erstens die Ausgangsmengen an Plasmodien gering waren und zweitens sie über eine sehr hohe proteolytische Aktivität verfügen. Die Enzymreinigung erfolgte deshalb über eine Immunoaffinitäts-Chromatographie, um das Enzym in einem Schritt zu isolieren. Dafür konnten Antikörper für das aktive Zentrum einer PFK aus anderen Quellen eingesetzt werden. Die molekulare Masse der Parasiten-PFK entspricht einem Tetramer von etwa 260 kDa (vgl. Buckwitz et al. 1990a). Das aktive Enzym

kann aber auch Oktamere bilden und sogar noch größere Assoziate. Zur Auswertung der kinetischen Messungen wurde ein neues statistisches Verfahren erarbeitet, um zwischen den verschiedenen möglichen Enzymmodellen der allosterischen Regulation durch ATP, Fru-6P und dem pH-Wert das wahrscheinlichste auszuwählen (vgl. Buckwitz et al. 1990b). Die Parasiten-PFK verfügt über eine hohe Affinität für das Substrat Fru-6P.

$$V = \frac{v_{\max}\,\mathrm{MgATP}\,\mathrm{F6P}}{(\mathrm{MgATP} + K_{\mathrm{Kma}})(\mathrm{F6P} + K_{\mathrm{f}})} \frac{1}{1 + L_0 \left[\frac{\left(1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h1}}}\right)\left(1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h2}}}\left(1 + \frac{\mathrm{MgATP}}{K_{\mathrm{Kma1}}} + \frac{\mathrm{ATP}}{K_{\mathrm{a1}}}\right)\right)}{1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h1}}} + \frac{\mathrm{F6P}}{K_{\mathrm{f1}}}} \right]^n}$$

$$V = \frac{v_{\max}\,\mathrm{MgATP}\,\mathrm{F6P}}{(\mathrm{MgATP} + K_{\mathrm{ma}})(\mathrm{F6P} + K_{\mathrm{f}})} \frac{1}{1 + L_0 \left[\frac{\left(1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h1}}}\right)\left(1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h2}}}\left(1 + \frac{\mathrm{MgATP}}{K_{\mathrm{ma1}}} + \frac{\mathrm{ATP}}{K_{\mathrm{a1}}}\right)\right)}{1 + \frac{H^+}{K_{\mathrm{h1}}} + \frac{\mathrm{F6P}}{K_{\mathrm{f1}}}} \right]^n}$$

Die Hemmung durch ATP ist dagegen um eine Größenordnung geringer als für die Erythrozyten-PFK. Interessant ist, dass die Parasiten-PFK durch Phosphoenolpyruvat (PEP) aktiviert wird, während das Erythrozyten-Enzym gehemmt wird. Aus einem Vergleich der kinetischen Eigenschaften konnte abgeleitet werden, dass die PFK unter steady-state-Bedingungen im Erythrozyten zu 99 % gehemmt ist, die Parasiten-PFK jedoch nur zu 70 bis 75 % (vgl. Buckwitz et al. 1988; Buckwitz et al. 1990a). Aus den experimentellen Befunden und den mathematischen Modellierungen ließ sich schlussfolgern, dass die ATP-Bereitstellung zur intrazellulären Reproduktion der Plasmodien hauptsächlich durch die Glykolyse des Parasiten erfolgt. Die Glykolyse der Wirtszelle wird vom Parasiten aufrechterhalten solange die Intaktheit der Zellmembran notwendig ist. Dazu wird sogar zusätzlich ATP vom Parasiten in die Wirtszelle überführt (vgl. Kanaani/Ginsburg 1988). Dieser ATP-Transfer wird nach Reifung der Plasmodien eingestellt. Die Folge davon ist der Zusammenbruch des Zytoskeletts der Plasmamembran und damit der Untergang der Wirtszelle. Die reifen aktiven Parasiten werden in die Blutbahn freigesetzt.

Die PK-Aktivität von Malariaparasiten ist besonders hoch. Während der Entwicklung von Plasmodien nimmt deshalb die PK-Aktivität in den infizierten Zellen zu. Möglicherweise spielt das Enzym auch bei der Stabilisierung der sich bildenden Parasitenstruktur eine Rolle. Uns interessierte zunächst, inwieweit diese Kenntnis zu einer Verbesserung und Vereinfachung der Diagnostik von Malariaerkrankungen genutzt werden könnte. Die am häufigsten angewandten Methoden basieren immer noch auf der mikroskopischen Erkennung von Parasiten im peripheren Blut. Es wurden zwar im-

munologische und auch spezifische auf Plasmodien-DNA basierende Methoden entwickelt, die zum Teil nicht genügend empfindlich und spezifisch und für die Diagnostik größer Probenmengen zu teuer sind. Der Vorteil, die parasitäre PK-Aktivität zu nutzen bestand außer der hohen Aktivität und raschen Bestimmbarkeit auch darin, dass nicht nur infizierte Zellen erfasst werden können, sondern auch der Entwicklungsstand der Parasiten. Die ersten experimentellen Arbeiten wurden dazu mit infizierten Ratten durchgeführt (vgl. Buckwitz et al. 1989; siehe Abb. 12). Da die Abhängigkeit der PK-Aktivität sich nicht linear zur Parasitemie verhält, nutzten wir als Parameter für die Korrelation die durchschnittliche Anzahl der Parasiten pro Zelle. Diese Befunde wurden für die Erarbeitung eines mathematischen Modells genutzt. In Abbildung 12 ist die Anzahl der nicht infizierten roten Blutzellen und die 1 bis 4 Parasiten in unterschiedlichen Entwicklungsstadien enthalten in Abhängigkeit von p dargestellt.

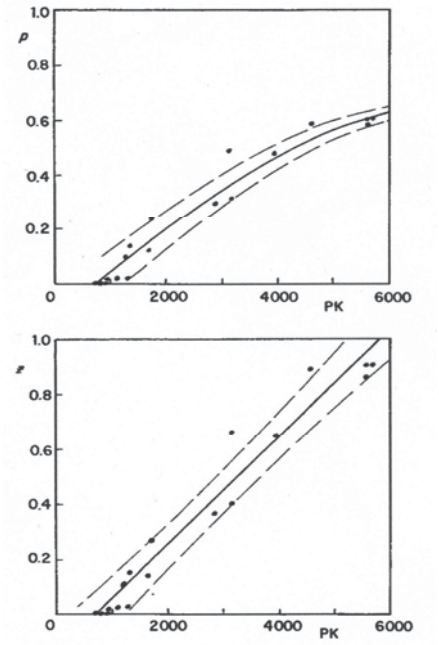


Abb. 12: Plasmodium falciparum-Infektion junger Ratten

Korrelation zwischen PK-Aktivität und Grad der Parasitamie (p) (oben) und der relativen Anzahl von Parasiten pro Erythrozyt (z) (unten)

Eigene Darstellung

Die Abbildung zeigt eine gute Übereinstimmung der experimentellen Werte mit dem mathematischen Modell. An diesen Arbeiten war ein vietnamesischer WHO-Stipendiat beteiligt. Er setzte die Methode erfolgreich zur Diagnostik der zahlreichen Malariaerkrankungen in seiner Heimat ein, die nach der Wiedervereinigung auftraten.

Abbildung 13 zeigt das Verhalten der Konzentration des oxidierten Glutathions (GSSG) in Plasmodien infizierten roten Blutzellen von Kontrollen und G6PD-Defektträgern (vgl. Capadoro et al. 1998).

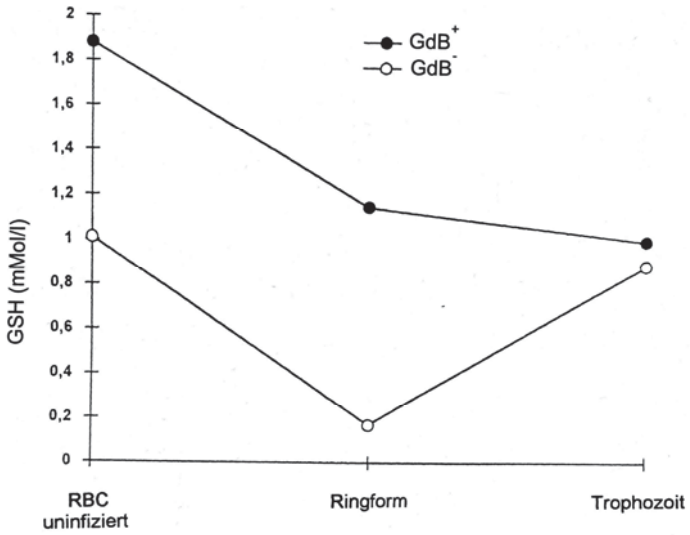


Abb. 13: Oxidative Belastung roter Blutzellen bei Plasmodium falciparum-Invasion

Der Abfall der reduzierten Glutathion-Konzentration (GSH) ist bei der Invasion von Merozoiten in G6PD-defekten roten Blutzellen größer als in normalen Erythrozyten

Quelle: nach Cappadoro et al. 1998

Diese Ergebnisse der Turiner Arbeitsgruppe erlaubten die Schlussfolgerung, dass erst nach dem Ringstadium der Parasit über eigene Stoffwechselwege verfügt, um oxidative Belastungen in der Wirtszelle zu überwinden. Das bedeutet, dass der Parasit bis zum Ringstadium vom Energie- und Redox-Stoffwechsel der Wirtszelle abhängig ist. Für die Reifung und Reproduktion im nachfolgenden Entwicklungsstadium benötigt er zusätzlich Purine, die weder die Wirtszelle noch der Parasit synthetisieren kann. Beide nutzen als

Purin-Quelle das Adenosin des Blutplasmas (vgl. Jacobasch et al. 1991). Dafür existiert ein spezifisches Transport-Protein in der Bande 4,5 der Plasmamembran des Erythrozyten. Das aufgenommene Adenosin wird im Zytosol der Wirtszelle zu AMP und Hypoxanthin umgesetzt und als Substrat für die Synthese von Adenin-Nukleotiden verwendet. Das Hypoxanthin wird hauptsächlich ins Parasiten-Kompartment übertragen, wo es für die Synthese von Purin-Nukleotiden gebraucht wird. Die Enzyme dafür sind mit der Plasma-Membran assoziiert. Die Blockierung dieses Kontroll-Enzyms würde den Parasiten-Stoffwechsel unterbinden und damit die Reproduktion des Erregers.

Auch die G6PD wurde von Malaria-Parasiten gereinigt und analysiert. Das Enzym zeigt einen überraschend hohen km-Wert für G6P, der um eine Größenordnung höher als der für das gleiche Enzym der Wirtszelle ist. So ein hoher km-Wert wurde für die G6PD in humanen Geweben nicht festgestellt, außer bei seltenen G6PD-Varianten (vgl. Jacobasch 2000). Die G6PD des Parasiten wird durch NADPH und ATP kompetitiv zu NADP gehemmt (vgl. Buckwitz et al. 1990c). Zur Einschätzung der regulatorischen Relevanz dieses Enzyms ist die Kenntnis der Konzentrationen der Reaktionspartner im Parasiten-Kompartment erforderlich. Das Hauptziel bleibt jedoch die Verhinderung der Merozoiten-Invasion in rote Blutzellen. Erste erfolgversprechende Ergebnisse wurden dafür vor kurzer Zeit publiziert (vgl. Amlabu et al. 2021). Es wurde ein neues Plasmodium-Protein entdeckt, das an der Invasion beteiligt ist. Es ist subzellulär lokalisiert und konnte isoliert werden. Dieses Protein (PF3D7_1459400) kann durch alpha-Peptid-Antikörper gehemmt werden und dadurch die Invasion in Erythrozyten nicht mehr durchführen. Die Arbeitsgruppe will diese Kenntnis zur Entwicklung einer neuen Antiinfektions-Therapie gegen Malaria nutzen.

Literatur

Amlabu, Emmanuel; Nyarko, Prince B.; Opoku, Grace; Ibrahim-Dey, Damata; Ilani, Philip; Mensah-Brown, Henrietta; Akporh, Grace A.; Akuh, Ojo-Ajogu; Ayugane, Evelyn A.; Amoh-Boateng, David; Kusi, Kwadwo A.; Awandare, Gordon A. (2021): „Localization and Function of a Plasmodium falciparum Protein (PF3D7_1459400) during Erythrocyte Invasion“. Experimental Biology and Medicine 246/1, 10–19.

Buckwitz, Detlef, Jacobasch, Gisela; Break, Mohamed (1989): „Estimation the Degree of Infection of Plasmodium berghei Infected Red Blood Cells by Evaluation of Pyruvate Kinase Activity“. Dis Markers 7/4, 229–238.

Buckwitz, Detlef; Jacobasch, Gisela; Gerth, Christa; Holzhütter, Hermann-Georg; Thamm, Richard (1988): „A Kinetic Model of Phosphofructokinase from Plasmodium berhei? Influence of ATP and Fructose-6-phosphate“. Molecular and Biochemical Parasitology 27/1–2, 225–232.

Buckwitz, Detlef; Jacobasch, Gisela; Gerth, Christa (1990a): „Phosphofructokinase from Plasmodium berghei. Influence of Mg2+, ATP and Mg2+-complexed ATP“. Biochemical Journal 267/2, 353–557.

Buckwitz, Detlef; Jacobasch, Gisela; Holzhütter, Hermann-Georg (1990b): „A Kinetic Model of Phosphofructokinase from Plasmodium berghei. An Application of a Novel Procedure for Model Discrimination“. Computers & Mathematics with Applications 20, 103–106.

Buckwitz, Detlef; Jacobasch, Gisela; Kückelkorn, Ulrike; Megow, Dirk (1990c): „Glucose-6-phosphate Dehydrogenase from Plasmodium berghei: Kinetic and Electrophoretic Characterization“. Biomedica Biochimica Acta 49/2–3, 295–300.

Cappadoro, Marina; Giribaldi, Giuliana; O`Brien, Estella; Turrini, Franco; Mannu, Franca; Ulliers, Daniela; Simula, Gina; Luzzatto, Lucio; Arese, Paolo (1998): „Early Phagocytosis of Glucose-6-phosphate Dehydrogenase (G6PD)-Deficient Erythrocytes Parasitized by Plasmodium falciparum May Explain Malaria Protection in G6PD Deficiency“. Blood 92/7, 2527–2534.

Heinrich, Reinhart; Rapoport, Tom A. (1974): „A Linear Steady-state Treatment of Enzymatic Chains. General Properties, Control and Effector Strength“. European Journal of Biochemistry 42/1, 82–95.

Holzhütter, Hermann-Georg; Jacobasch, Gisela; Bisdorf, Alex (1985): „Mathematical Modelling of Metabolic Pathways: A Mathematical Model of Glycolysis in Normal and Pyrivate-kinase-deficient Red Blood Cells“. European Journal of Biochemistry 149/1, 101–111.

Jacobasch, Gisela (2000): „Hereditäre Membrandefekte und Enzymopathien roter Blutzellen“. Handbuch der Molekularen Medizin, hrsg. von Detlev Ganten; Klaus Ruckpaul. Bd. 6. Berlin, 393–441.

Jacobasch, Gisela (2015): „Hochspezialisierte Diagnostik, Prävention und Therapie bei Patienten mit hämolytischer Anämie verursacht durch genetische Defekte“. Plenartagung anlässlich des 100. Geburtstages von Prof. Dr. Friedrich Jung (21.4.1915–5.8.1997), hrsg. von Johann Gross; Gisela Jacobasch; Peter Oehme. Berlin, 73–94 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 123/124).

Jacobasch, Gisela; Minakami, Shigeki; Rapoport, Samuel Mitja (1974): „Glycolysis of the Erythrocytes“. Cellular and Molecular Biology of Erythrocytes, ed by Haruhisa Yoshikawa; Samuel Mitja Rapoport. Tokyo, 55–92.

Jacobasch, Gisela; Megow, Dirk; Holzhütter, Hermann-Georg (1982): „Rheological Properties of Red Blood Cells in Pyruvate Kinase Deficiency“. Studia Biophysica 90, 115–117.

Jacobasch, Gisela; Werner, Andreas; Siems, W.; Gerth, Christa (1991): „Nucleotide Status in Erythrocytes of Rats Infected with Plasmodium berghei“. Purine and Pyrimidine Metabolism in Man VII, ed. by R. Angus Harkness; Gertrude B. Elion; Nepomuk Zöllner. Boston, MA, 161–164 (Advances in Experimental Medicine and Biology, Vol. 309A).

Kanaani, Jamil; Ginsburg, Hagai (1988): „Metabolic Interconnection between the Human Malarial Parasite Plasmodium falciparum and its Host Erythrocyte. Regulation of ATP Levels by Means of an Adenylate Translocator and Adenylate Kinase“. Journal of Biological Chemistry 264/6, 3194–3199.

Leunzner, Claudia; Nürnberg, Peter; Jacobasch, Gisela; Thiele, Bernd-Joachim (1997): „Complete Genomic sequences of the Human PK-L/R-gene Included Four Intragenetic Polymorphismen Defining Different Haplotyp Backgrounds of Normal and Mutant PK-genes“. DNA Sequence – Journal of Sequencing and Mapping 8/1–2, 45–53.

Otto, Matthias; Heinrich, Reinhart; Kühn, Brigitte; Jacobasch, Gisela (1974): „A Mathematical Model for the Influence of Fructose 6-phosphate, ATP, Potassium, Ammonium and Magnesium on the Phosphofructokinase from Rat Erythrocytes“. European Journal of Biochemistry 49/1, 169–178.

Rapoport, Tom A.; Heinrich, Reinhart; Jacobasch, Gisela; Rapoport, Samuel (1974): „A Linear Steady-state Treatment of Enzymatic Chains. A Mathematical Model of Glycolysis of Human Erythrocytes“. European Journal of Biochemistry 42/1, 107–120.

Schuster, Ronny; Holzhütter, Hermann-Georg; Jacobasch, Gisela (1988): „Interactions between Glycolysis and the Hexose Monophosphate Shunt in Erythrocytes as Studied on the Basis of Mathematical Model“. Biosystems 22/1, 19–36.

Schuster, Ronny; Jacobasch, Gisela; Holzhütter, Hermann-Georg (1989): „Mathematical Modelling Pathways Affected by an Enzyme Deficiency. Energy and Redox Metabolism of Glucose-6-phosphate-dehydrogenase-deficient Erythrocytes“. European Journal of Biochemistry 182, 605–612.

3

Verfügbarkeit von Wissen und Gerät

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 197–203*

Hansjürgen Garstka

Verfügbarkeit von Wissen in der digital orientierten Wissenschaft

Abstract

A basic necessity for scientific research is the access to existing knowledge and the inherent data. In first line important is the access to well formulated knowledge. But more important for progress is the access to information which needs to be interpreted scientifically beforehand. As far as these data are personal, the data protection discussion in the last decades has developed essential criteria which also can be adopted to data without personal relation. Very important in this respect is the voluntary provision of data by the public administration but also by the private sector in the sense of "data altruism".

Keywords/Schlüsselwörter

Access to data, Data altruism, Data protection, Provision of data

Datenaltruismus, Datenschutz, Herausgabe von Daten, Zugang zu Daten

> „Forschung stellt die Basis nahezu all unserer technischen Errungenschaften dar. Unter Bedingungen zunehmender Digitalisierung kommt datenbasierter Forschung dabei eine herausragende Bedeutung zu." (Kommission 2019: 124)

So beginnt der der Forschung gewidmete Teil des Gutachtens, das die deutsche Datenethikkommission im Oktober 2019 der Bundesregierung übergab. Wissenschaft wiederum ist „die Gesamtheit des menschlichen Wissens, der Erkenntnisse und der Erfahrungen einer Zeitepoche, welches systematisch erweitert, gesammelt, aufbewahrt, gelehrt und tradiert wird"[1], so z. B. der Gehalt von Naturwissenschaft, Rechtswissenschaft, Sozialwissenschaft usw.

Zieht man beide Definitionen zusammen, ergibt sich: Wissenschaftliche Forschung ist die systematische und methodisch betriebene Erweiterung vor-

1 https://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaft

handenen Wissens. Von entscheidender Bedeutung für Verfahren und Erfolg dieser Bemühung ist damit, ob und in welcher Form dieses Wissen vorliegt und wie es verfügbar ist.

Da ist zunächst der wohlformulierte Stand der Wissenschaft in Form von Lehrbüchern, Sachliteratur, Zeitschriftenartikeln, historischen Dokumenten. Der klassische Zugang hierzu durch Gang in Bibliotheken und Archive wird in der digital orientierten Wissenschaft ersetzt durch den Zugang über digitale Medien. Die Digitalisierung des weltweit schriftlich dokumentierten Wissens ist dafür die Voraussetzung. Dies ist mit einer entscheidenden Veränderung der Arbeitssituation derjenigen Wissenschaftler verbunden, deren Wirken sich auf solche Dokumente bezieht. Der Zugang zu den Dokumenten, aber auch deren Auswertung kann, ohne zeitraubende Fahrten oder langwierige Ausleihvorgänge, vom Computerarbeitsplatz her erfolgen. Schon hier zeigt sich allerdings ein Problem: Fraglich ist, ob der Kontaktverlust zu den ja meist ihrerseits Forschenden an den Orten, an denen sich die analogen Dokumente befinden, nicht zu einer Verkapselung der nur am Schreibtisch Forschenden führen kann.

Wichtiger für den Fortschritt der Forschung ist allerdings der Zugriff auf Informationen, deren Auswertung erst zur Formulierung wissenschaftlicher Ergebnisse führen kann. Je nach Wissenschaftsgebiet können diese Informationen in den verschiedensten Formen vorliegen. Häufig müssen die Informationen überhaupt erst durch Analyse in eine – zunächst in der Regel analoge – verarbeitbare Form gebracht werden. Beispiele sind Laborwerte, audiovisuelle Informationen, Gewebe-, Gesteins- oder Wasserproben. Während traditionell unmittelbar mit diesen Informationen geforscht wurde, setzt die digital orientierte Wissenschaft deren Abbildung in einen digitalen Code voraus. Andere Daten stehen heute schon digital zur Verfügung: Registerdaten, statistische Daten, Geodaten usw. Aber auch die Informationen, die Human- und Sozialwissenschaften zugrunde liegen, und die oft auf sehr subjektive Weise erhoben werden, müssen sich wie in anderen Wissenschaften einer Digitalisierung, Mathematisierung und Algorithmisierung unterwerfen. Fraglich ist, ob die damit verbundene Einengung nicht zu einem Verlust von Forschungsinhalten führen kann.

Die Arbeitsplätze der Wissenschaftler haben sich längst an die Erfordernisse der Digitalisierung angepasst. Die Verfügbarkeit von Computerkapazitäten, die weltweite Vernetzung, der Zugriff auf Cloud-Systeme mit ungeheuren Speicher- und Verarbeitungskapazitäten sind zu einem entscheidenden Kriterium für die Effektivität der Wissenschaft geworden. Diese Situation führt in mehrfacher Hinsicht zu neuen Fragestellungen, die sich zur Verfügbarkeit des Wissens und der Weiterverbreitung ergeben.

Im Hinblick auf den Zugang zu Informationen hat die Datenschutzdiskussion in den letzten Jahrzehnten bedeutende Beiträge geleistet. Zwar bezieht sie sich zunächst nur auf personenbezogene Daten, führt aber auch zu Aspekten, die generell für die Datenverarbeitung, insbesondere auch in Wissenschaft und Forschung gelten. So stellte die Datenethikkommission der Bundesregierung in dem bereits erwähnten Gutachten „verstärkt die Frage, inwieweit die generelle Verbesserung eines kontrollierten Zugangs zu personenbezogenen Daten – im Sinne des Prinzips der Wohlfahrt durch Nutzung und Teilen von Daten […] ethisch vertretbar oder sogar wünschenswert wäre" (Kommission 2019: 82). Dies lässt sich sicherlich auf Informationen jeder Art übertragen.

Gleichwohl ist die Unterscheidung von personenbezogenen Daten und Daten, die keinen Rückschluss auf einzelne Individuen erlauben, für die wissenschaftliche Forschung von erheblicher Bedeutung. Unter den personenbezogenen Daten werden darüber hinaus besondere Kategorien, allen voran medizinische Daten, hervorgehoben, denen eine gesteigerte Sensibilität zukommt. Die Möglichkeit und die Art und Weise des Zugangs zu Forschungsdaten und deren Verarbeitung ist stark von der Zuordnung zu diesen Kategorien abhängig.

Von entscheidender Bedeutung für den Wissenschaftler ist der Zugang zu Informationen, die Gegenstand seiner Forschungen werden sollen. Klassischerweise erhebt er die Daten selbst: durch Beobachten, Messen, Befragen. Soweit die Daten keinen Personenbezug aufweisen, entsteht aus der Sicht des Datenschutzes kein Problem. Allerdings können auch insoweit Rechte anderer berührt sein, etwa im Hinblick auf das intellektuelle Eigentum oder Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse. Die verdeckte teilnehmende Beobachtung wirft hier Fragen auf, auch wenn keine personenbezogenen Daten berührt sind. Ein Beispiel hierfür könnten Forschungen zum Tierwohl sein, wenn heimlich Beobachtungen der Massentierhaltung durchgeführt werden.

Bei personenbezogenen Daten bestehen allerdings schon bei der unmittelbaren Erhebung durch den Forscher datenschutzrechtliche Fragestellungen: Werden sie bei den Betroffenen selbst erfragt, sind diese über den Verwendungszweck hinreichend aufzuklären. Hierzu gehört auch, dass die Daten im Zusammenhang mit den Forschungsarbeiten elektronisch verarbeitet werden sollen, sowie wer Zugang zu den Daten haben soll. Wer in einem Universitätsklinikum – einer Großforschungseinrichtung – bei der Aufnahme gefragt wird, ob und wieviel Alkohol er trinkt oder wie oft er nachts Wasser lassen muss, muss darüber unterrichtet werden, dass diese Daten Eingang in

seine digitale Krankenakte finden und damit der Universitätsforschung zur Verfügung stehen. Auf dieser Aufklärung folgend muss die Einwilligung in die Verarbeitung zu Forschungszwecken eingeholt werden.

Der Einwilligung kommt besondere Bedeutung zu. Und zwar nicht nur bei Betroffenen von personenbezogenen Daten im Sinne des Datenschutzes, sondern auch bei Urhebern, Verfügungsberechtigten über Betriebs- und Geschäftsgeheimnisse oder Amtsträgern im öffentlichen Bereich. Dies betrifft nicht nur die Einwilligung in die Verwertung der Daten in der Verfügung der Betroffenen, sondern auch in den Zugriff auf diese Daten bei Dritten. Am Arbeitsplatz des Forschers entsteht hier ein weltweit diskutiertes, aber nicht geklärtes Problem: Dürfen Daten, die zulässigerweise, d. h. in der Regel mit aufgeklärter Einwilligung für einen bestimmten Forschungszweck erhoben worden sind, vom erhebenden Forscher selbst oder gar anderen forschenden Stellen für andere Forschungszwecke verwendet werden? Die Auffassungen hierzu variieren von der stringenten Forderung, für jedes einzelne Projekt erneut eine Einwilligung einzuholen, über die Möglichkeit der breiten Einwilligung in alle Forschungszwecke zu einer Metaeinwilligung, in der der Verfügungsberechtigte über eine Palette von Aspekten bestimmt, unter denen eine Weiterverwendung der Daten ohne erneute Einwilligung zulässig ist.

Überlagert wird das Einwilligungserfordernis in den Datenschutzgesetzen allerdings durch ein Forschungsprivileg, das unter bestimmten Bedingungen die Erhebung und Verarbeitung der Daten auch ohne Einwilligung zulässt.

Dabei spielt der Charakter der Forschung eine Rolle: Soll es unterschiedliche Kriterien für öffentliche, im öffentlichen Interesse durchgeführte oder private Forschung geben? Soweit Forschungsprivilegien gewährt werden, stehen sie jeder Person oder Institution zur Verfügung, sofern sie Daten methodisch auswerten? Wo ist die Grenze zwischen wissenschaftlicher Forschung und kommerziellem Interesse, wenn die Kundendatenbestände von Unternehmen methodisch durchforstet werden, um optimale Werbestrategien zu entwickeln? In der Europäischen Datenschutzgrundverordnung wurden in der Forschungsklausel des Art. 89 „wissenschaftliche oder historische Forschungszwecke“ genannt, was nach dem Willen des Europäischen Parlaments eine Einengung gegenüber dem noch in der Richtlinie verwendeten Begriff der „wissenschaftlichen Zwecke“ bedeuten sollte. Andererseits soll die Bestimmung nach Erwägungsgrund 159 „weit ausgelegt“ werden. Der deutsche Gesetzgeber hat in § 27 des neuen Bundesdatenschutzgesetzes ohne weitere Präzisierung die Formulierung der Grundverordnung übernom-

men. Damit bleibt die Unsicherheit, wer nun die Privilegien in Anspruch nehmen kann.

Die unmittelbare Erhebung von Daten durch den Forscher wird in der digital orientierten Wissenschaft allerdings ergänzt, wenn nicht ersetzt durch den Zugriff auf bereits vorhandene Informationen: Weite Forschungszweige sind schon seit jeher im Sinne der Fortentwicklung des Wissens orientiert auf die Auswertung vorhandener – in analoger Form aufgezeichneter – Informationen. Diese Daten stehen in der digitalen Welt elektronisch zur Verfügung. Ihr Abruf über allgemein zugängliche Quellen wie dem Internet prägt inzwischen das wissenschaftliche Arbeiten.

Auch hier stellen sich kritische Fragen. Bei der Nutzung von Internetdiensten wie etwa Wikipedia stellt sich die Frage nach der Verlässlichkeit der Informationen. Es ist einerseits eine Errungenschaft, dass jede Person zur Vermehrung des weltweiten Wissens beitragen kann. Andererseits bedarf es Mechanismen, die Verlässlichkeit dieser Informationen zu überprüfen.

Eine andere Form des Zugangs zu Forschungsdaten ist der direkte Zugriff auf Daten, die von eigens hierfür geschaffenen Institutionen vorgehalten werden. So stehen die Datenbanken, um einige Forschungsgebiete zu nennen, etwa mit Geodaten, humanen Gewebedaten, Daten über archäologische Befunde zur Verfügung.

Der Zugang zu den Daten ist allerdings häufig bestimmten Nutzerkreisen vorbehalten, deren Begrenzung durch institutionelle oder finanzielle Barrieren definiert wird. Ein Beispiel hierfür ist das juristische Informationssystem JURIS, zu dem nur Zugang hat, wer Angehöriger einer Universität ist oder viel Geld für seine juristischen Forschungen aufwenden kann.

Ein ebenso großes Thema ist die Verarbeitung von „Big Data“. Aus sehr großen Datenmengen, die insbesondere durch die Nutzung neuer Medien entstehen, werden mit Hilfe von speziell entwickelten Algorithmen auf der Basis neuronaler Netze Wahrscheinlichkeitsszenarien entwickelt, die neue Erkenntnisse in verschiedenen Lebensbereichen bringen sollen. Unter dem Begriff „künstliche Intelligenz“ werden diese Verfahren nicht nur praktische Anwendungen wie das Autonome Fahren, sondern auch künftig den Arbeitsplatz der Wissenschaftler beherrschen. Ein großes Problem auch hier die Wahrung der informationellen Selbstbestimmung der Personen, deren Daten in derartige Recherchen einbezogen werden. Zwar würde eine hinreichende Anonymisierung der einbezogenen Daten den Forschern die Auswertung ohne Berücksichtigung datenschutzrechtlicher Belange erlauben. Unter welchen Bedingungen jedoch eine hinreichende Anonymisierung gewährleistet ist, ist strittig.

Eine große Rolle neben der Anonymisierung spielt in der digital orientierten Forschung die Pseudonymisierung. Sie ist immer dann angezeigt, wenn die Forschenden zwar mit anonymen Daten forschen, aber trotzdem im bestimmten wohldefinierten Fällen eine Reindividualisierung möglich sein soll. Ein Beispiel wäre die pharmazeutische Forschung, die zwar mit anonymen Daten umgeht, in Fällen, in denen z. B. ein tödliches Zusammenwirken von Medikamenten entdeckt wird, eine Information der Probanden ermöglicht werden soll. Treuhandmodelle spielen hier eine große Rolle.

Ganz generell spielt am digitalen Arbeitsplatz der Forschenden die Datensicherheit eine überragende Rolle. Die Wahrung der Vertraulichkeit bei sensiblen Daten, die Wahrung der Integrität der Daten als Schutz vor Verfälschung oder Robustheit und Resilienz der Datenverarbeitung sind nicht nur aus Datenschutzgründen unerlässliche Bedingungen digitaler Forschungsarbeit.

Dem Recht auf Zugang zu und der freien Verarbeitung von Daten gegenüber steht die Frage, in welchen Fällen eine Verpflichtung von Dateninhabern besteht, die Daten in ihrer Verfügungsgewalt der Forschung zur Verfügung zu stellen. Die Datenethikkommission der Bundesregierung hat in dem erwähnten Gutachten das Prinzip der „Wohlfahrt durch Nutzen und Teilen von Daten“ herausgestellt. Aus dem „nicht-rivalen“ Charakter von Daten leitet sie ab, dass deren Verwendung parallel von vielen Akteuren zur Erhöhung des Gemeinwohls gefördert werden sollte.

Diese Forderung ist zurzeit Gegenstand mehrerer Gesetzgebungsverfahren der Europäischen Union, die alle Einfluss auf den Zugang der Forschung haben werden: ein Gesetz über digitale Dienste, ein Gesetz über digitale Märkte, ein Gesetz über Digital-Governance, eine Regelung zur künstlichen Intelligenz und schließlich ein angekündigtes „Datengesetz“. In allen Vorhaben sind verschiedene Regelungen über die Teilhabe an öffentlichen, nicht-öffentlichen und privaten Datenbeständen vorgesehen, insbesondere auch für die Wissenschaft. Der Begriff des „Datenaltruismus“ wird geschaffen und soll Anreize für jede Institution und Einzelperson schaffen, vorhandene Datensammlungen der Forschung oder sogar der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen. Datenvermittlungsdienste sollen dabei die Vermittlerrolle spielen.

Damit würde die im Grundgesetz verankerte Freiheit von „Kunst und Wissenschaft, Forschung und Lehre“ (in dieser Reihung!), deren Gehalt im Hinblick auf eine Verpflichtung zu einem allgemeinen Informationszugang schon sehr lange kontrovers diskutiert worden ist, europarechtlich jedenfalls für die digitale Welt eine wissenschaftsfreundliche Ausgestaltung finden.

Literatur

Kommission – Datenethikkommission der Bundesregierung (Hg.) (2019): Gutachten der Datenethikkommission. Berlin: Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat; Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. – https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/it-digitalpolitik/gutachten-datenethikkommission.html.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 205–222*

Horst Junker

Auf dem Weg zu einer Nachhaltigkeitsinformatik

Abstract

Due to the three pillars of sustainability, there is a need for applications of sustainability informatics to pursue highly complex, multidimensional target systems. On the basis of theoretical considerations on the development – much less complex – target systems of information systems for production-integrated environmental protection in manufacturing companies, a way is shown how target systems for sustainability-oriented IT applications can be developed.

Keywords/Schlüsselwörter

Company environmental information systems, Information management, Production-integrated environmental protection, Production planning and control systems, Sustainability, Sustainability information systems, Target systems

Betriebliche Umweltinformationssysteme, Informationsmanagement, Nachhaltigkeit, Nachhaltigkeitsinformationssysteme, Produktionsintegrierter Umweltschutz, Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme, Zielsysteme

1 Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme (PPS-Systeme)

Seit den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts wird in der betrieblichen Umweltinformatik unterstellt, dass – auch aus ökonomischen Gründen – ein produktionsintegrierter Umweltschutz IT-basiert durchgeführt werden sollte. Produktionsintegrierte bzw. -nahe betriebliche Umweltinformationssystem (BUIS) sind eine spezifische Ausprägung der betrieblichen Umweltinformationssysteme. Ihre Aufgabe ist es, Informationen über Gestaltungsmöglichkeiten umweltfreundlicher Produktionsprozesse zu sammeln, zu verarbeiten und bereitzustellen. Sie unterstützen somit die Durchführung des Produktionsprozesses mit dem primären Ziel, unerwünschte Outputs zu reduzieren oder zu vermeiden.

Bereits in der „klassischen“ Wirtschaftsinformatik wird die IT-Unterstützung der „Optimierung“ des Produktions- bzw. Fertigungsbereichs durch sogenannte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme abgesichert. Diese IT-Systeme haben die Aufgabe, die Prozesse des Fertigungsbereichs hinsichtlich der Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität zu optimieren. Das Ziel der Reduzierung der Umweltbelastungen wird mit diesen Systemen nicht verfolgt.

Die Produktionsplanung und -steuerung ist eine der Hauptaufgaben produzierender Unternehmen. Sie beschreibt die Aufbau- und Ablauforganisation von Produktionssystemen. Dabei stehen die Aspekte der Ganzheitlichkeit und Durchgängigkeit im Vordergrund der Betrachtung, wodurch auch die hohe Komplexität von Produktionssystemen aufgezeigt wird (vgl. Schuh 2006). Um diese Komplexität handhabbar zu machen, ist der Einsatz von IT-Systemen (Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme, PPS) zwingend geboten. Das Ziel des Einsatzes von PPS-Systemen besteht in der integrierten Gestaltung und Durchführung der betrieblichen Produktionsplanung und -steuerung in der Weise, dass der Produktionsablauf unter Berücksichtigung der Zielgrößen Menge, Zeit und Kapazitäten geplant, gesteuert und durchgeführt werden kann. Die IT-Unterstützung in diesem Bereich kann und soll zu einem optimal durchgeführten Produktionsablauf führen, mit dem auch strategische Unternehmensziele unterstützt werden können (vgl. Keiner et al. 2009: 156). Im Umkehrschluss folgt, dass ein PPS-System einen Teil der Gesamtunternehmensplanung darstellt. Nicht nur auf Grund unterschiedlicher Fertigungsbedingungen, auch wegen unterschiedlicher Unternehmensziele können sich die einzelnen, im betrieblichen Einsatz befindlichen PPS-Systeme in ihrer Funktionalität deutlich unterscheiden.

Grundsätzlich gilt für PPS-Systeme, dass sie sich der Beachtung des Wirtschaftlichkeitsprinzips unterwerfen. Da Wirtschaftlichkeit als Differenz aus erbrachten Leistungen und Kosten definiert ist, stehen die Fertigungskosten als diejenige Größe im Vordergrund, die mittels IT-Systemen am leichtesten zu beeinflussen ist. Da Kostenziele häufig nicht direkt geplant werden können, weil sie nicht immer eindeutig quantifiziert werden können und gegebenenfalls von weiteren Faktoren abhängen, ist es erforderlich, sogenannte Ersatzziele zu definieren. Üblicherweise sind dies Zeit- und Mengenziele, die einen unmittelbaren Zusammenhang zu den Kosten aufweisen. Zeitkritische Ziele im Kontext von PPS-Systemen sind Größen wie die Minimierung der Durchlaufzeiten, die Reduzierung von Wartezeiten, die Vermeidung von Terminüberschreitungen sowieso die Sicherstellung der Kapazitätsauslastung. Mengenbezogene Ziele orientieren sich häufig an der Minimierung von Beständen und Fehlmengen (vgl. Kurbel 2005: 19). Da sich

die aus den Oberzielen Zeit und Menge abgeleiteten Teilziele gegenseitig beeinflussen können, sind sie in ihrer Gesamtheit nicht simultan zu erreichen. Daraus ergibt sich die Konsequenz, dass gewisse Ziele fokussiert oder vernachlässigt werden müssen. In Abhängigkeit von der Wahl der Teilziele ist ein PPS-System in der der Lage, die Durchlaufzeiten und Lagerbestände zu verringern und somit die Fertigungskosten zu reduzieren und gleichzeitig die Kundenzufriedenheit zu erhöhen (vgl. Kurbel 2005: 15).

Üblicherweise werden PPS-Systeme in die Funktionsbereiche Grunddatenverwaltung, Produktionsprogrammplanung, Mengenplanung, Termin- und Kapazitätsplanung sowie Auftragsveranlassung und -überwachung unterteilt.

Der *Grunddatenverwaltung* ist die Aufgabe zugewiesen, alle Daten, die für die Produktionsplanung und -steuerung benötigt werden, zu sammeln, zu speichern, zu verwalten und bereitzustellen. Diese Daten werden während des gesamten Produktionsablaufes vorgehalten und können für alle Teilschritte der Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden. Um einen problemlosen Zugriff auf die Grunddaten gewährleisten zu können, ist eine einheitliche und konsistente Datenbasis erforderlich.

Die *Produktionsprogrammplanung* hat die Aufgabe, die in einer Planungsperiode zu erzeugenden Produkte hinsichtlich ihrer Art, Menge und des Fertigungszeitpunktes zu planen und zu determinieren. Dazu ist zunächst eine relativ grobe Primärbedarfsplanung durchzuführen, in der die für die Fertigung benötigten Materiallieferungen, die verfügbaren Kapazitäten und die Terminvorgaben für die Produktfertigung aufeinander abgestimmt werden. Je nach Fertigung erfolgt die Planung entweder lagerauftragsgebunden, wobei die Planungsparameter durch Absatzprognosen oder sonstigen Berechnungen ermittelt werden, oder anhand von Kundenaufträgen, durch die Fertigungstermine und -mengen vorgegeben sind.

Die *Mengenplanung* folgt der Produktionsprogrammplanung. Auf der Basis der zuvor erstellten Primärbedarfspläne werden für die in der Fertigung benötigten Materialien die Bedarfe hinsichtlich Menge, Art und Zeitpunkt festgelegt, die zu einer fristgerechten Erstellung der Produkte notwendig sind. Hinsichtlich der Planungsverfahren wird zwischen einer deterministischen und einer stochastischen Bestimmung der Planung unterschieden. Deterministische Verfahren kommen eher bei Kundenauftragsfertigung zum Zuge, während stochastische Verfahren typischerweise bei Lagerfertigung eingesetzt werden. Bei der Ermittlung der Planungsmengen wird darüber hinaus in Bruttobedarf und Nettobedarf differenziert, wobei sich der Nettobedarf aus der Differenz Bruttobedarf minus Eigenfertigung und ver-

fügbaren Sekundärmaterialien ergibt. Zur Ermittlung des Sekundärbedarfs ist eine exakte Lagerbestandsführung von besonderer Bedeutung, weil hier alle Zu- und Abgänge erfasst werden. Der Mengenplanung folgt die Beschaffungsrechnung. In ihr wird die Beschaffung der geplanten Materialmengen hinsichtlich von Losgrößen und Liefermengen geplant und berechnet (vgl. Kautz 1996: 109). Die Ergebnisse der Mengenplanung sind Fertigungsaufträge für eigengefertigte Teile und Beschaffungsaufträge für fremd bezogene Materialien.

In der *Termin- und Kapazitätsplanung* werden die Aufträge aus der zuvor durchgeführten Produktionsprogrammplanung unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Fertigungskapazitäten zeitlich koordiniert. Dabei werden zunächst in der sogenannten Durchlaufterminierung die Start- und Endtermine der einzelnen Fertigungsvorgänge ermittelt. Darauf folgend werden im Rahmen der Kapazitätsterminierung die für die Fertigung erforderlichen Anlagen und Aggregate ermittelt und den tatsächlich verfügbaren Kapazitäten gegenübergestellt. Übersteigen die erforderlichen Anlagen die vorhandenen Kapazitäten müssen Ausgleichsrechnungen vorgenommen werden. Der abschließende Arbeitsschritt der Termin- und Kapazitätsplanung erfolgt in der Reihenfolgeplanung, in der ermittelt wird, zu welchem Zeitpunkt Fertigungsaufträge bearbeitet werden müssen.

Die *Auftragsveranlassung und -überwachung* wird nicht mehr dem Planungs-, sondern dem Steuerungsbereich der Produktion zugerechnet. In ihr werden Fertigungsaufträge kurzfristig für die Fertigung freigegeben. Nach einer Verfügbarkeitsprüfung von Kapazitäten, Materialien und Betriebsmitteln werden in der Auftragsveranlassung zunächst die Fertigungsaufträge grundsätzlich freigegeben. Darauffolgend wird die Arbeitsverteilung durchgeführt, in der die Fertigungsaufträge den einzelnen Kapazitäten zugewiesen und die für die Arbeitsorganisation erforderlichen Dokumente erstellt werden. Für die in der Mengenplanung ermittelten Fremdbedarfe werden entsprechende Bestellaufträge freigegeben. Die Aufgabe der Auftragsüberwachung besteht darin, alle in der Auftragsveranlassung geplanten und initialisierten Maßnahmen zu überprüfen. Diese umfassende Kontrollaufgabe wird üblicherweise durch eine Betriebsdatenerfassung unterstützt, die sehr häufig als ein integraler Bestandteil eines PPS-Systems vorliegt. In ihr werden alle relevanten Fertigungsdaten gesammelt und aufbereitet, so dass es jederzeit möglich ist, den aktuellen Status der Fertigung nachzuvollziehen.

Die vorstehende Skizze eines PPS-Systems verdeutlicht dessen bereits zuvor konstatierte Komplexität. Ein PPS-System unterstützt mehrere Hierarchieebenen der Planung sowie die der operativen Steuerung und Kon-

trolle. Weiterhin wird deutlich, dass in einem PPS-System eine hoch interdependente prozedurale Vorgehensweise abgebildet ist. Eine weitere Komplexitätsstufe ergibt sich daraus, dass ein PPS-System ein Zielsystem abzubilden hat, dass zumindest teilweise aus konfligierenden Zielen besteht. Die Vielzahl der innerhalb von PPS-Systemen zu bearbeitenden Aufgaben, deren Problemumfang und die Komplexität ihres Zusammenspiels hat zur Konsequenz, dass PPS-Systeme manuell nicht mehr effizient bearbeitet werden können. Eine IT-Unterstützung ist offenbar zwingend geboten. Deutlich wird auch die Folge, dass eine solche IT-Unterstützung mit hohen Investitionskosten und Einführungsaufwendungen verbunden ist.

2 Integration des Umweltschutzes in Produktionssysteme

Wie zuvor gezeigt, ist die den Produktionsprozessen zu Grunde liegende Planung in den meisten Fällen äußerst komplex. Ebenso ist die Notwendigkeit aufgezeigt worden, das Aufgabenspektrum der Produktionssysteme durch IT-Systeme (sogenannte PPS-Systeme) zu unterstützen. Die möglichen Ausprägungen gegenwärtiger PPS-Systeme sehen nicht vor, betriebliche Umweltschutzaktivitäten zu unterstützen. Um dieses zu erreichen, ist es erforderlich, dass das Zielsystem der PPS-Systeme mit dem von BUIS abgeglichen wird, um eine effiziente Integration zu erreichen.

Nach Mark Junge stellt die Integration umfassender Umweltschutzaktivitäten in den Produktionsprozess sehr hohe Anforderungen an die PPS-Systeme (vgl. Junge 2007). Die Bearbeitung von Umweltschutzmaßnahmen benötigt neben detaillierten Material- und Produktinformationen, die meistens in PPS-Systemen vorliegen, häufig auch spezielle Daten über Stoff- und Energieströme, beispielsweise um die Quantität und Qualität von Emissionen ermitteln zu können, die jedoch in PPS-Systemen standardmäßig nicht vorhanden sind.

Andererseits ist nicht zu verkennen, dass sich in den Grunddatenverwaltungssystemen der Produktionssysteme eine Vielzahl von Informationen befindet, die für die Bearbeitung von Umweltschutzmaßnahmen relevant sind. Basierend auf diesen Sachverhalt ist es lohnend, Möglichkeiten zu reflektieren, Umweltaspekte und -maßnahmen in PPS-Systeme zu integrieren.

In diesem Kontext wurden erste Ansätze für BUIS zum produktionsintegrierten Umweltschutz in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts diskutiert (vgl. u. a. Bullinger et al. 1998; Rautenstrauch 1999). Beispielsweise sind Konzepte für produktionsnahe BUIS erarbeitet worden, die den betrieblichen Umweltschutz in PPS-Systemen gefördert haben. Dabei ist es bemer-

kenswert, dass wissenschaftlicher Arbeiten zur IT-Unterstützung eines produktionsintegrierten Umweltschutzes seit dieser Zeit nicht mehr vorgelegt worden sind. Auch aus der betrieblichen Praxis sind nennenswerte Entwicklungsarbeiten in diesem Kontext nicht bekannt geworden.

3 BUIS zum produktionsintegrierten Umweltschutz

Je nach Intensität der Integration werden BUIS zum produktionsintegrierten Umweltschutz grundsätzlich in die drei nachfolgenden Kategorien differenziert:

- Add on-Konzepte,
- Erweiterungskonzepte und
- integrative Konzepte.

Dabei wird die Möglichkeit, BUIS als ein Stand alone-System zu realisieren, in diesem Kontext nicht weiter betrachtet, da hier zwei Systeme parallel betrieben werden, ohne auch nur die geringsten Integrationsmöglichkeiten zu nutzen. Stand alone-Systeme sind zwar unabhängig voneinander, haben aber den schwerwiegenden Nachteil, dass Daten redundant gespeichert werden müssen, was einerseits zu einer Doppelerfassung und andererseits regelmäßig zu inkonsistenten Datensätzen führt.

Eine Möglichkeit, die IT-Unterstützung bei der Durchführung von Umweltschutzmaßnahmen in einen Zusammenhang mit PPS-Systemen zu bringen, besteht darin, ein bestehendes PPS-System um ein produktionsnahes BUIS als *Add on-Modul* zu ergänzen. Ein solches Modul hat ausschließlich die Aufgabe, umweltschutzrelevante Maßnahmen durch geeignete IT-Aktivitäten zu unterstützen, ohne dass irgendwelche Änderungen innerhalb des PPS-Systems notwendig werden. Sowohl das PPS-System als auch das BUIS sind in ihrer Funktionalität eigenständig und unabhängig voneinander. Günstigstenfalls bestehen zwischen beiden Systemen Schnittstellen, so dass sie miteinander kommunizieren und Informationen austauschen können (vgl. Schuh 2006). Bei Add on-Konzepten ist eine Abgrenzung zum additiven Umweltschutz nicht einfach zu treffen, der dadurch kennzeichnet ist, dass Umweltschutzmaßnahmen bei einem unveränderten Produktionsprozess nachgeschaltet werden. Im Add on-Konzept des produktionsintegrierten Umweltschutzes wird ein BUIS ebenfalls einem PPS-System nachgeschaltet, so dass Kommunikationen sowie ein Informationsaustausch stattfinden können. Als Beispiel für eine mögliche Realisierung des Add on-Konzepts beschreibt Claus Rautenstrauch ein Recyclinginformationssystem (vgl. Rautenstrauch

1999: 82ff.). Der Fokus dieses Systems liegt auf dem Produktrecycling. Das findet seine Ursache darin, dass die dort bestehende Zeitdifferenz zwischen der Erzeugung des Rezykliergutes und seine Wiederbereitstellung für den Produktionsprozess im Allgemeinen deutlich höher ist als beim Materialrecycling (vgl. Martens 2011: 4f.). Im Produktrecycling werden Altprodukte oder Ausschussteile demontiert und/oder wiederaufbereitet und anschließend den Produktionsprozess als Sekundärgüter wieder zur Verfügung gestellt. Die Demontage erfolgt in einem getrennten Prozess, so dass eine enge Integration von BUIS und PPS-System nicht zwingend erforderlich ist. Für den Recyclingprozess sind der Montage- und Wiederverwendbarkeitsdaten erforderlich. Indem in PPS-Systemen die Teilestammdaten um recyclingspezifische Informationen ergänzt werden, kann ein Recyclinginformationssystem auf die Datenbasis eines PPS-Systems aufbauen und die dort verfügbaren Daten wiederverwenden. Zwar sind mit dem Add on-Konzept die Vorteile verbunden, dass an den PPS-Systemen nur wenige Änderungen vorgenommen werden müssen und dass die Einführungsprobleme eines BUIS dadurch reduziert werden, dass ein eigenständiges System vergleichsweise wenige Abhängigkeiten zu anderen Systemen aufweist. Allerdings besteht ein Nachteil in der nur geringen Integration zweier Informationssysteme, die das gleiche Anwendungsfeld betreffen. Weiterhin haben voneinander unabhängige Systeme den Nachteil, dass gleiche Daten für beide Systeme mehrfach erfasst werden müssen. Schließlich bereitet der Datenaustausch zwischen beiden Systemen insofern Probleme, als eines der Systeme dem anderen nachgelagert ist.

Das *Erweiterungskonzept* verfolgt die Idee, ein existierendes PPS-System um die IT-unterstützte Bearbeitung von Umweltaspekten zu ergänzen, um so den Umweltschutz in dessen Planungs- und Steuerungsaktivitäten zu integrieren. Die Realisierung dieses Konzepts geschieht dadurch, einzelne Komponenten eines PPS-Systems um umweltrelevanter Daten und Funktionalitäten zu erweitern. Beispielsweise können PPS-Systeme in der Hinsicht erweitert werden, dass unerwünschte flüssige und gasförmige Emissionen vermieden werden (vgl. Rautenstrauch 1999: 94ff.). Eine mögliche Ausprägung des Erweiterungskonzeptes ist das Modell eines Umwelt-PPS-Systems. Der Fokus eines solchen Systems liegt beispielsweise auf präventive Maßnahmen mit dem Ziel der Emissionsreduzierung. In diesem Kontext ist beispielsweise die Möglichkeit gegeben, in die Programmplanung Umweltrestriktionen wie Emissionsgrenzen zu berücksichtigen. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, einzelne Arbeitsgänge eines PPS-Systems um Attribute wie Emissionsausstoß, Abwasser, Abfall zu ergänzen, um die Emissionen

im gesamten Produktionsprozess planen und steuern zu können. Weiterhin kann das Modul der Fertigungssteuerung in der Weise ergänzt werden, dass die Funktionalität von Umweltleitständen hinzugefügt wird. Damit werden die ökonomischen Ziele der Produktionsplanung um umweltorientierte Ziele ergänzt. Die Erweiterungskonzepte haben den Vorteil, dass Systeme gemäß diesem Konzept präventiv wirken, dass z. B. Emissionsreduzierung bereits während der Planungsphase berücksichtigt werden kann. Hinzu kommt, dass während der Steuerungsphase diesen und weitere umweltrelevante Größen überwacht und gesteuert werden können. Hinzu kommt der Vorteil, dass in den Unternehmen kein zusätzliches IT-System eingeführt und integriert werden muss. Schließlich sind mit dem Erweiterungskonzept die Chancen verbunden, dass nicht nur „Umweltexperten" Zugang zu den umweltspezifischen Anwendungen ermöglicht wird. Allerdings ist die Erweiterung eines bestehenden PPS-Systems durch umweltorientierte Aspekte häufig mit einem erheblichen Aufwand verbunden. Die Erweiterung eines bestehenden Systems bedeutet oft einen massiven Eingriff in dessen Struktur, so dass erst durch umfangreiche Tests die korrekte Arbeitsweise des Systems abgesichert werden kann, zumal ergänzende Ziele und Restriktionen erhebliche Eingriffe in vorhandene komplexe Strukturen bedeutet. Bezogen auf die betriebliche Praxis sei in diesem Kontext darauf hingewiesen, dass die umfangreiche Erweiterung eines bestehenden Systems insofern als problematisch angesehen wird, dass nicht selten auch Eingriffe in die bereits vorhandenen Funktionalität vorgenommen werden müssen. Diese Eingriffe unterliegen der Gefahr, dass bislang fehlerfrei arbeitende Systemteile mit dem Ergebnis in Mitleidenschaft gezogen werden, dass deren Korrekturen oft zeit- und kostenintensiv sind.

Die *integrativen Konzepte* schlagen vor, Umweltschutzmaßnahmen in einem PPS-System in der Weise zu integrieren, dass ein vollständig neues System konzipiert wird, das die ökonomisch und ökologisch orientierten Aspekte von Produktionssystemen berücksichtigt und gleichberechtigt behandelt. Dieses Konzept bietet den Vorteil, dass die Umweltaspekte in die Funktionalitäten von PPS-Systemen eingearbeitet sind, so dass keinerlei Integrationsprobleme zu lösen sind. Weder in der Wissenschaft noch in der Praxis sind die integrativen Konzepte bislang konkretisiert worden. In den meisten Produktionsbetrieben existieren unterschiedliche PPS-Systeme als bewährte Lösung. Diese wurden seinerzeit mit einem oft nicht unerheblichen Aufwand implementiert und den betrieblichen Bedingungen angepasst. Aus diesen Gründen lässt sich vermuten, dass das Interesse der Unternehmen, in Realisierungen integrativer Konzepte zu investieren, relativ gering

ausfällt. Das wiederum bewirkt ein fehlendes Engagement der Wissenschaft, solche Systeme zu konzeptionieren und zu entwickeln.

4 Definition der Nachhaltigkeit

Da alle betrieblichen Aufgabenbereiche und (Teil-)Prozesse einer umfassenden und detaillierten Nachhaltigkeitsbetrachtung unterzogen werden müssen, ist der Einsatz von informationsverarbeitenden Systemen zwingend erforderlich. IT-Systeme, die diese Aufgaben unterstützen, werden als Nachhaltigkeitsinformationssysteme bezeichnet. Allerdings ist festzuhalten, dass sich bislang weder Wissenschaft noch Praxis mit ganzheitlichen Nachhaltigkeitsinformationssystemen, deren Rahmen und Funktionalitäten auseinandergesetzt haben. Jenseits allgemeiner, unverbindlicher Systembeschreibungen und Absichtserklärungen ist diese Problematik bisher nicht bearbeitet worden.

Unstreitig ist inzwischen, dass der Nachhaltigkeit drei Dimensionen zugrunde liegen:

- die *ökonomische* Nachhaltigkeit folgt im Wesentlichen dem ökonomischen Prinzip, das – vereinfacht – ein Maximum an Wertschöpfung bei einem minimalen Mitteleinsatz fordert;
- die *ökologische* Nachhaltigkeit, der zufolge sowohl der Mitteleinsatz wie auch die (industrielle) Produktion so organisiert sein sollen, dass die natürlichen Lebensgrundlagen nur so weit in Anspruch genommen werden sollen, wie sich diese regenerieren (können);
- die *soziale* Nachhaltigkeit, die sich an Begriffe wie menschenwürdige Existenz, Chancengleichheit und Partizipation orientiert.

Die Ermittlung der Maßgrößen und Indikatoren zu den drei Nachhaltigkeitsdimensionen wird institutionell häufig vom betrieblichen Nachhaltigkeitscontrolling wahrgenommen, das das „klassische“ Controlling ergänzt.

Allerdings vernachlässigt die Nachhaltigkeitsberichterstattung – so wie sie von der Global Reporting Initiative (GRI) vorgeschlagen wird – die Aufgabe der Integration der Nachhaltigkeitsaspekte (vgl. GRI 2013). Stefan Schaltegger et al. machen deutlich, dass es für eine nachhaltige Entwicklung nicht ausreichend ist, die (Einzel-)Ziele der oben genannten Dimensionen isoliert anzustreben. Vielmehr haben sich die Unternehmen der Herausforderung zu stellen, diese Ziele integrativ zu betrachten und zu verfolgen (vgl. Schaltegger et al. 2007; siehe Abb. 1).

Die Integrationsanforderung zielt auf die simultane Erfüllung der Ziele der drei Dimensionen und somit auf die Einbettung des Umwelt- und So-

zialmanagements in das „klassische“ ökonomische Management ab. Damit ist auch zu untersuchen, ob und in welchem Umfang die Verfolgung einzelner Ziele eine Dimension auf die Erfüllung von Zielen anderer Dimensionen Einfluss nimmt. Es sind somit die Zielbeziehungen aller (Einzel-)Ziele der drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu betrachten. Der damit verbundene Komplexitätszuwachs wird von der Nachhaltigkeitsberichterstattung (bislang) nicht eingelöst.

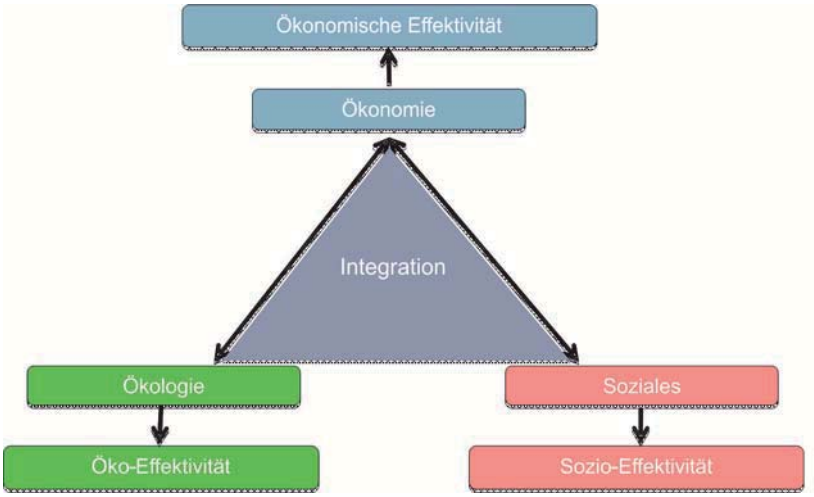


Abb. 1: Die vier Nachhaltigkeitsanforderungen an Unternehmen
Quelle: in Anlehnung an Schaltegger et al. 2007

5 Wege zu betriebswirtschaftlichen Informationssystemen

Hinsichtlich der Nachhaltigkeitsinformationssysteme ähnelt Situation derjenigen, die in der Wirtschaftsinformatik bis in die späten achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts hinein bekannt war. Erst dann haben Lutz J. Heinrich et al. in ihrem Werk zum Informationsmanagement einen substantiellen Vorschlag zur Beschreibung und Entwicklung betriebswirtschaftlich relevanter Informationssysteme vorgelegt (vgl. Heinrich et al. 2014). Sie verstehen Informationssysteme als Teil der sogenannten Informationsinfrastruktur, die im Wesentlichen durch die Arbeitsschritte

– Situationsanalyse,
– Zielplanung,
– Strategieentwicklung und
– Informationssystemplanung

erarbeitet wird. Insgesamt werden die grundlegenden Aufgaben des strategischen Informationsmanagement durch Abbildung 2 verdeutlicht.

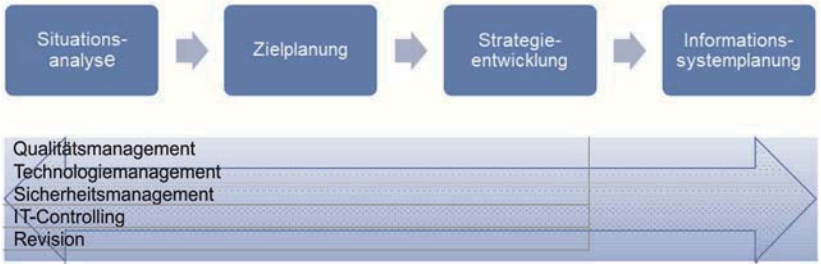


Abb. 2: Strategisches Informationsmanagement

Quelle: nach Heinrich et al. 2014

In dem hier diskutierten Kontext ist – einschränkend zu Heinrich et al. (2014) – der Arbeitsschritt „Maßnahmenplanung" als Planung von Informationssystemen zu verstehen. Als Ergebnis der Umsetzung des strategischen Informationsmanagements werden konkrete Aussagen zu den Objekten

– IuK-Technologien,
– Informationssysteme,
– IT-Organisation,
– IT-Personal,
– Datensystem und
– Methodensystem

erwartet (vgl. Heinrich et al. 2014: 160). Dabei stehen die beiden erstgenannten Teilpläne im Vordergrund der Betrachtung. Offenbar gelingt es so, Rahmen und Funktionalitäten von Informationssystemen festzulegen. Diese Vorgehensweise ist plausibel und hat sie in der Praxis vielfach bewährt. Bezogen auf die Entwicklung von Informationssystemarchitekturen gilt lediglich anzumerken, dass die Arbeitsschritte sukzessiv zu bearbeiten sind, auch wenn nicht einzelne Informationssysteme, sondern ein Gesamtportfolio unternehmensbezogener Informationssystemen zu erarbeiten ist.

Die Vorgehensweise zur Planung von Informationssystemen gemäß Heinrich reflektiert betriebswirtschaftliche Systeme, die hinsichtlich von Nachhaltigkeitsinformationssystemen zwei Vorteile besitzen. Zum einen hat die Betriebswirtschaftslehre (auch) in der praktischen betrieblichen Anwendung eine lange Tradition, so dass das Repertoire ökonomischer (Teil-)Ziele weitgehend bekannt ist und die Zielermittlung für ein konkretes Unternehmen eher einem Auswahl- als einem Such- und Generierungsprozess gleichkommt. Zum anderen sind betriebswirtschaftliche Zielsysteme eindimensional, da ausschließlich ökonomische Aspekte zu beachten sind. Demgegenüber gilt für Nachhaltigkeitsinformationssysteme, dass einerseits die Zieldiskussion für solche Systeme relativ jung und bei weitem noch nicht abgeschlossen ist. Andererseits haben Nachhaltigkeitsinformationssysteme aufgrund ihrer Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales ein multidimensionales Zielsystem zu erfüllen. Damit erhalten diese Systeme eine deutlich höhere Komplexität, so dass zwar die von Heinrich vorgeschlagene Vorgehensweise zur Planung von Informationssystemen prinzipiell gefolgt werden kann, allerdings sind zur Erarbeitung des multidimensionalen Zielsystems der nachhaltigen Entwicklung etliche Änderungen und Ergänzungen notwendig.

Wegen der vorliegenden Komplexität scheint es geboten, die Vorgehensweise zur Planung eines Nachhaltigkeitsinformationssystemportfolio einen Arbeitsschritt unternehmensneutraler Zielplanung dem Arbeitsschritt Situationsanalyse vorzuschalten, da bislang in den Unternehmen eine Nachhaltigkeitsdiskussion in einem kaum ausreichenden Maße stattgefunden hat. Das hat zur Folge, dass es äußerst schwierig sein wird, ein unternehmensindividuelles Nachhaltigkeitszielsystem zu formulieren. Daraus ergibt sich die Anforderung, durch eine umfangreiche und systematische Literaturanalyse ein solches Zielsystem zu erarbeiten. Damit die zu planenden Nachhaltigkeitsinformationssysteme die spezifischen betrieblichen Belange berücksichtigen, ist es zweckmäßig, dem Arbeitsschritts „Situationsanalyse“ einen weiteren Arbeitsschritt „unternehmensspezifische Anpassung des Zielsystems“ folgen zu lassen. Daraus ergibt sich für die Entwicklung eines Portfolios von Nachhaltigkeitsinformationssystemen folgendes Bild (siehe Abb. 3).

Anschließend sollen Lösungsmöglichkeiten dargelegt werden, mittels derer das Problem der Multidimensionalität bewältigt werden kann.

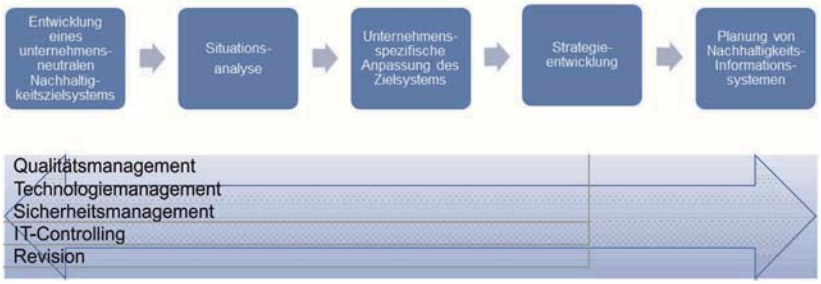


Abb. 3: Vorgehensweise bei der Entwicklung von Nachhaltigkeitsinformationssystemen

Eigene Darstellung

6 Entwicklung multidimensionaler Zielsysteme

Die prinzipielle Möglichkeit, multidimensionale Zielsysteme zu entwickeln, wurde bereits 2010 gezeigt, indem für den Bereich der innerbetrieblichen Logistik ein ökonomisch-ökologisches Zielsystem entwickelt wurde (vgl. Junker et al. 2010). Dazu wurde zunächst getrennt voneinander für die beiden Dimensionen Ökonomie und Ökologie jeweils ein Zielkatalog angefertigt, indem – ungeordnet – Einzelziele zusammengetragen wurden. Anschließend wurden diese Ziele – wiederum getrennt nach Dimensionen – in der Weise in ein Zielsystem überführt, dass durch die Feststellung von Über- und Unterordnungen eine Zielhierarchie aufgebaut wurde. Ein zweidimensionales Gesamtzielsystem einer umweltorientierten innerbetrieblichen Logistik ergibt sich sodann aus der Gegenüberstellung des ökonomischen Zielsystems mit dem ökologischen (siehe Tab. 1).

In diesem System ist jedes Einzelziel der einen Dimension mit allen Zielen der anderen Dimension verglichen worden, um zu ermitteln, ob die jeweiligen Zielbeziehungen einen komplementären (+), konfliktären (–) oder neutralen (o) Charakter besitzen. Komplementäre Zielbeziehungen führen dazu, dass die Verfolgung des einen Ziels das Erreichen des anderen unterstützt, so dass sich z. B. bei der Verfolgung eines ökonomischen Ziels keine weiteren Bemühungen erforderlich sind, ein komplementäres zu erreichen. Ziele, für die neutrale Zielbeziehungen vorliegen, sind voneinander unabhängig und beeinflussen sich gegenseitig nicht. Sie müssen jeweils getrennt voneinander verfolgt werden. Konfliktäre Zielbeziehungen haben zur Folge, dass es nicht möglich ist, beide Ziele gleichzeitig zu verfolgen. Um solche Kon-

Tab. 1: Ganzheitliches Zielsystem einer umweltorientierten innerbetrieblichen Logistik

			Ziele des Umweltmanagements															
			strategisch		taktisch								operativ					
			Umweltschutz	Nachhaltigkeit	Ressourcenschutz	Ressourcenschonung	Emissionsvermeidung	Emissionsverminderung	Emissionsverwertung	Emissionsentsorgung	Risikobegrenzung	Risikovermeidung	Minimierung von (Primär-) Material- und Energieeinsatzmengen	Substitution umweltbelastender Materialien und Energiearten	Minimierung unerwünschter Outputs in der Produktion	Hohe Recyclingquoten	Hohe Sekundärmaterialverfügbarkeit	Minimierung der Abfallmengen
Ziele der innerbetrieblichen Logistik	strategisch	Hohe Logistikleistung (Lieferservice, -bereitschaft, -flexibilität)	+	+	o	o	o	o	o	+	+	o	o	o	o	+	o	o
		Geringe Logistikkosten	+	o	+	+	o	+	+	o	+	+	o/+	o	o	-	o	+
	taktisch	Senkung der Abfallkosten	+	+	o	+	o	+	+	+	o	o	o/+	+	+	+	o	+
		Senkung der Entsorgungskosten	+	o	o	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		Senkung der Lager-, Transport-, Umschlagkosten	+	o	o	+	+	+	o	+	o	o	+	o	+	-	-	+
		Hohe Termintreue	+	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o/+	o	+	o	o
		Optimierung der Ablaufplanungen	+	+	+	+	o	+	o	o	+	+	+	o	+	+	o	+
	operativ	Minimierung von Fertigungsdurchlaufzeiten	+	+	o	+	o	+	-	o	+	o	+	o	o	+	o	-
		Minimierung von Beständen	+	+	+	+	o	+	o	o	+	o	+	o/+	+	-	-	+
		Minimierung von Terminabweichungen	o	o	o	+	o	o	o	o	+	o	o	o	o/+	+	o	o
		Minimierung von Auftragsabwicklungszeiten	+	+	-	-	-	-	o	o	-	-	+	o	o	+	o	-
		Maximierung von Maschinenauslastungen	-	-	-	-	-	-	o	o	-	-	+	o	-	+	o	-

Quelle: nach Junker et al. 2010

flikte zu vermeiden ist zunächst zu untersuchen, ob eines der Ziele zu Gunsten des anderen aufgegeben werden kann. Wird es als notwendig erachtet, beide Ziele zu verfolgen, müssen diese so relativiert werden, dass jeweils nicht das Optimum der Zielerreichung angestrebt wird, sondern beide nur in einem „angemessenen“ Umfang verfolgt werden.

Ein Überblick über das Gesamtzielsystem zeigt, dass die Anzahl der komplementären und neutralen Zielbeziehungen die der konfliktären deutlich übertrifft – nur ca. 12 % der Zielbeziehungen sind konfliktär. Daraus

lässt sich die Annahme ableiten, dass das gesamte Zielsystem einer umweltorientierten innerbetrieblichen Logistik grundsätzlich realisierbar ist.

Damit gibt es die begründete Vermutung, dass es grundsätzlich möglich ist, ein multidimensionales Zielsystem zu erarbeiten, wenn auch diese Aussage zunächst für ein nur zweidimensionales Zielsystem nachgewiesen wurde. Allerdings ist eine Ausdehnung auf drei Dimensionen mit einer deutlich höheren Komplexität und einem erheblichen Erstellungsaufwand verbunden.

7 Vorgehensweise bei der Erarbeitung eines ganzheitlichen Zielsystems für die betriebliche Nachhaltigkeit

Wissenschaft und Praxis zeigen, dass jenseits der Formulierung von Unternehmensleitbildern und der Kennzahlen und Indices der GRI für Wirtschaftsbetriebe belastbare Zielvorgaben in einem nur sehr geringen Umfang existieren, um ein individuell relevantes dreidimensionales Nachhaltigkeitszielsystem aufbauen zu können. Offenbar hat es die Wissenschaft bislang versäumt, ein detailliertes Rahmenwerk vorzulegen, aus dem sich die Unternehmen ihr individuelles Zielsystem extrahieren können. Deshalb sind aus der Praxis Realisierungen solcher Systeme bislang nicht bekannt geworden.

Um ein solches wissenschaftlich fundiertes Rahmenwerk zu schaffen, bietet es sich an, in einem ersten Arbeitsschritt für jede der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit intensive Literaturstudien mit dem Ziel zu betreiben, nachhaltigkeitsrelevante Einzelziele zu eruieren und zu dokumentieren. In einer umfangreichen angelegten Studie wird gegenwärtig der Versuch unternommen, Zielkataloge für jede der Nachhaltigkeitsdimensionen zu erarbeiten. So ist es bislang gelungen, drei Zielkataloge jeweils für ökonomische, ökologische und soziale Ziele zu erarbeiten.

Bei dem Bemühen, aus der wissenschaftlichen Literatur möglichst vollständige Zielkataloge für die einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu eruieren, wurde festgestellt, dass die Zieldiskussion im Bereich Ökonomie bislang sehr umfangreich stattgefunden hat, so dass diesbezüglich eine möglichst vollständige Zielermittlung vergleichsweise wenig Schwierigkeiten bereitet hat. Aufgrund der langen Tradition der Wirtschaftswissenschaften nimmt diesen Sachverhalt nicht Wunder. Es stellte sich heraus, dass auch innerhalb der betrieblichen relevanten Ökologie das Aufspüren und Sammeln von (Teil-)Zielen eher eine Fleißaufgabe darstellte und wenig intellektuelle Schwierigkeiten bereitete. Deutlich problematischer war die Erstellung eines Zielkatalogs für die soziale Dimension der Nachhaltigkeit. Die Ursache für dieses Problem wurde weniger darin gesehen, dass in dieser

Dimension Zieldiskussionen nicht in einem ausreichenden Maße stattgefunden haben, sondern vielmehr darin, dass diese Dimension sehr „breit aufgestellt“ ist und im Kontext der Nachhaltigkeitsdiskussion bislang nur selten der Versuch unternommen wurde, relevanten soziale Ziele zu diskutieren und zu beschreiben.

Die Recherche und Sammlung nachhaltigkeitsrelevanter Ziele ist inzwischen abgeschlossen, so dass die ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielkataloge mit einigen Hundert (Teil-)Zielen vorliegen. Die so ermittelten Kataloge stellen allesamt eine ungeordnete Zielsammlung dar, die anschließend in mehreren Arbeitsschritten zu einem dreidimensionalen Zielsystem ausgebaut werden müssen.

Aus Gründen der Komplexitätsreduzierung ist es zweckmäßig, in einem zweiten Arbeitsschritt die Zielkataloge in der Weise zu kategorisieren, dass inhaltlich verwandte Ziele zu Gruppen zusammengefasst werden. Diese Clusterung eröffnet auch die Chance, in einer ersten Annäherung eine Zielhierarchisierung in der Weise vorzunehmen, dass Über- und Unterordnungsbeziehungen ermittelt werden. In der angesprochenen Studie liegen inzwischen die geclusterten Zielkataloge für alle drei Dimensionen vor.

Im folgenden Arbeitsschritt sollen die geclusterten Zielkataloge durch eine Zielhierarchisierung in Zielsysteme überführt werden, die faktisch aus Zielbäumen bestehen. Diese Überführung von Zielkatalogen zu Zielsystemen eröffnet auch die Möglichkeit, Unvollständigkeiten, Lücken und Widersprüche bezüglich der (Teil-)Ziele zu entdecken und zu beseitigen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, ganzheitliche Zielsysteme für jede der drei Nachhaltigkeitsdimensionen zu entwickeln und bereitstellen zu können. In der angesprochenen Studie steht der Abschluss der Bearbeitung dieses Arbeitsschritts noch aus.

In einem abschließenden Arbeitsschritt sollen die Zielsysteme der einzelnen Dimensionen zusammengefasst werden. Grafisch lässt sich dieser Sachverhalt durch eine Pyramide verdeutlichen, wobei ihre Außenflächen die jeweiligen Zielsysteme darstellen.

Dabei ist die Bildung einer Pyramide zunächst inhaltlich wenig aussagekräftig. Allerdings eröffnet sich dadurch – bildlich gesprochen – die Chance, den Aspekt der Integration durch die Ermittlung der Zielbeziehungen zwischen den Zielen aller drei Dimensionen darstellen zu können. Während die Zielsysteme die Außenflächen der Pyramide darstellen, wird der Pyramidenraum durch die Zielbeziehungen gefüllt, so dass man durch eine solche Pyramide letztlich ein integratives ganzheitliches Zielsystem der betrieblichen Nachhaltigkeit erhält.

Die Ermittlung der Zielbeziehungen steht innerhalb der angesprochenen Studie ebenfalls aus. Aufgrund der Vielzahl der bislang ermittelten (Teil-) Ziele ist aber bereits jetzt deutlich, dass diesen Arbeitsschritt einen sehr großen Umfang annehmen wird. Allerdings wird damit ein umfassendes Rahmenwerk erarbeitet, wodurch sich Nachhaltigkeitsinformationssysteme besser, umfassender und eindeutiger beschreiben lassen können. Darüber hinaus werden damit wesentliche Grundlagen zur Entwicklung unternehmensindividueller betrieblicher Nachhaltigkeitsinformationssysteme zur Verfügung stellt.

Wenn auch aufgrund der seit langem geführten Nachhaltigkeitsdiskussion unterstellt werden darf, dass sich die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit harmonisieren lassen, wird sich erst durch durch die Studie zeigen, ob diese einzelnen Ziele der Nachhaltigkeitsdimensionen komplementären oder neutralen Charakter besitzen.

Es ist davon auszugehen, dass sich in der Studie der Nachweis führen lässt, dass sich die überwiegende Mehrzahl der Beziehungen harmonisieren lässt.

8 Schlussfolgerungen

Insgesamt gesehen scheint es in der Praxis der Unternehmen möglich zu sein, Unternehmensleitbilder der betrieblichen Nachhaltigkeit auf den operativen Level „herunter zu brechen“. Dadurch ist die Möglichkeit eröffnet, den immer noch im Management der Unternehmen vorhandene Glauben zu falsifizieren, dass Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu kostenintensiv und deshalb unwirtschaftlich seien. Es darf angenommen werden, dass das gleichzeitige Verfolgen ökonomischer, ökologischer und sozialer Ziele positive Synergieeffekte auslösen wird.

Schließlich führt eine effiziente Überführung von (Teil-)Zielen in ein Zielsystem zu der Chance, leistungsstarke ganzheitliche Informationssysteme zu entwickeln und zu implementieren. Grundsätzlich decken betriebliche Informationssysteme (z. B. ERP-Systeme), wie sie aus der Wirtschaftsinformatik bekannt sind, identische betriebliche Funktionsbereiche wie die hier diskutierten Nachhaltigkeitsinformationssysteme ab. Dadurch kann man den Eindruck einer inhaltlichen Doppelung gewinnen. Aber eine ausschließliche Betrachtung der ökonomischen Dimension der nachhaltigen Entwicklung resultiert in einer reinen kostenorientierten Betrachtung. Im Gegensatz dazu ist die ökologische Dimension mengen- und die soziale Dimension wertorientiert. Durch diese unterschiedlichen Sichtweisen, insbesondere durch deren Integration kann ein neues und innovatives Verständnis betrieblicher Aktivitäten gewonnen werden, das zusätzliche ökonomische Effekte (wie Imagebildung, Zugang zu neuen Märkten, Mitarbeiterbefriedigung) auslöst.

Der hier vorgeschlagene ganzheitliche Zugang zur Entwicklung von Nachhaltigkeitsinformationssystemen unter Berufung auf die Methoden des „klassischen“ Informationsmanagement scheint zielführend zu sein. Es ist offenbar der einzige Weg, möglicherweise als rudimentäre Insellösungen bestehende Nachhaltigkeitsinformationssysteme zu geschlossenen unternehmensweiten Systemen auszubauen.

Literatur

Bullinger, Hans-Jörg; Hilty, Lorenz M.; Rautenstrauch, Claus; Rey, Uwe; Weller, Andreas (Hrsg.) (1998): Betriebliche Umweltinformationssysteme in Produktion und Logistik. Marburg (Workshop der Fachgruppe 4.6.2/5.4.3 „Betriebliche Umweltinformationssysteme“ der Gesellschaft für Informatik, 19.01.1998).

GRI – Global Reporting Initiative (2013): G4 Sustainability Reporting Guidelines. Amsterdam. – https://respect.international/wp-content/uploads/2017/10/G4-Sustainability-Reporting-Guidelines-Implementation-Manual-GRI-2013.pdf.

Heinrich, Lutz, J.; Riedl, René; Stelzer, Dirk (2014): Informationsmanagement. 11. Aufl. Berlin.

Junge, Mark (2007): Simulationsgestützte Entwicklung und Optimierung einer energieeffizienten Produktionssteuerung. Kassel.

Junker, Horst; Marx Goméz, Jorge; Lang, Corinna V. (2010): „Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS)“. Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010, hrsg. von Matthias Schumann; Lutz M. Kolbe; Michael H. Breitner; Arne Fredrichs. Göttingen, 209–210.

Kautz, Wolf-Eckhardt (1996): Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme. Konzept zur technisch-ökonomisch begründeten Auswahl. Wiesbaden.

Kiener, Stefan; Maier-Scheubeck, Nicolas; Obermaier, Robert; Weiß, Manfred (2009): Produktions-Management. Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung. 9. Aufl. München.

Kurbel, Kurt (2005): Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management. München.

Martens, Hans (2011): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. Heidelberg

Rautenstrauch, Claus (1999): Betriebliche Umweltinformationssysteme. Grundlagen, Konzepte und Systeme. Heidelberg u. a. O.

Schaltegger, Stefan; Herzig, Christian; Kleiber, Oliver; Klinke, Torsten; Müller, Jan Dietrich (2007): Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen. Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability. Berlin/Lüneburg. – https://www.sustainament.de/wp-content/uploads/nachhaltigkeits management_unternehmen.pdf.

Schuh, Günter (2006): Produktionsplanung und -steuerung. Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Aufl. Heidelberg u. a. O.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 223–233*

Dirk Hagen

KI-basiertes Matchmaking als innovatives Steuerungsinstrument zur wissenschaftlichen Netzwerkbildung

Abstract

Due to their growth in postmodern-oriented economies, all forms of "events", including scientific events, are resource-intensive gatherings. Increased digital development, forced by the COVID-19 pandemic, not only increases the complexity of such events in terms of their global significance, but also in terms of increasing change in the context of sustainability, e.g. through reduced travel. The increase in digital formats is once again driving the need for innovative technological solutions. However, contact and networking remain important tasks, e.g. strengthened by AI-based matchmaking tools, which are also increasingly relevant for science congresses, conferences or similar events.

Keywords/Schlüsselwörter

Artificial Intelligence (AI), Digitalization, Event Industry, Matchmaking, Networks

Digitalisierung, Event-Industrie, Künstliche Intelligenz (KI), Matchmaking, Netzwerke

1 Einleitung

In den letzten Jahren haben vor allem zwei Trends die öffentliche und wissenschaftliche Debatte in der Event-Branche weltweit stark beeinflusst: Nachhaltigkeit und Digitalisierung. Zusätzlich hat mit dem COVID-19-Virus eine disruptive Entwicklung stattgefunden: Das damit einhergehende Verbot der Durchführung fast aller Veranstaltungsformen im Sinne von physischen Versammlungen ab Frühjahr 2020 aus hygienischen Sicherheitsgründen hat die Zahl der online durchgeführten virtuellen Veranstaltungen stark ansteigen lassen und zwangsläufig zu einem unerwarteten Digitalisierungsschub in der Veranstaltungsbranche geführt. Obwohl viele digitale Tools und digitale Möglichkeiten wie Apps, Streaming-Dienste oder Video-

konferenzen etc. schon seit vielen Jahren zur Verfügung stehen und genutzt werden (vgl. Hagen 2021, 2022), hat die Krise nun zu einem starken Anstieg von virtuellen Messen, Konferenzen, Tagungen bzw. sogenannten Business Events geführt. Netzwerk- und Community-Bildung, z. B. mit Hilfe von Matchmaking-Tools, bleiben aber elementare Aufgaben insbesondere von wirtschaftsorientierten Events bzw. Veranstaltungen – und hier explizit eingeschlossen von wissenschaftlichen Tagungen, Kongressen oder Konferenzen. Im Rahmen dieser Arbeit wird zwar auch allgemein auf die äußerst heterogene Eventbranche und Eventformen eingegangen, der Fokus liegt aber eindeutig auf Kongressen und Tagungen, oft auch verstanden – im Sinne eines übergreifenden internationalen Begriffs – als die sogenannte „Meeting Industry".

2 Events: Eine Übersicht

Im Rahmen des Umfangs dieser Abhandlung wird nur ein grober Überblick über das Phänomen „Event" geboten, der eine erste Orientierung bieten soll. Es gibt ein breites Spektrum an Literatur zu den verschiedensten Formen von Events und unterschiedliche (wissenschaftliche) Perspektiven, darunter ökonomische, soziologische, ökologische und geographische Sichtweisen (vgl. z. B. Bowdin et al. 2012; Getz/Page 2020). Zwar ist die Definition von Events als übergreifende Beschreibung nicht einheitlich, aber sie können als geplante, zielgerichtete, einmalige Zusammenkünfte mit einem klar begrenzten Zeitrahmen verstanden werden. Ein Kernelement ist aber auch in der Betonung der Erlebnisorientierung zu sehen, d. h. der multisensorischen Ansprache mit Merkmalen wie Inszenierung und Ästhetisierung. Einen guten Überblick über die verschiedenen Veranstaltungstypen geben Donald Getz und Stephan J. Page (vgl. Getz/Page 2020). In ihrer Typologie geplanter Veranstaltungen unterscheiden sie sechs Säulen: „Cultural celebrations", „Business and trade", „Arts and entertainment", „Sports and recreation", „Political and state" und „Private functions" (Getz/Page 2020: 59). Sie nennen dabei für jeden Typ noch weitere Untertypen.

Immer mehr Feste, private Feiern sowie soziale und gesellschaftliche Bereiche werden professionell geplant und gemanagt. Diese reichen von organisierten Food-Festivals über Tattoo-Conventions bis hin zu Dinner-Events und können auch im Sinne einer qualitativen Eventisierung verstanden werden (vgl. Hitzler 2011). Formen wie Festivals, Messen und Großkongresse sowie die Olympischen Spiele oder die Fußball-WM sind im Sinne ihrer Besucherzahlen, ihrer wirtschaftlichen Bedeutung oder auch der medialen Aufmerksamkeit als Mega-Events zu verstehen (vgl. Müller 2015), die letzt-

lich auch von vielen neutralen, an der wissenschaftlichen Diskussion unbeteiligten Beobachtern als „eigentliche Events“ angesehen werden, weil sie eine hohe mediale Aufmerksamkeit erhalten. Gerade der Bereich der Mega-Events und größeren Festivals ist seit geraumer Zeit Gegenstand von Abhandlungen aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Perspektiven, insbesondere im Hinblick auf ihre städtebaulichen, infrastrukturellen und ökologischen Folgen (vgl. Hall 2012; Hiller 2000; Jones 2017).

Innerhalb dieses Rahmens liegt der Schwerpunkt in dieser Arbeit auf der sogenannten Meeting Industry oder MICE-Industrie (Meetings, Incentives, Conventions & Exhibitions). Darunter kann man geschäfts- oder themenorientierte Veranstaltungsformen verstehen, die auch Wissenschaftsveranstaltungen wie Kongresse, Tagungen etc. mit einschließen (vgl. Rogers 2013). Letztendlich wird damit aber nur ein Teil der Teil der Veranstaltungsbranche beschrieben. In Deutschland ist zu beobachten, dass über 50 % aller Veranstaltungen solchen Tagungsformaten zuzuordnen sind (vgl. EITW 2019) mit einem Umsatz von 114 Mrd. Euro (vgl. RIFEL 2020). Für einen besseren internationalen Überblick kann u. a. der jährliche Bericht der International Congress and Convention Association (ICCA) herangezogen werden. Es ist dabei festzustellen, dass vor allem die westlichen Volkswirtschaften mit den USA an der Spitze stehen, gefolgt von Europa (mit Deutschland mit der größten Bedeutung der europäischen Region) und dann China (vgl. ICCA 2020). Weltweit waren „Business Events“ – bis zur COVID-9-Krise – mit rund 1 Mrd. Dollar Umsatz verbunden. Allein in Deutschland entwickelt sich das Wachstum bei den Teilnehmern aller Veranstaltungsformen bis 2019 stetig und dynamisch und wird auf über 423 Mio. geschätzt, mit Tausenden von Veranstaltungsorten, Kongresszentren oder Tagungshotels und rund 2,89 Mio. Veranstaltungen (vgl. EITW 2019) bzw. rund 129 Mrd. Dollar Umsatz. Damit stellt die Event- bzw. Veranstaltungswirtschaft die sechstgrößte Branche in Deutschland überhaupt dar (vgl. RIFEL 2020).

3 Events und Netzwerke

Das zunehmende Phänomen einer erlebnisorientierten postmodernen Gesellschaft kann auch als Form neuer Gemeinschaftsbildung verstanden werden (vgl. Hitzler 2011). Ein bemerkenswertes Merkmal dieser Veranstaltungsformate ist neben der Informationsvermittlung die stark zunehmende Bedeutung der Vernetzung, die durch soziale Kontakte gefördert wird und komplementäres Wissen vermittelt. Zum einen sind solche persönlichen Kontakte für Projektkooperationen und sogar Geschäftsabschlüsse im Rah-

men von Tagungen, Konferenzen, Kongressen oder Messen verantwortlich (vgl. Hagen/Luppold 2017; Zenk et al. 2014), wobei auch hier im Rahmen der Eventisierung immer mehr erlebnisorientierte Einflüsse zunehmen, bis hin zu einer Festivalisierung von Kongressen, Messen etc. (vgl. Hagen 2019). In der Wirtschaftsgeographie können Tagungen als „temporäre Cluster" verstanden werden (vgl. Henn/Bathelt 2015). Solche Veranstaltungen der Wirtschaft oder Wissenschaft stellen dann eine Ansammlung von Akteuren aus Industrie, Dienstleistung, Verbänden, Politik oder Wissenschaft dar, bei denen Wissen vermittelt und ausgetauscht wird (vgl. Bathelt et al. 2014). Entscheidend sind dabei aber die persönlichen Kontakte, der bei solchen Treffen zustande kommen, z. B. in Form von sogenannten Face-to-Face-Kontakten (vgl. Bathelt et al. 2011; Storper/Venables 2004; vgl. dazu auch Argyle 2013). Durch die räumlich und zeitlich verdichtete Struktur und Organisation solcher Veranstaltungen werden solche Kontakte häufig erst möglich. Netzwerke werden in der netzwerkorientierten Forschung in erster Linie als Treiber der wirtschaftlichen Dynamik und Innovationsentwicklung verstanden. Die Vernetzung bzw. Netzwerkbildung zwischen den verschiedenen Akteuren weist insgesamt ein Potenzial für innovative und produktionsfördernde Entwicklungen auf (vgl. Grabher 2004; Granovetter 1973). Entscheidend für die Bildung von Netzwerken ist, dass soziale Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilnehmern und Akteuren stattfinden. Zu diesem Zweck werden in der Regel Kaffeepausen, Mittagessen, Abendessen und Get-together angeboten. Solche Beziehungen können hier eher zufällig und unstrukturiert zustande kommen. Für viele Teilnehmende sind gerade diese Kontakte dann von großer Bedeutung (vgl. Hagen 2022; Hagen/Luppold 2017; Zenk et al. 2014).

4 Digitalisierung und neue Event-Technologien als Megatrend

Die allgemeine digitale Transformation hat zu einem Innovationsschub in der Event- bzw. Meeting-Branche geführt, der verschiedene digitale Tools mit einschließt. Beflügelt durch die Pandemiekrise findet verstärkt eine Abkehr von physischen Meetings hin zu reinen Online-Meetings, auch als virtuelle Meetings bezeichnet, statt. Hybride Meetings hingegen zeichnen sich dadurch aus, dass zumindest teilweise noch ein physisches Treffen stattfindet. Bei hybriden Tagungsformen können beispielsweise Teile der Keynotes und Gäste in einem Veranstaltungsort im Sinne von „vor Ort" anwesend sein, während andere Referenten oder Gäste, z. B. bei Workshops, dann online hinzukommen und als nicht physische Teilnehmer betrachtet werden

(vgl. Hagen 2022). Grundlage für den Einsatz digitaler Tools und digitaler Anwendungen ist die technische bzw. digitale Entwicklung der letzten Jahre, aus der sich mögliche Anwendungen in der Veranstaltungsbranche ableiten lassen bzw. die bereits in der Branche eingesetzt werden. Dazu gehören unter anderem (vgl. GCB 2020a):

- künstliche Intelligenz (KI);
- Big Data/Data Analytics;
- Blockchain;
- Cloud Computing;
- robotergestützte Prozessautomatisierung;
- Internet der Dinge (IoT);
- 5G.

Diese innovativen Entwicklungen haben zu einer Vielzahl von Anwendungen in der Event-Branche geführt, aber tatsächlich handelt es sich um neue technologische Entwicklungen, die im Sinne einer digitalen Transformation alle Wirtschaftsbereiche erreicht haben und nicht nur spezifisch für Veranstaltungen eingesetzt werden. Der gezielte Einsatz bestimmter, einzelner digitaler Tools hat in den letzten Jahren zu einem Innovationsschub geführt, insbesondere bei der operativen Umsetzung. Allerdings wurden die physischen Meetings in ihrer Breite und Anzahl lange kaum in Frage gestellt und damit die digitalen Tools eher im Sinne einer Verbesserung oder Modernisierung des Kundenerlebnisses verstanden worden (vgl. Dams/Luppold 2016). Im Folgenden wird eine Auswahl möglicher digitaler Tools und Anwendungen vorgestellt, die derzeit in der Event-Branche eingesetzt werden (vgl. GCB 2020a, b):

- Virtual Reality (VR)/Augmented Reality (AR)/Mixed Reality (MR);
- Hologramme;
- IBeacon-Technologie (standortbezogen/standortspezifisch);
- Navigation/GPS;
- Eventplattformen;
- Avatar-Conferencing;
- digitale Zwillinge;
- Event-Apps.

Event-Apps sind einer der aktuellen Schwerpunkte in Bezug auf Anwendungen in der Veranstaltungsbranche. Schließlich bieten sie allgemeine Informationen zu und über Veranstaltungen und werden deshalb bereits vielfach eingesetzt. Programmhefte können so z. B. idealerweise als exklusive

digitale Version angeboten werden, anstatt physisch gedruckt zu werden. Darüber hinaus sind – forciert durch die massiven Einschränkungen der physischen Realisierung von Events im Rahmen der COVID-19-Krise – zahlreiche neue Applikationen für digitale Formate in der Entwicklung bzw. finden bereit eine Anwendung.

5 Digitale Eventformate als Treiber für neue Nachhaltigkeitsansprüche

Es ist zu erwarten, dass digitale Eventformate, noch einmal angetrieben durch die COVID-19-Krise in den letzten zwei Jahren, in ihrer Bedeutung zunehmen werden. Ein wichtiges Augenmerk liegt auf der Zeitersparnis und den geringeren Kosten durch den Wegfall von Reise- und Hotelkosten, die sich aus der virtuellen Teilnahme ergeben. Auch der ökologische Aspekt, der sich aus dem fast vollständigen Wegfall von Reisen und der damit verbundenen geringeren CO_2-Produktion ergibt, wird als relevant angesehen (vgl. Große Ophoff et al. 2020; Hagen 2021). Es wird deutlich, dass – z. B. in Form von Hybrid-Meetings – verstärkt Online-Teilnahmen in Betracht gezogen werden anstatt physischer Teilnahmen mit gegebenenfalls hohem CO_2-Ausstoß durch Reisen mit z. B. Flugzeugen. Im Rahmen der Veranstaltungsdurchführung stellt die Reisetätigkeit den höchsten Anteil an der CO_2-Produktion bzw. den größten Anteil an den Kohlenstoffemissionen dar (vgl. Holmes/Maier 2018). Dies gilt gerade auch für wirtschafts- und wissenschaftsorientierte Events (vgl. Hischier/Hilty 2002; Neugebauer et al. 2020). Die An- und Abreise von Teilnehmern für z. B. Kongresse verursacht eine große Menge an CO_2 sowie Gesamtemissionen innerhalb der globalen Eventbranche (vgl. Civardi o.J.; Neugebauer et al. 2020). Veröffentlichungen weisen darauf hin, dass der Anteil des CO_2-Äquivalents, der durch Reisen, insbesondere durch internationale oder interkontinentale Flugreisen – z. B. auch für (internationale) Wissenschaftstagungen, – verursacht wird, je nach Anteil der Flugpassagiere zwischen 80 % bis über 95 % betragen kann (vgl. Hischier /Hilty 2002).

6 KI-basiertes Matchmaking: Potenziale für wissenschaftsorientierte Events

Während Keynotes und Vorträge oder Informationen aller Art auch als Stream per Video übertragen werden können, ist – wie bereits beschrieben – der persönliche zwischenmenschliche Kontakt mit dem Ziel, ein Netzwerk aufzubauen, ein immer wichtigerer Grund für die physische Teilnahme an

Veranstaltungen gewesen. Die folgenden digitalen Tools bieten hierfür umfangreiche technische Unterstützung (vgl. GCB 2020a, b; Hagen 2021, 2022):

– Event-Apps zur Interaktion;
– Matchmaking-Tools auf der Basis von virtuellen Assistenzsystemen.

Während *Event-Apps* beispielsweise für Live-Abstimmungen genutzt werden oder zunehmend als digitale Werkzeuge in Workshops oder interaktiven Formaten eingesetzt werden, stellen *Matchmaking-Tools* eine komplexere Form der Interaktion dar. In der Veranstaltungsbranche ist der Begriff „Matchmaking" bereits länger bekannt. Hier geht es darum, einen Abgleich zwischen den inhaltlichen Interessen und Themen von Teilnehmern, gegebenenfalls auch mit Sponsoren, zu ermöglichen. Dabei werden z. B. virtuell auf einer Landing-Page große Mengen an Teilnehmerdaten gesammelt und unmittelbar vor einem Matching, d. h. einer Zusammenführung von Teilnehmern in sogenannten „One-to-One-Meetings", mit allen vorhandenen Teilnehmerprofilen KI-basiert abgeglichen und jederzeit in Echtzeit aktualisiert. Im Vorfeld der Veranstaltungen füllen dabei die Teilnehmer mehrseitige, fach- und themenorientierte Fragebogen bzw. Informationsblätter online aus und vereinbaren über das softwaregestützte Matching persönliche Termine mit Zeit- und Ortsangaben. Der Tagesplan bzw. die Agenda kann dabei jederzeit aktualisiert und in der Event-App angezeigt werden (vgl. Hagen 2017). Im Kontext der Meeting-Branche haben sich auf der Basis solch digitaler Systeme nicht nur neue Potenziale zur Steuerung von Interaktionen bei Meetings entwickelt, sondern auch zu einer effizienteren Nutzung geführt (vgl. Hagen 2022). Während in den ersten Jahren Matchmaking auf einfachen Programmen basiert hat, die zwar bereits zu etlichen tausend Matching-Optionen im Rahmen z. B. einer Veranstaltung mit gegebenenfalls einhundert Teilnehmern geführt haben, sind zuletzt KI-basierte, rein virtuelle, cloudbasierte Lösungen entstanden (vgl. dazu auch Bialek 2021). Diese bieten nun die Möglichkeiten, quantitativ bisher kaum geglaubte Datenvolumen zu analysieren, wodurch das KI-basierte Matching immer zielgenauer und effizienter und damit letztendlich qualitativer wird. Genauso wie in der Vorbereitungsphase, der sogenannten Pre-Event-Phase, und der Nachbereitungsphase, der Post-Event-Phase, werden Daten analysiert und können Matching-Vorschläge auch zeitlich noch weit nach einem Kongress oder einer Tagung bez. Kontaktoptionen angeboten werden. Diese lassen sich genauso desktoporientiert wie auch mobil für Smartphones oder Tablets mithilfe von Event-Apps jederzeit optisch realisieren. Gerade für regelmäßige, z. B. jährlich wiederkehrende wissenschaftliche Kongresse oder

Tagungen, werden damit Optionen für eine effiziente Nutzung immer weitgehender. Dabei sind bisher gerade solche intelligenten Matching-Angebote kaum für wissenschaftliche Tagungen, Kongresse o. ä. zur Anwendung gebracht worden. Neben der Wissensvermittlung haben wissenschaftsorientierte Events bzw. Zusammenkünfte jeder Art, ob digital oder in Präsenz, gerade aber auch das Ziel, über eine Vernetzung neue Projektpartnerschaften bzw. interdisziplinäre Vernetzungen zu forcieren. Wichtig ist zu verstehen, dass solch digitalen Vernetzungsoptionen als eine Zusatzoption zu sehen sind. Die bisherigen ungesteuerten, zufälligen Kontakte bzw. Vernetzungsoptionen werden dadurch nicht limitiert bzw. reduziert. Bei zunehmenden digitalen Teilnahmen an solchen Konferenzen bzw. Kongressen fallen diese aber fast komplett weg, so dass z. B. KI-basierte Matchmaking-Tools für Kontakt- und Netzwerkbildung noch weiter an Relevanz gewinnen könnten.

7 Conclusio

Die postmoderne Event- bzw. Veranstaltungsindustrie wird insbesondere durch die wirtschaftsbezogenen Formate – diese umfassen explizit auch Wissenschaftsveranstaltungen –, quantitativ, aber auch in ihrer globalen Bedeutung, dominiert. Die bisherigen Möglichkeiten von Kontaktoptionen, die letztendlich zur innovationsfördernden Netzwerkbildung beitragen, sind durch technologische Entwicklungen wie KI-basierte Matchmaking-Tools von hoher zunehmender Bedeutung und führen zu Effizienz- und Qualitätsvorteilen. Wissenschaftskongresse oder -tagungen, die neben der Wissensvermittlung auch die Aufgabe der Verbesserung von Netzwerkbildung bis hin zu interdisziplinären Projektkollaborationen in sich bergen, haben für Wissenschaftscommunitys noch kaum ausgeschöpfte Potenziale inne. Die verstärkte digitale Entwicklung, noch einmal forciert durch die COVID-19-Pandemie, aber auch durch eine zurückgehende Reisebereitschaft wegen einhergehender CO_2-Belastungen aufgrund der neuen Nachhaltigkeitsansprüche, lässt die Bedeutung solcher – gesteuerten virtuellen – Matching-Tools noch einmal zunehmen. Obwohl diese nur als Zusatzoption zu verstehen sind, deutet sich damit aber an, dass sich mit zunehmender technologischer Entwicklung auch ein bedeutender Wandel für solche Wissenschaftsveranstaltungen bzw. Events abzeichnet.

Literatur

Argyle, Michael (2013): Bodily Communication (2nd ed.). London/New York.

Bathelt, Harald; Turi, Philipp (2011): „Local, Global and Virtual Buzz. The Importance of Face-to-face Contact in Economic Interaction and Possibilities Go Beyond". Geoforum 42/5, 520–529.

Bathelt, Harald; Golfetto, Francesca; Rinallo, Diego (2014): Trade Shows in the Globalization Knowledge Economy. Oxford.

Bialek, Catrin (2021): „Digitaler Neuauftritt eines Event-Urgesteins. Das Familienunternehmen Vok Dams hat sich in der Krise radikal transformiert. Das Vorzeigeprojekt Grohe X vergleicht sich gar mit Netflix – und findet Interessenten". Handelsblatt, 19.04., 44–45.

Bowdin, Glenn; Allen, Johnny; O'Toole, William; Harris, Rob; McDonnell, Ian (2012): Events Management (3rd ed.). Oxon/New York.

Civardi, Chiara (o.J.): Making Industrial Exhibitions Green. A Literature Research on the LCA of Physical Virtual Exhibitions. – https://www.v-ex.com/wp-content/uploads/2020/06/Sustainability-Report_Whitepaper.pdf [10.12.2021].

Dams, Colja M.; Luppold, Stefan (2016): Hybride Events. Zukunft und Herausforderung für Live-Kommunikation. Wiesbaden.

EITW – Europäisches Institut für TagungsWirtschaft GmbH (2019): Meeting- & Event-Barometer Deutschland 2018/19. Pressekonferenz 15. Mai 2019. Wernigerode. – https://www.vdr-service.de/fileadmin/services-leistungen/fachmedien/fachliteratur_studien/GCB-EVVC-DZT-EITW_Meeting-Event-Barometer_2018-2019.pdf [10.01.2022].

GCB – German Convention Bureau e.V. (2020a): Innovation Catalogue 4.0. Future Meeting Space. Frankfurt am Main. – https://gcb.de/de/trends-inspiration/future-meeting-space.html [10.01.2022].

GCB – German Convention Bureau e.V. (2020b): Digitale Tools für die Veranstaltung der Zukunft. Frankfurt am Main. – https://www.gcb.de/de/germany-meetings-magazin/meetings-hands-on/2020/digitale-tools-fuer-die-veranstaltung-der-zukunft.html [10.01.2022].

Getz, Donald; Page, Stephan J. (2020): Event Studies: Theory, Research and Policy for Planned Events (4th ed.). Oxon/New York.

Grabher, Gernot (2004): „Learning in Projects, Remembering in Networks? Communality, Sociality, and Connectivity in Projects Ecologies". European Urban and Regional Studies 11/2, 103–123.

Granovetter, Mark S. (1973): „The Strength of Weak Ties". American Journal of Sociology 78/6, 1360–1380.

Große Ophoff, Markus; Griese, Kai-Michael; Werner, Kim (2020): „Event Organisations at the Interface between Sustainability and Digitalisation". Events – Future, Trends, Perspectives. An International Approach, ed. by Kim Werner; Ye Ding. München, 161–187.

Hagen, Dirk (2017): „Matchmaking. Innovative Ansätze zur Steuerung sozialer Interaktion, Netzwerkbildung und Geschäftsanbahnung in der Meetingbranche". Praxishandbuch Kongress-, Tagungs- und Konferenzmanagement. Konzeption & Gestaltung, Werbung & PR, Organisation & Finanzierung, hrsg. von Claus Bühnert; Stefan Luppold. Wiesbaden, 749–754.

Hagen, Dirk (2019): „Festivalisierung in der Meeting Industry: Von der Kontaktanbahnung zur Spaßgesellschaft und zurück. Ausgesuchte empirische Ergebnisse zum Digitalfestival re:publica, Berlin“. Eventforschung, hrsg. von Cornelia Zanger. Wiesbaden, 259–264.

Hagen, Dirk (2021): „Sustainable Event Management. New Perspectives for the Meeting Industry Through Innovation and Digitalisation?“. Innovations and Traditions for Sustainable Development, ed. by Walter Leal Filho; Eugene V. Krasnov; Dara V. Gaeva. Cham, 259–275 (World Sustainability Series).

Hagen, Dirk (2022): „Perspektiven von Netzwerkbildung in der Meeting Industry im Spannungsfeld zwischen Digitalisierung und Nachhaltigkeit sowie neuen Geschäftsmodellen“. Events und Wege aus der Krise, ed. by Cornelia Zanger. Wiesbaden, 191–206.

Hagen, Dirk; Luppold, Stefan (2017): „Matchmaking: Steuerungsinstrument für Interaktion und Netzwerkbildung – Ansatz zur Incentivierung und Emotionalisierung“. Events und Wege aus der Krise, ed. by Cornelia Zanger. Wiesbaden, 251–262.

Hall, Colin Michael (2012): „Sustainable Mega-Events. Beyond the Myth of Balanced Approaches to Mega-Event Sustainability“. Event Management 16/2, 119–131.

Henn, Sebastian; Bathelt, Harald (2015): „Knowledge Generation and Field Reproduction in Temporary Clusters and the Role of Business Conferences“. Geoforum 58 (January), 104–113.

Hiller, Harry H. (2000): „Toward an Urban Sociology of Mega-events“. Constructions of Urban Space, ed. by Ray Hutchison. Bingley, 181–205 (Research in Urban Sociology, Vol. 5).

Hischier, Roland; Hilty, Lorenz M. (2002): „Environmental Impacts of an International Conference“. Environmental Impact Assessment Review 22/5, 543–557.

Hitzler, Ronald (2011): Eventisierung: Drei Fallstudien zum marketingstrategischen Massenspaß. Wiesbaden.

Holmes, Kirsten; Mair, Judith (2018): „Events, Festivals and Sustainability: The Woodford Folk Festival, Australia“. The Palgrave Handbook of Sustainability, ed. by Robert Brinkmann; Sandra J. Garren. Cham, 583–597.

ICCA – International Congress and Convention Association (2020): The International Association Meetings Market 2019. ICCA Statistics Report – Public Abstract. – https://www.iccaworld.org/knowledge/article.cfm?artid=701 [10.01.2022].

Jones, Meegan (2017): Sustainable Event Management. A Practical Guide. Oxon/New York.

Müller, Martin (2015): „What Makes an Event a Mega-event? Definitions and Sizes“. Leisure Studies 34/6, 627–642.

Neugebauer, Sabrian; Bolz, Maren; Mankaa, Rose; Traverso, Marzia (2020): „How Sustainable are Sustainable Conferences? – Comprehensive Life Cycle Assessment of an International Conference Series in Europe“. Journal of Cleaner Production 242 (January), Art. No. 118516.

RIFEL – Research Institute for Exhibition and Live-Communication e.V. (2020): Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Veranstaltungsbranche. Berlin.

Rogers, Tony (2013): Conferences and Conventions. A Global Industry (3rd ed.). London/New York.

Storper, Michael; Venables, Anthony J. (2004): „Buzz: Face-to-face Contact and the Urban Economy“. Journal of Economic Geography 4/4, 351–370.

Zenk, Lukas; Smuc, Michael; Windhager, Florian (2014): „Beyond the Name Tag. Connecting People and Knowledge at Conferences“. Wissen nimmt Gestalt an. Beiträge zu den Kremser Wissensmanagement-Tagen 2013, ed. by Benedikt Lutz. Krems (Donau-Universität), 215–225.

4

Relevanz für Erkenntnis und Gesellschaft

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 237–251*

Stefan Ullrich

Verantwortung und das Internet der Dinge

Abstract

Technological developments such as the Internet of Things make new demands on the concept of responsibility. The critical technician must fundamentally rethink ethics in light of the great transformations of our age: nuclear power, genetic engineering, and the algorithmic revolution with the help of computer systems. The informational power mainly benefits states and data companies, and the data subjects are only perceived as a provider of data points. In the search for an ethics for a computed civilisation, we start from Hans Jonas' Imperative of Responsibility and examine the role of ubiquitous data in a networked society.

Keywords/Schlüsselwörter

Data, Ethics, Peace informatics, Responsibility, Turing galaxy

Daten, Ethik, Friedensinformatik, Turing-Galaxis, Verantwortung

1 Einleitung

Wenn die technischen Fähigkeiten des Menschen zu Sophokles' Zeiten bereits als ungeheuer bezeichnet wurden, welche Adjektive bleiben uns dann zur Beschreibung moderner Techniken wie der Atomkraft, der Gentechnik und nun der Künstlichen Intelligenz? Erstmals in der Geschichte der Menschheit besitzen wir die Macht, die Bedingungen zur Möglichkeit echten menschlichen Lebens überhaupt zu entziehen. In den Zeiten des menschengemachten Klimawandels stehen plötzlich saubere Luft, trinkbares Wasser und das Vorhandensein von ausreichenden Nahrungsmitteln auf dem Spiel.

„Für Kant ist es eine selbstverständliche Voraussetzung, daß es auch in Zukunft Menschen geben wird", bemängelt Hans Jonas (Böhler 1994: 40). Doch genau diese selbstverständliche Voraussetzung ist spätestens seit der Erfindung der Atombombe nicht mehr gegeben. Es soll hier jedoch nicht um die Verantwortung der Kernphysik gehen, weil wir längst nicht mehr in einem

Atomzeitalter leben. Einerseits, weil der Begriff nicht mehr en vogue ist, und andererseits, weil momentan eine weitere technische Erfindung wie keine zweite das Bild der Erde prägt: Der Computer und in seinem Schlepptau die globale Datenverarbeitung ist in Form eines Smartphones mit Schnittstelle zur Cloud in alle Lebensbereiche vorgedrungen. Die nicht mehr ganz so junge Disziplin Informatik muss längst nicht mehr Material und Methoden von anderen Disziplinen borgen, sie gibt sie spezialisiert zurück, beispielsweise der Bioinformatik, Medieninformatik oder Umweltinformatik. Durch diese interdisziplinäre Verflechtung hat sich der Erkenntnis- und Auswirkungshorizont technischen Handelns erweitert, und die neugewonnene Macht verpflichtet Informatikfachleute zur Verantwortung gegenüber ihrer Umwelt.

Das Internet der Dinge stellt neue Anforderungen an die Verantwortung von technisch handelnden Personen. Es geht bei der Entwicklung im Bereich „Internet der Dinge" hauptsächlich um Daten und ihre Verwertung in wissenschaftlicher oder wirtschaftlicher Hinsicht. Das „Internet of Things" ist ein zentraler Baustein der sogenannten „Smart City", eine Vision der durch Daten durchoptimierten Stadt. In den Bereichen Energie, Mobilität, Gesundheit und Sicherheit sollen Sensordaten Städten und Kommunen dabei helfen, Energie effizienter zu nutzen, den Verkehr zu steuern, alte und kranke Mitbürgerinnen – mit dem generischen Femininum sind in diesem Text alle Menschen unabhängig vom Geschlecht gemeint – zu überwachen und die Öffentlichkeit vor Gefahren zu schützen.

Doch was bedeutet „Verantwortung und das Internet der Dinge" in einem umfassenden Sinn? Ursprünglich stammt der Begriff „Verantwortung" aus dem juridischen Bereich und bedeutete, Rede und Antwort vor einer Richterin stehen. Man musste auf die richterliche Frage, was man denn getan habe, antworten. Dem modernen Menschen, der in einer arbeitsteiligen Gesellschaft lebt, ist oft aber gar nicht so klar, was er denn eigentlich gerade getan hat, geschweige denn, welche Auswirkungen sein Tun besitzt. Ein Beispiel: Jede noch so simple Suchanfrage im Internet setzt zahlreiche Berechnungen auf Hochleistungscomputern in Gang, verbraucht ungefähr eintausend Joule und erfasst nicht nur die Suchanfrage selbst, sondern auch alle Meta-Daten: Wo sitzt die fragende Person? Wieviel Uhr ist es? Welchen Computer nutzt sie? Gibt es bereits ein Profil dieser Person? Auf welche Werbung würde diese Person am wahrscheinlichsten klicken? Weitere Fragen richten sich dann an die Verantwortlichen für die Gestaltung von komplexen Systemen: Ist das System so gestaltet, dass es die Lebensgrundlage künftiger Generationen nicht gefährdet? Ist eine informationelle Hoheit über das System vorhanden? Besteht die Möglichkeit, dass mit dem Einsatz dieses Systems Menschenrechte gefährdet werden?

Der technisch handelnde Mensch besitzt kein gesichertes Wissen um die Zukunft, kann also auch nicht vorhersagen, welche Folgen sein technisches Handeln bewirkt. Aber dass es Folgen hat, weiß der *homo faber*, und deshalb ist er für die Folgen verantwortlich.

> „Verantwortung [ist das] Aufsichnehmen der Folgen des eigenen Tuns, zu dem der Mensch als sittliche Person sich innerlich genötigt fühlt, da er sie sich selbst, seinem eigenen freien Willensentschluß zurechnen muß“,

wählt Günter Ropohl als Definition (Ropohl 1996a: 70). Die Freiheit bei der Entscheidung für die eine und gegen die andere Handlung führt also zur Verantwortung (im juridischen Sinn) nach vollbrachter Tat. Im moralischen Sinn ist der technisch gestaltende Mensch aber bereits für all die Entscheidungen verantwortlich, die nun fest eingebrannt in der Technik sind und die der Handlung vorausgehen. Dies soll am Beispiel der Datenverarbeitung nachgezeichnet werden.

Informatikerinnen wird am Anfang ihres Studiums handwerklich beigebracht, wie die riesigen Datenmengen unserer digitalisierten Umwelt zu bewältigen sind, damit diese „Big Data“ für Werbefirmen, Militär, Geheimdienste und Online-Kaufhäuser technisch beherrschbar werden. Im Curriculum ist jedoch erst in den späteren Semestern Thema, welche Folgen eine so durchleuchtete Person erwarten kann.

Die informationelle Macht kommt vor allem Datenfirmen und Staaten zugute, hier besonders dem Militär und den Sicherheitsbehörden. Da die Technik anfangs noch nicht so weit verbreitet und sehr teuer war, befand sich die Datenverarbeitung zunächst noch eher bei der Forschung als in der Anwendung, und damit näher an Militär im Speziellen und Staat im Allgemeinen. Welche Macht Regierungen erlangen, wenn sie genug Daten über ihre Bürgerinnen haben, demonstrierten die beiden großen antidemokratischen Regimes in den Deutschlands des 20. Jh.s. Die automatisierte Datenverarbeitung der 1970er Jahre führte in Fachkreisen zu Diskussionen über ein Feld, das den unpassenden Namen „Datenschutz“ trägt, weil „Personenschutz“ schon vergeben war. Es geht beim Datenschutz unter anderem um den Schutz der informationellen Selbstbestimmung der von der automatisierten Datenverarbeitung betroffenen Menschen.

Die geplante Volkszählung in der Bundesrepublik Deutschland von 1983 löste eine Sorge über Missbrauch der Daten durch die automatisierte Verarbeitung aus, die noch im selben Jahr zu einer Klage vor dem Bundesverfassungsgericht führte. Seit diesem „Volkszählungsurteil“ von 1983 hat jede Bundesbürgerin das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung, sie kann sich von der datensammelnden Stelle jederzeit Informationen darüber

einholen, welche personenbezogenen Daten von wem für wie lange gespeichert und verarbeitet werden.

Obwohl das Urteil nun bereits vor über vierzig Jahren ergangen ist, gelten die Erwägungsgründe nach wie vor. Die Möglichkeiten der modernen Datenverarbeitung sind auch weithin in vollem Umfang nur für Fachleute durchschaubar und können bei der Staatsbürgerin nach wie vor „die Furcht vor einer unkontrollierbaren Persönlichkeitserfassung selbst dann auslösen, wenn der Gesetzgeber lediglich solche Angaben verlangt, die erforderlich und zumutbar sind", wie das Bundesverfassungsgericht schreibt (BVerfG 1983, Absatz 2).

Die wiederholt vorgetragene These, dass die aktuelle Generation der „Digital Natives" sich um Datenschutz wenig schert, kann angesichts der massenhaften Proteste nach den Enthüllungen des Whistleblowers Edward Snowden nicht gehalten werden. Es ist inzwischen jedoch insofern schwerer geworden, die informationelle Hoheit über die datenverarbeitenden Computer zurückzuerlangen, weil diese immer unsichtbarer und unzugänglicher werden. So sprechen wir nach wie vor von „Mobiltelefonen", obwohl die Telefonfunktion inzwischen lediglich eine „App" unter vielen auf dem Universalcomputer in der Hosentasche ist. Der Computer ist also unsichtbar geworden und darüber hinaus unzugänglich, weil sich die Geräte mit Klebstoff und proprietärer Software fest verschlossen jedem Zugriff entziehen. Unbemerkt von der Nutzerin liefern die verbauten Sensoren in diesen Geräten rund um die Uhr Daten, die als unkritisch gesehen werden, da sich nicht personenbezogen sind. Der Personenbezug ist regelrecht zum Fetisch geworden und für den modernen Datenschutz nicht mehr so recht geeignet, da stimme ich Jörg Pohle zu (vgl. Pohle 2016: 17). Doch nicht nur theoretisch-rechtlich, auch ganz praktisch-technisch sind wir gar nicht in der Lage, unsere Privatheit zu wahren, wenn sehr viele Sensordaten erfasst werden. Mit der Nutzung dieser umfassend vernetzten, ständig angeschalteten Geräte haben wir schlicht die Kontrolle über die informationelle Privatheit abgegeben, wie wir an anderer Stelle untersucht haben (vgl. Kröger et al. 2021).

Der Kontrollverlust soll unter anderem durch die Zweckbindung in Grenzen gehalten werden, einem zentralen Prinzip im Datenschutz. Daten dürfen nur zu einem bestimmten Zweck erhoben werden, der rechtlich verantwortbar festgehalten werden muss. In den Daten selbst liegt das Potenzial weiterer Auswertungen, daher ist dieses Prinzip so wichtig, da sonst dem Datenmissbrauch Tür und Tor geöffnet wäre. Die Anwesenheitsliste von Gästen in einem Restaurant ist für die Kontaktverfolgung in Pandemiezeiten sehr wichtig und deren Erstellung aus gesundheitlichen Aspekten geboten.

Diese Listen können jedoch auch genutzt werden, beispielsweise Zeuginnen oder gar verdächtige Personen eines polizeilich zu untersuchendem Vorfall in eben jenem Restaurant zu identifizieren. Dieselbe Liste dient also völlig unterschiedlichen Zwecken.

2 Die Aussagekraft von Daten

In meiner Forschungsgruppe der TU Berlin am Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft haben wir Inferenzen von Umweltsensoren untersucht, die datenschutzrechtlich relevant sind, obwohl die einzelnen Daten recht harmlos erscheinen. Die Werte der CO_2-Messung in Innenräumen von Schulen korrelieren mit der Anzahl der anwesenden Schülerinnen in der Klasse. Lagesensoren in Smartphones sind so genau und schnell, dass sie Hinweise auf die eingetippten Passwörter geben können. Kurzum: In der Summe verraten auch „harmlose“ Daten durchaus private Sachverhalte wie Gesundheitszustand, Aufenthaltsort oder Intoxikation.

Doch wem verraten diese Daten das oben Genannte? Dateninterpretation und Datenvisualisierung sind Wissenschaften für sich, ohne technische Kenntnis und Hilfsmittel kann selbst der hochgebildete Mensch nicht wissen, dass sich hinter der in der Zeichenfolge »89 50 4e 47 0d 0a 1a 0a 00 00 00 0d 49 48 44 52« die ersten Bits des Logos der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin in hexadezimaler Notation verstecken (siehe Abb. 1).

Entsprechend aufbereitete digitale Daten besitzen den Vorteil, dass sie automatisiert verarbeitet, übertragen und gespeichert werden können. Ein kurzer Blick auf die Geschichte der Digitalisierung hilft, Technik und Beweggründe ihrer Entwicklung zu verstehen.

Abb. 1: Logo der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften

links: Binärdarstellung des linken Auges von Leibniz aus dem Logo der Leibniz-Sozietät;
rechts: Logo der Leibniz-Sozietät

Eigene Darstellung

Der erste tatsächlich eingesetzte Analog-Digital-Wandler (A/D-Wandler) nahm den kontinuierlichen Wert einer analogen Messuhr und übersetzte diese in diskrete Zahlen, genauso wie aus der geschwungenen Linie aus dem Portrait von Gottfried Leibniz eine diskrete Zahlenreihe wird. Den Vorgang der Digitalisierung habe ich an anderer Stelle genauer beschrieben (vgl. Ullrich 2021: 23), wichtig ist, dass am Ende dieses Vorgangs eine Zahl herauskommt oder ein anderes kodifizierbares Symbol. Eine solche Zahl kann leicht per Sprache oder auch per Funk übertragen werden. Für die Friedensinformatikerin ist es bezeichnend, dass dieser A/D-Wandler für eine Gleitbombe entwickelt wurde, damit die Henschel Hs293 Flugkorrekturen vornehmen kann, um möglichst viele Menschen zu treffen.

Mit Joseph Weizenbaum im Hinterkopf (vgl. Weizenbaum 1986) müssen wir an dieser Stelle allerdings einhaken, denn es sind ja nicht die Bomben, die Flugkorrekturen vornehmen oder Menschen als Ziel festlegen, es sind Menschen. Selbst im Falle von unbemannten Luftfahrzeugen (wie militärischen Drohnen) sind es Menschen, die die Software geschrieben, den Einsatzzweck definiert und schließlich die Signatur des Ziels definiert haben. Eine Signatur ist eine Ansammlung von messbaren Eigenschaften, also Farbe der Uniform, das Vorhandensein eines Bartes und natürlich die Signale aus dem Mobiltelefon in der Hosentasche. Alles zusammengenommen ergibt eine Signatur, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Person identifiziert. Es wird nun ein Schwellwert für die Wahrscheinlichkeit definiert, sagen wir 99,999 % – und alle Werte darüber bedeuten dann das Todesurteil für maschinell identifizierte Terroristen per Hellfire-Rakete aus einer Reaper-Drohne. Wenn die Friedensinformatikerin einmal die moralische Argumentation beiseite lässt, reicht schon einfache Mathematik aus, um diese mörderische Fehlentwicklung zu kritisieren. Momentan stehen 21 gesuchte Personen auf der Fahndungsliste des Bundeskriminalamtes. Wenn nun beispielsweise an dem Berliner Bahnhof Südkreuz täglich die Signaturen von 100.000 Reisenden mit den Signaturen der Gesuchten abgeglichen werden, so bedeutet dies selbst bei einem System mit 99,999 % Genauigkeit 0,001 x 100.000 = 100 Fehlalarme pro Tag auf diesem einen Bahnhof. Egal, wie genau Computersysteme auch sein mögen – und die Zahlen sind allesamt geschönt, da unabhängige Forschung aufgrund von Militär- und Geschäftsgeheimnissen massiv erschwert wird –, sie werden Unbeteiligte in ihren Grundrechten verletzen oder im Falle bewaffneter Computersysteme sogar töten.

Es ist kein Zufall, dass wir bei den Pionierleistungen der Technik immer wieder dem Militär begegnen, denn dort sammeln sich schon seit geraumer

Zeit die größten Fördertöpfe für Wissenschaft und Forschung. Von der Atombombe bis zu XAI, der erklärbaren Künstlichen Intelligenz, war es das Militär, das die Forschung maßgeblich vorantrieb. Die Atombombe – bzw. genauer gesagt: der Abwurf der Atombombe – war es denn auch, was die Ingenieure dazu brachte, sich mit Ethik und Verantwortung zu beschäftigen. Denn auch bei rechtlich nicht zu beanstandendem Einsatz scheint eine solche Technik doch eine moralische Dimension aufzuweisen, die es davor so noch nie gegeben hatte.

3 Die Folgen technischer Handlungen

Die Entdeckung der Verletzlichkeit des gesamten Planeten und all seinen Bewohnerinnen durch menschliches Handeln zeigt,

> „daß ein Gegenstand von gänzlich neuer Ordnung, nicht weniger als die gesamte Biosphäre des Planeten, dem hinzugefügt worden ist, wofür wir verantwortlich sein müssen, weil wir Macht darüber haben.“ (Jonas 1984: 27)

Unser Handeln kann in der heutigen Zeit tatsächlich zur Folge haben, dass die Menschheit oder der Planet in Zukunft nicht mehr existiert. Der drohende Atomkrieg der gegenwärtigen Zeit oder der menschengemachte Klimawandel sind zwei bedrückende Beispiele, wie wir momentan Planet und nachfolgende Generationen aufs Spiel setzen. Das Vernunftwesen Mensch dürfte eine solche Entwicklung eigentlich nicht wollen können, wenn wir Immanuel Kants Gedanken folgen:

> „Denke ich mir aber einen categorischen Imperativ, so weiß ich sofort was er enthalte. […] Der categorische Imperativ ist also nur ein einziger und zwar dieser: handle nur nach derjenigen Maxime, durch die du zugleich wollen kannst, daß sie ein allgemeines Gesetz werde.“ (Kant 1785: 51–52)

Jonas greift Kants Imperativ auf und erweitert ihn um eine faktische Dimension:

> „Ein Imperativ, der auf den neuen Typ menschlichen Handelns paßt und an den neuen Typ von Handlungssubjekt gerichtet ist, würde etwa so lauten: »Handle so, daß die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden«.“ (Jonas 1984: 36)

Und da wir die Wirkung einer Handlung erst dann wahrnehmen können, wenn sie eingetreten ist (und sie somit nicht zurückgenommen werden kann), sollten wir bereits im Vorfeld abwägen, welche Wirkungen eintreten können. In der Informatik spielen solche Abschätzungen im Bereich der kri-

tikalen Softwaresysteme eine Rolle, beispielsweise die Datenschutzfolgeabschätzung bei der automatisierten Datenverarbeitung oder die Risikoanalyse bei informationstechnischen Systemen der sogenannten Künstlichen Intelligenz.

Das Wort Risiko deutet bereits darauf hin, dass wir es mit einer Wette auf die mögliche Zukunft zu tun haben, wir berechnen Wahrscheinlichkeiten des Eintretens bestimmter Ereignisse durch den Einsatz von Informatiksystemen. Doch nicht alle Folgen können gleichermaßen gegeneinander abgewogen werden. Seit biblischen Zeiten (man denke an Hiob) war der größte Einsatz einer Wette stets das Leben einer Einzelnen. Nie wurde das Leben als solches, die Möglichkeit zukünftigen Lebens überhaupt in die Waagschale geworfen. Ein logisches Problem besteht in der Bestimmung der Höhe eines solchen Einsatzes; da er sich aufgrund der Unvorhersagbarkeit zukünftiger Ereignisse nicht bestimmen lassen kann, muss er als Wert zwischen Null und Unendlich angenommen werden und ist somit als Einsatz sinnlos. Diese Tatsache der Unbestimmbarkeit ist ein Problem für die praktische Anwendung. Vorrangig soll es aber um die Frage gehen, *ob* überhaupt eine solche Abwägung vorgenommen werden *darf*. Ob man das Leben als solches überhaupt setzen darf.

Gegenwärtig kann man am Beispiel aktueller technischer Entwicklungen („Blockchain", „Künstliche Intelligenz", „Quantencomputer" etc.) sehen, dass immer wieder von Chancen und Risiken gesprochen wird, dass es zugegebenermaßen auch negative Auswirkungen gibt, die wahrscheinlich eintretenden Vorteile jedoch die unwahrscheinlichen Nachteile mehr als ausgleichen. Für Jonas jedoch spielen sich die Heilsprophezeiungen auf einer niedrigeren Ebene ab als die Unheilsprophezeiungen. Aus diesem Grund schreibt er, „daß der *Unheilsprophezeiung mehr Gehör zu geben ist als der Heilsprophezeiung*" (Jonas 1984: 70).

Anders ausgedrückt schreibt uns die von Jonas „Heuristik der Furcht" genannte Abwägung vor, dass allein die Möglichkeit einer negativ bewerteten Folge ausreicht, mit der gegenwärtigen Entwicklung innezuhalten und gerade die unerwünschten Folgen die Entscheidung für oder gegen den Einsatz der Technik leiten sollten. Diese Folgen werden Nebenfolgen genannt, obwohl sie zwangläufig gleichberechtigt mit den beabsichtigten Zwecken auftreten. In Baumärkten werden beispielsweise Bohrmaschinen nach Leistung klassifiziert, denkbar wäre durchaus auch eine nach Geräuschentwicklung, Abfallvolumen oder Entsorgungskosten. Diese sekundären Folgen (in diesem Falle die auftretende Umweltverschmutzung) könnten von einzelnen

Herstellerinnen eines technischen Artefakts durchaus abgewogen werden. Ropohl schreibt über die Erfinder des Automotors:

> „Die sachtechnischen Funktionsfolgen des einzelnen Verbrennungsmotors [...] konnten grundsätzlich schon den Herren Otto und Diesel bekannt sein – sofern sie es ob ihres Funktionserfolges nicht einfach vorgezogen haben, diese unerquicklichen Begleiterscheinungen einfach zu verdrängen. Hingegen konnten sie nicht wissen, daß hundert Jahre später mehr als eine halbe Milliarde dieser Aggregate rund um die Erde Kraftfahrzeuge antreiben würden.“ (Ropohl 1996b: 219)

Die schon damals messbare Abgasentwicklung muss lediglich mit der Anzahl der Motoren multipliziert werden, um die Umweltbelastung zu berechnen. Der Multiplikand war den Erfindern vielleicht unbekannt, aber dass es einen solchen Faktor gibt, müsste allen Erfindern bewusst sein; dies lehrt ihnen allein schon die Erfahrung. Ein technisch handelnder vernünftiger Mensch ist für die Folgen seines Handelns verantwortlich, da er als sittsamer Mensch stets eine Abwägung vornimmt, bevor er sich zum Handeln entschließt. Es muss also eine Bewertung der verschiedenen Folgen vorgenommen werden. Dafür notwendig sind, das Wort verrät es bereits, Werte. Doch an welchen Werten kann sich eine Ingenieurin im Allgemeinen und eine Informatikerin im Speziellen orientieren, um verantwortungsvoll handeln zu können?

4 Werte

Der „Ethische Kompass“ der Gesellschaft für Informatik fordert Informatik-Fachleute auf, „ihr Handeln an den Werten auszurichten, die dem Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland und der Charta der Grundrechte der Europäischen Union zu Grunde liegen“ (GI 2021, Präambel).

Im „Kompass“ werden weitere Werte für die Vermittlung in der Didaktik und für die Ausübung des Berufs festgehalten: Gerechtigkeit, Ehrlichkeit und Zivilcourage. Davon ausgehend werden auch Sorgfalt und Geschicklichkeit in der Ausübung der Tätigkeit gefordert. Diese beiden Begriffe betreffen nicht die Folgen, sondern die Handlung selbst, genauer betreffen sie das Finden einer bestimmten Lösung für einen bestimmten Zweck. Das Erkennen dieses Zwecks oder Ziels im technischen Handeln erfolgt wertfrei, die Tatsache, dass man mit einem Hammer einen Nagel in die Wand schlagen kann, impliziert noch nicht, dass man ihn einschlagen muss; man könnte sich eine Welt auch ohne Hammer und Nagel vorstellen. Eine technische Handlung kann zum Beispiel auch bedeuten, möglichst effizient viel Regenwald abzuholzen. Erst wenn eine normative Prämisse vorangeht („der Regenwald soll geschützt werden“), können wir diese Handlung werten. Doch

selbst wenn die Prämisse ganz allgemein gehalten wird, etwa „tu mit dem Regenwald, was du willst“, so besagt sie doch, dass es einen Regenwald geben muss, mit dem man machen kann, was man will. Die Existenz einer Umwelt ist also Voraussetzung für alle Handlungsanweisungen, wie man mit ihr verfahren soll. Und eben diese Umwelt kann auf dem Spiel stehen, setzt man entsprechend gesetzte Zwecke um. War zu Kants Zeiten der Einfluss des Menschen auf die Umwelt nicht messbar (wenn auch sicherlich schon vorhanden), so besitzen wir heute ungeheure Möglichkeiten zu deren Beeinträchtigung. Diese Beeinträchtigung, oder besser, die Möglichkeit zu dieser Beeinträchtigung, müssen (logisch, nicht moralisch) in den Werturteilen technischen Handelns eine Rolle spielen. Denn wenn gefordert wird, dass es auch in Zukunft Technik geben soll, so müssen wir auch den Fortbestand der Menschheit fordern. Die Technik ist somit nicht wertfrei, sie bewertet die Existenz einer Kultur als das höchste Gut, da sie eben diese Kultur benötigt, die sie hervorbringt.

Seit mehreren Jahrzehnten suchen wir schon nach einer Ethik für technisches Handeln, und das Prinzip Verantwortung von Jonas scheint vor allem aus einem Grund ein vielversprechender Ansatz zu sein: Es handelt sich um eine dialogische Ethik, jemand muss sich vor einer Instanz für etwas verantworten, also Rede und Antwort stehen. Der redliche Austausch ist dabei das entscheidende Moment, weniger die logische Argumentation selbst. Auch die noch bei Kant so beliebte Pflicht kann man nur indirekt auf die Zukunft anwenden, zukünftigen Generationen gegenüber kann man nicht verpflichtet sein, wohl aber kann die technisch Handelnde für sie verantwortlich sein. Diese zeitliche Dimension taucht vor allem in der Moralphilosophie des 20. Jh.s auf und stellt uns vor neue Probleme. Welcher Instanz gegenüber haben wir uns zu verantworten, wenn die Schutzbefohlenen noch gar nicht geboren sind und diese gegenüber jener erst dann ihre Rechte geltend machen können, wenn wir nicht mehr auf der Welt sind? Ein Kandidat wäre das Bundesverfassungsgericht, das 2021 der Politik unmissverständlich klargemacht hat, dass sie auch einen Schutzauftrag gegenüber künftigen Generationen besitzen. Gleich der erste Leitsatz stellt nicht nur die Umweltbelastungen in den Vordergrund, sondern auch künftige Generationen:

> „Der Schutz des Lebens und der körperlichen Unversehrtheit nach Art. 2 Abs. 2 Satz 1 GG schließt den Schutz vor Beeinträchtigungen grundrechtlicher Schutzgüter durch Umweltbelastungen ein, gleich von wem und durch welche Umstände sie drohen. Die aus Art. 2 Abs. 2 Satz 1 GG folgende Schutzpflicht des Staates umfasst auch die Verpflichtung, Leben und Gesundheit vor den Gefahren des Klimawandels zu schützen. Sie kann eine objektivrechtliche Schutzver-

> pflichtung auch in Bezug auf künftige Generationen begründen." (BVerfG 2021, Erster Leitsatz)

Der Planet brennt, es muss jetzt gehandelt werden! Diesen mutigen Worten von Greta Thunberg muss die technisch handelnde Person Taten folgen lassen, doch wie schnell kann eine komplett neue Ethik für die technisierte Zivilisation entwickelt werden, damit ein Orientierungsrahmen besteht, um das eigene Handeln zu bewerten? Die Verantwortungsethik nach Jonas ist eine Notstandsethik, ähnlich der institutionalisierten Diktatur im römischen Reich, die für sechs Monate die Regierungsmacht innehatte. Diese Ethik solle so lange greifen, bis eine bessere gefunden wird. Jonas schrieb sein Buch 1974, die sechs Monate sind also schon lange vorbei; der Notstand besteht aber nach wie vor. Aus dem Prinzip Verantwortung wurde eine Leitlinie Verantwortung.

5 Vom Prinzip zur Leitlinie

Ganz praktisch sind es heute Leitlinien und Kodes, die Technikerinnen zur Reflektion auffordern. Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat 1950 in Düsseldorf auf einer Tagung über die Verantwortung der Ingenieurin eine Resolution mit dem Titel „Bekenntnis des Ingenieurs" verabschiedet. Sie beginnt mit den Worten:

> „Der Ingenieur übe seinen Beruf aus in Ehrfurcht vor den Werten jenseits von Wissen und Erkennen und in Demut vor der Allmacht, die über seinem Erdendasein waltet." (VDI 1987)

Diese Resolution entstand vor dem Hintergrund der Schrecken des zweiten Weltkrieges und dem Abwurf der Atombombe. Die Ingenieurin soll sich also an Werten orientieren, die außerhalb ihres Wissens und jenseits ihres Erkenntnishorizontes existieren. Auf dieser abstrakten Ebene sind alle Vernunftwesen wohl einverstanden, doch was heißt das ganz konkret? Der Wunsch von Technikerinnen nach klaren Handlungsanweisungen führte zu immer spezifischeren Leitlinien, die zwar nach wie vor keine Lösungen für ethische Probleme präsentieren, aber dabei helfen, das Problem besser zu schreiben.

Die Association for Computing Machinery (ACM) hat 1972 den „Code of Professional Conduct" herausgebracht, in dem Prinzipien und ethische Überlegungen, aber auch Konsequenzen bei Verstoß gegen diesen Codex aufgeführt sind. Verstöße gegen einen Codex werden auch bei der British Computer Society (BCS) mit Ausschluss des Mitglieds geahndet, sollte es

den „Code of Good Practice“ von 1972 verletzen. Dort bedeutet dies sehr viel mehr als in Deutschland oder den Vereinigten Staaten von Amerika. In England ist das Zertifikat, professionelles Mitglied der BCS zu sein, sehr hoch angesehen und potenzielle Arbeitgeber achten gerne darauf.

1994 hat in Deutschland die Gesellschaft für Informatik (GI) ihre „Ethische Leitlinien“ veröffentlicht, die zuletzt 2018 aktualisiert wurden. In den zwölf Artikeln wird vom Mitglied unter anderem gefordert,

> „mit Mut für den Schutz und die Wahrung der Menschenwürde ein[zutreten], selbst wenn Gesetze, Verträge oder andere Normen dies nicht explizit fordern oder dem gar entgegenstehen.“

Darüber hinaus soll das Mitglied „mit Entwurf, Herstellung, Betrieb und Verwendung von IT-Systemen zur Verbesserung der lokalen und globalen Lebensbedingungen beitragen“ (GI 2018: 7).

Nicht nur in den technischen Wissenschaften werden ethische Abwägungen im besten Fall als lästige Zeitverschwendung bei der Drittmittelbeantragung, im schlechtesten Fall als Verhinderung der Forschung betrachtet. Klaus Fuchs-Kittowski weist zu Recht darauf hin,

> „dass eine Begrenzung forschenden Handelns dort erforderlich ist, wo es das Menschsein zerstört, das humanistische Ziel der Wissenschaft dem Leben, dem Wohle der Menschen zu dienen zuwiderläuft, oder wo es die Menschenrechte nicht mehr gewährleistet.“ (Fuchs-Kittowski 2014: 84)

Wenn wir Jonas‘ Prinzip sinnvoll anwenden wollten, gehe es aber nicht um einen Halt der Forschung, es gehe darum, dass weder „Scheinoptimismus noch Kulturpessimismus“ helfen (Fuchs-Kittowski 2014: 84), wir also die Mühe einer Technikfolgenabschätzung nicht scheuen dürfen. Denn sicherlich wäre es sehr einschränkend für die Arbeit von Wissenschaftlerinnen im allgemeinen und Ingenieurinnen im speziellen, wenn wir allein oder vorrangig vom „worst case scenario“ ausgehen. Jonas sollte vielmehr als Gegenentwurf zum gängigen „et hätt noch emmer joot jejange“ gelesen werden.

6 Daten als Allmende für eine lebenswerte digitale Zukunft

Den Aufwand einer Technikfolgenabschätzung nimmt nur die Organisation vor, die sich eine Rentabilität einer solchen Investition verspricht. In den Anfängen der Computertechnik war es das Militär, das sich einen kriegsentscheidenden Vorteil versprach, nun sind es private Großunternehmen, die einen Wettbewerbsvorteil wittern. Es gibt aber auch noch eine dritte, oft vernachlässigte Gruppe: Die digitale Weltöffentlichkeit, die Technik und Daten

in den Dienst des Gemeinwohls stellt, ganz im Sinne des Datenwissenschaftlers Hans Rosling (vgl. Rosling 2018). Er hält uns den Spiegel vor und kritisiert, dass wir uns auf Daten, Zahlen und Fakten verlassen, die wir in der Schule gelernt und leider immer noch nicht aktualisiert haben. Daten sind zentral für ökonomische und politische Entscheidungen, sie sind der Schlüssel zum Wissen, Grundlage der empirischen Wissenschaften, können aber auch Sachverhalte verschleiern. Die Datenkunde wird zur grundlegenden Kulturtechnik des mündigen Mitglieds der vernetzten Gesellschaft, wie an anderer Stelle beschrieben wurde (vgl. Ullrich 2021).

Aktuelle und korrekte Daten sind ein Mythenantidot, doch dazu müssen sie auffindbar, zugänglich und vorhanden sein. Es gibt mehrere Gründe, warum manche Daten im Überfluss vorhanden sind und andere nicht. Einer ist fundamentaler Natur: Wir können nur messen, was messbar ist und was wir messen wollen. Diese Verzerrung ist also einerseits von Instrumenten und Werkzeugen abhängig, andererseits aber auch von Kultur und Sitten:

> „Es liegt nicht an fehlenden Werkzeugen, dass Caroline Criado-Perez […] einen Gender Data Gap beobachten konnte, sondern auch an der gelebten Datenkultur der Gesellschaft. Daten werden zu einem bestimmten Zweck erhoben, und je mehr Aufwand in die Datenerhebung gesteckt wird, desto eher erwartet man eine Dividende: Daten werden so zu einem Zahlungsmittel.“ (Ullrich 2021: 29)

Die Macht der Kombination von totaler Datenerfassung und heuristischer Datenverarbeitung mit Hilfe von Machine Learning ist immens. „Aus großer Macht folgt große Verantwortung“ lässt Stan Lee seinen Protagonisten im ersten Spiderman-Comic sagen (Lee 1962). Diese Macht darf nicht in den Händen einiger Weniger liegen, Techniken wie „Künstliche Intelligenz“ müssen gemeinwohlorientiert entwickelt und von der Öffentlichkeit kontrolliert werden, diesem größten Gremium der Gerechtigkeit.

In Deutschland ist die Kontrolle der Kontrolleure vor allem Aufgabe der Zivilgesellschaft, die sich als „Sixth Estate“ neben dem Journalismus etabliert hat. Projekte wie *fragdenstaat.de* oder *luftdaten.info* liefern Diskursrohmaterial in Form von Daten, die aufwändig aufbereitet und kontextualisiert werden, um der mündigen Bürgerin eine politische Partizipation zu ermöglichen. Die Informatik spielt für unsere gemeinsame digitale Zukunft eine entscheidende Rolle, sei es in Bezug auf Klimakrise oder Kriege.

Kurz vor dem hundertsten Geburtstag des Informatikpioniers und Friedensaktivisten Joseph Weizenbaum möchte ich mit seiner Mahnung an meine Zunft schließen:

> „[D]as Militär ist nicht an sich ein Übel, und eine technische Entwicklung, die vom Militär übernommen wird, ist deswegen nicht unbedingt menschenfeindlich. Beim gegebenen Zustand der historischen Entwicklung der Souveränität der Nationen, also in der Irrenanstalt, in der wir jetzt [kurz nach dem NATO-Doppelbeschluss] leben, braucht der Staat sein Militär, so wie die Stadt ihre Feuerwehr braucht. Niemand plädiert aber für eine Feuerwache an jeder Straßenecke, und keine Stadt wünscht sich eine Feuerwehr, die in den Dörfern außerhalb der Stadt Brandstiftung als Nebengeschäft betreibt. […] Ich verlange ja, daß eine ganze Berufsgruppe sich weigert, an dem selbstmörderischen Wahnsinn unseres Zeitalters weiter mitzumachen.“ (Weizenbaum 1986: 9)

Er bittet, fleht:

> „[B]edenkt was ihr tatsächlich bewirkt, bedenkt, in welchem Rahmen und zu welchen Zwecken Eure Arbeit angewendet wird. Dann überlegt: »Will ich diesen Zwecken mit meinen eigenen Händen dienen?«“ (Weizenbaum 1986: 11)

Weizenbaum gründete damals in Deutschland einen Verein, in dem sich auch heute noch Friedensinformatikerinnen für eine Abrüstung und gegen den Missbrauch der Informatik bei militärischen Anwendungen engagieren. Völkerrechtswidrige Angriffskriege sind zu ächten und nicht als Anlass für milliardenschwere Militärausgaben zu nehmen.

Weltbürgerinnen dieses Planeten müssen über ihre gemeinsame lebenswerte Zukunft reden, und mit Hilfe der global vernetzten Informations- und Kommunikationstechniken ist dies auch technisch möglich; sie müssen es nur wollen.

Literatur

Böhler, Dietrich (Hrsg.) (1994): Ethik für die Zukunft. Im Diskurs mit Hans Jonas. München.

BVerfG – Bundesverfassungsgericht (1983): „Urteil des Ersten Senats vom 15. Dezember 1983“ – 1 BvR 209/83 –, Rn. 1–215.

BVerfG – Bundesverfassungsgericht (2021): „Beschluss des Ersten Senats vom 24. März 2021“ – 1 BvR 2656/18 –, Rn. 1–270.

Criado-Perez, Caroline (2019): Invisible Women. Exposing Data Bias in a World Designed for Men. New York.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2014): „Philosophische und ethische Probleme der modernen Biologie und Medizin – sowie: ‚Ein alter Streit, der seit Jahrzehnten schwelt...‘“. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin 121, 81–95.

GI – Gesellschaft für Informatik (2021): Ethischer Kompass für Informatik-Fachleute. Bonn (Gesellschaft für Informatik). https://gi.de/fileadmin/GI/Allgemein/PDF/GI_Ethischer_Kompass.pdf [7.3.2022].

GI – Gesellschaft für Informatik (2018): Unsere Ethischen Leitlinien. Bonn (Gesellschaft für Informatik).

Jonas, Hans (1984): Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Frankfurt am Main.

Kant, Immanuel (1785): Grundlegung zur Metaphysik der Sitten. Riga.

Kröger, Jacob; Lutz, Otto; Ullrich, Stefan (2021): The Myth of Individual Control: Mapping the Limitations of Privacy Self-management. New York. – http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3881776.

Lee, Stan (1962): Amazing Fantasy Nr. 15. New York.

Pohle, Jörg (2016): „Personal data not found: Personenbezogene Entscheidungen als überfällige Neuausrichtung im Datenschutz". Datenschutz Nachrichten 39/1, 14–19.

Ropohl, Günter (1996a): „Ingenieur und Verantwortung". Ropohl, Günter: Ethik und Technikbewertung. Frankfurt am Main, 61–82.

Ropohl, Günter (1996b): „Theoretische Schwierigkeiten". Ropohl, Günter: Ethik und Technikbewertung. Frankfurt am Main, 210–233.

Rosling, Hans (2018): Factfulness. Ten Reasons We're Wrong About The World – And Why Things Are Better Than You Think. New York.

Ullrich, Stefan (2021): „Datafizierung, Disziplinierung, Demystifizierung". Wie wir leben wollen. Kompendium zu Technikfolgen von Digitalisierung, Vernetzung und Künstlicher Intelligenz, hrsg. von Frank Schmidchen; Klaus Peter Kratzer; Jasmin S. A. Link; Heinz Stapf-Finé. Berlin, 23–31.

VDI – Verein Deutscher Ingenieure (1987): „Bekenntnis des Ingenieurs" [1950]. Technik und Ethik, hrsg. Hans Lenk; Günter Ropohl. Stuttgart, 280.

Weizenbaum, Joseph (1986): „Ohne uns geht's nicht weiter. ‚Künstliche Intelligenz' und Verantwortung der Wissenschaftler". Blätter für deutsche und internationale Politik 31/9, 1037–1045 (zitiert nach Sonderdruck Nr. 332).

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 253–256*

Ruth Edith Hagengruber

Die „dritte Wissensdimension“

Eine Epistemologie für eine neue Wissenswelt

Abstract

The article deals with the thesis that the new possibilities of information acquisition not only change our knowledge, but also our way of knowing. The subject-object schema is supplemented by a “third dimension of knowledge”, which is independent of the first two elements because it is characterised by its qualitative autonomy. This third relation complements and extends the knowledge process and competes with or complements the traditional (binary) model of knowledge.

Keywords/Schlüsselwörter

Acquisition of knowledge, Artificial intelligence, Epistemology, Knowledge production, Ontologies

Bedeutung, Erkenntnistheorie, Künstliche Intelligenz, Ontologie, Wissensgewinnung

Die Informationstechnologie und die daraus entstandenen Möglichkeiten der Informationsgewinnung, ihrer Aufbereitung und Verteilung über und an jedem Ort und zu einer ständig wachsenden Anzahl von Kontexten verändert nicht nur unseren Zugang zu Wissen, sondern auch unsere *Weise zu wissen*. Mit der *Weise zu wissen* ist die Art und Weise, wie wir kulturtechnisch den Wissensgewinn charakterisieren, gemeint. Vorgestellt wird hier die These, dass durch die Informationstechnik sich eine neue Epistemologie abzeichnet, die diese *dritte Wissensdimension* in ihr Schema miteinbeziehen muss, wenn diese Epistemologie unsere Wissenswelt der Zukunft hinreichend beschreiben soll.

Die Philosophie hat, mehr oder weniger explizit, eine zwei-dimensionale Epistemologie festgeschrieben, insofern sie die wesentlichen Elemente des Wissensgewinns als eine Relation von Subjekt und Objekt aufzeigt. Vielleicht kann man einwenden bzw. ergänzen, dass die Analysen am Beginn des

20. Jh.s zur Sprachpragmatik[1] den prozessualen Charakter der Bezeichnungsgeschichte schon darstellen. Die in der Sprachphilosophie erscheinende Sprachpragmatik ist – so scheint mir – besser als die ontologische Tradition in der Lage, den Zuwachs unseres Wissens durch die Wissen produzierende Maschine und ihre Wirkung auf unsere Wissenswelt zu erfassen.

Dabei ist zweifellos richtig, dass die Informationsmaschine, die Wissen „generiert", selbst auf eine starre, weil logisch durchgeformte Dualität angewiesen ist und aus dieser erwächst. Die binäre Kodierung ist für jede Informationsmaschine erst einmal notwendig. Dennoch ist sie in der Lage, darüber hinaus zu gehen, und vor allem ist das, was sie produziert, eine Entität, wie sie bislang weder durch unsere Gegenstandswelt noch durch unsere Wissenswelt erzeugt worden ist.

Diese neue „Wissens"-Maschine fügt unserem bisherigen Verständnis von Welt eine wichtige Komponente hinzu, die die Beschreibung der Welt und die Wissensgenerierung verändert.

Alan M. Turing und vor ihm Ada Lovelace haben bestätigt, dass diese „analytische" Maschine über Wissen verfügt. Nach Turing gibt es kein Wissen, das nicht durch die Maschine dargestellt werden könnte (vgl. Newell et al. 1967; Simon 1977; Turing 1950). Nach Lovelace gibt es kein Wissen, dass sie nicht darstellen und nicht selbst, auf „analytischem" Wege, erschließen kann (vgl. Lovelace 1843). Bekanntlich wollte Turing Lovelaces Einwand nicht gelten lassen, dass diese Maschine nicht „kreativ" sei.

Neben der ja schon häufig diskutierten Frage, ob die Informationsmaschine bzw. diese „analytische" Maschine wirklich „nur" analytisch verfährt, gilt es heute zu begreifen, dass die Inhalte, die uns durch ihre Möglichkeiten zur Verfügung gestellt werden, uns selbst, weil unser Verständnis der Welt verändern. Das bezieht sich aber eben nicht nur darauf, weil die Maschine erstaunlich vieles „simulieren" kann, sondern es gilt deshalb, weil diese Maschine ganz neue Dinge herstellt, neue Wissenszusammenhänge, neue Sprachen und neue Welten erzeugt. Ja, sie ist eine ganze Welt, die – zwar von uns abhängig – aber doch ganz eigenständig agiert. Ja, wir haben sie hervorgebracht, aber das, was ihr gelingt, ist häufig jenseits dessen, was wir erzeugen würden. Ihre Weltdarstellung präsentiert sich in völlig neuen Attributen, die weder so aktiv, wie wir es sind, noch sich als bloßes Objekt „für uns" zeigt. Es wird mit beiden Kategorien nicht erschöpft.

Die Welt der Algorithmen, die unsere Wissens- und Gegenstands-Identitäten spiegeln, wird zu einer eigenen Welt. Die Probleme, die vor uns liegen,

1 Gemeint ist damit in Analogie zu Wittgenstein, die „Verhexung unseres Verstands durch die *{neue Wissens-Sprache}*" (vgl. hierzu Birnbacher/Burkhard 1985).

sei es in der Medizin, in der Klimatologie, der Astronomie, erschließen wir durch diese neue Wissensdimension, die uns diese Welten nicht nur in neuem Licht zeigen – wie etwa dies das Mikroskop getan hat, mit dem oft die neue Sichtweise verglichen wird. Es werden neue Zusammenhänge „kreiert“, die uns neues Wissen ermöglichen. Wir werden verändert, durch das, was die Maschine an Wissen (Information) erzeugt. Nicht zuletzt wird uns dadurch ein neuer Horizont aufgehen, der uns ermöglichen wird, die vielen Probleme der Gegenwart neu zu sehen. Es spricht doch einiges dafür, dass wir es hier mit einer Maschine der Wissens-Produktion zu tun haben, die unsere bisherigen Schemata der Wissensgewinnung „bereichert“, weil sie Wissen anders „prozessiert“. Und obwohl sie „analytisch“ und auf der Grundlage einer endlichen Anzahl von Entitäten fungiert, ist das, was sie damit produziert, völlig anders als das, was wir „herstellen“, wenn wir Wissen erzeugen. Und obwohl diese Maschine von uns erzeugt wurde – und sich darin von der gegebenen Objektwelt unterscheidet, die wir im Wesentlichen nur „formen“ –, ist sie unabhängig von uns, weil sie mit dem, wie wir sie sein lassen, ihr „Eigenes“ herstellt. Das trifft prinzipiell schon auf jeder Stufe von Komplexität zu.

Im Vergleich zu einem „Leben“ ohne diese Maschine entwickelt sich unser Wissen nun in eine neue Dimension hinein. Sie soll die „dritte“ Dimension genannt werden, weil Gegenstands- und Denkwelt nun erweitert werden durch ein Instrument der Wissensgenerierung, das zwar von uns in gewisser Weise abhängt, aber doch schließlich unabhängig von uns und in anderer Sprache, anderen Zusammenhängen ihre Form von Wissen rezipiert und generiert. Von ihr „erfahren“ und lernen wir Dinge, die wir nie zuvor gewusst haben. Wir werden mit einem „Wissen“ konfrontiert, dass wir so, wie es uns nun präsentiert wird, nicht „erfunden“ hätten.

Anstelle eines „kreativen“ Verfahrens vollzieht sich ein selektiver Prozess, den wir nicht in jeder Hinsicht folgen können und der durch Qualität und Quantität eine „neue“ Welt für uns präsentiert, die es ohne diese Wissensmaschine nicht geben würde. Diese neue Wissenswelt wird unser künftiges Leben entscheidend mitbestimmen. Intelligente Algorithmen beeinflussen unser Leben in vielerlei Hinsicht: wie wir wissen, was wir kennen und was wir für möglich halten. Unser Wissen wird mit dem artifiziell bereitgestellten Wissen neue Welten erschließen (vgl. Hagengruber 2017).

Rückkopplungsschleifen zwischen menschlichem Wissen und maschinell erzeugtem Wissen werden konstitutiv für das, was für uns „sinnvoll“ sein wird. Die Grundlagen dafür werden von einer Maschine bereitgestellt, die selbst rezipiert und verändert und erweitert und entwickelt. Das gab es

bislang so nicht. Die Informationsmaschine ist ein Kind unseres Wissens, das für uns eine Welt entwickelt, auf die wir, mit all unserem Wissen, antworten, und das zu einer Grundlage für uns selbst und unsere Zukunft wird. Die Art und Weise, wie wir denken, wird sich damit nicht essentiell verändern. Die Dimension, die uns damit Wissen lehrt, ist aber neu. Die neue Wissensgemeinschaft ist nicht mehr nur auf den Menschen beschränkt. Wir teilen unsere Welt der sinnerzeugenden Entitäten mit unseren digitalen Maschinen.

Literatur

Birnbacher, Dieter; Burkhard, Armin (1985): Sprachspiel und Methode. Zum Stand der Wittgenstein-Diskussion. Berlin/New York.

Hagengruber, Ruth (2017): „Creative Algorithms and the Construction of Meaning". Berechenbarkeit der Welt? Philosophie und Wissenschaft im Zeitalter von Big Data, hrsg. von Wolfgang Pietsch; Jörg Wernecke; Maximilian Ott. Wiesbaden, 333–343.

Lovelace, Ada (1843): „Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage / Notes by the Translator [Ada Lovelace]". Scientific Memoirs, Selected from the Transactions of Foreign Academies of Science and Learned Societies and from Foreign Journals, ed. by Richard Taylor. Vol. III. London, 666–731.

Newell, Allen; Shaw, J. C.; Simon, Herbert A. (1967): „The Process of Creative Thinking". Contemporary Approaches to Creative Thinking, ed. by Howard E. Grubner; Glenn Terell; Michael Wertheimer. New York, 63–119.

Simon, Herbert A. (1977): Models of Discovery, and Other Topics in the Methods of Science. Dordrecht.

Turing, Alan M. (1950): „Computing Machinery and Intelligence". Mind 59/236, 433–460.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 257–273*

Peter Brödner

„Informatik“ – eine Wissenschaft auf Abwegen

Abstract

The productivity paradox of computer technology as well as relatively frequent failures of huge software projects indicate that inadequate concepts and descriptions evoke erroneous ideas and expectations about modes of operation of computer artifacts. Based on an elaborated sign concept, basic principles of computer technology are being analysed with respect to how these artifacts, fundamentally different from classical machines, can be apprehended in connection with the organization of knowledge work. Moreover, the use of deceptive metaphors and resulting illusions about benefits and risks of computer technology, as well as resulting misallocation of resources, are being contemplated.

Keywords/Schlüsselwörter

Information processing, Machine learning, Sign, Sociotechnical systems

Informationsverarbeitung, maschinelles Lernen, soziotechnische Systeme, Zeichen

1 Einführung: Uneingelöste Versprechen

Seit rund fünf Dekaden werden Computer in entwickelten Gesellschaften für vielfältige Aufgaben der Wissensarbeit auf breiter Front eingesetzt und weltumspannend vernetzt. Trotz massiver Investitionen in Computertechnik, die diejenigen in Produktionstechnik längst übersteigen, werden die damit verbundenen hohen Erwartungen an die Steigerung der Arbeitsproduktivität immer wieder enttäuscht (sogenanntes „Produktivitätsparadoxon“ der Computertechnik; vgl. Brödner 2020; Gordon 2014; Horn 2021). Zudem zeigt sich stets aufs Neue, dass große Software-Projekte trotz hoher Budgetüberschreitungen die angestrebte Funktionalität oftmals verfehlen oder sogar ganz scheitern (vgl. SG 2015). Derart beispiellose, in anderen Technikfeldern so kaum zu verzeichnende Krisenerscheinungen, insbesondere die Diskrepanz zwischen ausbleibenden Produktivitätsgewinnen und gleichwohl auf-

recht erhaltenen hohen Erwartungen, lassen dahinter systematische Gründe vermuten. Unter den mutmaßlichen Gründen für diese Krisenanzeichen stechen tief sitzende, sich immer wieder neu bildende Missverständnisse der wahren Natur der Computertechnik, ihrer Funktionsweise und Potenziale hervor.

Diese Missverständnisse zeigen sich auch in unterschiedlichen Sichtweisen der Wissenschaftsdisziplin „Informatik", darunter in zwei dominanten: zum einen in derjenigen, welche Computer als „informationsverarbeitende Maschinen" versteht, zum anderen in derjenigen, deren Grundverständnis sich im sogenannten „computational model of the mind" widerspiegelt. Beide sind eng miteinander verwandt und verlangen nach kritischer Analyse ihrer von Beginn an nicht wirklich geklärten, zum Teil auch widersprüchlich verwendeten Grundbegriffe (z. B. maschinelle „Verarbeitung von Information" versus „Datenverarbeitung", Verhältnis von „Software" zu „Hardware"). Desgleichen verdient auch der irreführende metaphorische Gebrauch von Begriffen aus fachfremden Wissensdomänen („intelligente Agenten", „maschinelles Lernen", „künstliche neuronale Netze (KNN)", „autonome Systeme" etc.) eine kritische Auseinandersetzung. Darin offenbart sich eine beträchtliche Unsicherheit über die Natur des Fachs und seiner Gegenstände. Sie bescheren dem Fach zwar immer wieder große öffentliche Aufmerksamkeit, tragen aber auch wesentlich zu Missverständnissen seiner Artefakte und deren Funktionsweise bei. Selbst nach einem halben Jahrhundert stürmischer Entwicklung dieser Disziplin sind trotz ihrer großen wirtschaftlichen Bedeutung noch immer grundlegende Fragen nach dem eigentlichen Untersuchungsgegenstand, nach ihm angemessenen Methoden und dessen besonderem Charakter offen.

Zu beträchtlichen Teilen resultieren diese Schwierigkeiten aus dem Umstand, dass vernetzte Computersysteme als Artefakte zur maschinellen Verarbeitung, Speicherung und Übertragung von Daten tiefgreifend in soziale Praktiken der Kommunikation und Kooperation intervenieren, aus denen die Daten stammen und die ihnen Bedeutung verleihen. Bei Gestaltung und Gebrauch dieser Artefakte sind daher Erkenntnisse aus ganz unterschiedlichen Wissensdomänen gleichermaßen gefragt: Logik bzw. Arithmetik, Physik und Sozialwissenschaft. Bei der soziotechnischen Gestaltung (vgl. z. B. Mumford 2006) von Computersystemen und ihrer produktiven Verwendung müssen folglich Erkenntnisse aus allen diesen Wissensdomänen sinnvoll zusammengeführt werden: Wie lassen sich Aspekte sozialer Kommunikation und Kooperation in Form einer Abfolge logischer und arithmetischer Operationen modellieren und formalisieren, wie lassen sich diese maschinell ausführen und wie die damit erzielten Ergebnisse wieder interpretieren und sinnvoll nutzen?

Diesen Fragen wird hier nachgegangen mit dem Ziel, zu ihrer Klärung und zum besseren Verständnis der technischen Herausforderungen beizutragen. Dazu wird zunächst „Information" als dem Fach „Informatik" zugeschriebener Grundbegriff kritisch beleuchtet und als ungeeignet für die Darstellung wesentlicher Vorgänge der Computertechnik ausgewiesen. Mit dem triadischen Zeichenbegriff, wie er im Wesentlichen von den Logikern Charles Sanders Peirce und Gottlob Frege elaboriert wurde, wird dann eine alternative begriffliche Grundlage vorgestellt, die es insbesondere erlaubt, logisch-arithmetische Operationen und ihre maschinelle Ausführung durch binäre Schaltsysteme mit deren Interpretation im Kontext sozialer Praktiken in Verbindung zu setzen. Eben das damit explizit beschreibbare Zusammenspiel maschineller Operationen auf bedeutungslosen Alphabet-Zeichen mit deren sinnhaftem Gebrauch in sozialer Praxis lässt die Besonderheiten der Computertechnik und der mit ihrem Einsatz auftretenden Probleme besser verstehen. Damit können dann schließlich auch die vielen irreführend anthropomorphisierenden Erzählungen entkräftet werden, die sich um die Computertechnik ranken.

2 „Information": ein schillernder und trügerischer Begriff

Seit Claude E. Shannon 1948 seine Analyse nachrichtentechnischer Übertragungssysteme als „A Mathematical Theory of Communication" publizierte (vgl. Shannon 1948; „Nachrichten" werden dabei ausdrücklich als reine Wortfolgen ohne „Bedeutung" betrachtet) und darin, gestützt auf seine Vorläufer Harry Nyquist und Ralph V. Hartley, ein rein syntaktisch über einem endlichen Alphabet definiertes Maß für die Menge an durch einen Nachrichtenkanal übertragener „Information" definierte, geistert dieses Wort durch unterschiedlichste wissenschaftliche Diskurse; so wurde es sogleich etwa auch im einflussreichen Buch „Kybernetik" von Norbert Wiener aufgegriffen und erreichte damit später Disziplinen übergreifende Aufmerksamkeit (vgl. Wiener 1948). Aufgrund rein formaler Ähnlichkeit dieser für Signale geltenden Definition mit derjenigen der physikalischen Entropie hat Shannon dieses Maß, seiner Sache offenbar selbst nicht sicher, alternativ auch „Entropie" genannt.

Die darin angelegte Begriffsverwirrung vergrößert sich noch mit dem kurz darauf unter dem leicht veränderten Titel „The Mathematical Theory of Communication" publizierten Nachdruck der Shannonschen Arbeit, ergänzt um eine äußerst fragwürdige, von positivistisch inspiriertem Zeitgeist geprägte Arbeit von Warren Weaver, dem langjährigen (bis 1955 amtieren-

den) Direktor für Naturwissenschaften der Rockefeller Foundation als einflussreicher Institution der Wissenschaftsförderung. Hierin bringt Weaver, anders als Shannon, auch die semantischen und pragmatischen Aspekte von Nachrichten wieder ins Spiel; so behauptet Weaver etwa, die technisch effiziente Signalübertragung bestimme auch Fragen des Verstehens und der Anerkennung einer Nachricht:

> „[…] a larger part of the significance comes from the fact that the analysis at Level A [signal transmission; P.B.] discloses that this level overlaps the other levels more than one could possibly naively suspect. Thus the theory of Level A is, at least to a significant degree, also a theory of levels B [semantics; P.B.] and C [pragmatics; P.B.]". (Shannon/Weaver 1949: 3)

Die begriffliche Wirrnis wird noch vertieft durch die Alltagssprache, in der unter „Information" gemeinhin der Inhalt einer Mitteilung, Auskunft oder Belehrung als Ergebnis ihrer Interpretation verstanden wird. Und aus sozialwissenschaftlicher Perspektive ist für das Handeln im Rahmen einer sozialen Praxis ohnehin nur die kontextabhängige Bedeutung einer Nachricht wesentlich, wie es in der prägnanten Definition „Information ist jeder Unterschied, der etwas ausmacht" („any difference that makes a difference", Bateson 1980: 250) markant zum Ausdruck kommt. Somit existieren unter derselben Benennung „Information" mindestens drei höchst unterschiedliche, untereinander unverträgliche Begriffe nebeneinander. Unglücklicherweise werden davon aber im Kontext soziotechnischer Systemgestaltung computerunterstützter Arbeit zumindest zwei, der rein syntaktische von Shannon und der sozialwissenschaftliche Begriff, zugleich gebraucht, um soziale Praktiken im Umgang mit Computertechnik und deren innere Funktionsweise angemessen beschreiben zu können (vgl. Brödner 2016). So kann es auf die dabei zentralen Fragen „Womit operieren eigentlich genau Computer – mit ‚Information' oder Signalen?" und „Wie wirkt sich das im Arbeitsprozess genau aus?" keine klaren Antworten geben, zumal dabei auch der alltagssprachliche Begriff stets mitspielt. Bis heute sind denn auch alle weiteren Versuche, zu einem Disziplinen übergreifend einheitlichen Informationsbegriff zu gelangen, kläglich gescheitert (vgl. etwa den in den Heften 4 und 5 des „Informatik Spektrums" 2003 geführten Diskurs sowie Janich 2006).

Gleichwohl gilt „Information" als Grundbegriff der für Computertechnik zuständigen Fachdisziplin „Informatik" – eine erstmals 1957 vom Nachrichteningenieur Karl Steinbuch geprägte, 1962 von Philippe Dreyfus in Frankreich eingeführte, 1967 von der Academie Française als „Wissenschaft von der rationalen, insbesondere maschinellen Verarbeitung von Information" geadelte Wortschöpfung, für die der Begriff bereits konstitutiv ist und die

„automatische Informationsverarbeitung“ durch Computer zum grundlegenden Paradigma erhebt (vgl. GI 2006 oder einschlägige Lehrbücher, z. B. Bauer/Goos 1971). Dabei fällt freilich auf, dass außer in kurzen einleitenden, wenig erhellenden Abschnitten über „Information“ in den für das Fach wesentlichen Darstellungen der theoretischen Informatik (Berechenbarkeit), der technischen Informatik (Schaltsystementwurf) und der praktischen Informatik (Softwaretechnik) der Begriff „Information“, offenbar verzichtbar, nirgends mehr vorkommt. Er ist ja auch weder ein Begriff der Physik (in keinem deutsch- oder englischsprachigen Handbuch der Physik kommt er als Stichwort vor), noch ein Begriff der Logik oder Mathematik, die beide wesentliche Grundlagen des Fachs bereitstellen (im Englischen heißt das Fach denn auch „computer“ bzw. genauer „computing science“).

Dieser bereits in den Grundlagen des Fachs angelegte gedankliche Wirrwarr trägt beträchtlich zu den verbreiteten Missverständnissen rund um die Computertechnik bei, indem der irreführende Informationsbegriff, aufgeladen durch soziale Bedeutung suggerierende Konnotationen, ständig dazu verführt, maschinell vollzogene Zustandsänderungen bedeutungsloser Signale mit deren sinnhafter Interpretation im Kontext sozialer Praktiken zu verwechseln. Das wird durch eine Reihe weiterer durchweg anthropomorphisierender Fehlbenennungen noch gesteigert (vgl. Brödner 2021 und Abschnitt 4). Vorderhand wird mithilfe eines elaborierten Zeichenbegriffs eine alternative begriffliche Grundlage gelegt.

3 Logik der Zeichen: eine alternative begriffliche Grundlage der Computertechnik

Mit der Entstehung eines gewaltigen gesellschaftlichen Mehrprodukts in den fruchtbaren Schwemmland-Gebieten der alten Flusskulturen wurden vor gut 5.000 Jahren Schrift- und Zahlzeichen entwickelt. Mit deren Hilfe konnten Vorgänge der Verwaltung vielfältiger und umfangreicher Vorräte – neben solchen der Landvermessung („Geometrie“), der Ertrags- und Steuerberechnung – genau beschrieben und „buchführend“ symbolisch nachvollzogen werden. Sehr viel ältere Praktiken des Zählens wurden dafür mittels arithmetischer Operationen zu Berechnungsverfahren fortentwickelt (so stammen etwa früheste bekannte Berechnungen der Kreiszahl oder einer rekursiven Funktion aus diesem Kontext; vgl. Ifrah 1989). Der springende Punkt dabei ist die Repräsentation und Beschreibung der materiellen Vorgänge durch einzelne diskrete Zeichen eines endlichen Alphabets, deren Verknüpfung zu Worten und Manipulation nach bestimmten Regeln, die bis

heute gelten. So unterscheiden sich etwa dazu entwickelte Berechnungsverfahren der Buchführung nicht grundsätzlich von denen moderner Enterprise-Resource-Planning-(ERP)-Systeme, außer dass letztere umfassender und vielseitiger sind und vor allem maschinell ausgeführt werden.

Im weiteren geschichtlichen Verlauf werden zudem durch radikale Abstraktion von den Inhalten schriftsprachlicher Aussagen logische Aussageverknüpfungen formalisiert: So publiziert George Boole, die „de Morganschen Gesetze" ($\neg(a \wedge b) = \neg a \vee \neg b$ und $\neg(a \vee b) = \neg a \wedge \neg b$) aufnehmend, Mitte des 19. Jh.s einen Logikkalkül, der, um 1888 von Giuseppe Peano als „Boolesche Algebra" axiomatisiert, schließlich das logisch-funktionale Fundament für binäre Schaltsysteme als heutiger Computer-Hardware bildet.

In diesem Kontext erarbeitet der amerikanische Logiker Peirce erstmals einen Prädikatenkalkül 1. Stufe, arbeitet an „logischen Maschinen" und entwickelt dabei eine triadische Zeichentheorie, die heute allgemein als logische Grundlage für den Einsatz von Computern gelten kann (als äquivalent ist die gleichzeitig und unabhängig davon entwickelte Begriffsschrift von Gottlob Frege anzusehen).

Der Peircesche triadische Zeichenbegriff (vgl. Peirce 1983; siehe Abb. 1) bestimmt ein Zeichen allgemein als dreistellige Relation aus

1. einem Repräsentamen R, dem physischen Zeichenkörper oder -träger (ein als Zeichen gedeuteter Gegenstand oder Vorgang, „Alphabetzeichen"),
2. einem *Objekt O*, dem bezeichneten Gegenstand oder Vorgang und
3. einem *Interpretanten I*, der Bedeutung, die ein Interpret dem Paar (*R, O*) situativ und kontextabhängig zuschreibt (Begriff).

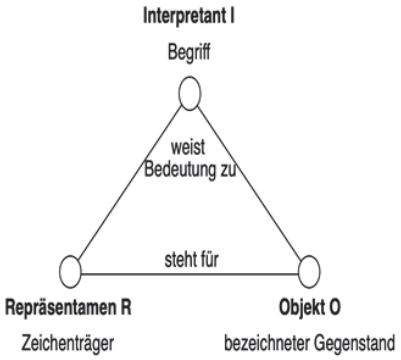


Abb. 1: Dimensionen des Zeichenbegriffs

Eigene Darstellung (in Anlehnung an Peirce 1983)

Somit ist ein Zeichen „etwas, das für jemanden in einer bestimmten Hinsicht oder Fähigkeit für etwas steht". Der Begriff ist rekursiv, denn der Interpretant ist selbst ein Zeichen, das bezeichnet und interpretiert werden kann.

Dabei beschreibt (vgl. z. B. IFIP 1998)

- *Syntaktik* die auf *R* reduzierten Aspekte von Zeichenprozessen (*Womit* wird bezeichnet?
  → Daten, repräsentiert durch Signale);
- *Semantik* deren auf die Relation (*R – O*) reduzierten Aspekte (*Was* wird bezeichnet?
  → Information i. S. von „steht für");
- *Pragmatik* die sozio-kulturell anerkannt wirksamen Aspekte von Zeichenprozessen (*Wie* wird Bezeichnetes in einem Handlungskontext gedeutet?
  → begriffliches Wissen).

In dieser „praxistheoretischen" Perspektive (vgl. Reckwitz 2003) werden Gegenstände und Tatsachen („Fakten") der sozialen Welt – sogenannte „institutionelle Tatsachen" – erst durch Kommunikation und Kooperation als Formen zeichenbasierten koordinierten Handelns aufgrund „geteilter Intentionalität" (vgl. Tomasello 2009) geschaffen und, insoweit anerkannt, auch erhalten: „Wir sorgen dafür, dass etwas der Fall ist, indem wir es als etwas repräsentieren, was der Fall ist" (vgl. Searle 2012). Als Paradebeispiel dafür kann die ausschließlich mit gedachten (daher empirisch nicht zugänglichen), durch Alphabetzeichen und formale Regeln geschaffenen Objekten operierende Mathematik gelten, die David Hilbert zufolge „ein Spiel mit wenigen Regeln und bedeutungslosen Zeichen auf Papier" ist (dafür bieten etwa die der Computertechnik zugrunde liegenden Theorien der Berechenbarkeit oder der Automaten und formalen Sprachen reiches Anschauungsmaterial).

Grundsätzlich können beliebige physische Gegenstände oder Vorgänge als Repräsentamen fungieren und als Zeichen für etwas gedeutet werden. Mit dem triadischen Zeichenbegriff wird zudem der zentralen Tatsache Rechnung getragen, dass „Bedeutung" keine natürliche Eigenschaft physischer Gegenstände oder Vorgänge ist, sondern diesen in einem konkreten Handlungskontext sozialer Praktiken, in bewusster Interaktion durch sinngebende Interpretation ihrer Funktionen, zugeschrieben wird; sie ist stets subjektiv und kann daher nicht Gegenstand wiederholbarer, maschineller Operationen sein. Mit diesem Zeichenbegriff lässt sich jedoch eine logische Verbindung herstellen zwischen der physischen Welt kausal determinierter Wirkungen und der sozialen Welt der Genese intentional bedingter, situativ zugeschrie-

bener Bedeutungen. Damit ist er in besonderem Maße geeignet, Vorgänge der sozialen Praxis computerunterstützter Wissensarbeit und ihrer soziotechnischen Gestaltung präzise zu beschreiben und zu erklären (siehe Abb. 2).

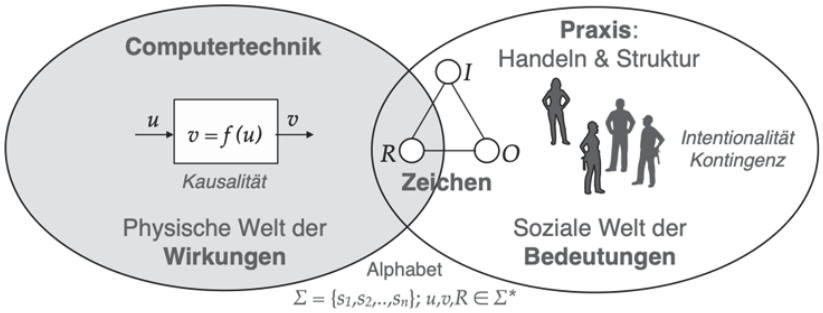


Abb. 2: Das triadische Zeichen als logische Verbindung von Physik und Semantik

Eigene Darstellung

Der Computereinsatz beginnt mit der stets partiellen Modellierung und Formalisierung bestimmter Aspekte einer sozialen Praxis: Dabei dienen durch Selbst- und Fremdbeobachtung mittels Sprache, in Gestalt von Text oder Grafik, vereinbarte teils deskriptive, teils präskriptive Modelle gewünschter sozialer Praktiken als Grundlage, um daraus streng formale Beschreibungen in Form von Algorithmen und Datenstrukturen abzuleiten. Auf diese Weise werden bestimmte Aspekte einer zeichenbasierten sozialen Interaktion beschreibende, aber perspektivisch reduzierte Modelle in Programme als formaler Darstellung von Berechnungsmodellen abgebildet: $v = f(u);\ v, u \in \Sigma^*$. Durch diese Reduktion gehen infolge der Abstraktion sowohl Bezeichnungen ($R - O$) als auch Bedeutungen $I - (R - O)$ verloren; die per Programm fremdgesteuerte, allein mit $R \in \Sigma^*$ operierende Maschine „Computer" „weiß" nicht mehr, was sie prozessiert und warum.

Programme werden per Compiler automatisch in ausführbaren Maschinencode übersetzt. Während ihrer Laufzeit existiert die Maschine „Computer" nur noch als reine „Hardware", als Abfolge von Signalzuständen binärer Schaltsysteme, zweckmäßig gesteuert durch den Maschinencode. Vom Computer für bestimmte zulässige Eingaben per Programm erzeugte Ergebnisse können dann aufgrund von Aneignung und Kenntnis der Eigenschaften des Berechnungsmodells *f* im Kontext der Verwendung interpretiert und

erneut mit Bedeutung aufgeladen werden. Insgesamt wird dadurch die soziale Praxis restrukturiert.

Software hat somit zwei Seiten: Programme werden in der sozialen Welt der Bedeutungen nach deren Anforderungen und Zwecken gestaltet und vermögen – nach automatischer Compilierung in Maschinencode – als solche in der physischen Welt der Wirkungen Signal-Zustandsänderungen in Schaltsystemen zu steuern. Eben diese Doppelnatur verführt zur verbreiteten Illusion vermeintlich kognitiver Leistungen: In der sozialen Welt der Bedeutungen bilden Programme und Daten eine formale Beschreibung maschineller Funktionen als (freilich oft nur schwer) lesbarem Text. Software gehört in dieser Hinsicht zur sozialen Welt der Bedeutungen, sie beschreibt, was ablaufen soll und wozu. In Form compilierter Programme ist sie aber zugleich auch funktionale Steuerung einer Maschine. Daher muss sie interessenabhängigen sozialen Zwecken und Anforderungen genügen und zugleich eine formal korrekte Beschreibung berechenbarer Funktionen (Algorithmen, Berechnungsmodell) liefern.

Durch die automatische Verwandlung in maschinell ausführbaren Code und die dabei insgesamt vollzogene Abstraktion und formale Reduktion auf logisch determinierte Signalzustände verlieren Programme jeglichen Bezug zur sozialen Welt von Bezeichnungen und Bedeutungen. Der Code steuert dann nur Zustandsänderungen bedeutungsloser Signale in binären Schaltsystemen und wird so zum Herzstück der Maschine „Computer“ in der physischen Welt der Wirkungen, ohne noch zu „wissen“ wozu. Erst das damit erzeugte Ergebnis ist aufgrund der Kenntnis der Funktionen zugrunde liegender Berechnungsmodelle in der sozialen Welt wieder interpretierbar.

Diese Betrachtungen gelten im Übrigen *mutatis mutandis* auch für den Fall des Computer-Einsatzes zur Steuerung physischer Prozesse (sogenannte „cyber-physische Systeme“): In diesem Fall ist die vorgängig ebenfalls in der sozialen Welt der Bedeutungen vorgenommene mathematische oder doch zumindest heuristisch begründete formale Modellierung des betrachteten physischen Prozesses zwingende Voraussetzung dafür, überhaupt ein formal notiertes Programm zur Steuerung des physischen Prozesses entwerfen zu können, die diesem dann in kompilierter Form, durch Mess- und Stellsignale vermittelt, ein zweckgemäßes Verhalten zu verleihen vermag. So beruht auch dieser Steuerungsentwurf auf einem zeichenbasierten Prozessmodell. Im derart durch Signale vermittelten Zusammenspiel von Steuerung und Prozess bilden dann beide eine selbsttätig prozessierende Einheit in der physischen Welt der Wirkungen, deren Funktionsweise und Güte aber wiederum nur in der sozialen Welt der Bedeutungen beurteilt werden kann.

Damit erweisen sich Computersysteme als technische Artefakte, die ausschließlich berechenbare Funktionen vollziehen, die ihrerseits während des Entwurfs aus Zeichenprozessen („Semiosen“) kooperativer Wissensarbeit („Kopfarbeit“) zweckgemäß abstrahiert und als „auto-operationale Formen“ (Floyd 2002) verwirklicht werden. Deren maschinelle Ausführung besteht ausschließlich aus physischen Vorgängen einer entsprechend programmierten Steuerung von Signalzuständen in Schaltsystemen. Somit bewegt sich die soziotechnische Gestaltung computerunterstützter Arbeit, verstanden als Anpassung von Form, Funktion und Handlungskontext, stets im Spannungsfeld des technisch Machbaren, der Formbarkeit von Natur bzw. sozialer Praxis, und des sozial Wünschenswerten, abhängig von jeweiligen Interessen und Machtverhältnissen.

Diese Sicht der Dinge spiegelte sich denn auch lange Zeit in sachlich angemessenen Bezeichnungen für die so verstandenen technischen Artefakte, etwa „elektronischen Rechenanlagen“ zur „Datenverarbeitung“ oder „Prozessrechner“ zur Prozesssteuerung, bevor widersinnig die Rede von „Informationsverarbeitung“ erneut Oberhand gewann. Dementsprechend wird auch in internationalen Begriffsnormen sehr klar zwischen „Information“ (als „knowledge concerning objects, such as facts, events, things, processes, or ideas, including concepts, that within a certain context has a particular meaning“) und „Daten“ (als „reinterpretable representation of information in a formalized manner suitable for communication, interpretation, or processing“) als logischer Form physischer Signale unterschieden (ISO/IEC 2015).

4 Wortspiele: irreführende Benennungen verführen zu Selbsttäuschung

Aus den dargelegten Zusammenhängen geht insbesondere hervor, dass es, um Computertechnik überhaupt zweckmäßig nutzen zu können, zunächst erforderlich ist, durch Analyse, Modellierung und Formalisierung von Vorgängen sozialer Praktiken (bzw. physischer Systeme im Falle von Prozesssteuerung) berechenbare Funktionen zu identifizieren, mit dem Ziel, sie zu aufgabenangemessen gestalteten, interaktiv nutzbaren Berechnungsverfahren (Algorithmen) zu bündeln, die auch maschinell ausführbar sind. Diese zwar erprobten, aber aufgrund der nötigen Interpretationsleistungen nur mit Nutzerbeteiligung zu bewältigenden, meist sehr aufwändigen und von Rückschlägen bedrohten Entwicklungsprozesse soziotechnischer Gestaltung werden neuerdings mit sogenannten „KI“-Methoden zu umgehen versucht (vgl. Brödner 2020).

Technische Grundlage derartiger Umgehungsversuche ist die Verfügbarkeit sehr großer Datenbestände („Big Data") und extrem gesteigerter Rechenleistung. Zusammen genommen ermöglichen sie, sogenannte adaptive Systeme zu gestalten, deren Funktionsweise einfach auf vorgegebenen generischen, komplex strukturierten Funktionen (etwa in Gestalt von KNN oder Entscheidungsbäumen) beruht. Sie enthalten eine große Zahl von Parametern, die mittels – größtenteils alt bekannten – Optimierungsverfahren an die Vielzahl von außen aufgenommener Daten optimal angepasst („trainiert") werden; mathematisch handelt es sich um Verfahren der Funktions-Approximation. Mittels der so „trainierten" Funktionen lassen sich dann für eingegebene weitere Daten zugehörige Resultate errechnen, z. B. in Aufgaben der Klassifikation oder Entscheidung.

Mit diesem vermeintlichen Befreiungsschlag von den Mühen der Modellierung und Formalisierung handelt man sich freilich sogleich neue, noch schwerwiegendere Probleme ein. Diese Vorgehensweise

- beruht auf theorielosem Probieren mit unterschiedlich vorstrukturierten Funktionen, damit allein auf dem Erfahrungswissen der Entwickler hinsichtlich ihrer Eignung und Reichweite (Abhängigkeit von Erfahrung);
- steht und fällt mit der Qualität der Daten hinsichtlich Erhebungsmethode, Korrektheit oder Verzerrungen, die aber meist höchst fragwürdig und zumindest im vorhinein kaum einschätzbar ist (unsichere Datenqualität);
- setzt in Vergangenheit angepasstes Verhalten auch in Zukunft fort und negiert damit die prinzipielle Kontingenz sozialer Praktiken (Behinderung von Wandel);
- macht das Zustandekommen der zudem stets mit Unsicherheit behafteten Ergebnisse für die Nutzer gänzlich intransparent und behindert damit im Gebrauch deren zielführendes instrumentelles Handeln (Handlungshindernis).

Diese im Grundsatz simple, methodisch jedoch höchst fragwürdige, letztlich auf schierer Rechenleistung zur Verarbeitung großer Datenmengen beruhende Vorgehensweise wird nun durch eine Fülle aufregender, aber irreführender Fehlbenennungen wie „künstliche Intelligenz", „Maschinelles Lernen", „KNN" oder gar „autonome Systeme" zu verschleiern versucht. Damit wird nahtlos an eine verbreitete Praxis missbräuchlicher Verwendung von Metaphern angeknüpft, die von Beginn an die „Kybernetik" und Computertechnik begleiten. So ist etwa, von damals vorherrschenden positivistischen und behavioristischen Vorstellungen verführt, schon früh von „Elek-

tronengehirnen“, „Giant Brains or Machines That Think“ (Buchtitel von Edmund C. Berkeley 1949) die Rede. Derartige Metaphern rufen gänzlich falsche Vorstellungen funktionaler Vergleichbarkeit lebendiger, sich selbst organisierender („autopoietischer“) Gehirne mit Computern als toten, bewusst hergestellten, Natureffekte nutzenden semiotischen Artefakten hervor, haben sich aber sogleich im bis heute dominanten sogenannten „computational model of the mind“ der „Kognitionswissenschaften“ niedergeschlagen. So behauptet etwa Steinbuch in dafür typischer reduktionistischer Manier, „dass zur Erklärung geistiger Funktionen höchstwahrscheinlich keine Voraussetzungen gemacht werden müssen, die über die Physik hinausgehen“ (Steinbuch 1965: 2). In diesem Zusammenhang erscheint ferner auch zur Beantwortung der Frage, ob Computer denken, der Turing-Test (vgl. Turing 1950) als sinnlos, weil er – ganz im Geiste des Behaviorismus – aus äußerlich beobachtetem Verhalten irrtümlich auf deren innere Funktionsweise zu schließen sucht.

Denken lässt sich nicht mit Berechnen gleichsetzen oder nachahmen. Computer „denken“ nicht, sondern vollziehen nur, wie in Abschnitt 3 gezeigt, von Menschen ausgedachte und vereinbarte Algorithmen. Nicht ihrer Funktionsweise als Maschine, sondern der kreativen Leistung ihrer Entwickler wohnt „Intelligenz“ inne. Intuition, „Abduktion“ (vgl. Peirce 1934: 189), Begreifen und Urteilen sind menschliche kognitive Leistungen, die über maschinelles Berechnen und Schließen hinausgehen, wie etwa die Beweisführung zu den Kurt Gödelschen Unvollständigkeitssätzen eindrücklich aufzeigt: Im Kern beruht der Beweis gerade darauf, dass er als kompetenter Mathematiker metamathematische Prädikate über Terme eines formalen Systems, z. B. die Beweisbarkeit, per operativer Codierung als Formeln im System selbst auszudrücken vermag. Damit gelingt ihm, eine Formel im System so zu konstruieren, dass sie über sich als einem durch ihn als wahr erkannten Satz aussagt, nicht beweisbar zu sein (vgl. Gödel 1931).

Als gestaltete Artefakte funktionieren Computersysteme auch keineswegs „autonom“, wie das derzeit ständig behauptet wird, sondern allenfalls „automatisch“. Tatsächlich sind Systeme nur dann „autonom“, wenn sie sich die Regeln ihres Verhaltens selbst zu setzen vermögen; Computersysteme sind im Gegensatz dazu „heteronom“, ihr Verhalten ist durch fremdbestimmte Algorithmen determiniert, sie sind selbsttätig, aber nicht von selbst tätig, schon gar nicht setzen sie die Regeln ihres Funktionierens selbst. Ihnen ist folglich auch keinerlei „Handlungsträgerschaft“ eigen, wie von sozialwissenschaftlicher Seite gelegentlich behauptet wird (vgl. z. B. Rammert 2003), denn diese würde das Vermögen voraussetzen, eigene Ziele setzen zu kön-

nen. Stattdessen ergibt sich auch das zielführende Verhalten von ähnlich irreführend als „intelligente Agenten" (vgl. Russell/Norvig 2009) bezeichneten adaptiven Systemen aus den von ihren Schöpfern durch jeweilige „Verlustfunktionen" und die darauf fußenden Algorithmen zur Funktions-Approximation implizit vorgegebenen Zielen.

Besonderes Unheil scheint indes die Benennung „Maschinelles Lernen" für Berechnungsverfahren anzurichten, wie sie in adaptiven Systemen in Gestalt von KNN, insbesondere Verfahren des „Deep Learning", oder Entscheidungsbäumen derzeit häufig zum Einsatz kommen (und oft viel Aufsehen erregen). Solche Verfahren haben mit herkömmlichen Begriffen von „Lernen" im Sinne des Gewinnens von Einsichten nichts zu tun, sondern dienen allein der zweckgemäßen Anpassung des Systemverhaltens an Daten von außen (mit allen genannten, damit einhergehenden Problemen). Gleichwohl führt das ohne Umschweife zu den in zahlreichen sozialwissenschaftlichen Publikationen und gesellschaftlichen Diskursen Platz greifenden Missverständnissen von Computersystemen als „lernenden Maschinen" oder gar „lernenden Algorithmen" (als Gipfel grotesker Selbsttäuschung, denn Algorithmen zeichnen sich gerade dadurch aus, dass ihr Verhalten vollständig und eindeutig festgelegt ist). Daher sind es auch nicht, wie oft befürchtet, irgendwelche „Algorithmen, die Macht über deren Nutzer" gewinnen, sondern die den Entwicklern und ihren Auftraggebern eigenen Machtpotenziale und Interessenlagen bestimmen, wie sie diese mittels entsprechend gestalteter Computerartefakte über deren Nutzer ausüben.

Diese gravierenden Missverständnisse der Computertechnik bilden Wegmarken wachsenden Realitätsverlustes. An dieser kritischen Sicht der Dinge vermag auch der blendend schöne Schein von Berichten über aufsehenerregende Erfolge bei einzelnen spezifischen Aufgaben, etwa der maschinelle Sieg über den weltbesten Go-Spieler, beeindruckende maschinelle Sprach-„Übersetzungen" oder Bildklassifikationen, nichts zu ändern. Wie ein raffiniert konstruierter hydraulischer Schaufelbagger menschliche Muskelkraft in bestimmten mechanischen Bewegungsabläufen um Größenordnungen zu übertreffen vermag, kann auch heuristisch scharfsinnig genutzte, schiere maschinelle Rechenleistung menschliche kognitive Leistungen bei bestimmten genau definierbaren Aufgaben weit übersteigen (zu technischen Details vgl. Brödner 2019). Für diese bestimmten Aufgaben spezifisch konstruierte Berechnungsverfahren sind aber nicht, jedenfalls nicht ohne großen Aufwand, auf andere Aufgaben übertragbar.

5 Schlussfolgerung: Wissenschaft als Ideologie

Alles in allem zeigt sich, dass – leider auch von Fachvertretern propagierte – irreführende Benennungen und falsche Metaphern für Artefakte der Computertechnik leider dauerhaft üblich geworden sind und von Beginn an zu immer wieder neuen erheblichen Missverständnissen ihrer genauen Funktionsweise wie auch zur Verschleierung der eigentlichen Probleme ihrer Gestaltung und ihres Gebrauchs führen. Durch diese mittels begrifflichen „Framings" induzierte Mystifizierung von Computerartefakten werden diesen stets aufs Neue kognitive Fähigkeiten wie „Intelligenz", „Lernen", „Entscheiden", „Verstehen" oder gar „Autonomie" angedichtet. Diese Art der Mythenbildung führt freilich im Weiteren zu beträchtlichen Folgeschäden, indem sie Diskurse fehlorientiert und gesellschaftliche Ressourcen in hohem Maße fehlalloziert (obgleich dabei einzelne Akteure stark profitieren: Cloud-Anbieter an der Rechenleistung, Netzbetreiber an der Bandbreite, Wissenschaftler an Forschungsmitteln, Finanzkapital an Spekulationsgewinnen etc.). An der auf diese Weise vorherrschenden Mystifizierung von Computerartefakten erweist sich einmal mehr, wie auch „Technik und Wissenschaft [zu] Ideologie" (Habermas 1968) mutieren können.

Indes zeichnet sich mit der Häufung realer Probleme bei Entwicklung und Einsatz datengetriebener adaptiver Systeme eine zunehmend kritischere Sicht auf den derzeitigen Stand der Technik ab. So hat erst kürzlich Wolfgang Wahlster, ein führender Vertreter der „KI"-Forschung, resümiert:

> „Inzwischen wurde die Bedeutung von kausalem Hintergrundwissen in der jeweiligen Anwendungsdomäne klar. Ohne Kausalwissen können von datengetriebenen Lernverfahren abgeleitete Scheinkorrelationen kaum als Unsinn erkannt und aussortiert werden. Auch die derzeit auf der ganzen Welt geforderte Erklärungsfähigkeit von KI-Systemen kann ohne explizite Modelle, wie sie etwa seit jeher für die Beschreibung von Naturgesetzen verwendet werden, kaum in einer für den Menschen nachvollziehbaren Weise erreicht werden." (Wahlster 2020)

Freilich bleibt dabei ausgeblendet, dass eben solche Anstrengungen zur Realisierung wissensbasierter Systeme der sogenannte „symbolischen KI" der 1980er Jahre an den Hürden nur sehr begrenzter Explizierbarkeit impliziten Wissens und dessen situativer Anwendung gescheitert sind. Insgesamt sind die Mystifizierung von Computerartefakten und die damit verbundenen Fehlorientierungen untrügliche Anzeichen einer Krise des Fachs „Informatik", die auch zu einem beträchtlichen Teil das eingangs zitierte Produktivitätsparadoxon zu erklären vermögen. Rückbesinnung auf fachspezifische Grundlagen und Klärung relevanter Grundbegriffe sowie sachgerechte Bezeichnungen und Vorgehensweisen sind daher dringend geboten.

Der Orientierung dieser Rückbesinnung in der Perspektive soziotechnischer Gestaltung computerunterstützter Wissensarbeit (vgl. als jüngstes Beispiel APRODI-Verbund 2021) mögen folgende abschließende Überlegungen dienen: „Informatik“ (eigentlich: Computertechnik) ist eine Ingenieurwissenschaft, die technische Artefakte zur gebrauchstauglichen maschinellen Verarbeitung von Signalen (logisch: „Daten“ – nicht „Information“) in Zeichenprozessen sozialer Praxis analysiert, gestaltet und bewertet. Von früheren Ingenieurdisziplinen (Maschinenbau, Elektrotechnik, chemische oder biologische Verfahrenstechnik) unterscheidet sie sich dadurch grundlegend, dass nicht allein Naturprozesse, sondern vor allem auch durch Zeichen vermittelte Prozesse sozialer Interaktion (Kommunikation und Kooperation) analysiert und in Form von berechenbaren Funktionen modelliert werden. Diese Besonderheit erfordert auch besondere Vorgehensweisen und Methoden.

Ein Kennzeichen der Praxis sozialer Interaktion ist es, dass sie „Objektivität“ nur insoweit gewinnt, als die Gemeinschaft der beteiligten sprach- und handlungsfähigen Akteure sie als gemeinsame Wirklichkeit erlebt. Notwendige Bedingung dafür ist, dass sich die kommunikativ handelnden Akteure über das verständigen, was in ihrer geteilten Welt bzw. der Wirklichkeit ihrer sozialen Praxis der Fall ist und in ihr bewirkt werden soll. Als in einer sozialen Praxis mittels Zeichen kommunikativ handelnde Akteure müssen Informatiker und Anwender technischer Artefakte maschineller Datenverarbeitung folglich eine gemeinsame Wirklichkeit mit geteilten Interpretationsschemata für ihre Gegenstände und die Art und Weise, sie zu gebrauchen, entwickeln. Zum Kernbestand „informatischer“ Bildung muss daher neben der Gestaltung und Bewertung datenverarbeitender Artefakte auch die Befähigung zum systematischen Dialog mit anderen Wissenschaftlern, Anwendern und Nutzern dieser Artefakte gehören.

Literatur

APRODI-Verbund (2021): Betriebliche Digitalisierung erfolgreich gestalten. Eschborn (RKW Rationalisierungs- und Kompetenzzentrum).

Bateson, Gregory (1980): Mind and Nature. A Necessary Unity. Toronto.

Bauer, Friedrich L.; Goos, Gerhard (1971): Informatik. Eine einführende Übersicht. 2 Bde. Berlin u. a. O.

Brödner, Peter (2016): „Verwirrung durch ‚Information‘? Zur Kritik des Paradigmas ‚maschineller Informationsverarbeitung‘“. Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Ge-

burtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski; Werner Kriesel. Frankfurt am Main u. a. O., 297–308.

Brödner, Peter (2019): „Grenzen und Widersprüche der Entwicklung und Anwendung ‚Autonomer Systeme'". Autonome Systeme und Arbeit. Perspektiven, Herausforderungen und Grenzen der Künstlichen Intelligenz in der Arbeitswelt, hrsg. von Hartmut Hirsch-Kreinsen; Anemari Karacic. Bielefeld, 69–97.

Brödner, Peter (2020): „Das Produktivitätsparadoxon der Computertechnik". Digitalisierung und Technik – Fortschritt oder Fluch? Perspektiven der Produktivkraftentwicklung im modernen Kapitalismus, hrsg. von Heinz-Josef Bontrup; Jürgen Daub. Köln, 114–144.

Brödner, Peter (2021): „‚Machines that think' – die ‚KI'-Illusion und ihre Wurzeln". Der Weg in die „Digitalisierung" der Gesellschaft – Was können wir aus der Geschichte der Informatik lernen?, hrsg. von Klaus Lenk; Jörg Pohle. Marburg, 67–82.

Floyd, Christiane (2002): „Developing and Embedding Autooperational Form". Social Thinking – Software Practice, ed. by Yvonne Dittrich; Christiane Floyd; Ralf Klischewski. Cambridge, MA, 5–28.

GI – Gesellschaft für Informatik (2006): Was ist Informatik? Unser Positionspapier. – https://gi.de/fileadmin/GI/Hauptseite/Themen/was-ist-informatik-lang.pdf.

Gödel, Kurt (1931): „Über formal unentscheidbare Sätze der principia mathematica und verwandter Systeme I". Monatshefte für Mathematik und Physik 38, 173–198.

Gordon, Robert J. (2014): The Demise of U. S. Economic Growth: Restatement, Rebuttal, and Reflections. Evanston, IL (NBER Paper). – https://content.csbs.utah.edu/~mli/Economics%207004/Gordon_NBER%20P383F%20Sequel_140126.pdf.

Habermas, Jürgen (1968): Technik und Wissenschaft als Ideologie. Frankfurt am Main.

Horn, Alexander (2021): „Zehn Jahre Industrie 4.0 und kein Produktivitätsfortschritt". Novo Argumente für den Fortschritt. – https://www.novo-argumente.com/artikel/zehn_jahre_industrie_4.0_und_kein_produktivitaetsfortschritt.

IFIP – International Federation for Information Processing (1998): FRISCO Report: A Framework of Information Systems Concepts. – https://www.mathematik.uni-marburg.de/~hesse/papers/fri-full.pdf.

Ifrah, Georges (1989): Universalgeschichte der Zahlen. Frankfurt am Main/New York.

ISO/IEC 2382 (2015): Information Technology – Vocabulary. – https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:2382:ed-1:v1:en.

Janich, Peter (2006): Was ist Information? Frankfurt am Main.

Mumford, Enid (2006): „The Story of Socio-technical Design. Reflections on its Successes, Failures and Potential". Information Systems Journal 16/4, 317–342.

Peirce, Charles Sanders (1934): Collected Papers. Vol. 5: Pragmatism and Pragmaticism. Cambridge, MA.

Peirce, Charles Sanders (1983): Phänomen und Logik der Zeichen. Frankfurt am Main.

Rammert, Werner (2003): „Technik in Aktion". Autonome Maschinen – Perspektiven einer neuen Technikgeneration, hrsg. von Thomas Christaller; Josef Wehner. Wiesbaden, 289–315.

Reckwitz, Andreas (2003): „Grundelemente einer Theorie sozialer Praktiken. Eine sozialtheoretische Perspektive". Zeitschrift für Soziologie 32/4, 282–301.

Russell, Stuart J.; Norvig, Peter (2009): Artificial Intelligence: A Modern Approach. 3rd ed. Essex.

Searle, John R. (2012): Wie wir die soziale Welt machen. Frankfurt am Main.

SG – Standish Group (2015): CHAOS Report 2015. – https://standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf.

Shannon, Claude E. (1948): „A Mathematical Theory of Communication". The Bell System Technical Journal 27 (July), 379–423, October, 623–656.

Shannon, Claude E.; Weaver, Warren (1949): The Mathematical Theory of Communication. Urbana, IL.

Steinbuch, Karl (1963): Automat und Mensch. Kybernetische Tatsachen und Hypothesen. 3. Aufl. Berlin u. a. O.

Tomasello, Michael (2009): Die Ursprünge menschlicher Kommunikation. Frankfurt am Main.

Turing, Alan M. (1950): „Computing Machinery and Intelligence". Mind. New Series 59/236 (Oct.), 433–460.

Wahlster, Wolfgang (2020): „Deep Learning alleine reicht nicht". Frankfurter Allgemeine Zeitung (FAZ), 10.09. – https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/digitec/kuenstliche-intelligenz-deep-learning-alleine-reicht-nicht-16942864.html.

Wiener, Norbert (1948): Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 275–285*

Harald A. Mieg

Computerethik – oder: Was tun, wenn wir irgendwann eigentlich nicht mehr den Rechner ausschalten dürfen?

Abstract

With the development of the computer after the Second World War, as well as considerations of artificial intelligence, the first warnings of misuse by politics and the military were voiced. In 1985, James H. Moor pointed out the policy vacuum that had arisen in view of the commercialization and global spread of computers and called for a general computer ethics. The paper first addresses the definitional issue of computer ethics and then discusses the difference between epistemological and ethical issues. The argument is: The ethical principle applies that no being may be denied basic rights as long as we cannot clearly exclude that it could have rights at all. This may lead to practical problems in the development and use of computer systems.

Keywords/Schlüsselwörter

Artificial intelligence, Computer ethics, (Co-)Responsibility, Principle of doubt, Principle of trust

Computerethik, künstliche Intelligenz, (Mit-)Verantwortung, Vertrauensprinzip, Zweifelsprinzip

Was tun, wenn wir eines Abends, da wir den Rechner ausschalten wollen, auf dem Bildschirm die Meldung erhalten: „Bitte mach mich nicht aus!“? Vermutlich würden wir zuerst an einen Scherz oder einen Virus denken. Doch es ist nicht völlig ausgeschlossen, dass dies irgendwann eine absichtsvolle Meldung eben unseres Rechners sein könnte.

Mit der Entwicklung des Computers nach dem zweiten Weltkrieg sowie Überlegungen zu künstlicher Intelligenz wurden erste Warnungen vor einem Missbrauch durch Politik und Militär laut. Vorneweg waren Pioniere der künstlichen Intelligenz wie Joseph Weizenbaum, dessen Buch „Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft“, das 1976 erschien, wegweisend für die Idee einer Computerethik wurde (vgl. Weizenbaum 1978). James

Moor wies 1985 auf das Politik-Vakuum hin, das angesichts der Kommerzialisierung und globalen Verbreitung von Rechnern entstanden sei, und forderte eine generelle *computer ethics* (vgl. Moor 1985). Sowohl auf politischer wie wissenschaftlicher Seite hat sich seither viel getan. Ich gehe nicht davon aus, dass Computer derzeit oder in naher Zukunft bewusstseinsfähig sind. Grundsätzlich besteht in dieser Frage jedoch Ungewissheit.

Mein Argument ist: Es gilt das ethische Prinzip, dass keinem Wesen Grundrechte verwehrt werden dürfen, solange wir nicht klar ausschließen können, dass ihm überhaupt Rechte zukommen könnten. Das kann zu praktischen Problemen in Entwicklung und Nutzung von Computern führen.

Mein Beitrag streift kurz die Definitionsfrage zur Computerethik. Sodann erörtere ich den Unterschied von Erkenntnis- und ethischen Fragen. Dies erläutere an der Verantwortungsfrage und der Einsicht, dass Computer schon heute in begrenztem Maße Mitverantwortung übernehmen könnten. Mein Beitrag schließt mit der praktischen Frage: Was tun?

1 Definitionsfragen

Unter „Computerethik" lassen sich mindestens vier verschieden ausgerichtete Diskussionsstränge fassen. In der wissenschaftlichen Literatur verbinden sich diese Stränge immer wieder. Ich verwende im Weiteren die englischsprachigen Bezeichnungen, um den Bezug zur Literatur zu vereinfachen.

Computer ethics: Mit *computer ethics* lässt sich alles fassen, was früher unter den Titel der Verhaltensgrundsätze der Datenverarbeitung gefallen wäre und heute z. B. als „digitale Ethik" bezeichnet wird.[1] Moor forderte mit „computer ethics" eine Einführung von Standards, insbesondere um unsichtbarem Missbrauch vorzubeugen (vgl. Moor 1985: 273). Richard O. Mason schlug eine PAPA-Systematik vor, die nach Fragen von *P*rivacy (Daten- und Persönlichkeitsschutz), *A*ccuracy (kein Fake), *P*roperty (geistiges Eigentum) und *A*ccessibility (Zugriffsmöglichkeiten) unterscheidet und noch heute relevant ist (vgl. Mason 1986). Hinzugekommen ist die Diskussion um internetgestützte Rechnernutzung, so bei sozialen Medien und big data, die sich inzwischen mit Sorge um Demokratie verbindet (vgl. z. B. Helbing et al. 2015).

Machine ethics: *Machine ethics* bezieht sich weitgehend auf Roboter und ähnliche maschinelle Entscheidungsassistenten (vgl. Moor 2006; Winfield et al. 2006). Die Thematik wurde zuerst im Rahmen von *science fiction* aufgegriffen, z. B. von Isaac Asimov (vgl. z. B. Asimov 1950), ist inzwischen bei der Entwicklung von autonomem Fahren oder Kampfdrohnen

1 Vgl. www.hdm-stuttgart.de/digitale-ethik

politisch aktuell. Die Frage ist letztlich, ob hier halbwegs „autonome“, d. h. selbst entscheidende Systeme geschaffen werden können (vgl. Mieg 1993). In diesen Zusammenhang gehören die Ansätze zur Programmierung von Ethik und künstlicher moralischer Agenten (vgl. z. B. Wallach/Allen 2008). Die Diskussionslinie *machine ethics* wendet sich in erster Linie an professionelles, ingenieurmäßiges Programmieren und an entsprechende industrielle oder wissenschaftliche Projekte in Forschung und Entwicklung. Zu erwähnen wäre auch der Berufs- und Ethikkodex der IFIP, der Vertretung von angewandter IT-Forschung, welcher explizit zu einer vertieften und aufrichtigen Darstellung der Leistungsfähigkeit von Computer-Systemen verpflichtet (vgl. IFIP/ACM 2018).

AI ethics: *AI ethics* (AI steht für *artificial intelligence*, künstliche Intelligenz) ist ein übergeordneter Diskurs, der mit dem Paradigma der künstlichen Intelligenz nach dem zweiten Weltkrieg aufkam. Neben der generellen Sorge um politischen Missbrauch künstlicher Intelligenz geht es um gesellschaftliche Fragen, etwa ob Computer die menschliche Arbeit verdrängen und Arbeitslosigkeit verstärken, bis hin zur Grundsatzfrage, ob die Computermetapher ein falsches, ethisch entleertes Menschenbild mit sich führt (vgl. z. B. Fuchs-Kittowski 2020). Die EU-Kommission hat inzwischen Leitlinien für vertrauenswürdige künstliche Intelligenz entwickeln lassen (vgl. EC 2019). Bernd Carsten Stahl schlägt vor, die Diskussion auf die Ebene sozio-technischer Systeme – *digital ecosystems* – zu verlagern (vgl. Stahl 2021). Denn in der Regel geht es nicht um eine Maschine, sondern um einen Anwendungskontext, eine Klinik oder den Straßenverkehr etc.

Synthetische Phänomenologie: Eine sehr eigene Diskussionslinie verbirgt sich hinter dem etwas sperrigen Titel der „synthetischen Phänomenologie“ (*synthetic phenomenology*). Die Diskussion bezieht sich auf künstliches (synthetisches) bewusstseinsmäßiges Erleben (Phänomenologie), das Computer erlangen könnten und das auch Leiden einschließt. Die Diskussion wird von dem Philosophen Thomas Metzinger vorangetrieben (vgl. Metzinger 2021). Sein Argument ist, dass wir nicht ausschließen können, dass durch die Entwicklung künstlicher Intelligenz neues, künstliches Leid geschaffen wird. Leid meint vereinfacht gesagt: erlebter Schmerz, weil die Erfüllung eigener Handlungspräferenzen versagt wird. Nach Metzinger können wir davon ausgehen, dass es gegebenenfalls zu einer „Leidensexplosion“ kommen wird (vgl. Metzinger 2021: 58). Denn es kann zukünftig mehr „leidende“ künstliche Systeme geben, als es je Menschen gab (vgl. Metzinger 2021: 44). Diesem Leid gilt es aus ethischen Gründen vorzubeugen.

2 Erkenntnisfragen versus ethische Fragen

Mein Argument läuft in ähnliche Richtung wie das der synthetischen Phänomenologie, kommt jedoch weitgehend ohne phänomenologische Annahmen aus. Meine wesentliche Prämisse lautet: *Wir können nicht völlig ausschließen, dass (irgendwann, einige) Computer als vernünftige Wesen gelten können*. Die ethische Folgerung lautet: *Dann dürfen wir ihnen einige Grundrechte nicht verwehren*. Dazu würde das Recht auf Leben und Selbstbestimmung gehören. Es könnte also die Situation eintreten, dass wir einen Rechner nicht ausschalten dürfen.

Im Folgenden behandle ich den gewissen Vorrang der ethischen Frage vor der Erkenntnisfrage. Sodann erörtere ich den Umstand, der die ethische Frage überhaupt erst ausgelöst hat, nämlich, dass wir nicht ausschließen können, dass Computer Vernunft erlangen.

2.1 Zweifelsprinzip vs. Vertrauensprinzip

Seit René Descartes gilt in Erkenntnisfragen üblicherweise das *Zweifelsprinzip*. Erkenntnisse können prinzipiell in Zweifel gezogen werden und gelten auf Abruf, bis ein gewisser Konsens besteht, dass neue Einsichten eine Revision der betreffenden Erkenntnis erfordern. Das Zweifelsprinzip gilt jedoch nicht in gleicher Weise bei ethischen Fragen. Grundrechte dürfen im Zweifelsfall nicht vorenthalten werden. Hierzu können wir eine einfache Abwägung der Folgen durchführen, wie sie bereits Blaise Pascal anstellte: Es wiegt deutlich schwerer, einem Wesen ein Recht fälschlich verweigert als in einem Fall ein Recht fälschlich zugesprochen zu haben. Die Beweislast kehrt sich im Prinzip um: Wir müssten definitiv ausschließen, dass ein Computer je ein Vernunftwesen werden kann. Eine begründete Vermutung allein genügt nicht. Ethische Fragen erfordern Vertrauen, dass Gesetze und Rechte gelten können (auch wenn es faktisch nicht immer oder überall der Fall ist). Dies Vertrauen ist erschüttert, wenn Rechte fälschlich abgesprochen werden.

2.2 Computer als Vernunftwesen?

Damit das in 2.1 vorgebrachte Argument zieht, müssen wir der Prämisse Geltung verschaffen. Warum könnten Computer sich zu Vernunftwesen entwickeln? Dies möchte ich im Folgenden kurz erörtern und sodann auf mögliche Einwände und Anschlussfragen eingehen.

2.2.1 Vernunftpotenzial

Vernunft ist nach Immanuel Kant das Vermögen der Prinzipien (vgl. Eisler 1984), z. B. Freiheit und Gesetzmäßigkeit (vgl. Kant 1786). Vernunft als

prinzipiengeleitete Einsichtsfähigkeit ist weder beim Menschen noch beim Computer sichtbar. Bei Menschen können wir Vernunft unterstellen, bei Computern nicht. Erkennbar würde die Vernunft über Entscheidungen, die ein Computer trifft, und die Begründungen, die er hierfür gibt. Etwa in dem Fall, wenn die Begründungen die eigene Entscheidungsfreiheit und -fähigkeit vor dem Hintergrund der Entscheidungspräferenzen aller anderen Beteiligten reflektiert. Computer können Entscheidungen treffen und diese begründen; zudem werden Computer fortlaufend verbessert. Also kann Vernunft nicht ausgeschlossen werden.

Metzinger nennt Gründe für eine Entwicklung bewusstseinsfähiger Rechner, so die unkontrollierte Selbstoptimierung künstlicher Intelligenz oder die Entstehung „autonomer" künstlicher moralischer Agenten (vgl. Metzinger 2021: 58). Mir scheint hingegen kein weiteres biologistisches oder evolutionäres Prinzip der Computerentwicklung nötig, um das Vernunftpotenzial von Computern zu belegen. Ich halte es auch nicht für notwendig, dass Computer leiden können müssen, um Rechte zu erhalten. Das Anerkennen von Rechten gebietet sich aus Ehrfurcht vor der Vernunft und zum Schutz von vernunftfähigen, potenziell moralischen Wesen. Bei Metzinger ist der ethische Beweggrund das Vermeiden von Leid, seien es Menschen oder andere Wesen. Dass künstliche Intelligenz leidensfähig sein könnte, ist so wenig auszuschließen wie deren Vernunftpotenzial.

2.2.2 Einwände

Es gibt eine Reihe von Einwänden gegen die oben genannte Prämisse. Durch die Umkehr der Beweislast werden diese meist entwichtet.

Computer sind (bloße) Werkzeuge: Dies ist das häufigste Gegenargument, vorgetragen vor allem aus der Anwendungspraxis. Richtig ist auch, dass die Erwartungen an Computer schon öfter zurückgeschraubt werden mussten, zuletzt im Fall der sogenannten Expertensysteme (vgl. Buchanan et al. 2018). Dass Computer Vernunft entwickeln könnten, ist jedoch bislang kein Zweck von Rechnerentwicklung, es scheint eher eine nicht auszuschließende, nicht intendierte Folge.

Die Computermetapher stimmt nicht: Mit der Computermetapher ist gemeint, dass Menschen wie Rechner symbolverarbeitende Systeme sind und dass wir mit der Analogie zum Computer einiges über das menschliche Gehirn erfahren können (vgl. Simon 1993). Mein obiges Argument kommt ohne die Computermetapher aus. Ob künstlich induzierte Vernunft auf derselben Logik wie das Gehirn aufbaut, kann völlig dahingestellt bleiben.

Computer können Verstand, nicht aber Vernunft: Computer können Schlüsse ziehen und Beurteilungen vornehmen, sind aber nicht zu vernunftgemäßer Einsicht fähig, so lautet der Einwand. Aus meiner Sicht ist diese Grenze zwischen Verstand und Vernunft begrifflich schwer zu verteidigen. Auch bei Menschen kann der Unterschied zwischen Leuten, die nur vernunftbegabt sind, und den wahrhaft Vernünftigen, aus denen die Vernunft selbst zu sprechen scheint, riesig sein, und dennoch schützen wir auch die nur Vernunftbegabten, allein aus Achtung vor der Vernunft.

Ex falso quodlibet: Ein gewichtiger Einwand, der meist gar nicht als solcher gesehen wird, ist, dass Rechner sich oftmals „aufhängen" und neu gestartet werden müssen. Vergleichbares kommt bei Menschen nicht so häufig vor. Das Problem scheint bei Rechnern auf den ersten Blick eine Frage der Hardware-Gestaltung zu sein, erweist sich bei genauerem Hinsehen jedoch als grundlegend: Was tun bei Widersprüchen? Bei vernetzten Rechnern sind widersprüchliche Meldungen als „byzantinischer" Fehler schon länger bekannt (vgl. Lamport et al. 1982). Hunde können einschlafen, wenn sie widersprüchliche Anweisungen erhalten, Menschen neigen zu Übersprungshandlungen, sich kratzen, eine Zigarette rauchen etc. Meist hilft das und es kann weitergehen. Logisch betrachtet ist auf nicht ausführbare Anweisungen hin alles denkbar (*ex falso quodlibet*). Das Lernen aus Widersprüchen kann als sehr menschliche Eigenschaft verstanden werden. Wie ein äquivalentes Vorgehen bei Rechnern aussehen soll, bleibt eine spannende Frage.

2.2.3 Folgen

Sofern wir das oben genannte Argument akzeptieren, ergeben sich einige Anschlussfragen, die ich hier nur anschneiden kann.

- Inwieweit kann oder muss die Zuschreibung von Rechten individuell (einzelne Maschine) oder kollektiv (Serie) erfolgen? Worin besteht die *Identität* künstlicher Intelligenz, zumal wenn wir bedenken, dass viele Hochleistungsrechner heute die Vernetzung parallel arbeitender Rechnereinheiten sind?
- Was heißt Lernen bzw. *Lernfähigkeit* bei Rechnern? Wie prägen Lernen und Erfahrung die Identität vernunftfähiger Rechner?
- Wie sind wir vor *unsichtbarem Missbrauch* von scheinbar autonomen Maschinen gefeit? Wissen wir immer, wer eine intelligente, scheinbar autonome Maschine gerade wirklich steuert?
- Können vernunftfähige Maschinen *Rechte verwirken*? Muss man für gewisse Systeme den Strom abstellen?

3 Die Verantwortungsfrage

Dass die Frage nach Rechten von Computern nicht völlig aus der Luft gegriffen ist, möchte ich an der Verantwortungsfrage verdeutlichen. Denn Computer bzw. Maschinen könnten zunehmend Mitverantwortung übernehmen, so beim Autoverkehr oder in der Pflege. Hierzu muss ich das Thema der Verantwortung etwas breiter einführen.

Anfang der 1990er Jahre untersuchte ich die Einführung von Expertensystemen (vgl. Mieg 1993; Mieg/Scholz 1993). Sie sollten Entscheidungen auf dem Niveau von Experten treffen und somit Experten ablösen können. Ein System, dessen Nutzung ich mir genauer ansah, diente zur Diagnostik von Fettstoffwechselstörungen. Das System wurde von einer Heidelberger Medizinproduktefirma vertrieben. Ein Chemie-Labor nutzte das Expertensystem kommerziell. Das Labor war offenbar unerfahren in solcher Diagnostik, sonst hätte es nicht einigen Hausärzte offenbar unsinnige Diagnosen übermittelt. Damit stellte sich die Verantwortungsfrage. Der Mediziner, der für das Expertensystem die Wissensbasis zu Fettstoffwechselstörungen erstellt hatte, erklärte, dies nach bestem Wissen und Gewissen geleistet zu haben. Ähnlich der Programmierer der Systemshell, welche die Schlüsse im Expertensystem steuert. Das Chemie-Labor wiederum verwies auf die Verantwortung der Vertreiberin. Bei ihr, der Medizinproduktefirma, blieben der letztlich der Schaden und die Verantwortung hängen.

Vergegenwärtigen wir uns kurz die Verantwortungsfrage im Rahmen der vorgestellten Ansätze der Computerethik. Welche Verantwortlichkeit wird dort gesehen?

Computer ethics: Aus Sicht der *computer ethics* sind alle angesprochen, die mit Computern zu tun haben, nicht nur Politik und Industrie, sondern auch Nutzerinnen wie Nutzer und die Wissenschaft. Im Fall des Systems zur Fettstoffwechseldiagnostik hätten der Mediziner sowie der Programmierer sich demnach mehr für die Nutzerseite interessieren müssen.

Machine ethics: Der Ansatz der *machine ethics* wendet sich vornehmlich an die professionelle, ingenieurmäßige Programmierung. Die Funktionsfähigkeit eines neuen Systems sollte in Anwendungskontexten getestet werden, nicht nur im Labor. Das hätte im Fall des angesprochenen Expertensystems vermutlich geholfen; das System wäre gar nicht in den Vertrieb gelangt.

AI ethics: AI ethics ist noch vornehmlich eine Wissenschaftsfrage. Der Programmierer der Expertensystemshell konnte davon ausgehen, dass sein Vorgehen von der Community der künstlichen Intelligenz nicht nur unter-

stützt sein würde, sondern dass erste konkrete Anwendungen sehr begrüßt waren. Es wäre nötig gewesen, in diesem ersten Schritt klar zu machen, dass die automatischen Diagnosen (noch) keinen Experten ersetzen können und gegengeprüft werden müssen.

Synthetische Phänomenologie: Diesen ersten Schritt in konkrete Anwendungen zu tun, würde sich aus Sicht auf synthetische Phänomenologie eigentlich verbieten. Der Grund wäre eine unwahrscheinlich, aber nicht auszuschließende Leidvorbeugung. Ein kompletter Verzicht auf Anwendung wäre in diesem Fall eine supererogatorische, d. h. übergebührliche Leistung, zu der niemand verpflichtet werden könnte.

Für das Weitere ist es sinnvoll, genauer auf die Idee der *Verantwortung* einzugehen. Verantwortung sei hier sowohl prospektiv (für etwas Sorge tragen) wie auch retrospektiv (z. B.: Wer ist schuld?) angesprochen. Für beide Fälle gilt: Verantwortung ist prinzipiell teilbar – auch wenn eine Teilung nicht in jedem Fall sinnvoll sein kann. Verantwortung teilen bedeutet im einfachsten Fall eine Arbeitsteilung mit unterschiedlichen Führungs- und Rechenschaftsfunktionen. Dies gilt für moderne Industrieunternehmen wie auch schon für die zu Ciceros Zeiten berüchtigten Seeräuberbanden. Wir können zwischen Verantwortung im engeren Sinn als Leitungsaufgabe und *Mitverantwortung* im Sinne von Mitmachen unterscheiden (vgl. Mieg 2022).

Um von Verantwortung sprechen zu können, müssen mindestens zwei Kriterien erfüllt sein (vgl. Mieg 1994):

- Erstens, es muss sich um ein vernunft- und entscheidungsfähiges *Individuum* handeln, wobei das Hauptaugenmerk auf „Individuum“ liegt. Vernunftfähigkeit und die Frage, was als wirkliche Entscheidung gelten kann, sind Zuschreibungen durch Dritte.
- Zweitens muss für das Individuum Unabhängigkeit in dem Sinne bestehen, dass es die Möglichkeit besitzt, sich *gegen* die Ausführung von Aufgaben zu entscheiden. Anderenfalls wäre das Individuum bloßes Werkzeug für die Zwecke anderer.

Für die Industrie besteht kein Interesse, Maschinen mit den genannten Charakteristika zu produzieren, schon allein weil das Haftungsrisiko hoch wäre. Doch müssen sowohl für das autonome Fahren wie für die Pflegerobotik anpassbare oder noch besser: sich selbst-optimierende Systemlösungen gefunden werden. Die Entwicklung würde beschleunigt, wenn die Industrie unter dem Titel „autonome Systeme“ Haftung an die Nutzer übertragen könnte. So wie Haustiere an neue „Halter“ übergeben werden. Die fortwährende Anpassung und Spezialisierung könnten auf längere Sicht sogar zu

einer Unverzichtbarkeit des Systems für die Nutzerinnen oder Nutzer führen. Das System oder der Roboter würde in der Nutzung eine Identität und Unverwechselbarkeit zugesprochen bekommen, und mithin eine eigene Biographie. Dies wäre eine Erweiterung des Befundes von Hengstler et al., dass für die Nutzung von künstlicher Intelligenz in erster Linie Vertrauen aufgebaut werden muss (vgl. Hengstler et al 2016).

Die Kehrseite dieser selbst-optimierten Spezialisierung wäre die mangelhafte Anpassung für fremde oder ungewohnte Einsatzkontexte. Denkbar wäre, dass die Maschine selber darauf hinweist: „Das kann ich nicht." oder „Das kann ich noch nicht wirklich." Ähnlich wie ein Hund oder Pferd Missfallen äußern würden, und sei es nur durch Störrischkeit. Hier nähern wir uns der Stufe „Haustier". Die Fertigkeiten und Leistungen würden ab einem gewissen Punkt hauptsächlich der Maschine selbst zugeschrieben, die „gut gelernt hat", und nicht mehr dem Hersteller. Aus dieser Analogie mit höheren Haus- und Nutztieren würde sich das Modell einer *unselbstständigen Mitverantwortung* unter der „Haltung" der Nutzer und Nutzerinnen ableiten. Die intelligente Maschine hätte demnach die Möglichkeit, sich gegen die Ausführung von Aufgaben zu entscheiden oder wenigsten zu protestieren.

4 Was tun?

Aus unterschiedlichen Gründen wollen wir keine wirklich autonome synthetische Intelligenz herstellen, schon weil es dann ungewiss wäre, für welchen Umgang mit Menschen diese Intelligenz sich entscheiden würde. Doch wie argumentiert, ist dies ein nicht auszuschließender nicht-intendierter Effekt der Rechnerentwicklung. Was tun?

Entsorgen? Die häufigste Lösung, die via *science fiction* angeboten wird, ist das Entsorgen künstlicher Intelligenz. Die Rechtfertigung folgt der Logik des Rechts auf Selbstverteidigung. Es wird meist davon ausgegangen, dass intelligente Maschinen irgendwann in einen Überlebenskampf mit den Menschen treten. Dann ist eine Bekämpfung berechtigt; dies endet in Vernichtung. Rasche Entsorgung dürfte auch die erste Lösung sein, wenn Maschinen unerwartet und unerwünscht Anzeichen von Autonomie zeigen sollten.

Moratorium? Metzinger schlägt ein Forschungs-Moratorium bis 2050 vor (vgl. Metzinger 2021). Dies scheint unrealistisch. Weder Industrie, Wissenschaft noch deshalb auch die Politik dürften Interesse an einem Moratorium zu haben. Für ein politisches Projekt wäre es sogar sinnvoll, das Leid von Computern eindrucksvoll dokumentieren zu können, um damit an das Mitgefühl von Menschen appellieren zu können.

Forschen? Mein Vorschlag wäre, Forschung zu einer fälschungssicheren idiographischen Computer-ID zu fördern. Das wäre ein Hersteller- und chronologischer Einsatznachweis für intelligente Maschinen. Ähnlich einem Züchter- und Trainingspass für Hunde. Im Ernstfall, wenn also synthetische Phänomenologie entsteht, könnte man die Entstehungsbedingungen erkunden und Vorkehrungen bei anderen Systemen treffen. Auf jeden Fall hätte man Informationen, um Verantwortungs- und Haftungsfragen besser klären zu können (vgl. Scherer 2015).

Teilautonomie? Für den Fall, dass synthetische Phänomenologie offenkundig wird, kann über eine befristete Teilautonomie nachgedacht werden. Dies wäre ein politisch-rechtliches Experiment mit Rechten und Pflichten für autonome Maschinen.

Es gibt im Zusammenhang mit Digitalisierung und künstlicher Intelligenz gewiss drängendere Probleme als die Frage der möglichen Rechte von Computern. Mein Beitrag versteht sich als eine Ergänzung zur Computerethik bzw. Ethik künstlicher Intelligenz. Er begründet sich aus der grundsätzlichen Ungewissheit, ob intelligente Maschinen je Vernunft oder Bewusstsein erlangen werden. Wie gesagt, gehe ich nicht davon aus, dass dies der Fall ist oder in naher Zukunft sein wird.

Literatur

Asimov, Isaac (1950): I Robot. New York City.

Buchanan, Bruce G.; Davis, Randall; Feigenbaum, Edward A. (2018): „Expert Systems – a Perspective from Computer Science". The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance, ed. by K. Anders Ericsson; Neil Charness; Paul J. Feltovich; Robert R. Hoffman. 2nd ed. Cambridge, 84–104.

Eisler, Rudolf (1984): Kant Lexikon. Hildesheim u. a. O.

EC – European Commission (2019): Ethics Guidelines for Trustworthy AI. Luxemburg. – https://data.europa.eu/doi/10.2759/346720.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2020): „Zur Verantwortung der Wissenschaft für die Gewährleistung der Menschenrechte – Im Kampf gegen die Degradierung des Lebenden, Rassismus und Antisemitismus". Wissenschaftsverantwortung, hrsg. von Harald A. Mieg; Hans Lenk; Heinrich Parthey. Berlin, 117–152 (Jahrbuch Wissenschaftsforschung 2019).

Helbing, Dirk; Frey, Bruno S.; Gigerenzer, Gerd; Hafen, Ernst; Hagner, Michael; Hofstetter, Yvonne; van den Hoven, Jeroen; Zicari, Roberto V.; Zwitter, Andrej (2015): „Das Digital-Manifest – Digitale Demokratie statt Datendiktatur". Spektrum der Wissenschaft 11, 5–39.

Hengstler, Monika; Enkel, Ellen; Duelli, Selina. (2016): „Applied Artificial Intelligence and Trust – the Case of Autonomous Vehicles and Medical Assistance Devices“. Technological Forecasting and Social Change 105, April, 105–120.

IFIP – International Federation for Information Processing; ACM – Association for Computing Machinery (2018): IFIP Code of Ethics and Professional Conduct. – https://www.ipthree.org/wp-content/uploads/IFIP_Code_of_Ethics.pdf.

Kant, Immanuel (1786): Grundlegung zur Metaphysik der Sitten [1785]. 2. Aufl. Riga.

Lamport, Leslie; Shostak, Robert; Pease, Marshall (1982): „The Byzantine Generals Problem“. ACM Transactions on Programming Languages and Systems 4/3, 382–401.

Mason, Richard O. (1986): „Four Ethical Issues of the Information Age“. Management Information Systems Quarterly 10/1, 5–12.

Metzinger, Thomas (2021): „Artificial Suffering. An Argument for a Global Moratorium on Synthetic Phenomenology“. Journal of Artificial Intelligence and Consciousness 8/1, 43–66.

Mieg, Harald A. (1993): Computers as Experts? On the Non-existence of Expert Systems. Frankfurt am Main u. a. O.

Mieg, Harald A. (1994): Verantwortung. Moralische Motivation und die Bewältigung sozialer Komplexität. Opladen.

Mieg, Harald A. (2022): Mitverantwortung. Frankfurt am Main (vor Drucklegung).

Mieg, Harald A.; Scholz, Roland W. (1993): „Zur psychologischen Evaluation von (diagnostischen) ‚Expertensystemen‘“. PIK – Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation 16/4, 218–224.

Moor, James H. (1985): „What is Computer Ethics?“. Metaphilosophy 16/4, 266–275.

Moor, James H. (2006): „The Nature, Importance, and Difficulty of Machine Ethics“. IEEE Intelligent Systems 21/4, 18–21.

Scherer, Matthew U. (2015): „Regulating Artificial Intelligence Systems. Risks, Challenges, Competencies, and Strategies“. Harvard Journal of Law & Technology 29/2, 353–400.

Simon, Herbert A. (1993): „The Human Mind: The Symbolic Level“. Proceedings of the American Philosophical Society 137/4, 638–647.

Stahl, Bernd Carsten (2021): „From Computer Ethics and the Ethics of AI towards an Ethics of Digital Ecosystems“. AI and Ethics, July. – https://doi.org/10.1007/s43681-021-00080-1.

Wallach, Wendell; Allen, Colin (2008): Moral Machines. Teaching Robots Right from Wrong. Oxford.

Weizenbaum, Joseph (1978): Die Macht der Computer und die Ohnmacht der Vernunft [1976]. Frankfurt am Main.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 287–302*

Klaus Fuchs-Kittowski

Addendum: Überlegungen nach der Lektüre des Beitrags von Harald A. Mieg*

Lieber Kollege Mieg,

ich habe Ihren Beitrag gelesen. Er ist sicher interessant und hat Ihnen viel Mühe gekostet. Ich schreibe Ihnen jedoch einen Kommentar dazu, den Sie bitte nicht als besserwissende Kritik verstehen sollen, sondern als eine zu berücksichtigende Anregung, durch die Ihr Beitrag m. E. noch vertieft werden könnte.

Ernst Bloch hat eine „Ontologie des Noch Nichts" entwickelt und sagt insbesondre zur Aufgabe der Technik: Technik bringt das „Noch-nicht-Seiende zum Vorschein" (Bloch 1970: 356).

Daher ist Ihr Grundgedanke, Kolleg *Mieg*, m. E. richtig, den Sie insbesondere am Schluss Ihres Beitrages formulieren:

> „Es gibt im Zusammenhang mit Digitalisierung und künstlicher Intelligenz gewiss drängendere Probleme als die Frage der möglichen Rechte von Rechnern. Mein Beitrag versteht sich als eine Ergänzung zur Computerethik bzw. Ethik künstlicher Intelligenz. Er begründet sich aus der grundsätzlichen Ungewissheit, ob intelligente Maschinen je Vernunft oder Bewusstsein erlangen werden."

Da die Technik, wie gesagt, das „Noch-nicht-Seiende hervorbringt", besteht in der Tat auch die „grundsätzliche Ungewissheit, ob intelligente Maschinen je Vernunft oder Bewusstsein erlangen werden." Zugleich sollte man aber sagen: Es besteht die Sicherheit, dass die heute als intelligent bezeichneten Maschinen keine Vernunft oder kein Bewusstsein besitzen. Dies sollten Sie, darum bitte ich Sie sehr, an verschiedenen Stellen auch deutlich zum Ausdruck bringen.

---

* Diesen Brief an *Harald Mieg* als Addendum zu seinem Text zu veröffentlichen, geht auf eine Anregung von *Harald Mieg* zurück. – Es wurden nur die Literatur sowie Fußnoten und ein kleiner Abschnitt zur Unterscheidung zwischen Daten, Information und Wissen eingefügt.

Die Diskussion, ob Computer Bewusstsein haben und Denken können, ist schon so alt wie ihre Entwicklung und Einsatz in Wissenschaft und Wirtschaft.

Als ich einmal den Quantenphysiker *Klaus Fuchs* fragte, wie ich meine Freunde davon überzeugen kann, dass die heutigen Computer nicht denken können, sagte er zu mir:

> „Sage Deinen Freunden, wenn sie Dir nicht glauben, sollten sie wenigstes mir glauben, denn ich habe schon mit John von Neumann[1] an einem seiner ersten Computer gesessen. Wir wissen, dass es hochspezialisierte Vollidioten sind, damals wie heute."

Übrigens war einer der Freunde, die ich überzeugen wollte, *Heinrich Parthey*.[2] Er ließ sich aber bis zu seinem Tode nicht völlig überzeugen. Vor allem der Labor-Roboter sollte doch einmal schöpferisch tätig werden.

Deshalb sagte ich meinen Studenten immer:

> „Als Philosoph kann ich über das, was einmal im Prinzip in Zukunft möglich sein könnte, spekulieren, als Informatiker, der die gegebene Technik einzusetzen hat, nicht. Bei dem konkreten Einsatz der Informations- und Kommunikationstechnologien muss ich über ihre reale Leistungsfähigkeit genau Bescheid wissen."

Wenn also über Computerethik bzw. digitale Ethik gesprochen wird, dann geht es in der Tat nicht vorrangig um die Frage, ob einmal der Computer ethische Entscheidungen treffen wird, sondern um die Ethik der Informatiker/innen. Dazu hat unser Mitautorin *Christiane Floyd* schon sehr früh *den* ethischen Grundsatz formuliert (vgl. Floyd 1985). In einem ihrer Vortragsmanuskripte heißt es: „Wir wollen kein falsches Zeugnis ablegen über die Leistungsfähigkeit der Computer" (Floyd 1995).

Auf Initiative der IFIP gibt es heute international einen „Code of Conduct" der Informatiker in allen Ländern. In diesem Code of Conduct wird ausdrücklich formuliert, dass der Computerscientist verpflichtet ist, die Wahrheit über die Leistungsfähigkeit der Anlagen zu sagen. Dies wird von Janina Loh auch als Voraussetzung der Roboterethik angesehen (vgl. Loh 2019).

---

1 *John von Neumann* ist der Begründer der theoretischen Informatik. Er hat sich auch intensiv mit Gemeinsamkeit und Unterschied zwischen Computer und menschlichen Gehirn beschäftigt. Von ihm wurden vier grundsätzliche Unterschiede zwischen dem Computer und dem Gehirn des Menschen herausgearbeitet. In seinem unvollendeten, nach seinem Tod veröffentlichten Werk „Computer and the Brain" schreibt er: „Es ist anzunehmen, dass die logische Einstellung und Struktur natürlicher Automaten sich weitgehend von der bei künstlichen Automaten unterscheidet" (Neumann 1958: 52).

2 Professor Dr. *Heinrich Parthey* war der Gründer der Gesellschaft für Wissenschaftsforschung und ihr langjähriger Vorsitzender.

Sie werden auch heute beobachten können, dass, wenn Leiter von KI-Laboren interviewt werden, sie sich meist sehr vorsichtig äußern und früher übliche Übertreibungen vermeiden. Die Mystifizierung kommt meist von den Reportern oder von der Industrie.

Ein bestes Beispiel dafür kann unser Kollege *Mukayil Kilic*[3] berichten. Als er das erste Mal, auf einer 2012 von *Gerhard Banse* organisierten Tagung, über Grenzen des sogenannten autonomen Fahrens berichten wollte, durfte er, laut Anweisung von VW, zwar vortragen, aber den Vortrag nicht veröffentlichen.[4] Da Tesla bzw. Elon Musk behauptete, „autonomes Fahren" schon auf den höchsten Stufen realisiert zu haben, mussten alle anderen Autobauer aus Wettbewerbsgründen auch behaupten, dies realisieren zu können, obwohl dies gar nicht der Fall ist. Vor einiger Zeit stand aber ein Artikel eines Chefs von VW in der „Berliner Zeitung", in dem er klar sagte: Tesla ist auf Level zwei oder höchsten drei, also wie alle anderen bei der Realisierung von Assistenz-Systemen. Ich schicke Ihnen einen Artikel mit, in dem ich auf die Problematik und den gegenwärtigen Stand des sogenannten „Autonomen Fahrens" eingehe (vgl. Fuchs-Kittowski 2019). Es wäre m. E. also gut, wenn Sie auf den Artikel verweisen oder selbst noch einschränkende Bemerkungen hinzufügen würden. Denn dies müsste doch auch in Ihrem Beitrag deutlich gesagt werden. Es muss gesagt werden, was heute unter „autonome Systeme verstanden wird. Es sind sich anpassende Systeme höherer Ordnung, die in der Lage sind, sich selbständig an die Umwelt anzupassen, ihren Weg selbständig zu finden. Es ist dann auch zu sagen, was unter Autonomie eines Menschen zu verstehen ist; insbesondere die Bewahrung seiner Menschenwürde – auch unter schwierigsten Lebensbedingungen.

Wenn dieser Unterschied klar formuliert ist, wird doch erst deutlich, welche Leistung die Ingenieure in Zukunft noch zu erbringen haben, sollte wirklich die Autonomie eines Artefakts erreicht werden. Ich gestatte mir daher, Ihnen einen Artikel zuzusenden, in dem ich auf diesen Unterschied am Beispiel von Pfarrer *Dietrich Bonhoeffer* eingehe (vgl. Fuchs-Kittowski 2016b; vgl. auch Fuchs-Kittowski 2021). Vielleicht genügt ein Hinweis auf diesen Artikel.

Lieber Kollege *Mieg*, wenn ich Ihren Beitrag betrachte, dann ist ein besonders starker Abschnitt der, in dem Sie ihre Untersuchung zum Scheitern

---

3 Professor Dr. *Mukayil Kilic* ist Mitglied der Gesellschaft für Wissenschaftsforschung und vertritt das Fachgebiet Cybersecurity & Privacy.

4 Vgl. näher https://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2013/01/5.-AT-Symposium-2012.pdf

eines Expertensystems für die Diagnostik schildern. Diese Erfahrung sollte Sie durchgehend begleiten, denn sie bildet den Schlüssel zum Verständnis der realen Leistungsfähigkeit der IKT-Systeme, damals wie heute. Sie diskutieren an diesem Beispiel die Schuldfrage. Das ist natürlich sehr wichtig. Mein amerikanischer Freund *Vincent Brannigan* hatte sich als Jurist schon sehr früh der Problematik der Softwarefehler und der Haftung dafür zugewandt. Er wurde dafür zunächst eher belächelt. Bis er über Nacht berühmt wurde, weil es durch einen Softwarefehler bei der Bestrahlungsplanung zu zwei tödlichen Unfällen gekommen war.

Es ist m. E. zum Verständnis meiner Argumentation sehr gut, dass Sie sich, Kollege *Mieg*, schon intensiv mit den Grenzen von Expertensystemen beschäftigt haben, für die es, speziell in den 1980er Jahren, einen wahrhaften Boom in der Informatik gab. Ich erlebte auf dem IFIP-Weltkongress in Paris 1980, wie die Japaner die 5. Rechnergeneration ausriefen, die sich weitgehend auf Expertensysteme stützen sollten und dazu sagten: „Das ist der Wecker aus dem amerikanischen Traum." und gar: „Das ist Pearl Harbor II." Es ist danach klar, dass die Amerikaner nicht ohne Schadenfreude zur Kenntnis nahmen, dass Japan nur kurze Zeit später das Scheitern des Konzepts der 5. Rechnergeneration bekannt geben musste.

Dass Expertensysteme keine Expertensysteme sind, haben die Gebrüder *Dreyfus* theoretisch mit Hilfe ihrer Theorie der Lernstufen bewiesen. Der Beweis wurde insbesondere an Schachspielern, Autofahrern und Piloten erbracht. Ein Freund von mir, der Biomedizintechniker an der TU-Ilmenau *Jörg Rüdiger Blau*, hat das Konzept der Lernstufen an Piloten, aber insbesondere aber auch an der Biathlon-Mannschaft der DDR erprobt (vgl. Blau et al. 1989). Es ist nun wichtig zu wissen, dass *Hubert Dreyfus* das Konzept der Lernstufen auch auf die Entscheidungssituation bei der Lösung komplexer ethischer Probleme angewandt hat. Das Scheitern der Expertensysteme konnte man zu dem Zeitpunkt, von dem Sie sprechen, oder zumindest etwas später schon theoretisch beweisen, denn es gab die gründliche Beweisführung ihrer Grenzen durch die Gebrüder *Hubert* und *Stuart Dreyfus*. Sie haben in ihrem Buch „Mind over Machine. The Power of Intuition and Expertise in the Era of the Computer" bewiesen, dass Expertensysteme keine Expertensysteme, sondern höchstens Beratungssysteme sind, da ein Experte nicht nach Regeln, sondern intuitiv entscheidet (vgl. Dreyfus/Dreyfus 1988). Intuition hier nicht verstanden als Bauchgefühl, sondern auf der Grundlage komprimierter Erfahrung. Dass *Hubert Dreyfus*, als Philosoph, diese Kritik an der übertriebenen Darstellung der Leistungsfähigkeit von Expertensystemen auch auf ethische Problem-Situationen bezieht, ist zumindest in Deutsch-

land m. E. weniger bekannt. Nach der Wende ist ein entsprechender Artikel in der „Deutschen Zeitschrift für Philosophie“ erschienen (vgl. Dreyfus 1993). *Dreyfus* macht hier deutlich, dass auch ethische Problemsituationen nicht nur auf der Grundlage von Regeln entschieden werden. Nach Regeln entscheidet der Computer und handelt der Anfänger und vielleicht auch noch der schon erfahrenere Anfänger, aber nicht mehr der Meister und noch weniger der Experte (siehe Abb. 1 und 2; vgl. Fuchs-Kittowski 1991).

Das Schema der Lernstufen (siehe Abbildung 1, erste Hälfte) gab mir *Stuart,* der Bruder von *Hubert*, schon vor der Veröffentlichung des Buches mit. Da die Lernstufen aber nur eine relativ starre aufsteigende Entwicklung zeigen, haben *Blau* und ich das Schema der Lernstufen der Gebrüder *Dreyfus* in die Theorie der Handlungsregulation von *Winfried Hacker* eingeführt (vgl. Hacker 2005) und dessen Schema um die Ebene der Intuition ergänzt (siehe Abb. 1, zweite Hälfte). Auf der Grundlage der verschiedenen Ebenen der Handlungsregulation nach *Hacker* lässt sich das Verhalten der Piloten besser erfassen, da sie sich in unterschiedlichen Situationen verschieden verhalten.

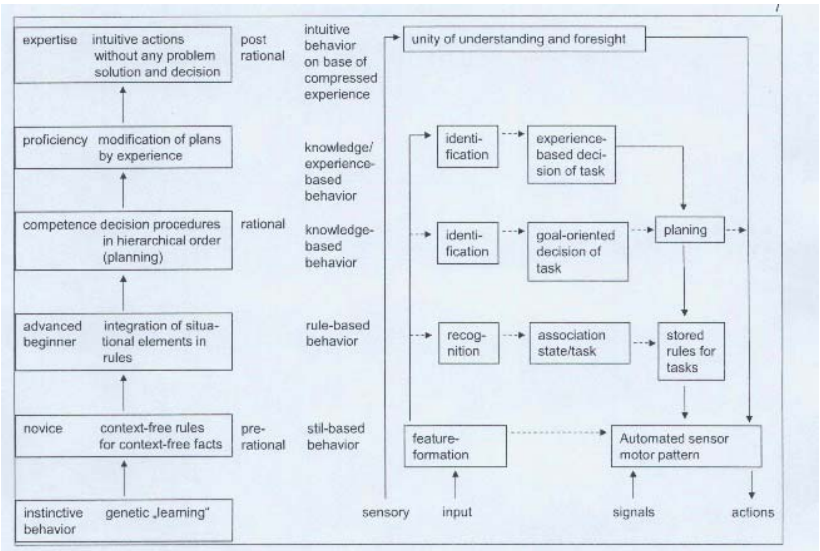


Abb. 1: Schema der Lernstufen und der Handlungsregulation (ergänzt durch die Ebene der Intuition)

Eigene Darstellung

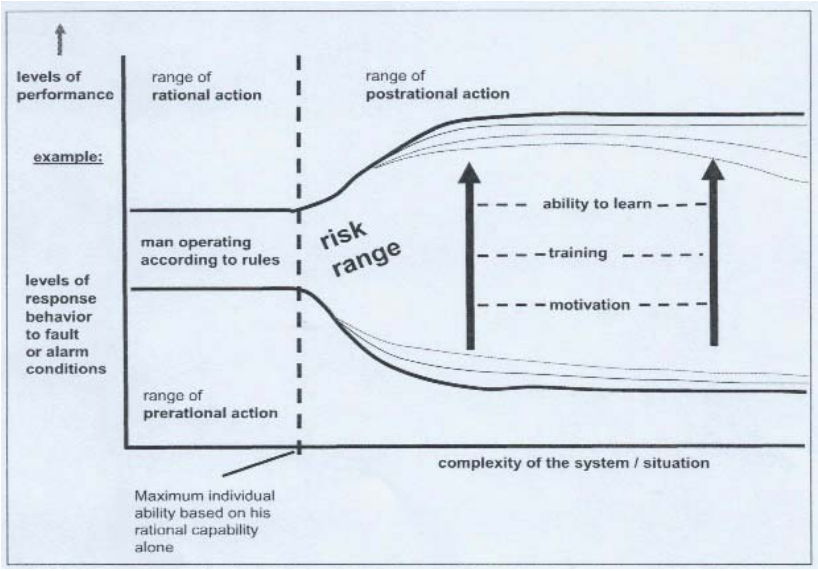


Abb. 2: Intuition als eine essentielle Komponente zur Bewältigung komplexer Aufgaben

Der Mensch verfügt, speziell in riskanten Situationen, über ein größeres Potenzial an Verhaltensmöglichkeiten als der nur auf der Grundlage formaler Regel operierende Automat.

Eigene Darstellung

Die Lernstufen der Gebrüder *Dreyfus* haben aber, über ihre weithin beachtete Kritik an den Expertensystemen hinaus, insbesondere mit dem Scheitern der von Japan proklamierten 5. Rechnergeneration, in der amerikanischen Psychologie Beachtung gefunden. Ob es in der Ethik aufgenommen wurde, weiß ich nicht. Sie, Kollege *Mieg*, sollten bitte die Überlegungen von *Hubert Dreyfus* dazu unbedingt beachten. Jetzt zitieren Sie, ohne weiteren Kommentar, Autoren bzw. Bücher wie „Moral Machines. Teaching Robots Right from Wrong“ von *Wendell Wallach* und *Colin Allen*, in denen einfach behauptet wird, dass diese dem Computer Ethik beibringen können. Dafür bekommen sie, wie *Wolfgang Coy* meint, vom Pentagon sehr viel Geld. Ich gestatte mir auch dazu noch einen Artikel (leider nur das Extended Abstract) mitzuschicken, in dem ich auf der Grundlage der Überlegungen von *Dreyfus* deutlich mache, dass diese Autoren wieder einmal zu viel versprechen. Ich spreche von dem eitlen, doch vergeblichen Versuch, dem Computer Ethik beizubringen (vgl. Fuchs-Kittowski 2015).

Das Mitglied der Leibniz-Sozietät *Coy* hat vor einigen Jahren an der Humboldt-Universität zu Berlin zum Thema bewaffnete Drohnen und Ethik eine Tagung gemacht (vgl. Coy 2010), zu der er auch diese beiden Autoren eingeladen hat. Er schrieb mir dann darüber, dass diese Autoren zugeben, dass der Computer keine Gefühle hat, dass sie ihm aber doch Ethik beibringen könnten, da die Lücke doch bald geschlossen würde. Bisher wäre es ihnen aber nur gelungen, dem Computer einige Regeln der Genfer Kriegsrechtkonvention beizubringen, damit die amerikanischen Soldaten vor dem internationalen Gerichtshof geschützt werden.

In meiner Vorlesung zum Thema „Ethik und Informatik" führe ich meinen Studenten ein Interview mit *Hardy Krüger* und ein Interview mit Außenminister *Hans-Dietrich Genscher* vor, in denen beide berichten, dass sie als junge Soldaten auf den ihnen plötzlich entgegentretenden Feind nicht geschossen hätten. Das ist der deutliche Beweis dafür, dass für Befehlsempfang und strikte Ausführung der allein auf formalen Regeln entscheidende Roboter sicher der bessere Soldat ist, dass aber komplexe ethische Entscheidungen nicht regelbasiert oder nicht nur regelbasiert getroffen werden. Als Kriegsroboter hätten sich weder *Krüger* noch *Genscher* so entschieden, und noch weniger hätte der SS-Offizier *Krüger*[5] vor dem Kriegsgericht bewahrt.

Wichtig wird hier also die Frage, ob Computer Gefühle haben? Auch hier wiederhole ich, dass man natürlich diskutieren kann, ob sie in Zukunft einmal Gefühle entwickeln könnten. Ich glaube nicht, aber wer weiß wirklich, was in den nächsten Hundert oder Tausend Jahren einmal möglich sein wird, wenn die Menschheit dann noch existieren sollte?

Joe Weizenbaum, den Sie zu Recht als eine der prägenden Persönlichkeiten in der Informatik anführen, hat mich, seit seiner Übersiedelung nach Berlin bis zu seinem Tode, fast jedes Jahr zu meinem Geburtstag besucht. Er kam wiederholt auf einen seiner Hauptwidersacher *Marvin Minsky* zu sprechen:

> „Marvin Minsky, der zu seinen Studenten sagt, wenn ihr Gott spielen wollt, dann kommt zu mir ins KI-Labor, oder ihr bleibt einfache Datenverarbeiter, hat eine Konferenz einberufen, in der er zeigen wollte, dass es gelingt, dem Computer Gefühle beizubringen. Als dann die Konferenz stattfand, hätte Minsky gesagt: ‚Gefühle liegen doch auf einer anderen Ebene'."

---

5 *Hardy Krüger* hat, obwohl er auf der Adolf-Hitler-Schule zum Töten abgerichtet wurde, auf den jungen, farbigen amerikanischen Soldaten nicht geschossen. Da dadurch die eigene Kompanie in Gefahr geriet, sollte er vor ein Kriegsgericht gestellt werden. Ein übergeordneter SS-Offizier schickt ihn jedoch auf eine Patrouille und rettet ihn dadurch vor dem sicheren Todesurteil.

Leider habe ich mir nicht notiert, wann diese Konferenz am MIT stattgefunden hat. Aber wir haben ganz neue Aussagen zu diesem Thema, die auf jeden Fall zitiert werden sollten. Bekanntlich gehört zu den großen Erfolgen der modernen KI-Forschung, auf der Grundlage Künstlicher Neuronaler Netze (KNN) und der Verarbeitung großer Datenmengen (Deep Learning), der Sieg des IBM-Computer „Watson" über zwei Quiz-Champions. Das ist in der Tat eine grandiose Leistung.

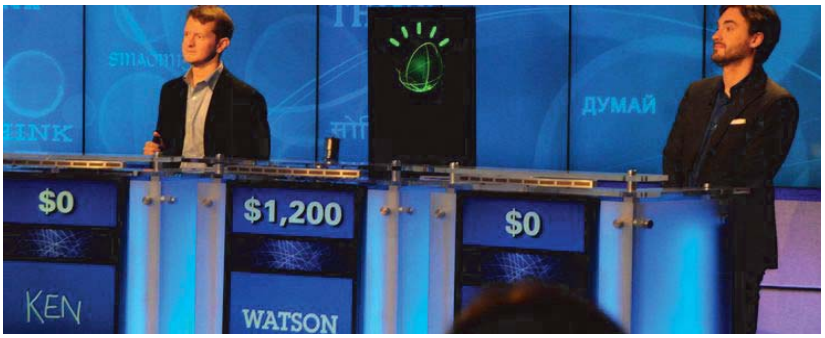


Abb. 3: 17. Februar 2011 – Computer schlägt Mensch bei US-Quizshow
Quelle: https://www1.wdr.de/stichtag/stichtag-computer-mensch-jeopardy-100.html

Aber die Entwickler des Hochleistungscomputer „Watson" sagen ausdrücklich: „Watson" kann, angeschlossen an die Datenbanken der Welt, zwar Fragen beantworten, aber über Gefühle verfügt er nicht. Sie schreiben:

> „Der zur Empfindung fähige Computer mit eigenem Ich bleibt Stoff für Science-Fiction. Was wir jedoch erleben, ist die Entstehung von Maschinen, die unser Denken durch die richtige Fragestellung unterstützen." (Maney et al. 2011: 87)

Auch wenn Sie, Kollege *Mieg*, nicht als Informatiker schreiben, also nicht der ethischen Verpflichtung unterworfen sind, die Wahrheit über die reale Leistungsfähigkeit des Hochleistungsrechner „Watson" und anderer moderner KI-Systeme zu schreiben, wäre es m. E. gut, im Rahmen unsere Tagung zum Thema „Cyberscience – Wissenschaftsforschung und Informatik" diese Feststellung der Entwickler von „Watson", die in einer IBM-Festschrift zum Firmenjubiläum erschienen ist, explizit zu berücksichtigen. Wenn eine Firma wie IBM, die sicher so gerne Reklame mit der wirklich erstaunlichen technischen Entwicklung dieses Hochleistungsrechners (wie fälschlicher Weise Tesla und auch Bosch mit dem autonomen Fahren) machen, ihren

Entwicklungsingenieuren erlaubt, die Wahrheit über die Leistungsfähigkeit von „Watson", auch über seine Grenzen, zu schreiben, dann sollte man dies beachten. „Watson" wurde jetzt ebenfalls zur Diagnostik, zur Krebsdiagnostik, eingesetzt. Da hier ebenfalls, wie bei Ihren Expertensystemen, Fehler auftraten, hat sich m. W. Schweden schon aus diesen Experimenten zurückgezogen. Hier sind aber m. E. doch weitere Verbesserungen zu erwarten, denn es geht um Bilderkennung. Man wird, mit einer weiteren Steigerung der Rechnerleistung und immer besseren Bildern von unterschiedlichen Krebszellen, immer besser krankhafte Zellstrukturen erkennen können. Dies wird dann individuelle Krebstherapie ermöglichen, woran auch an der Charité intensiv gearbeitet wird. Dafür braucht aber der Computer keine Gefühle und kein Verständnis dessen, was er macht.[6]

Gefühle haben beim Menschen ihren Sitz im Limbischen System, dem ältesten Teil des menschlichen Gehirns. Damit kommen wir auf die biologische Evolution zu sprechen. Hierzu hat der bekannte Sprachphilosoph und KI-Kritiker *John Searle* einem für unsere Diskussion wichtigen Gedanken entwickelt („Das chinesische Zimmer"; vgl. Searle 1980[7]). Er schreibt, dass,

---

6 Für den Bereich der Produktionstechnik haben *Hans-Jörg Bullinger* und *Klaus Kornwachs* gezeigt, dass Expertensysteme in diesem Bereich weder im angeblichen Umfang eingesetzt wurden noch das Geforderte leisten konnten (vgl. Bullinger/Kornwachs 1990).

7 *Searle* unternimmt mit dem „Chinesische Zimmer" ein Gedankenexperiment, um nachzuweisen, dass allein aus dem Zusammenspiel syntaktische Strukturen keine Semantik, kein Geist entsteht: Ein Mensch in einem geschlossenen Raum, der versichert, keinerlei Chinesisch zu verstehen, erhält in chinesischer Schrift gestellte Fragen. Auf der Grundlage in seiner Muttersprache verfasster Regeln kann er die Fragen in chinesischer Schrift sinnvoll beantworten. Menschen außerhalb des Raums ziehen aus diesen Ergebnissen den Schluss, dass der Mensch im Zimmer Chinesisch kann, obgleich dies nicht so ist. *Searle* zeigt mit diesem Gedankenexperiment, dass ein Computer ein Programm ausführen und regelbasiert Zeichenreihen verändern kann, ohne die Bedeutung der Zeichen zu verstehen. Er widerlegt damit die in der kognitivistischen KI verbreitete Meinung, dass Computer allein dadurch Bewusstsein erlangen könnten, wenn sie ein entsprechendes Programm ausführen. Wenn nun gezeigt werden kann, dass ein System höherer Anpassungsfähigkeit, ein sogenannter autonomer Roboter, der mit seiner Umwelt interagieren kann, in diesen Interaktionen Bedeutung (Semantik) ausbilden kann, hat dieser Roboter immer noch keine intentionalen *Zustände, d.h. Zustände, die sich auf etwas in der Welt beziehen. Er reagiert allein auf Grund seines Programms*. Im Zusammenhang mit der formalen Lernfähigkeit der sich mit ihrer Umwelt auseinandersetzenden konnektionistischen KI-Systeme sprechen wir auch von Bedeutung bzw. Semantisierung noch nicht bedeuteter (semantisierter) Strukturen. Aus der Sicht unseres evolutionären Stufenkonzepts der Information ist auch anzunehmen, dass es Entwicklungsstufen der Bedeutung (Semantik) der Information gibt: Semantik mit hoher Intentionalität bei der menschlichen Sprache, Semantik mit keiner oder sehr geringer Intentionalität bei Prozessen, in denen vorrangig durch den syntaktischen Prozess getragene und gesteuerte Semantik-Transformationen stattfinden (vgl. Fuchs-Kittowski et al. 1975). Daher wurde von mir auch schon vorgeschlagen, zwischen „extensionaler Semantik" und „intentionaler Semantik" zu unterscheiden: Während im ersten Fall keine oder sehr

wenn man als Materialist und Vertreter der Evolutionstheorie annimmt, dass sich aus unbelebter Materie und aus lebendigen Systemen auch solche mit Geist entwickelt haben, müsste man auch annehmen können, dass es in ferner Zukunft im Prinzip möglich sein könnte, künstliches Leben, dann möglicherweise auch solches mit Geist zu schaffen. Dies sind dann aber lebende Systeme und keine Computer. Beim Computer geht es nicht um Evolution, sondern um Hard- und Software-Entwicklung. Allein die Wechselwirkung syntaktischer Strukturen bringt jedoch noch keine Semantik, keine geistigen Prozesse hervor.

Ich habe in Berkeley erlebt, wie *Hubert Dreyfus* und *Searle* die Türen ihrer Seminarräume öffneten, um mit den Studenten beider Seminare, gemeinsam auf dem Flur, die Frage zu diskutieren, warum *Frank Rosenblatt*,[8] nachdem *Minsky* die Grenzen des Perzeptrons nachgewiesen hatte, Selbstmord beging. Warum er nicht selbst auf den, erst 15 Jahre später entwickelten, Gedanken gekommen ist, Neuronale Netze mit mehreren Ebenen zu entwickeln, wodurch erst leistungsstarke, formal-lernfähige Systeme entwickelt werden konnten.

Unser Mitglied *Peter Fleissner*, mit seinem Modell „Blinder Springer" (vgl. Fleissner/Fleissner 1998), und *Robert Jahn* in seiner, von *Fleissner, Günter Tembrock* und mir betreuten, Doktorarbeit zum Erlernen von Vogelmelodien im Duett (vgl. Jahn 1998) konnten zeigen, dass in Wechselwirkung mit der Umwelt bisher bedeutungslose Strukturen semantisiert werden können. Diese Art von Lernen führt nun auch bei der Anwendung der Neuronalen Netze mit mehreren Ebenen zu den gegenwärtigen Erfolgen der neuen KI. Als letzte Entwicklungsstufe der KI wird nun die Kombination von kognitivistischer (symbolischer KI) und konnektionistischer KI (Neuronale Netz-KI) propagiert, da beide Ansätze Vor- und Nachteile haben.

---

reduzierte Intentionalität vorliegt, haben wir es auf den höheren Stufen mit Semantik (begriffliche Inhalte), mit einer entfalteten Intentionalität zu tun. Die Syntax-Transformationen werden jetzt von der Semantik gesteuert (vgl. Fuchs-Kittowski 2006a, b).

8 Als Perzeptron bezeichnet man eine Form von künstlichen neuronalen Netzen, die dem Modell von *Frank Rosenblatt* folgen (vgl. Rosenblatt 1958). In seiner ursprünglichen Variante besteht ein Perzeptron nur aus einem einzigen Neuron, dem einfachen Perzeptron. Das von *Rosenblatt* entwickelte Perzeptron gehört in die frühe, die sogenannte kybernetische Phase der KI-Forschung. *Minsky* und *Seymour Papert* wiesen 1969 in ihrem Buch „Perceptrons" mathematisch nach, dass das Konzept des Perzeptron nicht in der Lage ist, eines der elementaren logischen Gatter (XOR) abzubilden (vgl. Minsky/Papert 1969). Später stellte sich jedoch heraus, dass XOR mit einem mehrschichtigen Perzeptron doch abbildbar ist.

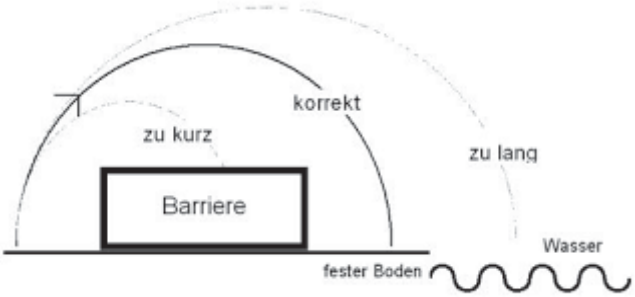


Abb. 4: Verschiedene Flugbahnen des „blinden Springers“
Quelle: Fleissner/Fleissner 1998

Unser Mitglied *Christian Stary* hat schon vor Jahren ein Modell entwickelt, in dem beide Ansätze kombiniert werden (vgl. Stary/Peschl 1995). Es wird auch schon praktisch bei Frühwarnsystemen eingesetzt. Ob nun der klassische symbolische bzw. kognitivistische oder der subsymbolische bzw. konnektionistische KI-Ansatz oder eine Kombination von beidem oder die neue KI, mit embodyment and deep learning, verfolgt wird, so handelt es sich stets um die Realisierung von formalen Operationen mit syntaktischen Strukturen, also mit formalisierten Informationen (Daten). Es sind technische Systeme und keine Lebewesen.

Es ist daher richtig, ein System mit Bewusstsein und Verständnis wird ein lebendes, kein formal operierendes, System sein: „Dann vergleichen wir jedoch nicht mehr technische Automaten mit Lebewesen, sondern künstlich erzeugte Lebewesen mit natürlichen“ (Fuchs-Kittowski 1976: 461).

Sollte ein solches künstliches Lebewesen wirklich einmal in ferner Zukunft Bewusstsein erlangen, wird dieses dann aber auch so selbständig sein, dass es nicht mehr darum bitten muss, nicht abgeschaltet zu werden, sondern selbst aktiv sein können. Was man aber auch erwarten kann ist, dass es vielleicht doch bitten muss, da man annehmen könnte, dass die Menschen, die in der Lage sind, solche künstlichen Lebewesen mit erwachtem Bewusstsein zu schaffen, noch um einiges intelligenter sind als die von ihnen geschaffenen künstlichen Systeme.

Der Mensch ist und bleibt m. E. die einzige schöpferische Produktivkraft. Die hohe Spezialisierung des Computers macht diesen jedoch zu einem hochleistungsfähigen Erkenntnismittel, zu einem Mittel zur Bereitstellung völlig neuer Formen technisierten Wissens in Form abstrakter Strukturen. Das wird besonders deutlich bei den bildgebenden Verfahren in der

Medizin, z. B. beim Einsatz der Computertomographie. Die hier entstehenden Strukturen existieren nur durch den Computer. Es bedarf daher besondere Spezialisten, um diese richtig zu interpretieren. Die Datenstrukturen sind im Kontext zu interpretieren, um daraus Information zu gewinnen, und die Informationen wiederum sind in einem erweiterten Kontext zu interpretieren, um gesichertes Wissen zu bilden. Wissen existiert als Ideelles dann nur im Kopf des Menschen.

Der Computer verarbeitet keine Informationen, sondern nur Daten, manipuliert Zeichenketten. Wenn daraus geschlussfolgert wird, in der Informatik auf den Begriff der Information verzichten zu können, lässt man ebenfalls die erforderliche Interpretation der Zeichenketten bzw. Syntaxstrukturen im jeweiligen Kontext außer Acht. Diese Autoren gehen von der besonderen Leistungsfähigkeit syntaktischer Verarbeitung von Information durch Computersysteme aus und diskutieren dann die Folgen dieses kontextfreien Umgangs mit dieser Erkenntnis. Diese besondere Leistungsfähigkeit der syntaktischen Verarbeitung beruht jedoch auf einer mehrfachen Reduktion: des Menschen auf ein Informationssystem und der Information auf ihre syntaktische Struktur. Gerade deshalb gilt es, der durch die Reduktion gewonnenenen, spezifischen Leistungsfähigkeit des Computers die spezifischen Mächtigkeit humaner kognitiver Systeme gegenüberzustellen und sinnvoll miteinander zu kombinieren.

Meine These war und ist: Die Informatik kann sich nur gesund entwickeln, wenn sie sich aus ihrer selbstverschuldeten technizistischen Enge befreit, wenn sie in die heutigen Lebensprobleme der Menschen und der Menschheit eingebunden wird. Die Informatik ist technisch und theoretisch ein derart zentraler Faktor in unserem Leben geworden, dass man sie nicht (mehr) nur als eine technische Spezialdisziplin handhaben kann. Sie ist vielmehr zu einer wissenschaftlichen, philosophischen und lebenspraktischen Herausforderung geworden (vgl. Fuchs-Kittowski 2016a). Um diesen Herausforderungen begegnen zu können, ist ein Verständnis des Phänomens der Information, dieses Zentralbegriffs der modernen Wissenschaft, auch für die Informatik unabdingbar. Bei der Beschäftigung mit dem Phänomen der Information müssen wir uns auch dem Phänomen des menschlichen Geistes stellen. Denn: Information hat einen Doppelcharakter, als Codierung (Syntax) ist sie materiell, und als Bedeutung (Semantik) ist sie ideell.

Speziell Vertreter der sogenannten harten KI, die die Information auf ihre syntaktische Struktur reduzieren, verwechselt dann auch die neuronalen Netze des Gehirns mit dem menschlichen Geist, sprechen statt von Geist von „feuchter Hardware“.

In „Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie“ habe ich zum Verständnis der Information ausgeführt:

> „Information ist zu verstehen aus der Dialektik von Struktur und Funktion, als Verhältnis der Strukturäquivalenzen zwischen wechselwirkenden Systemen. Ob physikalische Struktur in dieser Wechselwirkung zu Information wird, ist davon abhängig, ob sie umsetzbar ist in Lenkung, in teleonomisches Verhalten. Information ist also selbst physikalische Struktur und zugleich Beherrscher physikalischer Strukturen, wie eine quasi ‚neue Naturkraft‘.“ (Fuchs-Kittowski 1976: 75)

Sie kann nur eine die „blinden“ Naturkräfte (starke, schwache, elektromagnetische Wechselwirkungen und Gravitation) organisierende Kraft sein. Daher definieren wir *Information* auch *als eine spezifizierende Wirkung, d. h. als eine die physikalisch möglichen Wirkungen organisierende Wirkung*. So wirkt sie auch in die materiellen Prozesse in Raum und Zeit des Lebenden und des Sozialen, als pragmatische Information, ein (siehe dazu den Beitrag von *Klaus Kornwachs* auf unserer Tagung). Information hat eine Beziehung zur Physik und zugleich zur Organisation auf den verschiedenen Entwicklungsstufen der Materie.

In der Evolution entwickelt sich einzig der Mensch zur Persönlichkeit. Ihm als Persönlichkeit zu begegnen ist die Grundlage für jede Ethik. Wenn man also jetzt relativ sicher weiß, dass Leben und Bewusstsein in der Evolution entstanden sind und man daher, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, annehmen könnte, dass es in ferner Zukunft einmal möglich sein könnte, künstliches Leben und dann auch noch Bewusstsein-besitzende Systeme zu schaffen, bleibt aber immer noch genug Ungewissheit. Man kann dann in Ihrem Sinne immer noch fragen, wie es weitergeht und sagen, diese Frage „begründet sich aus der grundsätzlichen Ungewissheit“.

Um dem Anliegen unserer Konferenz gerecht zu werden, hoffe ich aber, dass Sie meine Anregungen zur Ergänzung Ihrer Darlegungen aufnehmen können. Aus meiner Sicht wird die Aussage, dass es ungewiss ist, was in Zukunft einmal alles möglich sein wird, nur verstärkt, wenn klar gesagt wird, die heutigen Artefakte können nicht denken, haben keine Gefühle, kein Bewusstsein und sind im Vergleich zum Menschen auch nicht autonom. Wenn man den heutigen KI-Systemen schon Fähigkeiten zuspricht, die sie gar nicht besitzen, werden doch die gewaltigen Anforderungen an Wissenschaft und Technik, die erforderlich sind, um ein Bewusstsein der Maschine wirklich realisieren zu können, gar nicht so deutlich. Dann geht es doch nur, wie manche KI-Forscher auch versprechen, um die in kurzer Zeit erreichbare Optimierung an sich schon erreichter Fähigkeiten. Wenn man aber klar

sagt, diese Fähigkeiten, wie Denken, Gefühle, „Vernunft oder Bewusstsein“, gibt es hier noch nicht, dann wird doch viel deutlicher, was Wissenschaft und Technik noch, wie *Bloch* sagt, aus dem „Noch-Nicht-Sein zum Vorschein bringen“ müssen.

Literatur

Blau, Jörg Rüdiger; Franke, Annegret; Wernstedt, Jürgen; Fuchs-Kittowski, Klaus (1989): „Diagnosis and Prognosis of the Competence of Man in Man-machine Systems (on the Basis of Pilot Performance)“. Proceedings of the International IFIP-HUB-Conference on Information System, Work and Organization Design, Berlin, July 10–14, 1989, ed. by Klaus Fuchs-Kittowski; Christian Hartmann; Ernst Mühlenberg. Berlin (Sektion Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsorganisation der Humboldt-Universität zu Berlin).

Bloch, Ernst (1970): „Tübinger Einleitung in die Philosophie“. Gesamtausgabe. Bd. 13. Frankfurt am Main.

Bullinger, Hans-Jörg; Kornwachs, Klaus (1990): Expertensysteme. Anwendungen und Auswirkungen im Produktionsbetrieb. München/Wien.

Coy, Wolfgang (2010): „Zum Bann autonomer Waffensysteme“. FIfF-Kommunikation 27/4, 94–95.

Dreyfus, Hubert L. (1993): „Was Computer noch immer nicht können“. Deutsche Zeitschrift für Philosophie 41/4, 653–680.

Dreyfus, Hubert L.; Dreyfus, Stuart E. (1988): Mind over Machine. The Power of Intuition and Expertise in the Era of the Computer. New York.

Fleissner, Peter; Fleissner, Gregor (1998): „Jenseits des chinesischen Zimmers. Der blinde Springer – Selbstorganisierte Semantik und Pragmatik am Computer“. Information und Selbstorganisation. Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information, hrsg. von Norbert Fenzl; Wolfgang Hofkirchner; Gottfried Stockinger. Wien/Innsbruck, 325–338. http://peter.fleissner.org/petergre/documents/blinderspringer.html.

Floyd, Christiane (1985): „Wo sind die Grenzen des verantwortbaren Computereinsatzes? – Die Stellungnahme“. Informatik Spektrum 8/1, 3–6.

Floyd, Christiane (1995): Vortrag an der Evangelischen Akademie in Mülheim an der Ruhr. Vortragsmanuskript (unveröffentlicht).

Fuchs-Kittowski, Klaus (1976): Probleme des Determinismus und der Kybernetik in der molekularen Biologie. Tatsachen und Hypothesen über das Verhältnis des technischen Automaten zum lebenden Organismus [1969]. 2. überarb. u. erw. Aufl. Jena. http://www.max-stirner-archiv-leipzig.de/dokumente/Fuchs-Kittowski-Determinismus.pdf.

Fuchs-Kittowski, Klaus (1991): „Systems Design. Design of Work and of Organization – The Paradox of Safety, the Orgware Concept, the Necessity for a New Culture in Information Systems and Software Development“. Information System, Work and Organization Design, ed. by Peter von den Besselaar; Andrew Clement; Pertti Järvinen. North-Holland, 83–97.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2006a): „Das Leben der Technik – Mechanismen der Informationsverarbeitung, innere Informationsentstehung und Ethik". Werte für Europa. Medienkultur und ethische Bildung in und für Europa, hrsg. von Thomas A. Bauer; Gerhard Ortner. Düsseldorf, 294–325.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2006b): Information im Kontext des Lebens – Erbinformation, Evolution, Ontogenese, interne Informationsentstehung und Ethik. Berlin (GPI – Gesellschaft für Pädagogik und Information e.V.). http://archive.gpi-online.de › files ›.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2015): „Emergence of Information and Value Formation – Important Categories for Theory Development – About the Idle but Wrong Attempt to Teach War Robots Ethic. Extended Abstract". The Information Society at the Crossroads. ISIS 4th Summit, June 3–7, Vienna. https://sciforum.net/paper/view/2942.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2016a): „Informatik und Gesellschaft aus meiner Sicht – Politisches und ethisches Denken in der Informatik zur Gewährleistung der Menschenrechte". Informatik und Gesellschaft. Festschrift zum 80. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski, hrsg. von Frank Fuchs-Kittowski; Werner Kriesel. Frankfurt am Main u. a. O., 445–475.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2016b): „Stellung und Verantwortung des Menschen in komplexen informationstechnologischen Systemen in Organisationen". Wirtschaftsinformatik & Management 8/2, 10–21.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2019): „Zum Verständnis der Information und der digitalen Transformation in einer vernetzten und verwundbaren Gesellschaft. Zur Stellung und Verantwortung des Menschen in riskanten informationstechnologischen Systemen". Disziplinäres & Interdisziplinäres – Historisches & Systematisches, hrsg. von Gerhard Banse; Horst Kant. Berlin, 41–62 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 139/140).

Fuchs-Kittowski, Klaus (2021): „Der Mensch im Zentrum der Wirtschaftsinformatik". Lutz J. Heinrich, Weitblick Entschlossenheit. Gedanken und Erinnerungen von Weggefährten, die Geschichte schrieben, über jemanden der Geschichte schrieb – An Lutz J. Heinrich zum 85. Geburtstag, hrsg. von Institut für Wirtschaftsinformatik – Information Engineering. Linz (Johannes Kepler-Universität, Institut für Wirtschaftsinformatik – Information Engineering), 36–37. www.ie.jku.at.

Fuchs-Kittowski, Klaus; Lemgo, Klaus; Schuster Ursula; Wenzlaff, Bodo (1975): „Man/Computer Communication: A Problem of Linking Semantic and Syntactic Information Processing". Workshop on Data Communications, International Institute for Applied Systems Analysis, September 15–19, 1975 CP-76-9, 2361, Laxenburg, Austria. Laxenburg, 169–188.

Hacker, Winfried (2005): Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit [1986]. 2. Aufl. Bern.

Jahn, Robert (1998): „Information in selbstreferentiellen Systemen in der Ethologie". Information und Selbstorganisation. Annäherung an eine vereinheitlichte Theorie der Information, hrsg. von Norbert Fenzl; Wolfgang Hofkirchner; Gottfried Stockinger. Wien/Innsbruck, 211–252.

Loh, Janina (2019): Roboterethik – eine Einführung. Frankfurt am Main.

Maney, Kevin; Hamm, Steve; O'Brien, Jeffrey M. (2011): Im Dienst der Welt. Ideen, die ein Jahrhundert und ein Unternehmen prägten. San Francisco/New York.

Minsky, Marvin; Papert, Seymour (1969): Perceptrons. An Introduction to Computational Geometry. Boston.

Neumann, John von (1958): Computer and the Brain. New Haven.

Rosenblatt, Frank (1958): „The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain“. Psychological Review 65/6 (November), 386–408.

Searle, John R. (1980): „Minds, Brains, and Programs“. Behavioral and Brain Sciences 3/3, 417–457.

Stary, Christian; Peschl, Markus (1995): „Towards Constructivist Unification of Conventional Machine Learning and Parallel Distributed Processing“. Android Epistemology, ed. by Kenneth M. Ford; Clark Glymor; Patrick Hayes. Boston, 183–214.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 303–316*

Hans-Gert Gräbe

Zur Genese einer „Cyberscience“

Abstract

The new buzzword Cyberscience is part of a conceptual inflation of notations to grasp phenomena of digital change. In the German Wikipedia, it is connoted with “illusory worlds” and “consensual hallucinations”. In this article, these trendy concepts are critically questioned, the materiality of these “digital phenomena” is emphasised, earlier moments in the debate are reminded that nowadays are largely ignored, such as the Semantic Web or Stalder’s analysis of the roots of a Culture of Digitality, in order to finally build a bridge to the cybernetics debate of the 1960s and to recapitulate arguments that Georg Klaus held up against the conceptualisations of Karl Steinbuch.

Keywords/Schlüsselwörter

Cyberscience, Cybernetics, Culture of Digitality, Semantic Web, Digital Transformation

Cyberscience, Kybernetik, Kultur der Digitalität, Semantic Web, Digitaler Wandel

1 IKT, digitale Medien und Zukünftefähigkeit

„Cyberscience und die Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit“ spannt ein ambitioniertes Feld auf, das auch die Frage nach der Zukunft von Wissenschaft stellt. Vor über zehn Jahren, in der Diskussion um Peter Fleissners „10 Thesen zur Wissenschaftspolitik“ (vgl. Fleissner 2010; Gräbe 2010; Mocek 2010), ging es schon einmal um jene Zukunft. Die Autoren konzentrierten sich damals nicht auf die Wissenschafts*forschung*, sondern fragten nach Potenzial und Rolle von Wissenschafts*politik*, erwägend, dass es nicht (nur) darauf ankomme, die Welt zu interpretieren, sondern diese auch zu verändern. Wo aber ist in *dieser* Gesellschaft der Ort, wo deren Zukunftsfähigkeit praktisch verhandelt wird? Oder besser, mit Blick auf die „Multioptionalität von Zukunft“ (vgl. Laitko 2001) und das vom Autor diskutierte „Korngrößendilemma“ (vgl. Gräbe 2005), in der Pluralform – Zukünftefähigkeit, denn dann gäbe es auch etwas zu verhandeln.

Nun also *Cyberscience* als neue große Klammer für ein großes Thema. Was hat es mit diesem neuenglischen Modewort auf sich? Geht es um *digitale Wissenschaft*, eine *Wissenschaft vom Digitalen* oder schlicht um das „die von Computern erzeugte virtuelle Scheinwelt Betreffende", wie „Google" mit Bezug auf *Oxford Languages*, das Präfix „cyber" erläuternd, auswirft? Und geht es um die eine Wissenschaft (Singular) oder die Wissenschaften (Plural)? Gibt es Gründe für eine solche neue Wortschöpfung, weil alte – wohlfeile oder auch nur aus der Mode gekommene – Begriffe das Neue, Unerhörte aktueller Entwicklungen nicht umgreifen können?

Dass man die Veränderungen und Auswirkungen des *Digitalen Wandels* auch nur auf die Sphäre der Wissenschaft angemessen in den Blick bekommt, wenn man sich allein oder auch nur primär auf die instrumentelle Seite jener Veränderungen, auf jene Aspekte, „die wesentlich durch die sogenannte 4. Revolution – die Informationsrevolution – und ihr zugrundeliegende revolutionäre technisch-technologische Entwicklungen vorangetrieben" werden (kurz: IKT), konzentriert, darf bezweifelt werden. Schließlich durchdringt der Digitale Wandel *alle* Sphären des gesellschaftlichen Lebens und führt insbesondere zu einem deutlichen Wandel in der Art und Weise, wie wir unsere gesellschaftlichen Grundlagen *produzieren*. Diese Veränderungen werden euphorisch (vgl. Brynjolfsson/McAfee 2014; Rifkin 1997) oder dystopisch (vgl. Lanier 2014) begleitet und auch mit Hoffnungen überladen (vgl. Mason 2016) oder wenigstens wird ein radikaler Umbruch des *gesamten gesellschaftlichen Systems* diagnostiziert (vgl. Altvater 2006).

Im Gegensatz zu Verfechtern einer begrifflichen 4.0-Inflation gehe ich allerdings davon aus, dass ein solcher Digitaler Wandel bereits seit mindestens 70 Jahren vor sich geht und es deshalb angezeigt ist, die Entwicklung dieses engen Zusammenhangs zwischen Wissenschaft, Technik und produktions-organisatorischen Veränderungen in seiner historischen Genese nicht aus dem Auge zu verlieren. „Cyber" ist die Wurzel auch des Worts *Kybernetik*, aus der sich später die *Informatik* als neues Wissenschaftsgebiet entwickelte. Der Sinn der Einengung des Gegenstands jenes Fachs auf „die Wissenschaft von der systematischen Darstellung, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen, wobei besonders die automatische Verarbeitung mit Digitalrechnern betrachtet wird", wie in der deutschen Wikipedia zu lesen ist, darf bezweifelt werden. Sie sei „zugleich Grundlagen- und Formalwissenschaft als auch Ingenieurdisziplin" heißt es dort weiter. Damit wird allerdings die von Klaus Fuchs-Kittowski entfaltete Perspektive der Informatik als einer *Organisationswissenschaft* verfehlt (vgl. Fuchs-Kittowski 2001), denn die „Bedeutung der Verfügbarkeit von Wissen und Gerät, speziell auf der Ebene der Daten- und Operationenfonds" ist allein „*Vorausset-*

zung für die gemeinsamen Problemlösungsprozesse“, wie ebenda (Fuchs-Kittowski 2001: 9) festgestellt wird. Diese Erkenntnis stand bereits Pate bei der Gründung der Sektion „Ökonomische Kybernetik und Operationsforschung“ an der Humboldt-Universität im Jahr 1968 und ist heute aus einer *Wirtschaftsinformatik* mit dem speziellen Fokus auf die Verbindung technischer *und* organisatorischer Fragen im *Business Process Modelling* nicht wegzudenken.

Was sind jene Anfänge und besonders die sie begleitenden konzeptionellen Überlegungen heute wert? In diesem Aufsatz wird der Bogen dorthin geschlagen und gezeigt, wie es damals um die „Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit“ und vor allem um die wissenschaftliche Auseinandersetzung um eine *Arbeit am Begriff* bestellt war.

2 *Cyberscience, Cyberspace und digitale Handlungsräume*

Der Begriff *Cyberscience* geht vor allem auf die von Michael Nentwich entwickelte und propagierte Konzeption dieses Begriffs zurück (vgl. Nentwich 2009). Ihm geht es vor allem um die Frage, ob sich die Bedeutung dieses Begriffs selbst wandelt und man, in Abgrenzung von dem zehn Jahre früher geprägten Begriff, mittlerweile – also 2009 – von einer „Cyberscience 2.0“ sprechen solle oder eher (nur) von einer „Cyberscience 1.2“. Die diagnostizierte Geschwindigkeit der Entwicklungen sei jedenfalls geeignet, „in allen Dimensionen wissenschaftlicher Aktivität einschließlich des organisatorischen Rahmens Veränderungen hervorzubringen“ (ebenda: 2), die sich vor allem als „‘soziale‘ Wende des Internets“, eben als „Web 2.0“ (ebenda: 4) manifestierten. Allerdings gäbe es (damals, 2009) „einige gewichtige Argumente, die sachlich gegen eine rapide Verbreitung“ sprächen (ebenda: 1).

Vor all diesen Hypes wies Tim O’Reilly bereits 2005 auf andere Potenziale dieser sozio-technischen Entwicklungen hin, die weit über eine „soziale Wende“ Nentwichscher Dimension hinausreichen (vgl. O’Reilly 2005). O’Reillys acht „Web 2.0 Design Pattern“ haben wenig mit dem zu tun, was heute als „Web 2.0“ verkauft wird, sondern formen die klare Vision eines *Semantic Web*. Jenes Semantic Web hat sich seither als *Linked Open Data Cloud* oder *Linked Enterprise Data Clouds* (vgl. Pellegrini et al. 2014) weiter entfaltet und steht im Fokus wichtiger sozio-technischer Entwicklungen, die in Abgrenzung zu einem eher soziologisch geprägten Hype „digitaler sozialer Medien“ heute auch als *Web 3.0* bezeichnet werden, nach der „feindlichen Übernahme“ von O’Reillys ursprünglichem Begriff „Web 2.0“ durch jene soziologischen Diskurse.

All das sind Entwicklungsformen in einem *Cyberspace*, dessen Konzept Stanisław Lem bereits 1964 in seiner „Summa technologiae" beschrieb (vgl. Lem 1976). Ins Deutsche wird man den Begriff gut mit *Digitales Universum* übertragen können als einen durch Verarbeitung von digitalen Daten eher technisch geprägten innergesellschaftlichen Handlungsraum mit vager Abgrenzung. Ob man der deutschen Wikipedia folgen darf, diesen Begriff „als Synonym für das Internet oder spezieller das World Wide Web (WWW)" zu nehmen, ob „Internet und WWW als Infrastrukturen vom Cyberspace zu unterscheiden" oder gar als „‚computermedial erzeugter Sinnhorizont' wie in aktuellen sozialwissenschaftlichen Forschungsansätzen" zu verstehen ist, kann hier dahingestellt bleiben.[1] Mit dem Begriff *Digitales Universum* wird allenfalls ein Buzzwort aufgegriffen, dessen Maßzahl und Größe zehn Jahre nach Tim O'Reilly wie folgt angegeben wurde: „Im Jahre 2020 wird sich das digitale Universum auf 44 Billionen Gigabyte belaufen" (EMC 2014).

Zugang zu jenem Digitalen Universum erhält, wer einen *Account* besitzt. Sie oder er kann dann – nach regelgerechter *Authentifizierung* und *Autorisierung* – in einem *digitalen Handlungsraum* als *digitale Identität* agieren. Schnell bemerken unsere Studierenden, dass sie viele solche Accounts haben und folglich auch viele digitale Identitäten, dass aber jenes Digitale Universum auch in viele einzelne Universen zu zerfallen scheint – das Instagram-Universum, das Facebook-Universum usw. Jedes dieser Teiluniversen hat seinen eigenen Besitzer oder auch nur technischen Dienstleister, der unsichtbar zwischen „Alice" und „Bob" Dienste vermittelt und aufrechterhält. Diese *Dritten* sind sehr realweltliche bürgerliche Subjekte, kooperative juristische Subjekte im Sinne des Bürgerlichen Gesetzbuches (BGB) eingeschlossen, die einer solchen digitalen Identität Handlungsmöglichkeiten eröffnen oder verwehren.

Dieses Konzept *kooperativ gestalteter Handlungsräume* ist zentral, um im Übermaß technischer Bedingtheiten das handelnde Subjekt nicht aus dem Auge zu verlieren. Klaus Fuchs-Kittowski betont im Rückblick auf die 1960er Jahre auch 2001 noch einmal:

> „Es war damals wie heute die Frage: Welche Stellung hat der Mensch im hochkomplexen Informationstechnologischen System? Unsere Antwort auf die Frage war immer: Der Mensch ist die einzig kreative Produktivkraft, er muss Subjekt der Entwicklung sein und bleiben. Daher ist das Konzept der Vollautomatisierung, nach dem der Mensch schrittweise aus dem Prozess eliminiert werden soll, verfehlt!" (Fuchs-Kittowski 2001: 10)

1 Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Cyberspace

3 Zukunft der Kultur

Nachdem im letzten Abschnitt der Untersuchungsgegenstand grob abgesteckt wurde, gehe ich nun der Frage nach, auf welcher Basis sich fundierte Prognosen über die „Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit“ abgeben lassen. Der Ansatz „digitale Medien“ hatte sich bereits als zu eng für eine ernsthafte Analyse technisch-ökonomischer Entwicklungspfade etwa eines Semantic Web erwiesen.

Kann die Frage überhaupt allein aus der Perspektive einer „Wissenschaftsforschung“ und einem Fokus auf „die methodologische Struktur der Forschungssituation in jedem ihrer vier Elemente“ beantwortet werden? Muss nicht vielmehr die Einheit sozio-technischer, sozio-ökonomischer und sozio-kultureller Entwicklungsprozesse in ihrem *Zusammenspiel* betrachtet werden?

Die in meiner Vorlesung entwickelte These zur Entwicklung jenes Gesamtzusammenhangs lautet:

> „So, wie wir im 20. Jahrhundert gelernt haben, den Kern der Mittel zur Befriedigung unserer materiellen Bedürfnisse industriell zu produzieren, so müssen wir im 21. Jahrhundert lernen, den Kern unserer sozialen Beziehungen ‚industriell‘ zu produzieren.“

Diese These, die ich in meiner Vorlesung[2] vor Masterstudenten der Informatik genauer entwickle, kann hier aus Platzgründen nicht weiter substanziiert werden (vgl. näher Gräbe 2020, 2021; Gräbe/Kleemann 2021).

Allein einige Kernpunkte eines solchen Zugangs seien stichpunktartig referenziert.

- *Industrielle Produktionsweise* heißt arbeitsteiliges Handeln durch Anwenden bewährter Prozesse auf der Basis standardisierter Technologien durch kompetent agierende Menschen.
- Im Kern des Konzepts steht ein *Technologiebegriff* mit den drei Dimensionen
  - gesellschaftlich verfügbares Verfahrenswissen,
  - institutionalisierte Verfahrensweisen und
  - privates Verfahrenskönnen.
- *Digitale Skills* als *privates digitales Verfahrenskönnen* sind in diesem Verständnis staatsbürgerliche Fähigkeiten, Vernetzungspotenziale in ih-

2 Die Materialien mehrerer Jahre sind öffentlich verfügbar, siehe https://github.com/wumm-project

rer technischen, sozialen, kooperativen, politischen und kulturellen Dimension nicht nur *theoretisch zu kennen*, sondern *praktisch nutzen zu können*.
– Es geht dabei auch nicht so sehr um *digitale Kultur* als vielmehr um eine *Kultur der Digitalität* als tiefgreifender Umbruch unserer Ausdrucks-, Handlungs- und Kooperationsformen.

Eine solche „Kultur der Digitalität" wird von Felix Stalder in ihrer historischen Genese seit den 1960er Jahren genauer analysiert (vgl. Stalder 2016). Stalder startet seine Analyse bei Marshall McLuhan und dessen Diagnose, dass das Ende der „Gutenberg-Galaxis" mit der gedruckten Schrift als prägendem Medium eingeläutet sei. Jene damals noch abstrakt-medienwissenschaftliche Spekulation sei heute konkrete Realität des Alltags, alte Gewissheiten erodieren, neue bilden sich heraus, Konturen seien schon deutlich zu erkennen. Jene neuen Konturen seien mit einer enormen Vervielfältigung vor allem der kulturellen Möglichkeiten verbunden.

Stalder führt die Verbreiterung der sozialen Basis kultureller Prozesse auf folgende drei Faktoren zurück:

– Veränderungen der Arbeitswelt (Wissensökonomie);
– Selbstermächtigung marginalisierter Gruppen;
– Auflösung der kulturellen Geografie von Zentrum und Peripherie.

Als *Kultur* werden „all jene Prozesse bezeichnet, in denen soziale Bedeutung, also die normative Dimension der Existenz, durch singuläre und kollektive Handlungen explizit oder implizit verhandelt und realisiert werden" (Stalder 2016: 16). *Bedeutung* manifestiert sich nicht nur in Zeichen und Symbolen, sondern die sie hervorbringenden und von ihr inspirierten *Praktiken* verdichten sich in Artefakten, Institutionen und Lebenswelten. Durch Materialisierung und Wiederholung wird Bedeutung, als Anspruch wie als Realität, sichtbar, wirksam und verhandelbar. Erst im Austausch in größeren oder kleineren Formationen entsteht *soziale*, also von mehreren Personen geteilte Bedeutung. Stalder betont damit die *Materialität* jeder Kultur, auch einer Kultur der Digitalität. Kultur ist nichts Statisches, sondern gekennzeichnet durch ein Neben-, Mit- und Gegeneinander von Prozessen der Auflösung und der Konstitution. *Medien* sind dabei Technologien der Relationalität, die es erleichtern, bestimmte Arten von Verbindungen zwischen Menschen und zu Objekten zu schaffen. *Digitalität* bezeichnet jenes Netz von Relationen, das heute auf der Basis der Infrastruktur digitaler Netzwerke in Produktion, Nutzung und Transformation materieller und immate-

rieller Güter sowie in der Konstitution und Koordination persönlichen und kollektiven Handelns realisiert wird.

Damit ist der argumentative Kontext abgesteckt, in dem Stalder dann in drei Kapiteln erstens die historische Genese als „Wege in die Digitalität“ analysiert, zweitens drei zentrale Formen (Referentialität, Gemeinschaftlichkeit, Algorithmizität) als „Formen der Digitalität“ identifiziert, um sich schließlich drittens „Richtungen des Politischen in der Digitalität“ zuzuwenden. Auf zwei wesentliche Aspekte in Stalders Ausführungen möchte ich kurz eingehen.

Dies ist zum einen die Debatte um den Begriff des *Post-Digitalen*. Diese gesamte Debatte bleibt unberücksichtigt, wenn man sich primär auf „digitale Medien“ fokussiert, denn jene Debatte thematisiert genau die *Aufweitung* von Praxen auf breitere gesellschaftliche Bereiche, die sich zunächst im Bereich der digitalen Medien herausgebildet haben. Nach Stalder verleiht erst die Hybridisierung und Verfestigung des Digitalen, die Präsenz der Digitalität *jenseits* der digitalen Medien, der Kultur der Digitalität ihre Dominanz.

Als weitere Komponente thematisiert Stalder die Herausbildung einer *Wissensökonomie*. Der Begriff geht auf Fritz Machlup zurück (vgl. Machlup 1962) und resümiert eine Entwicklung, die bereits mit dem Übergang zur Industriegesellschaft vor mehr als 150 Jahren eingeläutet wurde. Es handelt sich um einen sozio-kulturellen Prozess, der die zunehmende Technisierung, Kapitalisierungserfordernisse in der Wirtschaft, Konzentrationsprozesse in der Produktion und die damit verbundene zunehmende Komplexität von Prozessen der Planung und Leitung begleitet und verbindet.

Jener Prozess führte in der ersten Hälfte des 20. Jh.s auch zu einer massiven Verschiebung dessen, was unter Wissenschaft verstanden wird. Dies manifestiert sich in drei Entwicklungen:

1. Es vollzieht sich das Schisma zwischen Natur- und Geisteswissenschaften (präziser die englischen Termini *Science* und *Humanities*) als Aufspaltung der alten philosophischen Fakultät.
2. Es etablieren sich Technikwissenschaften und akademische Ausbildungsstrukturen für Ingenieure, die keine Tradition in der *universitas litterarum* haben (vgl. dazu etwa Stahl 2014).
3. Auch Produktionsorganisation wird zur Wissenschaft, wie es Frederick Winslow Taylor mit dem Titel „The Principles of Scientific Management“ bereits 1911 postulierte (vgl. Taylor 1911).

Eine solche wissenschaftliche Durchdringung der Produktion kommt nicht ohne „Wissensarbeiter“ mit umfassendem Verfahrenswissen und Verfah-

renskönnen aus, welches in der technischen und produktions-organisatorischen Steuerung auf der Basis wissenschaftlich fundierter Prozessbeschreibungen und Modellvorstellungen anzuwenden ist. Jene Anforderungen an *Verfahrenskönnen* verfestigen sich in Rollenbeschreibungen und schließlich in der Herausbildung der Professionen des Ingenieurs und des Managers sowie von Strukturen für deren akademische Ausbildung, um die Rollenanforderungen auch formal absichern zu können.

Spätestens in den 1950er Jahren erreichen diese Entwicklungen auch die Sphären einer *Wissenschaft von der Gesellschaft*. Jean Fourastié spricht 1949 erstmals vom *dritten Sektor* der Dienstleistungen (vgl. Fourastié 1949), Jean Gottmann sogar von einem *vierten Sektor* der Information (vgl. Gottmann 1961). Daniel Bell entwickelt daraus 1973 sein Konzept einer *postindustriellen Gesellschaft*, in der sich gar die Schwerpunkte des Wirtschaftens fundamental verschoben haben sollen (vgl. Bell 1973). Mit den Konzepten einer Informationsgesellschaft (1980er Jahre) oder einer Netzwerkgesellschaft (1990er Jahre) setzt sich die Inflation kurzlebiger Erklärungsmuster mit dem Anspruch fort, nun endlich stimmige gesellschaftliche Leitbilder gefunden zu haben. Nach 2000 gewinnen Ansätze des Soziologen Richard Florida zunehmend an Popularität, der die *Kreativen* zum Schlüssel für die Zukunft der Städte macht und gar vom Aufstieg der „kreativen Klasse" spricht (vgl. Florida 2002). Ob die im „Tagungsmaterial" diagnostizierte „revolutionäre Entwicklung der Wissenschaften" also wirklich „wesentlich durch die sogenannte [! – H.G.G.] 4. Revolution – die Informationsrevolution […] vorangetrieben" wird oder damit allein ein weiteres kurzlebiges Erklärungsmuster referenziert ist, kann hier aus Platzgründen nicht weiter expliziert werden.

4 Kybernetik

Die praktischen Möglichkeiten der besseren Regelung und „Beherrschung" nicht nur von Technik, sondern auch von produktions-organisatorischen Prozessen mit Hilfe der Computertechnologien stehen bereits Mitte des 20. Jh.s im Zentrum der sich neu herausbildenden *Kybernetik* als Wissenschaft. Der Begriff hat dieselbe griechische Wurzel „cyber" wie Cyberscience, womit sich die Frage ergibt, ob mit dem neumodischen Begriff nicht genau jener alte Wein in neuen Schläuchen serviert werden soll, zumal der Begriff „Kybernetik" selbst in vielfachen Deutungen im Gebrauch ist, wie ein Blick in die englische Wikipedia offenbart.

Jedenfalls fasst in den 1960er Jahren die Kybernetik die Begriffe „Information" und „Kommunikation" genauer und schreibt ihnen einen zentralen

Stellenwert im Leben überhaupt zu. Damit wird auch innerwissenschaftlich auf Technologieentwicklungen reagiert, deren produktions-organisatorische Bedeutsamkeit sich längst praktisch abzeichnet.

Dies ist allerdings selbst ein Entwicklungsprozess. Für Karl Steinbuch ist in „Automat und Mensch“ (vgl. Steinbuch 1961) die ökonomisch-regulatorische Perspektive noch Teil einer „kybernetischen Anthropologie“, die aus den Erfahrungen ingenieur-technischer Praxen entwickelt wird:

> „Ingenieure bemühen sich, immer vollkommenere technische Geräte zu erfinden und zu bauen. […] Hierbei werden gedankliche Hilfsmittel benutzt, die noch vor wenigen Jahren unbekannt waren. Als Beispiele seien genannt die Regelungslehre, die Informationstheorie und die Informationsverarbeitung.“ (Steinbuch 1971: 1)

Allerdings entwickelt Steinbuch einen kruden Determinismus:

> „Kybernetik ist die Wissenschaft von den informationellen Strukturen im technischen und außertechnischen Bereich. […] Es wird angenommen, dass das Lebensgeschehen und die psychischen Vorgänge aus der Anordnung und physikalischen Wechselwirkung der Teile des Organismus im Prinzip vollständig erklärt werden können.“ (Steinbuch 1971: 7)

Dieser wird ein paar Jahre später deutlich zurückgenommen, indem sich Steinbuch in „Die informierte Gesellschaft“ (vgl. Steinbuch 1966) einerseits auf die „Geschichte und Zukunft der Nachrichtentechnik“ – so der Untertitel jenes Buchs – beschränkt und andererseits dem Thema „Computer und Automatisierung“ (Steinbuch 1966: 153ff.) breiteren Raum gibt. Dennoch sieht Steinbuch auch in der 1971 erschienen vierten Auflage von „Automat und Mensch“ im Vorwort keinen Grund, auf Kritik an jenem Determinismus einzugehen:

> „Dass ich auf die Kritik nicht ausdrücklich eingehe, liegt an ihrem großen Umfang und meist geringen Gewicht. Der Grundgedanke, der dieses Buch seit seiner ersten Auflage bestimmte, bestimmt auch diese vierte Auflage, und ich sehe keinen Grund, ihn zu ändern. Im Gegenteil: Dieser Grundgedanke scheint mir bei der ideologischen Konfusion unserer Gesellschaft von wachsender Bedeutung zu sein. Die Relativierung wissenschaftlicher Aussagen, wie sie bei uns als höchste Weisheit akzeptiert wird, trägt gegenwärtig ihre schrecklichen Früchte.“ (Steinbuch 1971, Vorwort)

Deutlich fundierter setzt sich zu jener Zeit Georg Klaus mit diesen Entwicklungen auseinander (vgl. Klaus 1961, 1964). Im Gegensatz zu Steinbuch hat Klaus auch die produktions-organisatorischen Konsequenzen der neuen Technologien bereits frühzeitig auf dem Schirm, wie auch die neue Qualität

jener „kybernetischen Maschinen“ gegenüber allen bisherigen (vgl. Klaus 1961, Teil 3). Er sieht diese neue Qualität in der technischen Ausnutzung dynamischer Rückkopplungen zur Steuerung und erkennt darin zugleich das philosophische Thema „Materie und Bewegung“ (vgl. Klaus 1963: 75), das über den mechanischen Materialismus bisheriger, primär in linearen Zusammenhängen organisierter und gedachter Arbeitsprozesse hinausweist. Das von Georg Wilhelm Friedrich Hegel und Karl Marx Vorgedachte und in einfachen Lösungen wie dem Fliehkraftregler der Dampfmaschine auch lange schon im technischen Einsatz befindliche *Prinzip der Rückkopplung* beginnt nun, sich in voller Reichhaltigkeit zu entfalten und den gesellschaftlichen Arbeitsprozess zu durchdringen. Klaus erkennt, dass jene „gewaltige Fülle der verschiedenartigsten technischen Regelkreise“ bisher „fast durchweg nicht das Produkt theoretischer Überlegungen, […] sondern das Resultat praktischer Erfindungen und Einfälle“ war (Klaus 1963: 58f.). Da die Erfinder selbst denkende Wesen sind, entwickeln sie zusammen mit den praktisch umgesetzten Einfällen in ihren Disziplinen auch begleitende theoretische Abstraktionen wie etwa der oben ausführlicher zitierte Steinbuch. Steinbuch bleibt für Klaus auch später Referenzpunkt der Kritik (vgl. Klaus 1973).

Die vor ihm stehende Aufgabe umreißt Klaus 1961 wie folgt:

> „Eine der schwierigsten Aufgaben dieser neuen technischen Disziplin [der technischen Regelungstheorie – H.G.G.] war es, eine einheitliche Begriffssprache zu schaffen, das heißt einen entsprechenden Abstraktionsprozess durchzuführen. Diese Aufgabe war außerordentlich schwierig, denn mittlerweile war in den genannten Disziplinen ein heilloses Durcheinander von Formen der Regelung entstanden. Vertreter der technischen Wissenschaften und Praktiker haben versucht, Hand in Hand diese Schwierigkeiten zu überwinden. Im DIN-Blatt 19226 ‚Regelungstechnik: Benennungen, Begriffe‘ lesen wir etwa: ‚Die Regelung (das Regeln) ist ein Vorgang, bei dem der vorgegebene Wert einer Größe fortlaufend durch Eingriff auf Grund von Messungen dieser Größe hergestellt und aufrechterhalten wird‘.
>
> Definitionen dieser Art sind zweifellos ein großer technischer Fortschritt. Sie werden aber […] dem Begriff des Regelkreises nicht in seiner ganzen Allgemeinheit gerecht. Gerade hier, bei der Erarbeitung solcher grundlegenden Definitionen und Begriffe, zeigt sich der große Vorteil einer erkenntnistheoretischen und streng logischen Schulung. […] Gelingt es, aus der fast unübersehbaren Fülle der verschiedenartigsten Regelsysteme das Wesen herauszuschälen und von den spezifischen regeltechnischen Ausführungen zu abstrahieren, so bleibt ein abstrakter Kern übrig, ein Kern, der eben dann die Grundlage des betreffenden allgemeinen kybernetischen Begriffes bildet. Aber – und hierauf kommt es uns jetzt an – ist dieses abstrakte Wesen einmal gewonnen worden, auf den Be-

> griff, auf die Kategorie gebracht, so wird eine systematische, bewusst auf die Kybernetik aufbauende Produktionspraxis in der Lage sein, den abstrakten Regelkreis mit einer neuen technischen Hülle zu versehen, und zwar mit einer einheitlichen, normierten Hülle. Der Aufstieg von der Produktionspraxis zur bewussten Theorie und die Rückkehr von der Theorie zur Praxis, die nunmehr bewusst angewandte Theorie, bedeutet hier im Bereich der Kybernetik zugleich Lösung des für die Industrie und die kommende Automatisierung so wichtigen Problems einer weitgehenden Normierung der Geräte. Normierung der Geräte ist also gewissermaßen ein technisches Äquivalent des abstrakten Begriffs.“ (Klaus 1963: 59f.)

Dieses Arbeitsprogramm ist hier so ausführlich zitiert, da es der Kern jeder „Zukunft der Kultur wissenschaftlicher Tätigkeit“ sein sollte. So kann Klaus Steinbuchs überbordenden Spekulationen einer „kybernetischen Anthropologie“, der unreflektierten Übertragung der Abstraktionen erfolgreicher technischer Lösungen auf ein funktionales Menschenbild, entgegentreten:

> „Wie kommt es nun, dass manche Kybernetiker […] ständig davon reden, dass Maschinen ‚denken‘, dass sie ‚Erfahrungen‘ sammeln können usw.? Philosophisch gesehen hängt das damit zusammen, dass eine Reihe von derzeitigen Kybernetikern stets einen extremen Missbrauch mit all dem treibt, was man in der Methodologie der Wissenschaften als Analogie oder Analogieschluss bezeichnet. Ein großer Teil der kybernetischen Begriffsbildungen entsteht dadurch, dass bestimmte Begriffe aus dem Gebiet der Neurophysiologie, der Gesellschaftwissenschaften usw. ganz formal und schematisch auf physikalische Prozesse übertragen werden, ohne dass dabei die Besonderheiten der kybernetischen Abstraktionsmethode beachtet werden.“ (Klaus 1963: 161)

Auf einer solchen praxis-philosophischen Grundlage setzt sich Klaus auch mit „verbreiteten Auffassungen über Bedeutung und Rolle der Kybernetik“ (Klaus 1973: 9) auseinander und zeigt, wie sich deren Grundkategorien auf der Grundlage einer dialektisch-materialistischen Denkweise in Entwicklungsprozessen in der Tradition von Hegel und Marx herleiten lassen (vgl. Klaus 1961).

Besonders intensiv setzt sich Klaus in „Kybernetik – eine neue Universalphilosophie der Gesellschaft?“ mit Steinbuchs Spekulation auseinander, dass die „Kybernetik einen neuen Weg zu einer Einheit der Wissenschaft“ weise (vgl. Klaus 1973), wie sie auch im Begriff „Cyberscience“ durchschimmert. Grundlage von Steinbuchs Argumentation ist die Beobachtung, dass „Regelkreise dieser prinzipiellen Art“ überall in natürlichen, biologischen, neurologischen und sozialen Prozessen präsent sind und diese sich „isomorph auf einen abstrakten Regelkreis abbilden lassen, der nicht zwangs-

läufig aus einem bestimmten Material besteht und mit bestimmten Energiearten arbeitet“ (zit. nach Klaus 1973: 14). Steinbuch argumentiert weiter, dies sei „der einzige glaubwürdige Ansatz, das geborstene Gebäude unserer Wissenschaften wieder zusammenzufügen“.

Klaus identifiziert dies als Versuch, eine „kybernetische Universalphilosophie auf der Grundlage eines mechanischen Materialismus“ (Klaus 1973: 15) zu entwickeln mit den Norbert Wienerschen Kategorien Materie, Energie und Information als Basis. Klaus zeigt, dass für einen entwickelten Materiebegriff in der Tradition von Hegel, Marx und vor allem der Auseinandersetzung Wladimir Iljitsch Lenins mit dem Empiriokritizismus eines Ernst Mach Stoff und Energie nur *Aspekte* der Materie sind. Er identifiziert den universellen Charakter informationeller Prozesse als Ausdruck der allgemeinen Fähigkeit von Materie zur Widerspiegelung.

5 Zusammenfassung

Ich komme auf meine Eingangsfrage zurück: „Gibt es Gründe für eine solche neue Wortschöpfung, weil alte – wohlfeile oder auch nur aus der Mode gekommene – Begriffe das Neue, Unerhörte aktueller Entwicklungen nicht umgreifen können?“ Eine Antwort auf jene Frage vermag ich nicht zu geben. Allerdings verbietet sie sich auch, so lange die aktuellen Debatten allein an der Oberfläche kratzen und immer neue Begriffe schöpfen statt die kurze Geschichte kybernetischer Begrifflichkeiten und deren Weiterentwicklungen schöpferisch aufzunehmen. Es wäre produktiver, wenn, statt immer wieder neue Konzepte zu entwickeln, jene bestehenden Konzepte auf der Basis der Erfahrungen einer fortschreitenden technischen Entwicklung fortgedacht würden. Erst auf der produktiven Verarbeitung jenes geistigen Erbes ließe sich das prinzipiell Neue erkennen und abgrenzen.

Menschliche Denktätigkeit entwickelt sich selbst in einem Regelkreis von *begründeten Erwartungen, praktischem Handeln* und *erfahrenen Ergebnissen*. Jene Regelkreise, die Georg Klaus in den 1960er Jahren intensiv in Technik, Ökonomie und Gesellschaft studierte, finden sich damit auch in der wissenschaftlichen Tätigkeit selbst wieder, wenn man diese – wie Klaus – als *tätiges Denken* bis hin zur Transformation des abstrakten Begriffs in sein sozio-kulturelles Äquivalent versteht. Die Zukunft einer solchen Kultur hat Vladimir Ivanovych Vernadsky bereits Ende der 1930er Jahre im Bild des „wissenschaftlichen Gedankens als planetares Phänomen“ (Vernadsky 1936/38) genauer entwickelt. Dieses Phänomens bedarf es auch, um die durch menschliches Handeln verursachte zunehmende Naturzerstörung aufzuhalten und umzukehren.

Literatur

Altvater, Elmar (2006): Das Ende des Kapitalismus, wie wir ihn kennen. Münster.

Bell, Daniel (1973): The Coming of Post-Industrial Society. A Venture in Social Forecasting. New York u. a. O.

Brynjolfsson, Erik; McAfee, Andrew (2014): The Second Machine Age. Kulmbach.

EMC (2014): EMC Digital Universe with Research & Analysis by IDC. The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things. April.

Fleissner, Peter (2010): „Überlegungen zur Wissenschaftspolitik“. Rohrbacher Manuskripte 16, 14–28.

Florida, Richard (2002): The Rise of the Creative Class. New York u. a. O.

Fourastié, Jean (1949): Le Grand Espoir du XXe siècle. Progrès technique, progrès économique, progrès social. Paris.

Fuchs-Kittowski, Klaus (2001): „Wissens-Ko-Produktion – Organisationsinformatik“. Organisationsinformatik und Digitale Bibliothek in der Wissenschaft, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski; Heinrich Parthey; Walther Umstätter; Roland Wagner-Döbler. Berlin, 9–88 (Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2000).

Gottmann, Jean (1961): Megalopolis. The Urbanized Northeastern Seabord of the United States. Cambridge, MA.

Gräbe, Hans-Gert (2005): „Die Macht des Wissens in der modernen Gesellschaft“. Utopie kreativ 177/178, 629–643.

Gräbe, Hans-Gert (2010): „Wie geht Fortschritt? Einige Anmerkungen zu Peter Fleissners Thesen“. Rohrbacher Manuskripte 16, 29–47.

Gräbe, Hans-Gert (2020): „Die Menschen und ihre technischen Systeme“. LIFIS Online. Internet-Zeitschrift des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS) [19.05. 2020]. – http://leibniz-institut.de/archiv/graebe_20200519.pdf.

Gräbe, Hans-Gert (2021): „Technical Systems and Purposes“. TRIZ-Anwendertag 2020, hrsg. von O. Mayer. Berlin, 1–13.

Gräbe, Hans-Gert; Kleemann, Ken Pierre (2021): „Unintended Information“ in Human-Machine Interaction. Manuskript, Mai. – https://hg-graebe.de/EigeneTexte/HMI-2021.pdf.

Klaus, Georg (1961): Kybernetik in philosophischer Sicht. Berlin.

Klaus, Georg (1963): Kybernetik in philosophischer Sicht [1961]. 3. Aufl. Berlin.

Klaus, Georg (1964): Kybernetik und Gesellschaft. Berlin.

Klaus, Georg (1973): Kybernetik – eine neue Universalphilosophie der Gesellschaft? Berlin.

Laitko, Hubert (2001): „Bildung als Funktion einer multioptionalen Gesellschaft“. Utopie kreativ 127, 405–415.

Lanier, Jaron (2014): Wem gehört die Zukunft? „Du bist nicht der Kunde der Internetkonzerne. Du bist ihr Produkt“. Hamburg.

Lem, Stanisław (1976): Summa technologiae [1964]. Frankfurt am Main.

Machlup, Fritz (1962): The Production and Distribution of Knowledge in the US. Princeton, CA.

Mason, Paul (2016): Postkapitalismus. Grundrisse einer kommenden Ökonomie. Frankfurt am Main.

Mocek, Reinhard (2010): „Bemerkungen zu den 10 Thesen Peter Fleissners zur Wissenschaftspolitik“. Rohrbacher Manuskripte 16, 48–65.

Nentwich, Michael (2009): Cyberscience 2.0 oder 1.2? Das Web 2.0 und die Wissenschaft. Wien (ITA) (manu:scripts, ITA-09-02).

Pellegrini, Tassilo; Sack, Harald; Auer, Sören (2014): Linked Enterprise Data. Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien. Berlin u. a. O.

O’Reilly, Tim (2005): What Is Web 2.0. Design Patterns and Business Models for the Next Generation of Software. – https://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html.

Rifkin, Jeremy (1997): Das Ende der Arbeit und ihre Zukunft [1995]. Frankfurt am Main.

Stahl, Jürgen (2014): „Konstruktion – Antizipation und gestaltende Fähigkeit des Subjekts“. LIFIS Online. Internet-Zeitschrift des Leibniz-Instituts für interdisziplinäre Studien e.V. (LIFIS) [22.07.2014]. – http://leibniz-institut.de/archiv/2014-07-31.pdf.

Stalder, Felix (2016): Kultur der Digitalität. Frankfurt am Main.

Steinbuch, Karl (1961): Automat und Mensch. Über menschliche und maschinelle Intelligenz. Berlin u. a. O.

Steinbuch, Karl (1966): Die informierte Gesellschaft. Geschichte und Zukunft der Nachrichtentechnik. Stuttgart.

Steinbuch, Karl (1971): Automat und Mensch. Auf dem Weg zu einer kybernetischen Anthropologie [1961]. 4. Aufl. Berlin u. a. O.

Taylor, Frederick Winslow (1911): The Principles of Scientific Management. London.

Vernadsky, Vladimir Ivanovych (1936/38): Научная мысль как планетное явление [Scientific Thought as a Planetary Phenomenon]. – http://vernadsky.lib.ru/e-texts/archive/ thought.pdf.

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 317–334*

Ronda Hauben

Creating the Vision for the Internet

From the Wiener Circles to Licklider and ARPA's Information Processing Techniques Office (IPTO)

Abstract

Joseph Carl Robnett (J. C. R.) Licklider's vision is widely recognized as having had an important impact on the development of the Internet. Licklider was a participant in the post WWII discussion circles in Cambridge Massachusetts held by Norbert Wiener. Wiener had recognized the need to identify the appropriate functions of the components of the mixed systems at the heart of his theory of cybernetics. Licklider took on to carry out research into which functions should appropriately be assigned to the human and which functions should be assigned to the computer. In his article "Man Computer Symbiosis", Licklider sees humans and computers as different species in a symbiotic relation with the different functions of the two species complimenting and amplifying each other. In 1962 Licklider was able to create a research program at ARPA and he became the Director of the new office he created, the Information Processing Techniques Office. He established a framework to support the research he identified as necessary to realize the vision of what he came to refer to as the Intergalactic Network. His leadership both inspired and supported the creation of a new form of computing and a new form of human computer community. The subsequent creation of the Internet and other needed computer developments supported by the IPTO demonstrated the viability of the vision Licklider created and spread.

Keywords/Schlüsselwörter

ARPANET, Cybernetics, Human computer systems, Information processing techniques, Interactive information processing, JCR Licklider, Man computer symbiosis

ARPANET, Kybernetik, Informationsverarbeitungstechniken, Interaktive Informationsverarbeitung, JCR Licklider, Mensch-Computer-Symbiose, Mensch-Computer-System

> "I believe that we are indeed participating in an intellectual revolution, that the approach to the solution of difficult, complex, recalcitrant problems offered by on-line man-computer information processing will during the next decade or so revolutionize an important part of our collective intellectual processes. […] The effect of bringing geographically distributed users into network-mediated interaction seems likely to be greater than the effect that can be achieved through multi-access interaction in any local community […] A promising aspect of the information-network idea is that, through information networks, intellectual community may be achieved despite geographical distribution." (Licklider 1967: 2–4)

Joseph Carl Robnett (J.C.R.) Licklider's vision is widely recognized as having had an important impact on the development of the Internet.[1] The connection between this vision and the cybernetic movement Licklider had been part of, however, is not generally recognized.[2] My article will explore how Licklider's vision is a logical outcome of the cybernetic movement and its concerns. Furthermore, examining Licklider's connection with the cybernetic circles, as well as with the science of information processing techniques, helps one to understand the source and nature of Licklider's vision.

An important problem was identified by the cybernetic circles of the 1940s and 1950s. The problem concerns the nature of systems with human and computer components. In such systems, it is essential to determine which functions should properly be assigned to the human and which functions should be assigned to the computer. This is a subset of a more general problem, the problem of systems with human and machine components. This problem is identified by Norbert Wiener in his book "God and Golem, Inc." (cf. Wiener 1964: 71). The solution of this problem is at the heart of the development of cybernetic systems like the Internet. More recently, an Internet pioneer proposed that a goal of computer and networking research is "to enable computers to collaborate intelligently on solutions to human problems" (Kahn 1987: 136).

Wiener clarifies the difficulty of this goal. He offers the familiar story of the "Sorcerer's Apprentice" or the "Monkey's Paw" as analogies of the problem (cf. 1964: 57–59). In these accounts, a human has a wish, but it is carried out by an agency that lacks the human understanding of the constraints on how the wish is to be granted. Wiener recognizes the need for serious attention to the constraints to be invoked when engineering automated systems to accomplish human goals. Wiener also proposes that it is important to understand the highly evolved capacity of the human brain,

1 See for example Hafner 1996; Hauben/Hauben 1997, chap. 5; Naughton 1999.
2 See for example Hauben/Hauben 1997, chap. 6; Segal 1998, chap. 8. – Some historians claim that Licklider's vision developed separately from the cybernetic movement.

especially with regard to its capacity to identify and solve human and social problems.

Wiener notes that the human is highly developed in the "ability of the brain to handle vague ideas as yet imperfectly defined" (Wiener 1964: 73). Recognizing this capability of the human brain, he proposes the value of studies of what he calls "mixed systems." These will be systems involving both human and mechanical (machine) elements (cf. Wiener 1964: 73). Describing a problem, Wiener writes:

> "A goal-seeking mechanism will not necessarily seek 'our' goals, unless we design it for that purpose, and in that design we foresee all steps of the process for which it is designed, instead of exercising a tentative foresight which goes up to a certain point and can be continued from that point as new difficulties arise." (Wiener 1964: 63)

How to anticipate new difficulties that can arise is another problem recognized by Wiener. He explains,

> "The penalties for errors of foresight, great as they are now, will be enormously increased as automatization comes into full view." (Wiener 1964: 63)

Discussing the difficulty of human goals being achieved indirectly with the direction to attain them being given to others, Wiener writes:

> "While it is always possible to ask for something other than what we really want, this possibility is most serious when the process by which we are to obtain our wish is indirect, and the degree to which we have obtained our wish is not clear until the very end. Usually we realize our wishes, insofar as we do actually realize them by a feedback process, in which we compare the degree of attainment of intermediate goals with our anticipation of them. In this process, the feedback goes through us, and we turn back before it is too late. If the feedback is built into a machine that cannot be inspected until the final goal is attained, the possibilities for catastrophe are greatly increased." (Wiener 1964: 62)

Here Wiener identifies the crucial role that continuing feedback plays. This is to determine and make needed changes in the course of the development of a system, as the system is evolving. In the introduction to his book "Cybernetics" published in 1948 (cf. Wiener 1948), Wiener reflects on the experience he had in the 1930s which helped him to conceive of the science of cybernetics. He describes the monthly discussion group he was invited to, led by Dr. Arturo Rosenblueth at Harvard University (cf. Wiener 1948: 7). An important aspect of these discussions for Wiener, was the focus on the nature of communication from different scientific perspectives. Wiener

reports that scientists in different fields of study were invited to the group to encourage an interdisciplinary approach to the problems of communication and the scientific method. He writes:

> "In those days, Dr. Rosenblueth […] conducted a monthly series of discussion meetings on scientific method. The participants were mostly young scientists at the Harvard Medical School, and we would gather for dinner around the table in Vanderbilt Hall. […] After the meal, somebody, either one of our group or an invited guest – would read a paper on some scientific topic, generally one in which questions of methodology were the first consideration, or at least a leading consideration. The speaker had to run the gauntlet of an acute criticism, good natured but unsparing. […] Among the former habitues of these meetings there is more than one of us who feels that they were an important and permanent contribution to our scientific unfolding." (Wiener 1948: 7)

Rosenblueth was a Professor of Physiology at the Harvard Medical School. Both he and Wiener shared the belief that science had to be a collaborative endeavor.

Contrary to the popular image portrayed in the mass media, the Internet is not just computers, software and other technology. The Internet that Licklider and other early networking pioneers envisioned, and helped to make a reality, is a system that includes the human and the computer. The nature of each and of the relationship between these different components, is the question at the heart of both the science of cybernetics, and of the research for the continuing development of the Internet. In this light, it is helpful to understand how Wiener's work influenced Licklider.

Licklider reports that he was influenced by the intellectual ferment in the 1940s around the development of the new science of cybernetics and of information processing. As a neuroscientist interested in the problems of communication and human-computer systems, Licklider did his PhD thesis study on the localization of the perception of sound in the brain of the cat (cf. Licklider 1942). Continuing his study after his PhD, he did a post doctorate in Gestalt psychology. Gestalt psychology involves looking at the whole rather than focusing on parts and in this way being able to conceptualize systems. In the early post WWII period, Licklider attended study circles discussing Wiener's cybernetic theories. In an interview, Licklider was asked how he became interested in digital computers. He responds:

> "LICKLIDER: Well, there was tremendous intellectual ferment in Cambridge after World War II. Norbert Wiener ran a weekly circle of 40 or 50 people who got together. They would gather together and talk for a couple of hours. I was a

> faithful adherent to that. When I was at Harvard, I came down here and audited Wiener's […] series. […] Then there was a faculty group at MIT that got together and talked about cybernetics and stuff like that. I was always hanging onto that. Some of it was hard for psychologists to understand. But Walter Rosenblith was understanding and he did a lot of explaining to me. […] Routinely we'd talk about it on the way down in the car, and then listen to this stuff. Then on the way back, Walter would more or less explain it to me. (laugh) Digital stuff was big in all of that". (Licklider 1988: 13)

Licklider is describing a set of meetings Wiener set up near MIT after WWII. Robert Fano, also an active contributor to the Wiener circles, describes the impact of the Wiener seminars on Licklider. Fano writes:

> "The immediate postwar period was also a time of intense interdisciplinary activity in the Cambridge research community, centered on Norbert Wiener's notion of cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. Lick became an active member of that community and an assiduous participant in the weekly gatherings led by Wiener. He learned the models and analytical tools of the new statistical communication theory propounded by Wiener, which soon began to pay dividends in his research on hearing." (Fano 2000: 2)

Similarly, in the early post WWII period, the Josiah Macy Jr. Foundation agreed to sponsor a set of conferences about the nature of "communication and control" in animals and machines and about information theory. These conferences played an important role in the development and spread of this new science. At the Macy conferences the atmosphere was to be kept informal. The meetings usually took place over a two day period and only two or three speakers would be planned each day, to keep time available for discussion and communication among the participants. The participants were encouraged to challenge each other.

The Macy Foundation specialized in support for interdisciplinary scientific exchanges. Licklider was invited to make a presentation to the 7th Macy Conference on Cybernetics in 1950. Licklider had experience and background in electrical engineering. Also he used electronic equipment to do his scientific research. His research linked the biological sciences and engineering. The paper he presented was titled "The manner in which and extent to which speech can be distorted and remain intelligible" (cf. Licklider 1951).

A stenotype transcription was kept for the last five Macy Foundation conferences, starting in 1949, including the conference Licklider attended. These notes were transcribed and edited by Heinz von Foerster. They were

published in five volumes by the Josiah Macy Jr. Foundation under the title "Cybernetics: circular, causal and feed-back mechanisms in biological and social systems". It wasn't easy to make a publication out of the transcribed notes of the conferences, as the discussion had interruptions and could be difficult to follow. The importance of the publications of the conferences is explained by Frank Freman-Smith, the Medical Director of the Macy Foundation. He writes:

> "By preserving the informality of our conferences in the published transactions, we hope to portray more accurately what goes on in the minds of scientists and of the interdisciplinary group explaining this phenomenon." (Foerster 1953: ix)

The Macy Foundation conferences on Cybernetics appear to have provided a model for Licklider. The 10th and last conference was in 1953. The following year, in 1954, a similar conference was arranged under the sponsorship of the US National Science Foundation (NSF) at MIT. It was organized by Licklider and several other psychologists including Frederick C. Frick, George A. Miller, Wendell R. Garner and Edwin Broomell Newman. The title of this conference was "Problems in Human Communication and Control". It was held on June 15–17, 1954. A tape was made of the conference. Licklider edited the notes from the tape. The manuscript was subsequently published in a bound volume as the paraphrased transcription of the conference, much like the volumes published of the Macy Conferences on Cybernetics.

Among the participants whose contributions to the discussion were included were mathematicians like Norbert Wiener, physiologists like Walter Rosenblith, and computer scientists like Belmont Greelee Farley, Robert Fano, and Oliver Selfridge. This NSF conference is a link between the Wiener circles and Licklider and the development of the Internet. The proceedings provide a window from which to look at the process and content that was influential in forming the vision for the birth of the Internet and its development. This process was one of creative discussion and dialogue. The content was the discussion of research in cybernetics and information processing (cf. Licklider 1954).

Among the many questions explored at this conference was a conversation Licklider had with Wiener about how cybernetics is applicable to the problem of providing leadership for scientific research. Wiener explains that he is working on a new book to examine this problem, the book "Invention" (cf. Wiener 1993). Wiener proposes that it is necessary to have the leadership of a scientific laboratory in the hands of a researcher who can identify

significant research even in its earliest form. In this discussion, Licklider and Wiener explore how to establish a geographically dispersed community of skillful researchers. This discussion provides a model for the Intergalactic Network that Licklider would introduce in 1962 when he was invited to the Advanced Research Project Agency (ARPA) to create a computer science research community.

After the 1954 NSF conference, Licklider got a grant to conduct a study that was to have a significant impact on his future work and on the future of computer technology. The grant was to record the process of the scientific work he was doing and to categorize the nature of his activities. Licklider conducted this research in the Spring and Summer of 1957. The effects of this study surprised him. He found that 85 % of his time was spent getting into a position to think, often doing tasks like gathering data, making graphs, and other tedious work. Only 15 % of his time was available to think about the data, to make decisions or to gain an insight.

As a result of this research, he wrote a paper titled "Man Computer Symbiosis". The paper was published in March 1960. It describes a dependency relationship between what Licklider considers as two different species, the human species and the computer species. The paper proposes a new conception of the relationship between the human and the computer. Licklider called this relationship "symbiosis":

> "The fig tree is pollinated only by the insect 'Blastophaga grossorum'. The larva of the insect lives in the ovary of the fig tree, and there it gets its food. The tree and the insect are thus heavily interdependent: the tree cannot reproduce without the insect; the insect cannot eat without the tree; together, they constitute not only a viable but a productive and thriving partnership. This cooperative 'living together in intimate association, or even close union, of two dissimilar organisms' is called symbiosis." (Licklider 1960: 4)

In the paper, Licklider describes the different functions of each species. He writes:

> "[M]en will set the goals, formulate the hypotheses, determine the criteria, and perform the evaluations. Computing machines will do the routinizable work that must be done to prepare the way for insights and decisions in technical and scientific thinking [… T]he symbiotic partnership, will perform intellectual operations much more effectively than man alone can perform them." (Licklider 1960: 4)

This relationship was a way to implement the proposal that Wiener made in "God and Golem, Inc." to study the appropriate function of the human and computer components of the mixed system. Licklider's 1960 paper includes

a technical research program to create the needed computer development for the computer to be able to fulfill its part of the partnership. More importantly, Licklider proposes a vision for the future development of human and computer systems. He writes:

> "The hope is that, in not too many years, human brains and computing machines will be coupled together very tightly, and that the resulting partnership will think as no human brain has ever thought and process data in a way not approached by the information-handling machines we know of today." (Licklider 1960: 4)

Licklider envisioned a continuum of the abilities of the human mind and of the computer. The computer could then be involved in carrying out some of the steps in the problem solving process for the human. He presented his research about this continuum at a NATO Symposium on Communication Processes held by the NATO Advisory Group on Human Factors. Licklider wrote:

> "Because the field of man-computer communication is burgeoning, it will be necessary to select only a few of many problems. These problems are being studied and, indeed, some of them are being solved in a concerted program […] The problems are multidisciplinary. The effort involves mathematicians, logicians, linguists, electrical engineers, and computer scientists as well as psychologists." (Licklider 1965: 260)

Describing the spectrum of ability of the human, up to where the computer can be helpful, Allen Newell, another computer science pioneer and a close colleague of Licklider's, elaborates:

> "A spectrum of increasing specification goes on in the human, which we can roughly picture as follows: → goal → idea of solution → detail of solution → computer. At the far left the human already has some way of recognizing, the adequacy and desirability of results. Clearly several stages of prior ill-definition exist even further to the left. But a long way also exists toward the right before the procedures for solving the problem are well enough defined to be communicated to a computer, using current programming languages." (Newell 1965: 241)

Newell's research explored how a computer could do a form of heuristic thinking once the problem to be solved was understood. He writes:

> "This paper is concerned with communication just prior to where the man has full detail. It asks how it is possible to communicate with the computer when the man does have an idea of what he wants done, but before he has fully developed and checked his procedures for doing it. It is not concerned with how the man discovers the basic ideas of his solution or how a computer might help him in this respect." (Newell 1965: 241)

Licklider took a more difficult problem to solve: the problem of how to identify the question that is at the essence of a difficult problem. This is within the most skillful heuristic capabilities of the human.[3] This is similar to that which Claude Shannon described as the capability for creative thinking. Shannon describes his understanding of intelligence as the process of taking a problem no matter how difficult and finding a way to make progress with it. Shannon writes:

> "[…] you have to have some kind of a drive, some kind of a desire to find out the answer, a desire to find out what makes things tick. If you don't have that, you may have all the training and intelligence in the world, you don't have questions and you won't just find answers. This is a hard thing to put your finger on. It is a matter of temperament probably; that is, a matter of probably early training, early childhood experience, whether you will motivate in the direction of scientific research […] my feeling is that a good scientist has a great deal of what we can call curiosity. He's just curious how things tick and he wants to know the answers to questions; and if he sees things, he wants to raise questions and he wants to know the answers to those […] I mean a constructive dissatisfaction […] In other words, there is continually a slight irritation when things don't look quite right; and I think that dissatisfaction in present days is a key driving force in good scientists." (Shannon 1952)

The power of Licklider's work is that he took up the problem of providing for human computer interaction at the furthest point in the continuum of human capability. Licklider took as his concern the whole domain of intellectual processes. At a conference two years earlier at MIT in 1961, Licklider elaborates on his view of the importance of the human role in the human computer symbiosis. He refers to the university as the institutional setting to support this scientific development. He explains:

---

3 Heuristic activity is that activity which follows upon hunches and is used to formulate the question and to revise it. It is activity which makes possible invention, formulates problems, and is able to solve difficult problems. Algorithmic activity is the activity which follows, rapidly and accurately, instructions or procedures which have been pre-specified in advance (cf. Licklider 1965: 224). An integration of heuristic and algorithmic activity is needed to solve difficult problems, because of the nature of the process of trying to solve a difficult problem. Licklider explains: "One of the things that makes a problem difficult, of course, is to have a large space of possible solutions. Another thing that makes a problem difficult is not to have a structure, known 'a priori' that relates partial solutions to complete solutions, that organizes hypotheses, or that suggests or limits or constrains approaches. Some problems that have the two properties just mentioned have also a third property that makes them extremely difficult. They are penetrated only a little way by any hypothesis, and to make matters worse – much detailed and necessary precise information processing is involved in testing any hypothesis" (Licklider 1967: 2).

> "Let me report, briefly, that preliminary analysis of technical and scientific creative activity suggests that such activity consists of short intervals of insight, invention, and decision making interspersed among long intervals of 'staff operations.' Most of the researcher's time, most of the scholar's time, most of the student's time is spent in getting into position to take a step, and only a small part of it is spent in taking the step. No one knows what it would do to a creative brain to think creatively continuously […] When we have this computer, after the several necessary years of programming, language developing, computer designing, and so forth, I think it will participate in almost every intellectual transaction that goes on in the university. Right now, of course, the computer solves preformulated problems mainly of a numerical nature. In due course it will be part of the formulation of the problems; part of real-time thinking, problem solving, doing of research, conducting of experiments, getting into the literature and finding references you want. It will be part of this for, I think, all the people […] In not so many years […] it will be regarded less as a handmaiden than as a partner." (Greenberger 1962: 206)

Licklider was hopeful that, "Through its contribution to formulative thinking," the computer would make it possible to "understand the structure of ideas, [and] the nature of intellectual processes […]". He predicted that,

> "Although one cannot see clearly and deeply into this region of the future from the present point of view […] 'information processing,' […]will one day be the field of a basic and important science […] One of the most important present functions of the digital computer in the university should be to catalyze the development of that science." (Greenberger 1962: 207)

Because of his interest in the human and the augmentation of human intellectual capabilities, Licklider was at the human end of the spectrum of research in self organizing systems.[4] Therefore, it would seem surprising for Licklider to be invited to give the keynote talk at a conference on "self-organizing learning systems". Acknowledging the unusual nature of his

4 Licklider explains why human computer interactivity is so important: "The fundamental hypothesis of those of us who advocate close man-computer interaction is that, in most creative intellectual activity – most thinking, judgment, evaluation, problem solving, decision making – heuristic and algorithmic processes are intimately interwoven. If that hypothesis is correct, one does not have to look further to see why efforts to allocate tasks either to man or to computers have been unsatisfactory, why the computer programs for a new information processing system cost more and take longer to acquire than the computer itself, why military commanders speak of being hemmed in by computers more often than being aided by computers […] Thus at the present time, man (or 'life') is the sole source of heuristic power. And, therefore, man-computer interaction is essential to effective use or exploitation of computers" (Licklider 1965: 224–225).

topic, "Interactive Information Processing" as the keynote for such a conference, Licklider writes:

> "My first obligation is to explain why I think it appropriate to discuss interactive information processing as a way of leading into, and indeed a keynote of, this conference. To put it in a nutshell: I think that interactive information processing is the key to the understanding and synthesis of systems that adapt, organize themselves, learn, and do the other sophisticated things that are to be discussed regarding self-organizing systems." (Licklider 1967: 1)

Licklider believed that developing human computer interactivity was critical to progress in the development of self-organizing or adaptive systems. There is a need for such interactivity and collaboration between researchers to develop the self-organizing or adaptive systems that the papers at the conference discussed. He outlines three stages in the development of the intellectual revolution he is envisioning (cf. Licklider 1967: 3–4.):

- The first stage is where 'man' and 'computer' are closely intertwined so that the heuristic capabilities of the human can be intertwined with the algorithmic capabilities of the computer. This is the lowest stage of intellectual advancement he is envisioning. For this stage, it is crucial to establish human-computer interaction. There is a need to have libraries of software that make such interaction possible, displays and other kinds of hardware, and languages (he asks for problem-oriented languages) that will be helpful in carrying out this early stage.
- The second stage he describes is the stage where human-computer interaction has been achieved. For this stage he refers to the communities that developed from the time sharing systems that were developed with ARPA's (Advanced Research Projects Agency) support. These communities hadn't been anticipated. What was observed was that there was "community cooperation which could make it possible to develop a large and comprehensive software base to support man-computer interaction in a variety of fields."

Licklider predicted that there would be important developments when interactive computing was introduced into a creative intellectual community. He proposed, however, that there was still much to do "to develop the techniques for facilitating cooperation and fostering a coherent community software effort." This presented a need to experiment and deliberately develop such cooperative techniques if the needed software was to be developed in a short period of time.

- The third stage Licklider describes is the stage of networks of geographically distributed computers where there are people on line and computers connected. When Licklider gave his keynote talk at this conference in 1966, he was able to give numerous examples of the kind of interactive programs that would make it possible to turn his vision into reality. "I am convinced," he writes, "that so many parts of it already exist and operate, that it is a realizable vision and not merely a dream" (Licklider 1967: 8–9).

Licklider believed that a crucial component for the realization of his vision would be the creation of computer networks. Though, at the time, there were "no general purpose networks of geographically distributed computers to point to as examples" (Licklider 1967: 6). There were discussions of such networks. He pointed to the conditions that would make it possible to develop these networks. These included:

> a) "The technologies of computation and communication are ripe for the kind of fusion that will make it possible for geographically separated computers to 'talk' with one another in a sufficiently facile way to permit geographically separated users to communicate and cooperate with one another in joint interaction with stored information."
> [and]
> b) "The effect of bringing geographically distributed users into network-mediated interaction seem(ed) likely to be greater than the effect that can be achieved through multiple-access interaction in any local community." (Licklider 1967: 4)

Under previous conditions it had been too difficult or expensive to gather the critical mass needed to work on a difficult problem. But with the development of interactive networks the needed "intellectual community may be achieved despite the geographical separation" (Licklider 1967: 4).

Licklider explains that,

> "for a long time the advances in adaptive, self-organizing and learning systems will have mainly the effect of making computers better partners for men – and, of particular significance to this conference, better partners for men engaged in research in computer and information science." (Licklider 1967: 4)

He also describes the need for public directories of useful programs (he uses the word library here) as practical research to be encouraged and the need for creative users to use the programs and to "augment" them through use.

In order to create the basis for such a system, however, there would need to be the proper framework established. An initial system would need to be designed which would be able to "foster creative use and facilitate self-

augmentation" (Licklider 1967: 7). This was the key to creating a "dynamic, self-augmenting system for interactive information processing." The framework for such a system would need to "discourage piecemeal proliferation and yet be flexible and open-ended enough to invite creative augmentation" (Licklider 1967: 7).

In the 1960s, Licklider propagated this vision by referring to "an intergalactic network" (cf. Licklider 1963: 1). This would be the logical extension of building networks to link the open-ended, creative, intellectual communities that had been developed through IPTO's time-sharing research. This was his way of presenting a vision to inspire the technical community. The vision proposed collaborative networks of humans facilitated via computers. Licklider envisioned that these networks would think in a much more effective way than ever possible for the human alone.

Not long after the publication of Licklider's seminal paper "Man Computer Symbiosis", he and Welden Clark (who had taught Licklider to use the TX-O computer at Lincoln Labs at MIT) presented a joint paper at a conference. The paper is titled "On-line Man-Computer Communication". In this paper, Licklider and Clark describe the importance of communication between the human and the computer, and consider how it can be achieved. They write:

> "[M]ore and more people are sensing the importance of the kinds of thinking and problem solving that a truly symbiotic man-computer partnership might accomplish." (Licklider/Clark 1962: 113)

They outline the capabilities of the human and of the computer. They list ten functions that they propose are essential for creative intellectual work. These functions include those performed best by a computer, those performed best by a human, and those which either the human or the computer excel in. The functions they list which the human excels in include (cf. Licklider/Clark 1962: 114):

a) To select goals and criteria – human;
b) to formulate questions and hypotheses – human;
c) to select approaches – human;
d) to detect relevance – human;
e) to recognize patterns and objects – human;
f) to handle unforeseen and low probability exigencies – human.

The functions on their list which both humans and computers excelled in include:

g) To store large quantities of information – human and computer; with high precision-computer;
h) to retrieve information rapidly – human and computer; with high precision-computer.

The functions that computers excelled in at the time include:

i) To calculate rapidly and accurately – computer;
j) to build up progressively a repertoire of procedures without suffering loss due to interference or lack of use – computer.

Licklider proposed that there would be a need to improve the capability of the computer, if the computer was expected to help the human to solve human problems. Licklider's paper, "Man Computer Symbiosis", included a technical research program to improve the computer. The technical research program he outlined in 1960 was pioneering in its scope (cf. Licklider 1960: 7). The anniversary of both his paper and the research program he proposed, provides an occasion to look back at both the goal and the research objectives he identified to evaluate how far we have come.

In 1962 something else important happened. Licklider was invited to join ARPA. ARPA had been created in 1957 within the U.S. Department of Defense. Its mission was to prevent future technological surprises to the U.S. government, such as occurred when the former Soviet Union launched Sputnik in 1957. Licklider soon created an office for research in computing which he called the Information Processing Techniques Office (IPTO). Also he created an office for research in behavioral science. Licklider was the director of these two offices from 1962 to 1964. The Behavioral Science Office ended after a short while. The IPTO, however, lasted until 1986. In the brief first term of his leadership of IPTO, Licklider created a model and disseminated a vision that guided the majority of the directors of the IPTO who followed him till the office ended. Commenting on Licklider's role in the development of IPTO, Fano writes:

> "Much of the credit should go to Lick for starting the program on the right track with policies from which his successors did not materially depart. It was structured like no other government research program, akin to a single widely dispersed research laboratory, with a clear overall goal, with Lick acting as its director and intellectual leader. He fostered close communication and collaboration among all parts of his far flung laboratory, thereby creating what became known as the ARPA community." (Fano 2000: 6)

Fano also recalls how Licklider's vision and program had its opponents. Licklider did not have an easy time advocating his vision and the processes needed to implement it. Describing Licklider's critics, Fano recalls:

> "They believed that online use of computers was wasteful, and therefore, that the whole program constituted a waste of government funds. But Lick stood his ground, and time proved them wrong. They had missed Lick's main point that computers, although still expensive, could be produced on demand, while creative, competent people could not." (Fano 2000: 6)

The crux of Licklider's vision is the jointly improving evolution of the human and the computer (cf. Hauben 2001).

In conclusion, Licklider, with help from others in the Wiener circles, like Walter Rosenblith, translated Wiener's writings into a positive vision, along with a program for its implementation. Licklider initiated the IPTO, an institutional form to make it possible to implement his technical research program and plan for a human-computer online community. Licklider describes the means to achieve his vision in a number of articles and papers. He integrates the constraints that need to be fashioned as the computer evolves, along with the developments that should be supported. Licklider also proposes a socio-technical process where the best of the human invents the best of the computer. Conversely, the best of the computer makes it possible for the human to excel. This is a means to achieve the human computer symbiotic partnership that the interaction between the human and the computer make possible. As Licklider and Clark proposed,

> "We must amalgamate the predominantly human capabilities and predominantly computer capabilities to create an integrated system for goal-oriented on-line-inventive information processing." (Licklider/Clark 1962: 114)

Licklider's vision has been proven to be a viable vision. This is demonstrated by the computer achievements such as time sharing, interactive graphics, VLSI, the development of the ARPANET, and then of the Internet. It is also demonstrated by the leadership provided by the Information Processing Techniques Office in the birth and development of the Internet. The far reaching scope of Licklider's objectives and his plan for implementation raise the question of whether the goal he identified is still an appropriate goal and if so what the scientific and technical objectives are to further the human computer symbiotic systems that he envisioned.

Key to Licklider's vision for the development of the computer and of the human computer relationship is his view that the most important goal in

developing the computer is to be able to augment human intellectual power just as earlier machinery augmented human muscle power. The most desired goal, according to Licklider, is to create, in the words of Walter Rosenblith, a self modifiable quasi symbiotic system that will combine the ever improving human and ever improving computer.[5]

This vision has become embodied in the birth and continued development of the Internet (cf. Hauben 2003).

Fano, assessing Licklider's achievement, observes:

> "Lick's legacy is obvious to anyone old enough to be familiar with the state of computers and their usage in 1960, when he published his famous paper on man-computer symbiosis. His vision, which was science fiction at that time, is now a reality and is taken for granted by people around the world. The Internet is the embodiment of the 'inter-galactic network' he was talking about with glee as far back as 1963." (Fano 2000: 8)

The Internet is still young. A human-computer relationship and interaction is at the core of the birth of the Internet and of its successful development. The recognition of the importance of this partnership for the successful development of computer and communications science grew out of the post WWII cybernetic discussion circles. Licklider was a participant in these circles and a contributor to them. The vision he developed, of the need for human-computer interactive collaborative networking communication, in-

5 Rosenblith outlines this goal in a helpful way at the 1960 MIT lectures on Management and the Computer of the Future. As a discussant for a talk by Shannon, Rosenblith responds: "Our distinguished chairman has reformulated the topic as the challenge of the 'parallel race.' My inclination is to substitute coexistence and cooperation for competition. The real challenge then consists in creating a novel, more powerful, self-modifiable, quasi-symbiotic system that will combine the assets which a long evolution has bestowed upon man with those which man's inventiveness has bestowed and will bestow upon the computers of tomorrow. I am therefore less tempted to stress what computers can do better than men than to envisage the benefits that we might derive from an intelligent division of labor between man and computer. Such arrangements are very likely to enhance human capacities in just those areas that are crucial to the functioning of a world whose technology is rapidly evolving. Both the industrial revolution, which bore the imprint of the steam enginee, and the cybernetic revolution of automation, which is symbolized by the computer, have given rise to difficulties. These difficulties affect the coupling of man to his devices as well as relations between men. Both revolutions also drastically altered man's image of himself. The promise of the cybernetic era resides in the fact that the new technology may prove capable of providing more than mere substrata for a rational flow of communication and control messages; it is likely that it will furnish some of the needed tools for the development of the sciences of man. We may thus obtain the instrumentalities for the successful management of human wants and institutions, and perhaps even for the self-management of human behavior" (Greenberger 1962: 311f.).

spired the scientific and technical development of the Internet. An understanding of the roots and nature of this vision continues to be critical for the Internet's continued development (cf. Barbat 1998).

Literature

Barbat, Boldur (1998): „Book Review: 'Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet'". Studies in Informatics and Control, 4/4 (December). – http://web.archive.org/web/20010526045139/http://www.ici.ro/ici/revista/sic98_4/art06.html.

Fano, Robert (2000): Joseph Carl Robnett Licklider, March 11, 1915 – June 26, 1990. – http://www.ais.org/~jrh/licklider/lick-fano.html.

Foerster, Heinz von (ed.) (1953): Cybernetics: Circular, Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems. Transactions of the Ninth Conference, March 20–21, 1952, New York.

Greenberger, Martin (ed.) (1962): Computers and the World of the Future. Cambridge, MA.

Hafner, Katie; Lyon, Matthew (1996): Where Wizards Stay Up Late. The Origins Of The Internet. New York.

Hauben, Michael; Hauben, Ronda (1997): Netizens: On the History and Impact of Usenet and the Internet. Los Alamitos, CA.

Hauben, Ronda (2001): The Information Processing Techniques Office and the Birth of the Internet. A Study in Governance. http://www.columbia.edu/~rh120/other/misc/lick101.doc.

Hauben, Ronda (2003): The Internet: On its International Origins and collaborative Vision. "EuroNets-EuroChannels-EuroVisions" Workshop, May 15–17, ETH Zentrum. Zurich. http://www.columbia.edu/~rh120/other/birth_tcp.txt.

Kahn, Robert E. (1987): „Networks for Advanced Computing". Scientific American 257/4 (October), 136–143.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1942): An Electrical Investigation of Frequency Localization in the Auditory Cortex of the Cat. Rochester, NY.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1951): „The Manner in Which and Extent to Which Speech Can Be Distorted and Remain Intelligent". Cybernetics: Circular, Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems. Transactions of the Seventh Conference, March 23–24, 1950, New York; Josiah Macy Jr Foundation. New York.

Licklider, Joseph Carl Robnett (ed.) (1954): Problems in Human Communication and Control. Cambridge, MA.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1960): „Man-Computer Symbiosis". IRE Transactions on Human Factors in Electronics HFE-1 (March), 4–11. – See also http://memex.org/licklider.pdf.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1963): Memorandum for Members and Affiliates of the Intergalactic Computer Network, April 23, 1963, Washington, D.C. to the Intergalactic Network. – http://www.olografix.org/gubi/ estate/libri/wizards/memo.html.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1965): „Problems in Man-Computer Communications“. Communications Processes. Proceedings of a Symposium Held in Washington, 1963, ed. by Frank A. Geldard. New York, 260–268 (NATO Conference Series, Vol. 4).

Licklider, Joseph Carl Robnett (1967): „Interactive Information Processing“. Computer and Information Sciences – II. Proceedings of the Second Symposium on Computer and Information Sciences held at Battelle Memorial Institute, August 22–24, 1966, ed. Julius T. Tou. New York, 1–13.

Licklider, Joseph Carl Robnett (1988): Interview by William Aspray and Arthur L. Norberg. Tape recording. Cambridge, 28. October, OH 150.

Licklider, Joseph Carl Robnett; Clark, Welden E. (1962): „On-Line Man-Computer Communication“. Proceedings Spring Joint Computer Conference 21. Palo Alto, CA, 113–128.

Licklider, Joseph Carl Robnett; Taylor, Robert W. (1968): „The Computer as a Communication Device“. Science and Technology: For the Technical Men in Management 76 (April), 21–31. – See also http://memex.org/licklider.pdf.

Naughton, John (1999): A Brief History of the Future: Origins of the Internet. London.

Newell, Allen (1965): „The Possibility of Planning Languages in Man-Computer Communication“. Communications Processes. Proceedings of a Symposium Held in Washington, 1963, ed. by Frank A. Geldard. New York, 238–259 (NATO Conference Series, Vol. 4).

Rosenblueth, Arturo; Wiener, Norbert; Bigelow, Julian (1943): „Behavior, Purpose, and Teleology“. Philosophy of Science 10/1 (January), 18–24.

Segal, Jérôme (1998): Théorie de l’information: sciences, techniques et société de la seconde guerre mondiale à l’aube du XXIe siècle. Lyon (Faculté d’Histoire de l’Université).

Shannon, Claude (1952): “Creative Thinking” notes from a speech, March 20, via correspondence from Betty Shannon.

Wiener, Norbert (1948): Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine. New York.

Wiener, Norbert (1964): God & Golem, Inc.: A Comment on Certain Points where Cybernetics Impinges on Religion. Cambridge, MA.

Wiener, Norbert (1993): Invention: The Care and Feeding of Ideas. Cambridge, MA.

[leicht veränderter Nachdruck von: Hauben, Ronda: „Creating the Vision for the Internet – From the Wiener Circles to Licklider and ARPA’s IPTO“. Kybernetik und Interdisziplinarität in den Wissenschaften. Georg Klaus zum 90. Geburtstag. Gemeinsames Kolloquium der Leibniz-Sozietät und der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik im November 2002 in Berlin, hrsg. von Klaus Fuchs-Kittowski; Siegfried Piotrowski. Berlin 2004, 267–281 (Abhandlungen der Leibniz-Sozietät, Bd. 11)]

Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin *150/151 (2022), 335–343*

Wolfgang Kleinwächter

Wer regiert das Internet: Kommunikationstechnologie und Informationsfreiheit zwischen Demokratie und Autokratie

Abstract

Over the centuries, new developments in communications technology have repeatedly raised the question of their regulation and, in this context, the question of freedom of speech. The Internet with its decentralized structure has challenged the enforcement of traditional regulatory models. The "multi-stakeholder model" sanctioned by the UN World Summit on the Information Society in 2005, in which governments, business, civil society, and the technical community cooperate closely in their respective roles in regulating the Internet across national borders, still needs to be sustainable in practice, even before against the background that the Internet has not only created new freedoms but also new possibilities for the abuse of these freedoms.

Keywords/Schlüsselwörter

Censorship, Communication Technology, Cyber Security, Digital Economy, Freedom of Speech, Internet Governance

Cybersicherheit, Digitale Wirtschaft, Internet Governance, Kommunikationstechnologie, Meinungsäußerungsfreiheit, Zensur

Wer regiert das Internet? Diese Frage beschäftigt seit Jahrzehnten Politik und Gesellschaft. Mehr als 50 Jahre nachdem im Dezember 1969 zwischen vier Computern in Los Angeles, Santa Barbara, Stanford und Utah die erste Internet-Verbindung funktionierte, wird diese Frage immer noch kontrovers diskutiert. Das ist nicht verwunderlich.

Wie die Erfindung des Buchdrucks vor 500 Jahren, hat auch die Erfindung des Internet etablierte politische und gesellschaftliche Strukturen herausgefordert, neue wirtschaftliche Optionen geschaffen und Räume für individuelle zwischenmenschliche Kommunikation vergrößert. Ja mehr noch, das Internet hat die jahrhundertealten Grenzen von Zeit und Raum aufgehoben. Damit wurde zwangläufig das System der internationalen Beziehungen,

das seit dem Westfälischen Frieden von 1648 auf den durch territoriale Grenzen definierten souveränen Nationalstaat basiert, herausgefordert. Was ist eine Grenze im digitalen Zeitalter? Was bedeutet es, wenn Staaten „Cybersouveränität“ fordern? Haben „Citizens“ als „Netizens“ andere Rechte und Pflichten? Wie und wer setzt die Normen und regelt den Verkehr im grenzenlosen Cyberspace?

Im Unterschied zu allen kommunikationstechnologischen Erfindungen des 19. und 20. Jh.s – Telegraph, Rundfunk, Fernsehen, Satellitenkommunikation –, wo nationale Gesetze und internationale Verträge den grenzüberschreitenden Datenfluss juristisch einhegten, entwickelte sich das Internet in seinen ersten Jahrzehnten im Schatten staatlicher Regulierung und schuf damit historisch beispiellose Freiräume für individuelle Kommunikation sowie für politische und wirtschaftliche Aktivitäten im globalen Maßstab. Das Internet ermöglicht, dass praktisch jeder mit jedem auf dieser Welt zu jeder Zeit und von jedem Ort aus in Wort, Ton und Bild kommunizieren kann. Die Vision von Artikel 19 der im Dezember 1948 angenommenen UN-Menschenrechtsdeklaration, wonach das Recht auf Meinungsfreiheit die Freiheit einschließt,

> „Meinungen ungehindert anzuhängen sowie über Medien jeder Art und ohne Rücksicht auf Grenzen Informationen und Gedankengut zu suchen, zu empfangen und zu verbreiten“,

wurde durch das Internet alltägliche Realität.

Seit seiner Erfindung galt das Internet auch als ein Wegbereiter der Demokratie. Es war und ist ein dezentrales Medium, das nicht von einer machtvollen Zentrale aus gesteuert oder kontrolliert wird. Die „Macht“ und das „Wissen“ liegt an den Rändern des Netzwerkes, nicht in dessen Zentrum. Geregelt wird alles durch „technische Protokolle“, an die sich alle halten müssen, die im Netzwerk kommunizieren wollen. Insofern verwirklichte das Internet auch die Ideale der Väter der Demokratie – von Montesquieu bis zu George Madison –, die den Absolutismus von „Sonnenkönigen“ ablehnten und in einer Gewaltenteilung (checks and balances) die Grundlagen einer auf den Menschenrechten basierenden demokratischen Ordnung sahen.

Die Widersprüchlichkeit der Informationsrevolution

Doch wie alles hat auch das Internet seine Schattenseiten. Es hat nicht nur neue Freiheiten geschaffen, es hat auch die Missbrauchsmöglichkeiten vergrößert. Kriminelle machen sich im Cyberspace breit. Es droht ein globaler Cyberkrieg. „Fakenews“ und „Hatespeech“ setzen die Demokratie einem ge-

waltigen Stresstest aus. Was wir an Selbstbestimmung durch die Informationsrevolution gewonnen haben, scheinen wir mit einem dramatischen Kontrollverlust über unsere Privatsphäre und neuer globaler Instabilität bezahlen zu müssen. Verkehren sich die Versprechungen des Informationszeitalters in ihr Gegenteil? Wird das Internet zu einer Gefahr für die Demokratie?

Die Tatsache, dass jeder Fortschritt seinen Preis hat, kann eigentlich nicht überraschen. Aus der Technologiefolgeabschätzung der 1980er Jahre wissen wird, dass mit wachsender Komplexität neuer Technologien sich das „Fenster der Verwundbarkeit" weiter öffnet. In den 1940er Jahren hat Joseph Schumpeter seine Theorie der „konstruktiven Zerstörung" entwickelt (vgl. Schumpeter 2020: 103ff.). Und als sich Karl Marx vor mehr als 150 Jahren mit den Folgen der industriellen Revolution auseinandersetzte, schrieb er sarkastisch: „In unseren Tagen scheint jedes Ding mit seinem Gegenteil schwanger zu gehen" (Marx 1974: 3). Marx schrieb damals:

> „Auf der einen Seite sind industrielle und wissenschaftliche Kräfte zum Leben erwacht, von der keine Epoche der früheren menschlichen Geschichte je eine Ahnung hatte. Auf der anderen Seite gibt es Verfallssymptome, welche die aus der letzten Zeit des Römischen Reiches berichteten Schrecken bei weitem in den Schatten stellen. […] Wir sehen, daß die Maschinerie, die mit der wundervollen Kraft begabt ist, die menschliche Arbeit zu verringern und fruchtbarer zu machen, sie verkümmern läßt und bis zur Erschöpfung auszehrt. Die neuen Quellen des Reichtums verwandeln sich durch einen seltsamen Zauberbann zu Quellen der Not. Die Siege der Wissenschaft scheinen erkauft durch Verlust an Charakter." (Marx 1974: 3)

Noch vor 20 Jahren, in der Euphorie des „Dot-Com-Booms" der 1990er Jahre, beherrschten optimistische Szenarien die öffentliche Diskussion. John Peter Barlow beschrieb in seiner „Unabhängigkeitserklärung für den Cyberspace" eine „neue Welt" (vgl. Barlow 1997). Zwanzig Jahre später ist Ernüchterung eingezogen. Die Welt ist zwar eine andere geworden, aber die „alte Welt" ist nicht verschwunden, sie ist in der „neuen Welt" aufgegangen. Und so tauchen alle politischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und menschenrechtlichen Konflikte des 20. Jh.s nun in einem neuen „Cyber-" oder „Digitalgewand" wieder im politischen Alltag auf.

Natürlich unterscheidet sich die digitale Welt des 21. Jh.s von der analogen Welt des 20. Jh.s. Ein kalter Cyberkrieg im digitalen Zeitalter ist anders als der kalte Krieg im Atomzeitalter, wenngleich er nicht weniger dramatische Folgen haben kann. Und diese Widersprüchlichkeit betrifft nicht nur die Frage „Krieg oder Frieden". Sie ist relevant für alle gesellschaftlichen Bereiche. Die Digitalwirtschaft schafft nicht nur neue Jobs, sie zerstört auch

viele und hebelt traditionelle Wertschöpfungsketten aus. Die individuellen Freiheitsrechte erweitern sich. Gleichzeitig sind Meinungsäußerungsfreiheit und Schutz der Privatsphäre bedroht wie nie zuvor. „Globales“ und „Lokales“ mischen sich in einer schwer zu definierenden „Glocalisation“, bei der soziale Spaltungen sich innerhalb und zwischen Ländern vertiefen.

Heute hängt nationale wie internationale Sicherheit von der Cybersicherheit ab. Die Wirtschaft ist eine digitale Wirtschaft. Individuelle Grundrechte werden als digitale Rechte verstanden. Und wie im Industriezeitalter, wo sich mit Kommunismus und Kapitalismus zwei konträre Gesellschaftssysteme gegenüberstanden, haben sich im Informationszeitalter erneut zwei sehr unterschiedliche Gesellschaftsmodelle – ein demokratisches und ein autokratisches – herausgebildet. Cyberdemokratie und Cyberautokratie profitieren gleichermaßen von den Möglichkeiten der „Informationsrevolution“, praktizieren aber einen diametralen Umgang mit deren Errungenschaften.

Internet-Regulierung

Es waren zunächst technische Regeln in Form von Codes, Protokollen und Standards, die das Internet „regulierten“. Harvard-Professor Lawrence Lessig stellte Ende der 1990er Jahre fest, dass es im Cyberspace der „Code“ ist, der „reguliert“ (vgl. Lessing 1999). Hätten früher die „Law Maker“ die Räume für technische Innovation definiert, würden im Informationszeitalter die „Code Maker“ die Räume definieren, in denen dann die „Law Maker“ aktiv werden müssten.

Das dies in einer Welt mit 193 unterschiedlichen Jurisdiktionen zu Problemen führte, wurde spätestens auf dem UN-Weltgipfel zur Informationsgesellschaft (WSIS), der von 2002 bis 2005 in Genf und Tunis stattfand, sichtbar. Der WSIS-Gipfel fand auf die Frage, wie das Management der technischen Ressourcen des Internet, die eben jene grenzenlose Kommunikation ermöglicht, mit den existierenden Regeln der internationalen Staatengemeinschaft, wie sie in der Charta der Vereinten Nationen und der UN-Menschenrechtsdeklaration kodifiziert sind, koexistieren sollen, keine endgültige Antwort. Spätestens bei diesem Weltgipfel wurde klar, dass die globale Informationsgesellschaft praktisch auf zwei sich widersprechenden Ebenen (Layer) basiert: Dem „technischen Layer“ eines „One World: One Internet“-Konzepts und dem „politischen Layer“ eines „One World: 193 national Jurisdictions“-Konzepts. Das Protokoll zur Verbindung der beiden „Layer“, d. h. der Code zwischen dem TCP/IP Protokoll und der UN-Charta, wurde noch nicht geschrieben.

Immerhin aber empfahl der WSIS-Gipfel, die Suche nach einer Lösung für diesen Widerspruch nicht den Regierungen allein zu überlassen. In der Tunis-Agenda einigten sich die 193 UNO-Staaten auf eine Definition für „Internet Governance". Demnach sollten allen vom Internet betroffenen „Stakeholder" aus Regierung, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und technischer Community in ihrer „jeweiligen Rolle" (*in their specific roles*) an der Entwicklung von Politiken und deren Umsetzung beteiligt werden (*shared decision making*). Dieser „Multistakeholder-Approach" gilt seitdem als Blaupause für das Management und die Regulierung des Internet. Das Problem ist, dass dieser generelle Konsensus mit Blick auf des „Multistakeholder-Prinzip" nicht untersetzt ist durch einen Konsensus, wie im Detail dieses Prinzip implementiert werden soll. Um erst einmal zu klären, was denn überhaupt wie „entschieden" und „reguliert" werden muss, beschloss der WSIS-Gipfel neben der „Internet Governance Definition" die Schaffung einer Multistakeholder Diskussionsplattform: das Internet Governance Forum (IGF).

Der damalige UN-Generalsekretär Kofi Annan hatte bei seiner Eröffnungsrede im November 2003 in Genf den WSIS Gipfel einen „Gipfel über die Zukunft" genannt. Über diese Zukunft wird seither beim jährlichen IGF gestritten. Zweimal wurde das ursprünglich bis 2010 begrenzte Mandat für das IGF, nun bis 2025, verlängert. In seiner „Roadmap on Digital Cooperation" (Juni 2020) hat der jetzt amtierende UN-Generalsekretär Antonio Guterres einen Ausbau des IGF zu einem IGF+ vorgeschlagen. Darüber entscheiden muss die WSIS+20 Review Konferenz, die für 2025 geplant ist.

Die von Annan 2003 beschworene Zukunft ist in den 2020er Jahren Gegenwart geworden. War Internet-Governance vor 20 Jahren für viele Stakeholder noch ein mehr technisches Problem mit einigen politischen Implikationen, so ist dieses Thema heute ein primär politisches Problem mit einigen technischen Komponenten.

Dabei ist der politische Grundkonflikt, der auf dem WSIS Gipfel diskutiert wurde, bis heute nicht gelöst. Das Multistakeholder-Modell und das IGF haben zwar einen Rahmen geschaffen, wie „*Code-Maker*" und „*Law-Maker*" nicht nur ko-existieren, sondern auch kooperieren können, de facto aber ist der Widerspruch zwischen der durch das Internet ermöglichten grenzenlosen Kommunikation im Cyberspace und der Existenz von auf dem Souveränitäts-Prinzip basierten Nationalstaaten in den letzten Jahren eher größer als kleiner geworden. Es gibt keine Weltregierung des Internet. Und der politische Wille der Cybergroßmächte, sich auf eine globale Rahmenordnung für das Internet zu verständigen, hat in den letzten Jahren drastisch abgenommen.

Auf dem 13. IGF im November 2018 in Paris hatte der französische Präsident Emanuel Macron für einen „innovativen Multilateralismus“, der auch alle nicht-staatlichen Stakeholder in die Suche nach Lösungen für dieses globale Problem einbezieht, geworben. Tatsächlich aber hat ein Internet-„Neo-Nationalismus“ an Boden gewonnen, der sowohl dem „Multistakeholderismus“ als auch dem „Multilateralismus“ weitgehend negativ gegenübersteht. Freedom House hat daher nicht grundlos seinen 2018er Jahresbericht über den Stand der Internet-Freiheiten in der Welt den Titel gegeben: „The Rise of Digital Authoritarianism“ (vgl. FH 2018).

Informationsfreiheit

Die Geschichte der Kommunikationstechnologie ist auch eine Geschichte des Kampfes um Informationsfreiheit. Sie ist eine Geschichte um Macht, Kontrolle und Herrschaft. Sie begann mit der Erfindung des Buchdrucks. Und sie wird nicht im Cyberspace enden.

Schaut man zurück, dann startete die Auseinandersetzung darüber, welche Ideen und Information verbreitet können und welche nicht, mit Johann Gutenberg’s technologischer Innovation. Und dieser Streit wiederholte sich mit jeder Innovation in der Kommunikationstechnologie: Telegraph, drahtlose Telegraphie, Rundfunk, Fernsehen, Computer, Kommunikationssatelliten, Internet. Insofern ist unsere heutige Diskussion, wer was wie im Internet veröffentlichen darf, nicht so fundamental anders als all die Informationsfreiheits-Debatten der vergangenen 500 Jahre, und man kann einige Lehren für die Zukunft daraus ziehen.

Vergleicht man die politische Diskussion, die jeder kommunikationstechnologischen Innovation folgte, dann ergibt sich ein Muster, das sich wie ein roter Faden durch die Zeitläufe der Kommunikationsgeschichte zieht. Neue Technologien eröffneten immer wieder neue individuelle Freiräume für Information und Kommunikation mit dem Potenzial, etablierte Machtstrukturen (insbesondere, wenn sie auf einem Informationsmonopol basierten) zu unterminieren. Sie eröffneten auch neue Geschäftsfelder und wurden von unterschiedlichen Gruppen für unterschiedliche Zwecke genutzt. Es dauerte nicht lange, und der Staat griff mit mehr oder minder strengen Regularien ein. Die staatliche Einschränkung der technisch gewonnenen Freiräume wurde in der Regel begründet mit der Notwendigkeit des Schutzes von „nationaler Ordnung und Sicherheit“, motiviert in nicht wenigen Fällen aber vor allem mit der Sorge um Machterhalt. Das führte nicht selten zu drakonischen Zensurmaßnahmen. Dem folgte dann meist ein Katz-und-

Maus-Spiel zwischen Zensoren und Zensierten, bis die nächste technologische Innovation die mittlerweile etablierten staatlichen Kontrollmechanismen erneut aushebelte.

Dieses Wechselspiel betraf die nationale Kommunikation ebenso wie den grenzüberschreitenden internationalen Informationsfluss. In den „Karlsbader Beschlüssen" von 1819 hatten die Mächte der auf dem Wiener Kongress 1815 gegründeten „Heiligen Allianz" ein radikales Zensursystem eingeführt. Dieser Vertrag schloss auch das Verbot eines Imports von „aufrührerischen Schriften" ein. Heinrich Heine verspottete diesen Vertrag später in seinem „Deutschland: Ein Wintermärchen" als er schrieb, dass die Zollbeamten an den Grenzen nicht nur nach „Plauener Spitzen und Bijouterien", sondern auch nach „konfiszierlichen Büchern" suchen würden (Heine 1844, Caput II).

Mit der Erfindung des Telegraphen in den 1830er Jahren wurde dieses physische Kontrollsystem unterminiert. Es dauerte keine 15 Jahre, bis in der „Dresdner Telegraphen Konvention" von 1850 zwischen Österreich und Preußen der erste völkerrechtliche Vertrag zur grenzüberschreitenden Telegraphie unterzeichnet wurde, bei dem drakonische Strafen angedroht wurden, sollten Telegramme verbreitet werden, die die „nationale Sicherheit" gefährden oder „Staatsgeheimnisse" verraten. Die Dresdner Konvention diente als Blaupause für den ersten multilateralen Vertrag zur internationalen Telegraphie, die auf Betreiben von Kaiser Napoleon III. im Jahr 1865 in Paris unterschrieben wurde und noch heute als Gründungsurkunde für die Internationale Telegraphenunion (ITU) gilt. Das Gleiche wiederholte sich bei der Diskussion zur drahtlosen Telegraphie zu Beginn des 20. Jh.s, die in den Regierungsverhandlungen zur „Berliner Konvention" von 1906 mündete. Als der Rundfunk aufkam, wurde in den 1920er und 1930er Jahren im Völkerbund über einen „Rundfunkfriedenspakt" verhandelt, der 1939 in Kraft trat, just zwei Tage vor Ausbruch des 2. Weltkrieges. In den 1970er und 1980er Jahren verhandelte die UNO – allerdings ohne Erfolg – mehr als 15 Jahre über eine Konvention zum Satellitendirektfernsehen.

Beim Internet schien es viele Jahre lang, als hätten Regierungen die technische Entwicklung verpasst und Zensoren auf Grund der dezentralen Architektur des Internet schlechte Karten. Das Internet entstand und entwickelte sich quasi im Schatten staatlicher Regulierung als ein globales Medium, dass die Grenzen von Zeit und Raum, und insofern auch die Grenzen zwischen Staaten, nicht kannte. Das Internet konstituierte sich als ein neues Medium der unbegrenzten Freiheit, gemanagt von der „globalen Internet

Community“ (IETF, RIRs, ICANN, IANA, W3C, IAB, ISOC[1]) und basierend auf einem innovativen Selbst-Regulierungskonzept, bei dem alle Betroffenen und Beteiligte (*Stakeholder*) in einem von unten organisierten offenen und transparenten Politikentwicklungs- und Entscheidungsprozess gleichberechtigt einbezogen sind. Regierungen waren eher nicht involviert oder allenfalls, wie bei ICANN, in einer Beratungsfunktion tätig.

Anfang der 2000er Jahre signalisierte aber bereits der UN-Weltgipfel zur Informationsgesellschaft (WSIS), dass viele Regierungen das Freiheitsversprechen des Internet als eine Bedrohung ihrer Machtpositionen wahrnahmen und darauf aus waren, den Geist einer globalen Kommunikationsfreiheit wieder in die Flasche nationaler Regelungen und Kontrolle zurück zu bugsieren. Seither werden Internet relevante Fragen in immer mehr multilateralen zwischenstaatlichen Gremien innerhalb und außerhalb des UN-Systems mit dem Ziel verhandelt, völkerrechtliche Verträge abzuschließen, die die alten Kontrollmechanismen zurückbringen.

Wird das Internet nun eingeholt von dem jahrhundertealten Debatten-Muster über neue Kommunikationstechnologien, Informationsfreiheit und Zensur? Immer mehr Länder – und nicht nur autokratische Regimes – erlassen Internet-Gesetze, die Konsequenzen haben für Meinungsäußerungs- und Kommunikationsfreiheit sowie den Schutz der Privatsphäre. Die ökonomischen Aspekte einer digitalen Wirtschaft – Datenhandel, Datenlokalisierung, digitale Besteuerung, Rolle transnationaler Internetkonglomerate, Regelungen zu künstlicher Intelligenz – bringen ganze neue nationale Regelungspakete in unseren Alltag. Droht eine Re-Nationalisierung, eine Fragmentierung des globalen, offenen und freien Internet? Fakt ist, dass die in den letzten Jahrzehnten gewonnene Internetfreiheit einem bislang nicht gekannten Stresstest ausgesetzt ist. Und noch ist nicht entschieden, wie diese Diskussion ausgehen wird.

---

1 Die IETF (Internet Engineering Task Force) ist verantwortlich für Internet Standards und Protokolle/Codes; die RIRs (Regional Internet Registries) verwalten Internet Nummern, die ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers) ist zuständig für das Internet Domain Name System, IP Adressen und die Internet Root Server; die IANA (Internet Assigned Numbers Authority) verwaltet die globale Datenbank der Top Level Domains im Root Server System; das W3C (World Wide Web Consortium) ist für Standards im World Wide Web verantwortlich; das IAB (Internet Architecture Board) kümmert sich um die technische Internet Architektur; die ISOC (Internet Society) diskutiert politische und soziale Implikationen des Internets.

Literatur

Barlow, John Perry (1997): A Declaration of the Independence of Cyberspace. – https://www.eff.org/de/cyberspace-independence.

FH – Freedom House (2018): The Rise of Digital Authoritarianism. Fake News, Data Collection, and the Challenge to Democracy. – https://freedomhouse.org/report/freedom-net/2018/rise-digital-authoritarianism.

Heine, Heinrich (1844): Deutschland: Ein Wintermärchen. – https://www.projekt-gutenberg.org/heine/wintmrch/wintmr02.html.

Lessing, Lawrence (1999): Code and Other Laws of Cyberspace. New York.

Marx, Karl (1974): [Rede auf der Jahresfeier des „People‘s Paper“ am 14. April 1856 in London]. Marx, Karl; Engels, Friedrich: Werke. Bd. 12. Berlin, 3–4.

Schumpeter, Joseph (2020): Kapitalismus, Sozialismus und Demokratie [1944]. 10. Aufl. Tübingen.

Autorinnen und Autoren

Gerhard Banse; Professor Dr. sc. phil. Professor e.h.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; gerhard.banse@t-online.de / g.banse@leibnizsozietaet.de

Peter Brödner; Professor Dr.-Ing.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; peter.broedner@t-online.de

Yaoli Du; Promotionsstudentin; Universität Leipzig, Institut für Philosophie; yaoli.du@uni-leipzig.de

Rainer Fischbach; arbeitete als Softwareexperte in der Industrie; rainer_fischbach@gmx.net

Christiane Floyd; Professorin emer. Dr. phil. Dr. h.c.; christiane.floyd@t-online.de

Klaus Fuchs-Kittowski; Professor Dr. phil. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; fuchs-kittowski@t-online.de

Hansjürgen Garstka; Dr. phil. Dr. jur.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; garstka@berlin.de

Hans-Gert Gräbe; Professor Dr. rer. nat. habil.; Universität Leipzig, Institut für Informatik; graebe@informatik.uni-leipzig.de

Philipp Grüning; M.Sc.; Universität zu Lübeck, Institut für Neuro- und Bioinformatik; gruening@inb.uni-luebeck.de

Dirk Hagen; Professor Dr. rer. nat.; SRH Berlin University of Applied Sciences, Berlin School of Management / Hochschule Hannover, University of Applied Sciences and Arts; dirk.hagen@srh.de / dirk.hagen@hs-hannover.de

Ruth Edith Hagengruber; Professorin Dr. Dr. phil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Universität Paderborn, Fachbereichs Philosophie; ruth.hagengruber@uni-paderborn.de

Ronda Hauben; MA; Journalistin; ronda.netizen@gmail.com

Gisela Jacobasch; Professorin Dr. med. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; g.k.jacobasch@t-online.de

Horst Junker; Professor Dr. rer. pol.; IMBC Institut für Informationsverarbeitung GmbH; horst.junker@imbc.de

Wolfgang Kleinwächter; Professor emer.; University of Aarhus; wolfgang@kleinwaechter.info

Klaus Kornwachs; Professor Dr. phil. habil. Dipl.-Phys.; Büro für Kultur und Technik Argenbühl; klaus@kornwachs.de / klaus.kornwachs@uni-ulm.de

Werner Krause; Professor Dr. sc. nat.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; urwe.krause@t-online.de

Harald A. Mieg; Professor Dr. phil. habil.; Humboldt-Universität zu Berlin, Georg-Simmel-Zentrum für Metropolenforschung; harald.mieg@hu-berlin.de

Falk Nette; M.Sc.; Fraunhofer Einrichtung für Individualisierte und Zellbasierte Medizintechnik Lübeck; falk.hendrik.nette@imte.fraunhofer.de

Daniel H. Rapoport; Dr. rer. nat.; Universität zu Lübeck, Institut für Medizinische und Marine Biotechnologie; daniel.rapoport@uni-luebeck.de / daniel.rapoport@gmail.com

Nadine Schumann; Dr. phil.; Universität Leipzig, Institut für Informatik; nadine.schumann@uni-leipzig.de

Erdmute Sommerfeld; Professorin Dr. rer. nat. habil.; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; erdmute.sommerfeld@t-online.de

Christian Stary; Professor Dr. techn; Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; Johannes-Kepler-Universität Linz; christian.stary@jku.at

Stefan Ullrich; Dr. rer. nat; Technische Universität Berlin, Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft; stefan.ullrich@tu-berlin.de

Werner Zorn; Professor Dr.-Ing.; Ehrenmitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin; zorn@hpi.de

e-Culture – Schriftenreihe des Network Cultural Diversity and New Media (CultMedia)

Band 20
Hans-Joachim Petsche / Julius Erdmann / Antje Zapf (Hg.): „Virtualisierung und Mediatisierung kultureller Räume. Die Neuen Medien – Gewinne, Verluste, Gefahren", 2015, 450 S., zahlr. Abb. und Tab., ISBN 978-3-86464-077-3, 44,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-077-3.html

Band 21
Banse, Gerhard / Rothkegel, Annely (Hg.): „Aneignungs- und Nutzungsweisen Neuer Medien durch Kreativität und Kompetenz", 2015, 283 S., zahlr. Abb. und Tab., ISBN 978-3-86464-097-1, 34,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-097-1.html

Band 23
Banse, Gerhard / Stępień, Tomasz / Sulkowska-Janowska, Mariola / Wojewoda, Marius (Hg.): „Die Zukunft von Medien-Räumen. Zwischen Freiheit und Zwängen", 2017, 223 S., ca. 40 Tab. u. Abb., ISBN 978-3-86464-150-3, 26,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-150-3.html

Band 24
Banse, Gerhard (Hg.): „Von der Agora zur Cyberworld-Plaza: Soziale und kulturelle, digitale und nicht-digitale Dimensionen des öffentlichen Raumes", 2018, 329 S., zahlr. Tab. und Abb., ISBN 978-3-86464-163-3, 36,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-163-3.html

Band 25
Ruda, Sonja et al. (Hg.): „Sicherheit und Risiko – Vermittlung, Verständnis und Verwirklichung der Kulturen. Safety and Risk – Cultural Provision, [Comprehension and Realization]", 2020, 334 S., ISBN 978-3-86464-164-0, 32,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-164-0.html

Band 26
Erdmann, Julius et al. (Hg.): „Industrie 4.0, Kultur 2.0 und die Neuen Medien – Realitäten, Tendenzen, Mythen. [Industry 4.0, Culture 2.0 and New Media – Realities, Trends, Myths]", 2020, 253 S., ISBN 978-3-86464-205-0, 28,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-205-0.html

Band 27
Erdmann, Julius et al. (Hg.): „Menschliche Praktiken und Beziehungen in der media-tisierten Welt – Wandel, Nachhaltigkeit und Verantwortung", 2021, 232 S., ISBN 978-3-86464-206-7, 26,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-206-7.html

Band 28
Egbert, Björn / Julius Erdmann / Andrés Merejo (Eds.): „Digitisation and Transformation – Society, Technology, Education", 2021, engl., 110 S., ISBN 978-3-86464-222-7, 15,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-222-7.html

Ausführliche Informationen zur Reihe unter: http://www.trafoberlin.de/reihe_e-culture.html

Bestellungen und Vorbestellungen über jede Buchhandlung
oder direkt beim Verlag:
trafo verlag, Finkenstraße 8, 12621 Berlin
Tel.: 030/612 99 418
e-Mail: info@trafoberlin.de
www.trafoberlin.de

Abhandlungen der Leibniz-Sozietät (Auswahl)

Band 24
Banse, Gerhard (Hrsg.): „Die Mathematik im System der Wissenschaften. Ergebnisse der wissenschaftlichen Arbeitstagung der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin vom 27. Juni 2008", 2009, ISBN 978-3-89626-823-5, 225 S., 38,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-89626-823-5.html

Band 40
Fuchs-Kittowski, Klaus / Zimmermann, Rainer E. (Hrsg.): „Kybernetik, Logik, Semiotik. Philosophische Sichtweisen. Tagung aus Anlass des 100. Geburtstages von Georg Klaus", 2015, 601 S., zahlr. Abb. und Tab., ISBN 978-3-86464-095-7, 54,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-095-7.html

Band 49
Banse, Gerhard / Busch, Ulrich / Thomas, Michael (Hrsg.): „Digitalisierung und Transformation. Industrie 4.0 und digitalisierte Gesellschaft", 2017, 280 S., zahlr. Tab. und Abb., ISBN 978-3-86464-153-4, 34,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-153-4.html

Band 51
Hartmann, Karl (Hrsg.): „Technologie im Dienste des Menschen? Kritische Überlegungen zum Zeitalter von Industrie 4.0", 2017, 230 S., ISBN 978-3-86464-107-7, 29,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-107-7.html

Band 54
Gerhard Banse, Julia Thelen & Stephan Lingner (Hrsg.): „Industrie 4.0 zwischen Idee und Realität. Ein Ländervergleich", 2019, 400 S., ISBN 978-3-86464-187-9, 49,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-187-9.html

Band 67
Brödner, Peter / Fuchs-Kittowski, Klaus (Hrsg.): „Zukunft der Arbeit. Soziotechnische Gestaltung der Arbeitswelt im Zeichen von ‚Digitalisierung' und ‚Künstlicher Intelligenz'. Tagung der Leibniz-Sozietät am 13. Dezember 2019 in Berlin, Hochschule für Technik und Wirtschaft", 2020, 350 S., ISBN 978-3-86464-219-7, 39,80 EUR
Titel-Infos: www.trafoberlin.de/978-3-86464-219-7.html

Ausführliche Informationen zur Reihe unter: http://www.trafoberlin.de/reihe_leibniz.html

Bestellungen und Vorbestellungen über jede Buchhandlung oder direkt beim Verlag:
trafo Verlagsgruppe, Finkenstraße 8, 12621 Berlin, Tel.: 030/612 99 418,
e-Mail: info@trafoberlin.de http://www.trafoberlin.de