

All copyrights of this article are held by the author/s

To cite this publication

we suggest to use the APA (American Psychological Association) standard:

[Author's Last Name, Initials, (year), Title of work. Retrieved month, day, year, from source.]

You downloaded this document for free
from the



The NetAcademy is an internet research platform organizing the accumulation, dissemination and review of scientific research and publications world wide.

For any use of this document which is not strictly private, scholarly work, please contact the NetAcademy editors respectively the MCM institute at the below address.

The NetAcademy ®
www.netacademy.org
NA.editors@netacademy.org

The NetAcademy project has been developed at the
Institute for Media and Communications Management MCM
University of St. Gallen
Blumenbergplatz 9
CH-9000 St. Gallen, Switzerland
www.mcm.unisg.ch

5 Index

<i>Aktion</i>	19	Mem	23
Assimilation	23	Modell	16
Automaten	20	Multi-Agenten-System	16
externe Sicht	18, 19	Objekte	16
Faktenwissen	20	Optik	16
formale Sprache	16	<i>Plan</i>	20
Frame	22	<i>Programm</i>	20
Gesellschaft kommunizierender		propositionales Wissen	20
Agenten	16	<i>prozedurales Wissen</i>	20
<i>Handlung</i>	19	Repräsentation	16
Handlungswissen	20	Restrukturierung	23
innere <i>Zustandsraum</i>	19	Schema	23
<i>inneres Modell</i>	19	Script	22
<i>intelligentes Handeln</i>	19	Symbole	16
interne Sicht	18	Theorie	16
kognitiven Systems	22	universelle Automaten	20
Komponenten des Wissensmediums		Wahrnehmung	19
.....	18	Wissen	18
Kontrollebene	19	Wissensmedium	16
Lernen	22		

[**Plotkin 94**] Plotkin, Henry, Darwin machines and the nature of knowledge, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1994

[**Sangiorgi, 1993**] Sangiorgi, D. (1993). From pi-calculus to higher-order pi-calculus - and back. In Gaudel, M., editor, Proc. Theory and Practice of Software Development (TAPSOFT'93), Lecture Notes in Computer Science 668, pages 151-166. Springer-Verlag.

[**Sernadas et al., 1992**] Sernadas, A., Sernadas, C., and Costa, J. (1992). Object specification logic. Technical report, INESC/DMIST, Lisbon.

[**Schmid 95**] Schmid B.F., Geyer G., Schmid R., Stanoevska-Slabeva K., Wolff W.: Representation and automatic evaluation of empirical, especially quantitative knowledge. Research Report of the Competence Center Enterprise Knowledge Medium, University of St.Gallen, May 1996

[**Stefik 88**] Stefik Mark J., The next knowledge medium, in: The ecology of computation, Huberman (editor), Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1988

[**Stirling, 1992**] Stirling, C. (1992). Modal and temporal logics for processes.
2:477-563.

[**Pollock 95**] Pollock John L., Cognitive carpentry: a blueprint for how to build a person, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995.

[**Werner 96**] Werner Eric, Logical foundations of distributed artificial intelligence, in: G.M.P. O'Hare and N.R. Jennings, Foundations of distributed artificial intelligence, John Wiley & Sons, Inc., 1996

[**Lechner**, 1997] Lechner, U. (1997). Object-Oriented Specification of Distributed Systems. PhD thesis, University of Passau. Technical Report: MIP-9717. Available at: www.mcm.unisg.ch/ulechner or www.fmi.uni-passau.de/lechner.

[**Lechner** and Schmid, 1999] Lechner, U. and Schmid, B. (1999). The computational media metaphor. In Proc. of the 32th Int. Hawaiian Conference on System Sciences (HICSS 99). To appear.

[**Meseguer**, 1992] Meseguer, J. (1992). Conditional rewriting as a unified model of concurrency. *Theoretical Computer Science*, 96(1):73-155.

[**Matsuoka** 92] Satoshi Matsuoka, Takuo Watanabe, Yuuji Ichisugi, Akinori Yonezawa. Object-oriented concurrent reflective architectures. In: M. Tokoro, O. Nierstrasz, P. Wegner (editors), *Object-Based Concurrent Computing*, p. 211-226, Springer LNCS 612, 1992.

[**Marti-Oliet** 94] Marti-Oliet Narciso, Meseguer José, General logics and logical frameworks, in: D.M. Gabbay, *What is a logical system*, Oxford University Press, Oxford, 1994.

[**Meseguer** 9x] Meseguer José, A logical theory of concurrent objects and its realisation in the Maude language, in:

[**Meseguer** 92] Meseguer José, Conditional rewriting logic as a unified model of concurrency, *Theoretical Computer Science* 96 (1992), 73-155, Elsevier.

[**Meyer** and Wieringa, 1993] Meyer, J.-J. and Wieringa, R. (1993). Deontic logic: A concise overview. In Meyer, J.-J. and Wieringa, R., editors, *Deontic Logic in Computer Science: Normative System Specification*, pages 3-16. Wiley.

[**Milner**, 1989] Milner, R. (1989). *Communication and Concurrency*. Prentice/Hall, Int.

[**Milner** et al., 1992] Milner, R., Parrow, J., and Walker, D. (1992). A calculus of mobile processes, Parts I and II. *Information and Computation*, 100(1):1-40 and 41-77.

[**Milner** et al., 1993] Milner, R., Parrow, J., and Walker, D. (1993). Modal logics for mobile processes. *Theoretical Computer Science*, 25:267-310.

[**Müller**, 1996] Müller, J. (1996). *The Design of Intelligent Agents - A Layered Approach*. Lecture Notes in Computer Science 1177. Springer-Verlag.

[**Müller** 96] Müller Jörg P., The design of intelligent agents. A layered approach. *Lecture Notes in artificial intelligence*, vol. 1177, Springer, 1996

[**Németi** 94] Németi I., Andr  ka H.: General algebraic logic, in: D.M. Gabbay, *What is a logical system*, Oxford University Press, Oxford, 1994.

[**Gabbay 94**] Gabbay Dov M., What is a logical system, in: D.M. Gabbay, What is a logical system? (editor), Oxford University Press, Oxford, 1994.

[**Gabbay 93**] Gabbay Dov M., A general theory of structured consequence relations, in: K. Dosen, P. Schröder-Heister (editors), Substructural logics, Studies in Logic and Computaion, Oxford University Press, 1993.

[**Girard**, 1987] Girard, J.-Y. (1987). Linear logic. Theoretical Computer Science, 50:1-102.

[**Gougen 92**] Joseph A. Gougen, Rod M. Burstall, Institutions: Abstract model theory for specitications and programming. Journal of the ACM, 39(1):95-146, 1992.

[**Hartmann et al.**, 1994] Hartmann, T., Saake, G., Jungclaus, R., Hartel, P., and Kusch, J. (1994). Revised version of the modelling language TROLL (Version 2.0). Technical Report Informatik-Bericht 94-03, TU Braunschweig.

[**Hoare**, 1985] Hoare, C. (1985). Communicating sequential processes. Prentice/Hall, Int.

[**Jennings** (editors), Sixth-Generation Computer Technology Series, Jahn Wiley & Sons Inc., 1996.

[**Jennings et al.**, 1998] Jennings, N., Sycara, K., and Wooldridge, M. (1998). A roadmap of agent research and development. Int. Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems, 1(1):7-38.

[**Jennings and Wooldridge**, 1995] Jennings, N. R. and Wooldridge, M. J. (1995).

Intelligent agents: Theory and practice. The Knowledge Engineering Review, 10(2):115-152.

[**Kiczales 91**] Gregor Kiczales, Jim de Riviers, Daniel G. Bobrow, The Art of the Metaobject Protocol, MIT Press, 1991

[**Konolige**, 1996] Konolige, K. (1996). A Deduction Model of Belief. Pitman Publishing.

[**Kozen**, 1983] Kozen, D. (1983). Results on the propositional mu-calculus. Theoretical Computer Science, 27:333-354.

[**Kraus and Lehmann**, 1988] Kraus, S. and Lehmann, D. (1988). Knowledge, belief and time. Theoretical Computer Science, 58:155-174.

[**Kripke**, 1963] Kripke, S. (1963). Semantical analysis of modal logic. Zeitschrift für Mathematische Logik und Grundlagen der Mathematik, 9:67-96.

[**Kröger**, 1987] Kröger, F. (1987). Temporal Logic of Programs. European Association for Theoretical Computer Science: EATCS monographs on theoretical computer science. Springer-Verlag.

[**Lamport**, 1990] Lamport, L. (1990). A temporal logic of actions. Technical Report Technical Report 57, Palo Alto, California.

4 Literatur

[**Basin et al.**, 1997] Basin, D., Matthews, S., and Viganò, L. (1997). Labelled propositional modal logics: Theory and practice. *Journal of Logic and Computation*, 7(6):685-717.

[**Bradfield**, 1992] Bradfield, J. (1992). *Verifying Temporal Properties of Systems*. Birkhäuser.

[**Bratman** 87] Bratman M., *Intensions, plans, and practical reasoning*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1987.

[**Dawkins** 76] Dawkins R., *The selfish gene*. Oxford University Press, New York, 1976

[**Deacon** 97] Deacon Terrence William, *The symbolic species: the co-evolution of language and the brain*, W.W. Norton & Company, Inc., New York, 1997

[**de Nicola** and Vaandrager, 1995] de Nicola, R. and Vaandrager, F. (1995). Three logics for branching bisimulations. *J. ACM*, 42(2):458-487.

[**Ehrich et al.**, 1991] Ehrich, H.-D., Goguen, J., and Sernadas, A. (1991). A Categorical Theory of Objects as Observed Processes. In *Foundations of Object-Oriented Languages*. REX School/Workshop Proc, Noordwijkerhout, Netherlands, 1990, Lecture Notes in Computer Science 489, pages 203-228. Springer-Verlag.

[**Fagin** 95] Fagin R., Halpern J.Y., Moses Y., Vardi M.Y., *Reasoning about knowledge*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1995

[**Fiadeiro** and Maibaum, 1991] Fiadeiro, J. and Maibaum, T. (1991). Temporal reasoning over deontic specifications. *Journal of Logic and Computation*, 1(3):357-395.

[**Haddadi** 96] Haddadi Afsaneh, Sundermeyer Kurt, *Belief-Desire-Intension agent architecture*, in: *Foundations of distributed artificial intelligence*, G.M.P. O'Hare and N.R.

[**Gabbay**, 1994] Gabbay, D. (1994). What is a logical system? In Gabbay, D., editor, *What is a Logical System?*, volume 4 of *Studies in Logic and Computation*, pages 179-216. Oxford Science Publication.

[**Gabbay**, 1996] Gabbay, D. (1996). *Labelled Deductive Systems*, volume 1 of *Oxford Logic Guides*. Oxford University Press.

Bau der globalen Systeme, auf denen unsere zukünftige Wirtschaft und Gesellschaft beruht⁵⁷.

⁵⁷ Vgl. auch Bauer, F.L., Brauer, W., Schwichtenberg, H.: Logic and Algebra of Specification. NATO ASI Series. Springer 1993

Objektsorte für jedes Argument bestimmt ist. Die Sorte des Ergebnisses ist ebenfalls zu definieren. Analog ist R eine Menge von Symbolen zur Bezeichnung von *Relationen* oder *Prädikaten*, wieder mit Angabe der Stellenzahl und der jeweiligen Sorten.

3.1.3 Das Paradigma 'logic as computation'

Die logische Basis der Computerwissenschaften hat dazu geführt, dass die Logik heute in der Informatik eine analoge Rolle spielt wie in den Naturwissenschaften und in den mit ihnen verbundenen Ingenieurwissenschaften die Analysis. Der Dialog zwischen Logik und Mathematik hat das Paradigma 'logic as computation' hervorgebracht⁵³. Die algorithmische Interpretation der Prädikatenlogik in der Programmiersprache Prolog ist ein Höhepunkt dieser Entwicklung⁵⁴.

Mit dem Computer wurden nun mathematische Konzepte zur Beschreibung von Abläufen entwickelt. 'Computing has given mathematic a powerful new languages of algorithms, which can refine and sharpen our thinking about process and change'⁵⁵. Heute gehören exakte und mächtige Sprachen für Algorithmen⁵⁶ mit klarer Syntax und Semantik zum Werkzeug der Informatik.

Auf diesem Hintergrund bildet sich immer stärker das Paradigma 'computation as logic' - Rechnen aufgefasst als rationales Konstruieren – heraus. Zu dieser Theorie über die mit dem Konstruieren verbundenen Prozesse gehört die sogenannte konstruktive Mathematik, aber auch weite Bereiche der neueren Entwicklungen der mathematischen Logik und, eng damit verbunden, der theoretischen Informatik.

Die Theorie hat, nachdem der Bereich der sequentiellen, an einen Prozessor oder Akteur adressierten Algorithmen befriedigend verstanden und beherrscht wurde, sich verteilten Konzepten zugewandt. Die Ablauforganisation, d.h. die Programmierung von Systemen mit vielen Agenten, ist heute ein hochaktuelles Forschungsfeld. In engem Verbund damit werden neue aufbauorganisatorische Konzepte studiert. Die streng hierarchische von Neumann-Rechnerarchitektur und die im Geiste damit verwandten Host-Architekturen sind um andere, verteilte und offene Modelle ergänzt worden.

Das Paradigma der neuen Epoche der Informatik-Entwicklung, das der MAS (Multi Agent Systems), ist dabei erkannt worden als theoretische Basis für den

⁵³ Vgl. Lalemont, R.: Computation as logic. Masson Paris 1990, University Press Cambridge 1993

⁵⁴ Vgl. Sperschneider, V., Antoniou, G.: Logic - A foundation for computer science. Addison-Wesley 1991

⁵⁵ Greenleaf, Newcomb: Algorithmic languages and the computability of functions, in: The mathematical revolution inspired by computing. Johnson J.H. and Loomes M.J. (editors), Clarendon Press: Oxford, 1991

⁵⁶ Der Begriff des Algorithmus taucht in der heutigen Bedeutung erst in diesem Jahrhundert auf.

3.1.2 Die Theorie des Konstruierbaren und Konstruierens

Durch die Analyse der Machbaren wurde vielmehr, wie bereits im letzten Abschnitt dargestellt, das Konzept des effektiv Herstellbaren, des auf der Basis endlicher und unzweideutiger Beschreibungen Lehr- und Lernbaren, d.h. des kommunizierbaren Wissens herausgearbeitet. Dahinter steht eine Reihe bekannter Namen wie Turing, Post, Markov, Curry und andere. Die so gewonnenen Erkenntnisse machen nun das theoretische Fundament der Informatik aus.

Die hauptsächlichen Konzepte sind:

- Das Konzept des formalen Systems, des Kalküls.
- Das *Konzept des Automaten*, Rechners oder der Maschine.
- Das *Konzept des Algorithmus*, der Vorgehensweise, um ein bestimmtes Ergebnis zu erlangen.

All diese Konzepten wurden zu *mathematischen Objekten*, die mit den Mitteln der Mathematik untersucht und bearbeitet werden können, wie das im 17. Jh. Mit der analytischen Methode für raum-zeitliche Objekte möglich wurde, die Leibniz Leitstern war. Mit ihnen ist nun in den letzten gut hundert Jahren eine Revolution in Gang gesetzt worden, die der naturwissenschaftlich-mathematischen Methode strukturell entspricht. Descartes teilt die Welt bekanntlich in die raum-zeitliche Welt, die er ausgedehnte Substanz, *res extensa* nennt, und in die geistige, denkende Substanz, die *res cogitans*.

Die *res extensa*, die raum-zeitlich ausgedehnte Welt, ist seit längerem mit der analytischen Geometrie, der Mathematik und der modernen Physik mathematisiert worden (ausgehend von Descartes' analytischer Methode und ihrer Fortentwicklung durch Newton, Leibniz und andere).

Die *res cogitans*, das Denken und seine Prozesse, wird heute mit der Computerisierung mathematisiert. Wir wollen dies näher betrachten.

Zu den Ergebnisse der neueren Logik gehören

1. *das Konzept der formalen Sprache*

Jede formale Sprache beruht auf einer endlichen Menge wohlunterscheidbarer Zeichen, dem Alphabet $A = \{a, b, c, \dots\}$. Mit diesen Zeichen werden komplexere Zeichen zusammengesetzt. Wie bei Sätzen der natürlichen Sprachen über dem gewohnten Alphabet sind nur die Zeichenfolgen Teil der Sprache, die bestimmten Regeln der Grammatik entsprechen. Auch bei formalen Sprachen regelt eine Grammatik die Bildung der erlaubten zusammengesetzten Zeichen.

2. *Sprachen über Vokabularen*

Wenn man Sprachen untersucht, wie wir sie verwenden, stellt man fest, dass die 'Atome' nicht die Buchstaben sind, sondern Bezeichner für Begriffe. Diese Analysearbeit wurde in der Logik geleistet. Man betrachtet daher heute als Basis (d.h. Alphabet A), über der eine Grammatik definiert wird, ein Vokabular $S = (S, F, R)$, das als *Signatur* bezeichnet wird. S ist dabei eine Menge von Symbolen, die *Objektarten* bezeichnen, wie: Zahlen, Menschen, Bilanzen etc. F ist eine Menge von Symbolen zur Bezeichnung von *Funktionen* $f(s_1, s_2, \dots, s_n)$, die auf den Objekten definiert sind, wobei die

3 Das Konzept der formalen Sprache

Wir wollen in diesem Abschnitt kurz auf das Konzept der formalen Sprache zu sprechen kommen. In weiteren Kapiteln dieses Buches, welche die Quantor-Logik betreffen, wird ausführlicher darüber berichtet werden.

Wie wir bereits gesehen haben, wird die formale Sprache als Mittel eingesetzt, um handelnde Agenten und ihr Handlungswissen zu beschreiben.

Die älteste Form der logischen Formalisierung betrifft das kognitive Handeln in Form des Schliessens: Die auf Aristoteles zurückgehende Syllogistik fasst die erlaubten Figuren des logischen Schliessens (- wenn auch nicht ganz fehlerfrei, wie im 19. Jahrhundert gezeigt werden konnte). Elemente dieser Figuren sind Aussagen über Zustände. Solche Aussagen können wahr oder falsch sein. Die Schlussregeln sollen die erlaubten Übergänge von einer Aussage zu einer andern beschreiben, d.h. jene, die von wahren wieder zu wahren Aussagen führen.

Diese assertorische oder Wahrheits-Logik ist es, die im letzte Jahrhundert mathematisiert wurde. Sie stellt, neben der Übertragung der analytischen Zergliederung der Arbeit und ihrer kontrollierten Synthese, die andere Wurzel der Informatik dar⁵².

3.1.1 Die Formalisierung der Logik

Im letzten Jahrhundert wurde das Unternehmen, das Leibniz mit seinem Projekt einer *characteristica universalis* begonnen hatte, durch Boole, Frege, Peirce und andere wieder in Angriff genommen: die formale oder mathematische Logik wurde Realität. Die Erfolge der mathematischen Logik hatten ihr Echo im Versuch, der Mathematik selber ein sauberes logische Fundament zu geben. Namen wie Cantor, Dedekind oder Russel stehen für diese Bemühungen. Sie führten aber auch zu dem, was die Grundlagenkrise der Mathematik genannt wurde: Ausgehend von unproblematisch erscheinenden Annahmen wurden Widersprüche entdeckt. Es schien - und es ist - alles andere als einfach, eine widerspruchsfreie, logisch exakte Basis für das Tun der Mathematiker zu legen.

Auf diesem Hintergrund wurde um die Jahrhundertwende von Hilbert das Projekt des *Formalismus* vorgeschlagen: Die 'Spiele' und 'Spielzüge' der Mathematiker sollten mit endlichen *formalen Systemen* beschrieben werden. Auf ihrer Basis sollte die Leibniz'sche Forderung des '*calculemus*' ('lasst uns rechnen') beim Vorliegen einer strittigen Frage ins Werk gesetzt werden. Die Resultate von Gödel haben diese Hoffnungen bezüglich ihres umfassenden Anspruchs zunichte gemacht - aber nicht so, dass nichts von den kühnen Plänen der Mechanisierung des Schliessens übrig geblieben wäre.

⁵² Vgl. auch Kapitel 2 (Einleitung)

menschlichen wie dem maschinellen Agenten mit solchen Wissensmedien enorm leistungsfähige künstliche Organe: Sie geben ihm Sinne, wo die Natur keine gibt; sie stellen ihm eine fast grenzenloses Gedächtnis zur Verfügung; sie verstärken seine Inferenzleistungen in zahlreichen Bereichen, wie wir es vom Zahlenrechnen her kennen; sie verstärken sein Vorstellungsvermögen mit mächtigen Simulationswerkzeugen; sie ergänzen seine Welten, in denen er lebt, um virtuelle Umgebungen.

Keine Frage - diese Medien machen abhängig wie alle Prothesen, seien es Brillen, Schuhe, Verkehrsmittel und wie alle künstlichen Umgebungen, seien es Häuser oder Weltbilder. Ihre Nutzung verlangt die Fähigkeit zur Abstraktion und zur Wahl in freien Märkten, um zu *befreien*, nicht zu versklaven.

Der Fortschritt im Bereich der Wissensmedien hat im Laufe der historischen Entwicklung diese Menge laufend grösser werden lassen. Schulen sind Institutionen, die dazu da sind, jeden Bürger mit einer für sein Fortkommen nützlichen Wissensmenge auszustatten.

Die neuen Wissensmedien verändern nun beide Mengen, $WM_i(t, \Delta t)$ und $PWM_i(t, \Delta t)$ auf dramatische Weise.

Wir greifen zwei Entwicklungen der neuen Medien heraus:

- Die Menge $WM_i(t, \Delta t)$ absorbiert immer grössere Teile von $PWM_i(t, \Delta t)$. D.h. $WM_i(t, \Delta t)$ wächst rasch auf Kosten von $PWM_i(t, \Delta t)$: Potentielles Wissen wird zu jederzeit zugreifbarem Wissen.
- Die innerhalb eines Zeitraumes Δt aktivierbare Informationsmenge steigt ebenfalls rasch an, d.h. die Suchzeiten sinken.

Diese Entwicklung bedeutet für den einzelnen Agenten eine rasch zunehmende Erweiterung seines Gedächtnisses: Die Menge des dem Agenten effektiv verfügbaren Wissens $WM_i(t, .)$, wobei Δt unbestimmt ist, wächst in einem nie dagewesenen Ausmass an. Die innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls Δt zur Verfügung stehende abrufbare Information wächst noch stärker.

Der erste Effekt wird zunächst bewirkt durch die Umwandlung von $PWM_i(t, .)$ in $WM_i(t, .)$, der zweite, diesen überlagernde, durch die Verkürzung der Zugriffszeiten Dt . Diese zwei Prozesse bewirken eine Produktivitätssteigerung der Wissensproduktionsprozesse, so dass zu ihnen noch eine dritte dazu kommt:

Die Vergrösserung der Mengen $WM_i(t, \Delta t)$ des den einzelnen Agenten innerhalb eines Zeitintervalls Δt zur Verfügung stehenden Wissens kann die Produktivität bei der Wissensproduktion erheblich erhöhen.

Wir formulieren die bewusst in der kann-Form: Dieser Effekt muss nicht eintreten. Auf der einen Seite ist leicht einzusehen, dass eine gegebener Prozess, wie er in einen bestimmten Umfeld heute abläuft, z.B. in der Softwareentwicklung oder in der Forschung, mit rascherer Verfügbarkeit des Wissens produktiver wird. Durch eine Verbesserung der Informationsqualität ist eine weiterer Produktivitätszuwachs erreichbar. Die Empirie zeigt mit der anhaltenden Verkürzung der Entwicklungszeiten für neue Produkte, dass dies in der Tat zutrifft.

Andererseits kann mehr Information auch zu Lähmungen aller Art führen. Widersprüchliche Daten können Störungen verursachen, die umfangreiche Abklärungen verlangen. Informationsübersättigung kann zu Desinteresse und Abwendung führen. Auch hier zeigt sich wieder, dass Wissensmedien einer Organisation bedürfen, um Wissensmedien zu sein. Eine sorgfältig gepflegte, aussagekräftige Metainformation (Label) ist ebenso nötig wie die richtige Definition der Rollen und Protokolle.

Wie wir gesehen haben, können Wissensmedien mit prozedural repräsentierter Verfahrensinformation zu Informationssystemen mit grosser Inferenzmacht ausgestaltet werden. Wenn dies mit der durch geeignete Massnahmen sichergestellten Qualität der Informationen kombiniert wird, erwachsen dem

- kooperative Strukturen von kommunizierenden Agenten,
- natürliche (menschliche) Agenten,
- künstliche (maschinelle) Informationsträger.

2.4.4 Künstliche Informationsträger als Verstärker menschlicher Agenten

Menschliche Agenten und künstliche Informationsträger sind, wie erwähnt, Teile von Wissensmedien. Im historischen Rückblick hat sich gezeigt, dass die künstlichen Informationsträger die intellektuellen Leistungen der menschlichen Agenten verstärkt haben. (Informationsträger, wie z.B. Bücher, dienen als Prothesen des Gedächtnisses. Rechenmaschinen verstärken unsere Rechenleistungen, Computer unsere Fähigkeiten des logischen Schliessens.)

Mit dem Computer und seinen Datenbanken sind neue, sehr leistungsfähige Verstärker entstanden. Im Folgenden sollen Wissensmedien, wie sie hier dargestellt wurden, unter diesem Aspekt, d.h. als Verstärker unserer intellektuellen Leistungen, betrachtet werden.

Um die Wirkung von Wissensmedien im Hinblick auf unser intellektuelles Vermögen zu erfassen, beschreiben wir zuerst das Wissen des Agenten:

- Jeder Agent i hat, zu einem bestimmten Zeitpunkt t , ein bestimmtes aktuelles Wissen, das er in sich trägt und das er auf Anfrage innerhalb der Zeit Δt reproduzieren kann.

Dieses wollen wir mit $K_i(t, \Delta t)$ bezeichnen.

Er stellt im Wissensmedium ein Informationsobjekt (l, K_i) dar, wobei das Label l seine Adresse und allenfalls weitere Metainformation zu ihm enthält.

- Jeder Agent hat als 'Bewohner' eines Wissensmediums zum Zeitpunkt t effektiven Zugang zu einer Teilmenge des Wissensmediums WM , d.h. er besitzt das notwendige prozedurale Wissen, wie er zu dieser Information gelangen kann.

Wir wollen den Teil von WM , den er zur Zeit t innerhalb des Zeitintervalls Δt verfügbar machen kann, mit $WM_i(t, \Delta t)$ bezeichnen.

- Schliesslich gibt es für den Agenten in WM eine Menge potentiellen Wissens, das er sich erschliessen könnte, auf das er aber aktuell nicht zugreifen kann, weil es über dessen Existenz nichts weiss oder weil er nicht weiss, wie er zu ihm gelangt.

Dieses Wissen soll mit der gleichen Bedeutung für t und Δt mit $PWM_i(t, \Delta t)$ bezeichnet werden.

- Die Mengen $K_i(t, \Delta t) + WM_i(t, \Delta t)$ beschreiben die aktuelle Wissensmacht des Agenten i , die Mengen $PWM_i(t, \Delta t)$ seine potentielle Wissensmacht für die verschiedenen Zeitpunkte t und Beschaffungszeiten Δt .

als Rollen definiert. Es weist den Agenten unterschiedliche Rechte und Pflichten (Erwartungen und Leistungen) zu. Die Rollen legen fest, wer was unter welchen Umständen tun darf oder muss, was vor allem für die prozeduralen Aspekte des Wissens von Wichtigkeit ist.

Natürlich weiss ein einzelner Agent eines Wissensmediums nicht über alles Bescheid, was in diesem Wissensmedium enthalten ist. Man unterscheidet⁵⁰ zwischen

- *gemeinsamem* Wissen, d.h. Wissen, das *alle* Agenten einer bestimmten Population besitzen, und
- *verteiltem* Wissen, d.h. Wissen, das in der Population bei *mindestens einem* Agenten vorhanden ist, aber nicht bei allen vorhanden sein muss.

Die arbeitsteilige Gesellschaft funktioniert auf der Basis von verteiltem Wissen. Ein grosser Teil ihrer Produkte erfordert Wissen, das die intellektuellen Fähigkeiten eines einzelnen Agenten bei weitem übersteigt. Auf der andern Seite bildet gemeinsames Wissen die Basis für verschiedene Gemeinschaften, wie Kirchen, wie Parteien, wie die Medienwirtschaft.

2.4.3 Wissensmedien als innere Bühne

Betrachten wir Wissensmedien von innen, als Funktionsweise des bewussten menschlichen Denkens. Auch diese Sicht kann mit der Bühnenmetapher beschrieben werden. Die Bühnenmetapher fasst die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften recht gut; sie liegt der Darstellung zugrunde, welche den menschlichen Geist ebenfalls als eine Menge kooperierender und konkurrierender Module oder Agenten auffasst, die bei Problemlösungen im Inneren des menschlichen Agenten wirken⁵¹.

Auf der Bühne des Bewusstseins treten Bilder und Akteure auf. Die Akteure sprechen zum Betrachter und miteinander. Die Regie erfolgt teils unbewusst und autonom, teils ist sie willentlich beeinflusst. Das symbolische, mit sprachlichen Zeichen arbeitende Denken ist fast untrennbar mit der Vorstellung verbunden, die den Zeichen bildliche innere Realität verleiht. Wenn wir ein Problem lösen, z.B. eine Frage beantworten wollen, werden Inhalte aus dem Gedächtnis abgerufen. Das benötigt jeweils eine gewisse Zeit, die im Bereich von Sekundenbruchteilen bis zu Minuten liegen kann. Wenn Rekonstruktionsarbeit nötig ist, können auch längere Zeiten nötig sein.

Um Probleme zu lösen, stellen wir jedoch nicht nur auf die inneren Agenten ab. Häufig ziehen wir das Wissen Anderer zu Rate. D.h. wir bedienen uns im Prozess des kooperativen Problemlösens ihres Gedächtnisses und ihrer Inferenzleistungen.

Somit können wir uns menschliche Agenten und die Wissensmedien, von denen sie ein Teil sind, als hierarchisch strukturierte Wissensmedien vorstellen.

Die Metapher des Wissensmediums erfasst damit

- das Denken des Einzelnen,

⁵⁰ vgl. Halpern (xxx)

⁵¹ Simon, the Mind Society, 1985 (xxx)

2.4.2 Wissensmedien als öffentlicher Raum

Betrachten wir Wissensmedien von aussen, als Zuschauer. So gesehen, sind sie *Bühnen* für den Auftritt der Wissensträger. Auf ihnen wird Wissen in meist fest strukturierter Form ausgetauscht.

Wenn wir Wissensmedien aus der Sicht eines Teilnehmers sehen, ist das Bild des *Marktplatzes* eine gute Metapher für ein Wissensmedium. - Bei den Griechen hiess der Marktplatz Agora. Dort wurden neben Waren vor allem Informationen ausgetauscht. Nebst Alltäglichem und Klatsch wurde auch über tiefe Dinge geredet, hier trafen sich auch die Philosophen, und auf der Agora haben die Akademien von Plato, Aristoteles und anderen Denkern ihren Ursprung.

Wenn wir in diesem Abschnitt von Wissensmedien reden, so assoziieren wir diese Bühnen- (bei passiver Teilnahme) bzw. diese Marktplatzfunktion (bei aktiver Teilnahme).

Der Effekt des wechselseitigen Austausches von Informationsobjekten – Memen – ist, dass dadurch gemeinsame Welten entstehen. Basis dafür ist eine gemeinsame Sprache und gemeinsame Begriffe; sie liefern die Grundlage für geteiltes Wissen und gemeinsame Welten. Ein geteilter Begriffsvorrat erlaubt damit eine gleiche Sicht auf die Realität und liefert eine Basis für die Interpretation von empirischen Daten. Derartiges gemeinsames Wissen macht die Kulturgeschichte des Homo sapiens aus.

Hierzu ein Beispiel: Betrachten wir als gemeinsame Welt das Wissensmedium um Schuberts Musik. Hier existiert, verstreut über die Welt, ein weitverzweigtes System von Kanälen, von Informationsträgern, das Partituren, Bücher, Schallplatten, gerade laufende Radiosendungen, Konzertaufführungen, Kulturinstitute, etc. umfasst. Es gibt weiter eine grosse Zahl von Menschen (Grössenordnung 100 Millionen?), in welchen Schubert-Meme mindestens zeitweise aktiv sind, indem ihre Aufmerksamkeit auf das Wissensmedium "Schubert" gerichtet ist: sei es als passive Hörer (mit Einfluss auf die Stimmung), sei es als aktiver Hörer (in bewusster Auseinandersetzung mit der Musik), sei es als reproduzierender Spieler oder Dirigent, sei es als nachempfindender Komponist, usw. usw. Gruppen von Agenten bemühen sich gemeinsam um Schuberts Werke, sie interpretieren, diskutieren, archivieren, etc. Sie haben, auch wenn es Dissens über Fragestellungen gibt, eine gemeinsame Welt, d.h. einen gemeinsamen Hintergrund: Das Wissen um Schubert. Sie haben in all diesen Formen der Auseinandersetzungen mit Schubert ihre Rollen: als Konsument, als Musiker, als Kritiker, als Konzertveranstalter usw.

Ohne den gemeinsamen semantischen Raum sind all diese Informationsträger und Agenten zu Schubert nicht *Wissen*. Dieses Wissen lebt in den Agenten, die sich mit Schubert befassen.

Zustimmung oder Widerspruch, Diskussion und Fortentwicklung von Wissen innerhalb des semantischen Kontextes entsteht im zugehörigen logischen Raum. Er erweckt das System der Kanäle gleichsam zu Wissen.

Ein weiteres Element der gemeinsamen Semantik des Wissens ist das System der Plätze, Dieses System der Plätze ist unabhängig von ihrer jeweiligen Besetzung

2.4 Wissensmedien als Plattformen des Denkens

2.4.1 Kernaussage

Wissensmedien konstituieren Wissensgemeinschaften.

Sie sind ihr Phänotyp, das Medium ihr Genotyp. Das verteilte Wissen kann zu gemeinsamem Wissen werden und/oder unter Verwendung eines Protokolls zu gemeinsamer Problemlösung verwendet werden. Dabei kann das Protokoll und die Agentenpopulation (Spezies) als Programm aufgefasst werden. Diese Leistungen des Wissensmediums können anhand von Beispielen aus der Soziologie oder betrieblichen Organisationen veranschaulicht werden⁴⁹.

Wissensmedien können um verschiedene Fixpunkte herum gebaut werden.

- Wir können z.B. eine *bestimmte Welt* festhalten und die Gesamtheit des zugehörigen Wissens gedanklich als Wissensmedium auffassen. Das Wissensmedium wird diese Welt unter verschiedenen Gesichtspunkten beschreiben, d.h. als verschiedene Systeme betrachten. Den Gesichtspunkten entsprechen Theorien. Das Vokabular des Wissensmediums wird die zugehörigen Begriffe enthalten. Ein Beispiel für den Versuch, einen Gegenstand möglichst umfassend zu beschreiben, stellt die Geografie dar. Normalerweise werden jedoch in einem Wissensmedium aus institutionellen Gründen nur bestimmte Aspekte dieser Welt (vertieft) behandelt. - Man erkennt daran, dass die organisatorischen Aspekte für Wissensmedien wesentlich sind.
- Eine anderer Kristallisationspunkt kann eine *Theorie* sein: Ein Wissensmedium kann alles enthalten, was zu dieser Theorie an Wissen und Fragen vorliegt. Diesen Typ finden wir in den theoretischen Wissenschaften wie der Mathematik oder der Philosophie.
- Wissensmedien können ihr Kriterium auch in den gewählten *Axiomen* und der verwendeten *Beweismethodik* haben. Die wissenschaftliche Methode hat sehr mächtige Wissensmedien dieses Typs hervorgebracht. Deren systematische Vereinigung ist ein altes Postulat, das Leibniz ebenso beschäftigt hat wie die Enzyklopädisten und auf katalogisierender Ebene die Informationswissenschaften (ehemals das Bibliothekswesen). Aber auch Glaubensgemeinschaften können zu diesem Typus gehören, wo heilige Bücher als Kernbestand von Wahrheiten gelten. Ein weiteres, mehr und mehr auch computerisiertes, Beispiel bilden Gesetzestexte und ihre Kommentare sowie die zugehörigen Fälle

⁴⁹ Den soziologischen Aspekt kommentieren seit längerem vielfältige Beispiele aus dem Bereich der Medienwissenschaften, der betriebliche Aspekt wird u.a. in einigen Kapiteln dieses Buches illustriert.

Diese Komponenten hängen eng zusammen und können nicht isoliert voneinander betrachtet werden. Die Grundlage des Wissensmediums ist der logische Raum, definiert durch ein logisches System. Agenten, Orte, Kanäle, Rollen, Protokolle sind die Komponenten, aus denen ein Wissensmedium für eine Welt oder eine Klasse möglicher Welten konstruiert wird.

Die Sprache, auf der das gesamte Wissensmedium als Beschreibung des Wissens basiert, ist Teil des logischen Raums. Genauer gesagt, die Signatur und die Grammatik, die es erlauben, Aussagen und Sätze einer Sprache zu bilden, sind Teil des logischen Raums. *Teil des logischen Raums ist auch, dass die Repräsentation der Welt im Wissensmedium eine korrekte Repräsentation ist, d.h. dass Syntax und Methoden der Ableitung von Aussagen und Schlüssen mit der Realität, dem Modell, übereinstimmen.*

Die Agenten, die Kanäle, die Meme, der Raum mit Orten sowie die Rollen und Protokolle werden in der Sprache beschrieben, die im logischen Raum gegeben ist. Wir können dabei verschiedene Sprachen, in der die Agenten ihr Wissen modellieren, bzw. in der das Wissensmedium als Sammlung kommunizierender Agenten modelliert wird, zulassen und kombinieren. Ein Teil des logischen Systems ist ein Entailment System, das die algorithmische Berechnung der Logik formalisiert. Diese Beweislogik verbindet damit die deklarative Ebene mit dem Konzept des Automaten oder Computers, mit dem wir die Agenten und den Prozess des Denkens mittels Maschinen modellieren, auf dem Anfragen mechanisch berechnet werden.

Damit haben wir den Zusammenhang zwischen der logischen Ebene des Wissensmediums und der physischen Ebene des Wissensmediums diskutiert.

Nachdem wir das Wissensmedium anhand der Komponenten auf der physischen Ebene und ihrer Eigenschaften definiert haben, wollen wir kurz rekapitulieren, dass die Komponenten ebenfalls nicht unabhängig voneinander sind. Wir haben Agenten und ihr Wissen. Die Sprache, die die Agenten verwenden, um ihr Wissen zu repräsentieren, kann unterschiedlich zu der sein, in der das Wissensmedium als Multi-Agenten-System modelliert wird. Kanäle verbinden die Agenten an ihren Orten. Dieses Konzept legt die Art und Weise der Kommunikation und damit auch das Protokoll fest. Rollen und Protokolle stellen sicher, dass sich die Agenten verstehen und miteinander kommunizieren können.

Damit haben wir Agenten als eine Komponente und das Kommunikationssystem mit aufeinander abgestimmten Kanälen, Orten, Protokollen und Rollen als eine andere Komponente der Wissensmedien definiert.

ähnelt. Deklarative Sprachen bilden Wissen auf einer abstrakteren Ebene ab, sie sind geeignet intelligent(ere) Agenten zu modellieren.

Das Wissensmedium ist eine strukturierte Ansammlung von Agenten, die auf Orte verteilt sind und über Kanäle verbunden sind. Die Modellierung einer solchen Welt von Agenten kann mit einer operationellen Sprache geschehen. Die Zustände werden durch die Agenten und ihre Zustände, die Orte und die Kanäle bestimmt. Regeln geben die möglichen Zustandsübergänge an und Inferenzregeln bestimmen, wie die Regeln angewendet werden.

Eine der Sprachen, in welcher ein derartiges Multi-Agenten-System modelliert werden kann, ist 'Maude' und die dieser Sprache zugrunde liegende Termensetzungs-Logik⁴⁶.

Protokolle und Rollen können am einfachsten durch eine Sprache modelliert werden, die eigenschaftsorientiert ist.

Ein Beispiel für eine solche Sprache ist der mü-Kalkül, eine temporale Logik, d.h. eine Logik, die die Eigenschaften verteilter Systeme beschreibt⁴⁷.

2.3.2.1 Wissensmedien - formale Definition

Wissensmedien sind ein logischer Raum, in dem Gedankensysteme (oder Memotypen) gebildet werden können⁴⁸. Diese sind auf Agentenpopulationen (d.h. auf einen Phänotyp) implementierbar. Das Wissensmedium bildet das konstituierende Element (das Memom) für das Multi-Agenten-System (die Spezies). Die Referenz der von den Agenten getragenen Information sind intersubjektive Welten (ihre Umwelt), bezüglich denen Ziele definierbar sind. Weitere biologische Metaphern wie Adaptation lassen sich übertragen. Die Agenten können als verteiltes Programm aufgefasst werden. Solche Programme sind nicht deterministisch, da Wissen selbstbezüglich ist.

Wir wiederholen uns (vgl. Kapitel 2.2.1. und Seite 17) und definieren nochmals:

Ein **Wissensmedium** = $A + K + R + P + L + W$, wobei

A := Menge von Agenten,

K := System von Kanälen

R := System von Orten oder Rollen für (mögliche) Agenten.

P := ein Protokoll, das den Verkehr der Agenten regelt und damit den Fluss der Information steuert.

L := logischer Raum

W := eine Menge von möglichen oder aktuellen Welten

⁴⁶ Meseguer José, A logical theory of concurrent objects and its realisation in the Maude language, in: Meseguer José, Conditional rewriting logic as a unified model of concurrency, in: Theoretical Computer Science 96 (1992), 73-155, Elsevier.

⁴⁷ Vgl. (Sekundärliteratur): Ulrike Lechner: Object-Oriented Specification of Distributed Systems. Dissertation, Universität Passau, Fakultät für Mathematik und Informatik, 1997

⁴⁸ Vgl. auch die bereits im ersten Kapitel gemachten Ausführungen (S. 8 f.)

Wir nennen diese Komponente eines Wissensmediums den *logischen Raum*⁴¹. Seine Beschreibung kann und muss sich der Konzepte der modernen Logik bedienen. Nachdem es auch hier eine Vielzahl von unterschiedlichen Konzepten gibt, wurden Systeme mit ihren wesentlichen Komponenten (der Sprache und ihren möglichen Interpretationen in möglichen Welten bzw. Modellen) als *Institutionen* formalisiert⁴². Wir wählen das Konzept des logischen Systems, wie es Meseguer vorschlägt⁴³ und fassen hier seine Elemente zusammen, die in den vergangenen Abschnitten bereits erklärt wurden:

- Zunächst wird eine *Syntax* benötigt, um die erlaubten Zeichenfolgen oder Sätze zu bilden, die Information tragen sollen.
- Begriffe können mit dem Konzept der *Theorie* logisch erfasst werden. Sie haben eine Menge von sie charakterisierenden Eigenschaften als Kern.
- Eine *Inferenzrelation* legt fest, welche Folgerungen innerhalb der syntaktischen Welt der Formeln erlaubt sind. Diese Relation wird mit Regeln (Inferenzregeln wie 'Modus Ponens') axiomatisiert.
- Ein *algorithmisches System*, das die Inferenz- oder Konsequenzrelation zu generieren gestattet, ist das Ziel der Mechanisierung der Logik durch ihre Algorithmisierung⁴⁴.
- Eine geeignete Definition von *Modellen* oder möglichen Welten, in denen die Formeln der Logik interpretiert werden sollen, legt den intendierten ausserlogischen Bereich fest.
- Eine Funktion, die den Formeln und Elementen eine *Bedeutung* in den Welten zuordnet, ist Kern der Semantik der Logik⁴⁵.
- Eine Relation zwischen Modellen oder Welten und Aussagen beschreibt schliesslich die *Gültigkeit* einer Aussage in einer bestimmten Welt.

Die moderne mathematische Logik hat diese Strukturen und die Beziehungen zwischen ihnen bzw. zwischen den genannten Relationen für viele Typen von logischen Systemen untersucht.

In einem Wissensmedium gibt es mehrere, auch unterschiedliche, logische Systeme. Agenten bilden Wissen in ihrer Sprache ab, und sie verfügen über Inferenzmechanismen, um neues Wissen abzubilden. Agenten, die Computer auf eine maschinennahe Art und Weise modellieren, werden eine sehr maschinennahe Beschreibungssprache haben, welche den Zustandsübergängen eines Rechners

⁴¹ Vgl. hierzu die grafische Darstellung in Fig. 1, Seite 20

⁴² Vgl. hierzu Joseph A. Goguen, Rod M. Burstall: Institutions: Abstract Model Theory for Specification and Programming. In: Journal of the ACM, vol. 39, 1992

⁴³ Meseguer José: Conditional rewriting logic as a unified model of concurrency, in: Theoretical Computer Science 96 (1992), 73-155, Elsevier.

⁴⁴ Vgl. hierzu Gabbay Dov M., What is a logical system?, in: D.M. Gabbay, What is a logical system? (editor), Oxford University Press, Oxford, 1994.

⁴⁵ Vgl. hierzu Németi I., Andr  ka H.: General algebraic logic, in: D.M. Gabbay, What is a logical system, Oxford University Press, Oxford, 1994.

2.3.1.1.3 Denken in der Vorstellung

Der Mensch besitzt in seinem Vorstellungsvermögen ein biologisch geerbtes Modell seiner Umwelt.

Wir können uns räumliche Situationen mit geschlossenen Augen vorstellen, uns ein Bild, d.h. ein Modell eines Raumes machen und uns in ihm Bewegungsabläufe vorstellen, d.h. simulieren.

Wenn wir sprachliche, d.h. symbolische Information verarbeiten, interpretieren wir diese Information unwillkürlich und sofort im Vorstellungsmodell: Unser kognitiver Apparat ist bildhaft ausgelegt.

Von den Studierenden abstrakter Strukturen ist einiges Training verlangt, bis sie diese Vorstellung ausser Funktion setzen können, um bei gewissen Theorien im Formalen zu bleiben und nicht durch den Zwang, sich dabei etwas vorstellen zu wollen, am Verständnis gehindert zu werden.

2.3.2 Syntax: Der logische Raum

Bisher haben wir uns mit den physischen Komponenten eines Wissensmediums und ihren Modellierungen beschäftigt. Wir haben gezeigt, wie wir die Eigenschaften dieser Komponenten modellieren können und welche Konzepte der Informatik dazu verwendet werden können.

Das logische System ist die Formalisierung, der Syntax, der Logik, der Modelle und der Relationen zwischen den Teilen des logischen Systems. Mithilfe des logischen Systems wollen wir nun die Eigenschaften von Wissensmedien beschreiben. Zu diesen Eigenschaften gehören die Eigenschaften der Informationsobjekte, die abgebildet werden, aber auch ganz grundlegende Dinge, die wir als selbstverständlich auffassen, wie z.B. die Modellierung der verschiedenen Orte und der Zeit, die Reproduzierbarkeit von Information und die Eigenschaften der Kanäle (z.B., dass sie Informationsträger weder verschwinden lassen, noch verdoppeln oder vertauschen können).

Information, die über Kanäle zwischen Agenten ausgetauscht wird, hat eine physische und eine logische Seite. Die logische Seite hat, wie wir gesehen haben, wiederum zwei Seiten, nämlich

- eine *syntaktische*, die durch eine (formale) Sprache, Regeln, mit denen die Symbole der Sprache manipuliert werden und Inferenzregeln, nämlich wie die Regeln angewendet werden, definiert ist, und
- eine *semantische* Seite, die durch die Welten gegeben ist, die auf der syntaktischen Seite repräsentiert werden sollen.

Syntax und Semantik sind Teil des Kontextes der Information, die vom Sender und vom Empfänger geteilt werden müssen, wenn die Wissensübermittlung erfolgreich sein soll.

- das Denken im Formalismus, das dem Herleitungsbegriff der Logik entspricht,
- das Denken im Modell,
- das Denken in der Vorstellung – das, wie die Termalgebra, (semantisches) Denken mithilfe von (syntaktischen) Vorstellungen von Bildern ist.

Wir wollen diese drei Ebenen im Folgenden näher betrachten.

2.3.1.1.1 Denken im Formalismus

‘Denken’ über ein formal beschriebenes System kann nun in dieser Termalgebra erfolgen. Es ist rein formal und mechanisierbar. Die Computer tun es inzwischen weltweit und in jeder Sekunde unzählige Male. Sie verwenden dabei allerdings sehr viel prozedural implementiertes Wissen. Eine rein deklarative Darstellung des Wissens ist zum einen für realistische Situationen immer noch sehr schwierig und führt (was nicht immer gelingt) oft zu einer kombinatorischen Explosion der Rechenzeit. (Dies war eine unerfreuliche Erfahrung für das japanische ‘Fifth Generation’-Programm, das mit den Ansätzen der logischen Programmierung die Leibniz’sche Vision angehen wollte⁴⁰.)

Wie schaffen es aber die Programmierer, zu ihrem Problemlösungswissen zu kommen, um es dann prozedural zu beschreiben und dem Computer mitzuteilen? Denken sie nicht im Formalismus? Selten - er ist ja historisch auch noch sehr jung, wenn man von der Arithmetik und einigen anderen früh formalisierten Gebieten absieht.

2.3.1.1.2 Denken im Modell

Statt im Formalismus Wahrheiten herzuleiten, kann man auch direkt im realen System operieren. Dieses Lernen durch Experiment und Erfahrung stellt eine Hauptquelle unseres Wissens dar. Sie ist aber kostspielig. Deshalb wird seit Urzeiten mit Modellen gearbeitet. Kinder tun das früh und sehr gerne, aber auch Wissenschaftler und Praktiker.

In der Wissenschaft spricht man von einem Modell zu einem realen System, wenn beide dieselbe beschreibende Theorie haben.

Das System der arabischen Ziffern ist ein Modell des Systems der Zahlen. Ziffern wie Zahlen sind mit der Sprache der Arithmetik beschreibbar. Damit ein Modell der Theorie des fraglichen realen Systems als dessen Modell aufgefasst werden kann, müssen Eigenschaften der Welt in diesem Modell ebenfalls gelten. Ein feineres Modell macht im Modell mehr Unterscheidungen als in der Realität. Größere Modelle sind zwar undifferenziert, aber für viele Fragestellungen brauchbar

Realisationen der Theorie, ebenfalls Modelle genannt, müssen nicht isomorph sein.

⁴⁰ Die Rechenzeit ging mit der Anzahl Wissensbestandteile (Variablen) exponentiell in die Höhe. Auch die immer tüchtigere Rechenleistung immer tüchtigerer Computer der Fifth Generation wurde jeweils sofort wieder aufgebraucht.

Wissensmedien von nie gekannter Macht zu bauen. Wir kommen später darauf zurück.

2.3 Der logische Raum

Der logische Raum besteht, wie in Fig. 2 auf Seite 20 dargestellt, aus der Semantik (der für dieses Wissensmedium spezifischen Optik) und der Syntax (dem für dieses Wissensmedium spezifischen Vokabular).

2.3.1 Semantik: Welten, Optiken und Systeme

Bisher haben wir uns mit dem Kommunikationssystem, d.h. den physischen Informationsträgern und der formalen Sprache, als Mittel der Abbildung und Formalisierung von Information beschäftigt. Zu einem Wissensmedium gehört nicht nur eine Sprache zur Repräsentation von Information, sondern auch die Methoden, neues Wissen von bestehenden Fakten herzuleiten bzw. Aussagen auf ihren Wahrheitsgehalt zu überprüfen. Wir müssen dazu die realen Welt und unser Verständnis der realen Welt mit den Beschreibungen in einem Wissensmedium in Relation setzen und dann auch den Begriff des Denkens im Wissensmedium formalisieren.

2.3.1.1 Das Denken

Agenten agieren, reagieren und handeln - entsprechend der internen oder externen Sicht³⁹ und ihren Fähigkeiten, die man ihnen zuschreibt oder die sie besitzen. Entsprechend der internen Sicht sind Agenten in der Lage zu handeln, eigene Entscheidungen zu treffen und ihre Handlungen zu beurteilen. Sie sind also in der Lage zu denken. Denken umfasst die Fähigkeit, Schlüsse aus bestehendem Wissen zu ziehen, bzw. Aussagen auf ihre Wahrheit, d.h. ihre Konsistenz bezüglich des bereits im Agenten vorhandenen und als vom Agenten als gültig akzeptierten Wissens zu überprüfen.

Wir führen drei Ebenen und Konzepte ein, in denen wir über die Gültigkeit bzw. die Ableitbarkeit von Aussagen formalisieren können:

- Die syntaktische Ebene mit der *Ableitbarkeit* von Aussagen,
- die syntaktische Ebene mit der *Gültigkeit* von Aussagen,
- das termerzeugte Modell, das die syntaktische und semantische Ebene zum Modell verbindet, in dem nur die Aussagen gültig sind, die auch in der Logik herleitbar sind.

Im menschlichen Denken finden wir drei analoge Konzepte:

³⁹ Vgl. auch die Ausführungen S. 34

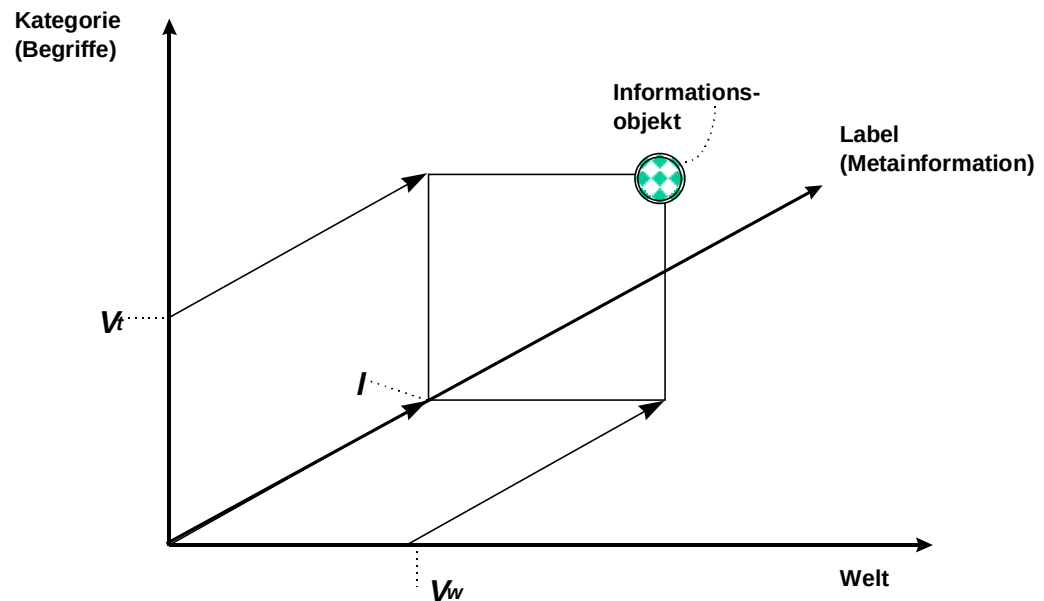


Fig. 6: Ein Informationsobjekt hat einen Label, enthält Daten und ein zweigeteiltes Vokabular

Jeder Wahl einer Kategorie (V_t), einer Welt (V_w) und eines Labels (I) entspricht diejenige Menge der Informationsobjekte im Wissensmedium, auf welche diese Bezeichner zutreffen.

Um Information aus Informationsobjekten zu entnehmen, gilt es zuerst, Objekte zu identifizieren, welche einschlägige Information tragen. Für diese Identifikation dient das Vokabular.

Bei toten Informationsobjekten, wie Formularen oder Büchern, trägt das Informationsobjekt selbst in der Regel wenig dazu bei: Sein Benutzer muss bereits wissen, welche Sprache und welche Begriffe der Autor verwendet hat, oder er muss sich diese Information zum logischen Raum nachträglich beschaffen, um den Informationsgehalt korrekt erschliessen zu können. Hier können Glossarien und Indizes Hilfe bieten.

Bei mathematischen Texten sind in der Regel mehr oder weniger weitgehende Informationen zur Definition der verwendeten Begriffe vorhanden. Trotzdem muss der Benutzer dieses Typs von Informationsobjekten den grössten Teil der logischen Schicht selber mitbringen und die Arbeit, welche die ask-Operation auslöst, zum grossen Teil selber leisten.

Bei auf dem interaktiven Informationsträger Computer abgelegten Informationsobjekten wird diese Identifikationsarbeit mehr oder weniger weitgehend unterstützt oder gar vollständig übernommen. Wir haben oben solche interaktiven Kanäle (mit Datenbanken) beschrieben. Sie stellen eine neue Form von Informationsobjekten dar, mit Charakteristiken, die dazu geeignet sind,

Macht der Logik: Sie gibt ihr die Möglichkeit, im symbolischen Raum durch 'Rechnen' zu wahren Aussagen zu gelangen.

Dieser Zusammenhang zwischen Realität und Logik, der als Semantik eines logischen Systems bezeichnet wird, soll nun kurz dargestellt werden.

2.2.2.9 Kategorisierung von Informationsobjekten

Wir erhalten nun eine dreidimensionale Koordinatisierung des Informationsbestandes eines Wissensmediums (in Dawkins' Sprechweise: des Memoms): Jedes Informationsobjekt (jedes Mem) hat einen Bezug

- zu bestimmten Kategorien oder Begriffen,
- zu bestimmten Welten und
- zur Menge der Labels.

Jede dieser Dimensionen, d.h. Kategorien, Welten und Labels, ist in sich reichhaltig strukturiert.

Die *Kategorien* besitzen die Struktur eines Verbandes, da auf ihnen logische Verknüpfungen definiert sind, die den Operationen von Verbänden entsprechen. (Eine solche Struktur wird für den Q-Kalkül in den Kapiteln 6-10 näher erläutert.)

Die *Welten* bilden die Bezugsgrößen (Referenz) für die Information, welche in den Informationsobjekten gespeichert ist.

Die *Labels* können im relationalen Datenmodell modelliert sein.

Ein Informationsobjekt hat demnach einen *Label*, enthält *Daten* und ein *zweigeteiltes Vokabular*: eines für die theoretischen Begriffe und eines für die Bezeichnung von empirischen Größen (dies sind Daten, deren Wahrheit in der Welt, nicht in der Logik gemessen werden). In der nachstehenden Grafik wird dieser Sachverhalt dargestellt. Dabei werden die inneren Strukturen der drei Dimensionen vernachlässigt - sie werden eindimensional dargestellt.

- Die selbe Welt kann mit verschiedenen Theorien modelliert werden, so dass *die gleiche Wirklichkeit je nach Optik als verschiedene Systeme erscheint* - was bei den Systemen, mit denen wir es im Alltag zu tun haben, der Normalfall ist.
- Eine gegebene *Theorie kann in verschiedenen Welten implementierbar sein*, womit diese zu ihren Modellen werden.

Daraus folgt, dass ein System immer zwei 'Koordinaten' hat - die verwendete *Theorie* (oder *Optik* oder *Kategorie*) einerseits und die *Welt*, die unter der verwendeten Theorie betrachtet wird.

Da Wissen, wie wir gesehen haben, immer Wissen zu *einem System* ist, verlangt sein Verständnis (seine *Semantik*) die Kenntnis der 'Werte' dieser Koordinaten, wenn es sich nicht um rein theoretische Wissen handelt. Theoretisches Wissen bezieht sich auf einen Systemtyp, d.h. auf eine *Klasse* von möglichen Welten.

Um die Welt, oder einen Ausschnitt der Welt, in einem Wissensmedium zu modellieren, muss zuerst die Wahl der *Optik* erfolgen, welche die Repräsentation festlegt. Diese *Optik*, bzw. das durch sie Wahrgenommene, muss in sprachlicher Form ausdrückbar sein³⁷.

Wir halten daher zunächst fest:

- Ein System *S* ist ein unter einer bestimmten *Optik* erfasster Teil der Realität.
- Einer *Optik* entspricht eine *Sprache*, in der das Gesehene ausdrückbar ist.
- Wir nennen diese Sprache *Systemsprache* eines Systems

Zur Formalisierung von einzelnen Agenten haben wir Automaten verwendet. Um nun Systeme zu beschreiben, verwenden wir Zustands-Transitions-Systeme³⁸: Man begreift das System als Konfiguration von Teilen. Die Konfiguration kann Änderungen unterliegen. *Eine Konfiguration bezeichnet man als Zustand des Systems, die Veränderungen der Konfiguration als Transition.*

Die Beschreibung eines Zustands-Transitions-Systems *S* erfolgt mit Hilfe einer Sprache. Gleichzeitig erhält man damit eine Interpretation dieser Sprache: *S* entsteht ja gerade als Ergebnis einer (erfolgreichen - was nicht immer gelingt) Beschreibung einer Realität im Lichte oder unter Verwendung dieser Sprache.

Um Veränderungen zu beschreiben, muss die Konfiguration vor und die Konfiguration nach der Veränderung beschrieben werden. Mit Hilfe solcher Logiken kann man Wissen über ein Transitionssystem darstellen und Beweise führen.

Dieser Zusammenhang spiegelt sich in einer brauchbaren Logik in der formalen Struktur der Zustands- und Transitionsbeschreibung. Auf dieser Spiegelung zwischen Realität und logischer Form ihrer Beschreibung beruht ja gerade die

³⁷ Ob es nicht sprachlich ausdrückbares Wissen gibt, kann hier offen bleiben. Wir sind im Kontext der *Wissensmedien* an kommunizierbarem und reproduzierbarem Wissen interessiert.

³⁸ Vgl. auch die Ausführungen auf S. 23

2.2.2.7.7 Wissensmedium als Agent

Ein Informationsobjekt ist somit ein Objekt, an das man Fragen richten kann und in welches man - man denke an Formulare oder Datenbanken - Daten eingeben kann. Die Informatik bezeichnet diese Handlungen als *ask*- und *tell*-Operationen. Sie drücken den Sachverhalt des Materialisierens von Wissen in einem Kanal und der Entnahme von Information aus diesem Kanal aus.

Informationsobjekte haben eine bestimmte Syntax, verwendet ein bestimmtes Vokabular, sind mit einem bestimmten Label (einer Verschlagwortung) bezeichnet und können ask- und tell-Operationen ausführen. Wir stellen sie grafisch wie folgt dar:

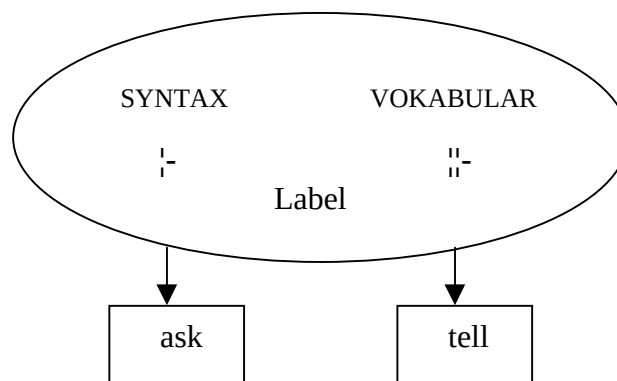


Fig. 5: Grafische Darstellung eines Informationsobjektes

2.2.2.8 Welten und Optiken

Welten, d.h. bestimmte Ausschnitte der Welt, sind in Wissensmedien immer *beschriebene* Welten: Ihre Objekte und deren Zustände und Veränderungen sind *benannt*, sind symbolisch repräsentiert. Damit das möglich ist, müssen die Welten unter einer bestimmten *Optik* betrachtet werden.

Optiken sind z.B. die Blickwinkel der Disziplinen Physik, Chemie, Informatik, Medienwissenschaft, Semiotik, etc. Diese Disziplinen beschreiben die Welt, bzw. den Aspekt und Ausschnitt der für sie relevanten Welt.

Wir halten fest:

- Eine gegebene *Realität* kann unter verschiedenen *Optiken* betrachtet werden.
- Das Wissen über diese Realität verlangt die Wahl einer *Theorie* und einer *Sprache*.
- Die Theorie erhält mit der Sprache eine Repräsentation und, wenn es gelingt, die Realität als System zu betrachten, in ihr ein *Modell*.

Registaturen, manchen Bibliotheken, Auskunftsdiensten und Datenbanken der Fall. In all diesen Fällen ist der Empfänger mit einem Agenten in Kontakt, der ihn auf interaktive Weise mit Information versorgt, d.h. es liegt eine Kombination Kanal-Agent vor, so dass letztlich ein *interaktiver* Kanal resultiert. In solchen Kanälen ist eine bestimmte, wohldefinierte Menge an Information enthalten, die zum Teil virtuell erzeugt wird - sie wird auf Abruf aus einer gegebenen Datenbasis hergeleitet.

2.2.2.7.6 Datenbanken als Kanäle und Agenten

Datenbanken, ob in klassischen Medien oder in Computersystemen realisiert, dienen der organisierten Speicherung von Information. Sie erlauben den Transport der Information über die Zeit, sind somit Kanäle.

Datenbanksysteme erlauben die systematische Speicherung von Information eines bestimmten Typs oder Formats. Sie gestatten die Abfrage mit mehr oder weniger benutzerfreundlichen und ausdrucksstarken Abfragesprachen. Neue Information kann kontrolliert hinzugefügt werden, die bestehende Information kann bei Bedarf nach bestimmten Gesichtspunkten analysiert und reorganisiert werden. Diese Operationen werden von Datenbank-Managementsystemen unterstützt. Damit sind Datenbanken aber mehr als bloße passive Kanäle - sie sind Agenten, die Fragen beantworten können und aktiv Information verarbeiten.

Je mehr solcher Inferenzmechanismen eine solche Datenbank enthält, desto näher kommt sie dem Konzept des Agenten. Expertensysteme sind Beispiele für solche Informationssysteme.

Ein *Expertensystem* enthält Information (Expertenwissen) in Form von Fakten und Regeln und ein Inferenzsystem, das die Beantwortung von Fragen durch formales Schließen aus der im Expertensystem vorhandenen Information erlaubt. Bei betrieblichen Informationssystemen sind die Deduktionsprozesse problembezogen in Methoden und Applikationen codiert. Man spricht in diesem Zusammenhang von *prozeduraler Wissensrepräsentation*.

Neben Datenbanksystemen im definierten Sinne gibt es Datenbanken, die mit Inferenzmechanismen vom Applikationstyp versehen sind. Dabei handelt es sich um Programme, welche die Daten der Datenbank unter sehr spezifischen Gesichtspunkten auswerten und dabei prozedural repräsentiertes Wissen, das der Programmierer in sie hinein programmiert hat, nutzen. Datenbanken oder Datenbanksysteme, die mit einer bestimmten Menge von Applikationen (diese wird häufig als Methodenbank bezeichnet) verbunden sind, bezeichnet man als *Informationssysteme*. In ihnen ist somit neben dem in der Datenbank vorhanden sogenannten deklarativen Wissen auch prozedurales Wissen in den Applikationen vorhanden. Solche Systeme sind oft sehr mächtig und enthalten enorme Mengen an Information. Moderne Bankinformationssysteme etwa 'wissen' über das Bankgeschäft mehr als jeder einzelne Angestellte. Nur können sie ihr prozedurales Wissen nicht preisgeben, sondern nur anwenden.

Wir bezeichnen mit persistenter Information, die Information, die ein Informationssystem enthält, und mit virtueller Information die Information, die aus persistenter Information bei Bedarf hergeleitet wird.

Damit diese Programmierung erfolgen kann, ist eine gemeinsame Basissprache zwischen Sender, Bote und Empfänger nötig, auf der die Kommunikation aufgebaut werden kann.



Fig. 3: : Illustration zum Unterschied message (Nachricht) und messenger (Bote)

2.2.2.7.4 Kopplung von Agenten und Kanälen

An Kanäle können Agenten „geheftet“ werden. Damit verbinden sie die Komponente, die Wissen trägt und die Komponente, die Wissen transportiert. Eine erfolgreiche Übermittlung von Wissen erfolgt nur, wenn sich die Agenten mit einem Kanal koppeln. Neben Sender- und Empfänger-Agenten sind häufig weitere Agenten mit dem Kanal verknüpft, um Transport- oder Verwaltungsdienste zu erbringen. (z.B. Informationssysteme, Nachrichten-Übermittlungsunternehmen).

Wir nehmen im Folgenden den Standpunkt des Empfängers ein und interessieren uns für Agenten, welche die Informationsqualität des Kanals verbessern.

2.2.2.7.5 Agenten als Kanäle und interaktive Kanäle

Agenten, die Wissen tragen, sind selbst Kanäle.

Wenn der Empfänger mit einem Agenten über den Kanal der Stimme in Sprechdistanz oder über eine Telefonleitung verbunden ist, so kann er Information abrufen, die nur virtuell vorhanden ist und bei Bedarf von ihm erzeugt wird.

Dann gibt es Kanäle, in denen die abgerufene Information zwar aktuell existiert, aber auch ein Agent beim Suchen behilflich ist. Das ist bei amtlichen

verstehenden Agenten mit der notwendigen Semantik versehen und dadurch wieder erweckt zu lebendigem Wissen.

Der Mensch dagegen ist ein *aktiver Informationsträger*: Er kann aktiv Schlüsse aus der ihm vorliegenden Information ziehen³⁴. Dies kann auch der Computer – seit seiner Erfindung gibt es nun erstmals einen künstlich hergestellten ‘lebendigen’, d.h. dialogfähigen bzw. inter-aktiven Informationsträger neben dem Menschen, der die auf ihm gespeicherte Information selbständig anzuwenden "versteht" (wie es z.B. ein Taschenrechner tut, welcher uns auf die Frage: „6x4 = ?“ mit „= 24“ antwortet³⁵). In Computersystemen sind inzwischen enorme Informationsmengen enthalten, welche durch die Einbindung des semantischen Kontextes (bzw. durch die Automatisierung der Inferenzprozesse) für ihre Daten automatisch "wissen", wie sie Fragen beantworten und Prozesse durchführen können. Derartige Informationsträger sind aktive Wissensträger und damit selber Agenten.

Man kann nun die Informationsträger nach der Funktionalität klassifizieren:

- *Passive Informationsträger* haben die Eigenschaft, Worte (oder Texte), d.h. nur in einer Sprache codierte Information zu enthalten.
- *(Inter-) Aktive Informationsträger* sind mit einem Agenten gekoppelt, der über Inferenzleistungen verfügt, d.h. über die Fähigkeit, Schlüsse zu ziehen, Fragen zu beantworten, etc. Sie sind also mit aktiven Komponenten versehen, welche spezielle, auf die in ihnen enthaltenen Texte abgestimmte Dienstleistungen erbringen. Datenbanken, wie sie im nächsten Abschnitt beschrieben werden, sind solche Systeme.

Wir verwenden im Folgenden statt Informationsträger den Begriff Informationsobjekt, um die potentiell aktive Seite der Informationsträger anzusprechen.

2.2.2.7.3 Nachrichten und Boten

Im Zusammenhang mit der Unterscheidung in passive und aktive Informationsträger besteht eine weitere Klassifikation wie folgt:

- Informationsobjekte, die dem Empfänger eine Nachricht in einer bereits vorausgesetzten Kommunikationssprache übermitteln, werden als messages oder *Nachrichten* bezeichnet.
- Informationsobjekte, die den Empfänger zuerst auf der Metaebene unterrichten (programmieren) können, um ihn zum Empfang der nachfolgenden Nachricht zu befähigen, werden als messenger oder *Boten* bezeichnet³⁶. (Der Terminus *Agent* findet in diesem Zusammenhang ebenfalls häufig Verwendung.)

³⁴ Vgl. dazu Mark J. Stefik: *The Next Knowledge Medium*, in: *The ecology of computation*, A. Hubermann (ed). Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1988

³⁵ Diese Rechnung und ihr Ergebnis sind dabei nicht vorprogrammiert worden, sondern aufgrund des prozeduralen arithmetischen Wissens neu "überlegt" und erarbeitet worden.

³⁶ Dissertation ... Tschudin, Informatik, Universität Genf, 199...

zahlreiche Stellen (wie z.B. die Organisation der Post, einer Universitätsbibliothek, des Telefondienstes).

Damit eine Nachricht korrekt übermittelt werden kann, ist neben dem zu übermittelnden Inhalt zusätzliche Steuer- oder Kontrollinformation, also *Information auf der Metaebene*, nötig. Metainformation ist in ihrer einfachsten Art notwendig, um die Kommunikation über Kanäle zu steuern. Diese Information wird auch als *Kontrollinformation* bezeichnet. Zu den für die erfolgreiche Informationsübermittlung benötigten sogenannten Kontrollinformationen gehören Angaben wie: Adresse, oder Empfangsbestätigung, oder Anweisungen zur Transportgeschwindigkeit (z.B. "Express" bei der Briefpost), etc. Solche Kontrollinformation erlaubt es den Kanälen, Information richtig zu transportieren.

Neben Metainformation, die mit dem Transportvorgang verknüpft ist, gibt es auch die Metainformation, welche die übermittelte Information selbst betrifft. Ein Gedanke, der kommuniziert wird, entfaltet beim Empfänger sofort seine Wirkung: Er kann eine Nachricht nicht empfangen und verstehen, ohne dass eine Deutung mit diesem Vorgang einher geht, welche das Verstehen ausmacht. Diesen Aspekt hat Peirce die *Drittheit*³² genannt, nämlich die Befähigung des Empfängers, Nachrichten zu verstehen. Wieviel von dieser Drittheit in der Information enthalten sein muss, hängt von der *Sicht* ab, aus der wir das Wissensmedium betrachten.

In der *externen Sicht* schreibt der Beobachter den Agenten die Fähigkeit zu, Nachrichten und Information zu verstehen. Die Agenten müssen sicherstellen, dass der Kommunikationspartner die Information versteht. Damit enthält in der externen Sicht die Nachricht mehr Metainformation, d.h. Information über die Information, als in der internen Sicht³³. Informationsobjekte, welche neben den Daten auch Metainformation, d.h. Wissen oder Information zu ihren Datentypen enthalten, nennen wir *intelligente Informationsobjekte*.

2.2.2.7.2 Passive und aktive Informationsträger

Informationsträger sind Kanäle im Sinne der Nachrichtentechnik: Sie verbinden Raum-Zeit-Punkte. Die lebendige Stimme überwindet im direkten Dialog kleine, über das Telefon grosse räumliche Distanzen; allerdings ist dies ein flüchtiger, nur für den Augenblick persistenter Kanal.

Alle künstlich hergestellten Informationsträger waren, bis zur Erfindung des Computers, *passive Informationsträger*. Speichermedien wie Bücher, Bilder, CD, Video etc. können Information über die Zeit hinweg konservieren, sie gestatten auch die Verbreitung über grosse räumliche Distanzen. Aber diese Kanäle sind nicht dialogfähig, es sind tote Informationsträger, denn sie sind vom sinnstiftenden Kontext abgeschnitten. Gespeicherte Information wird erst im

³² Vgl. Fussnote 27 und Charles Sanders Peirce: Reasoning and the Logic of Things. The Cambridge Conferences Lectures of 1898. Edited by Kenneth Laine Ketner. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, 1992

³³ Vgl. auch die Ausführungen S. 43 f.

Während die oben erwähnten Ansätze Koordination und Kommunikation zwischen Objekten explizit modellieren, erlaubt es die Rewriting Logik und die darauf basierende Spezifikationssprache Maude [Meseguer, 1992] die Kommunikation zwischen Objekten implizit zu spezifizieren. Dies ermöglicht eine abstrakte und sehr kompakte Beschreibung von ansonsten nur mittels komplexen Protokollen realisierbaren Austauschbeziehungen [Lechner, 1997].

Neben Kommunikation und Koordination sind Ressourcen, ihre Verfügbarkeit und ihre Verarbeitung ein zentrales Thema in der Modellierung zustandsbasierter, verteilter Systems. Diese Aspekte können mittels Linearer Logik modelliert werden [Girard, 1987].

Mit Labelled Deductive Systems können generell über Raum und Zeit verteilte informationsverarbeitende Einheiten und die Strukturen, die sie bilden, modelliert werden [Gabbay, 1994, Gabbay, 1996]. Labelled Deductive Systems sind nicht nur ein genereller Ansatz zur Modellierung - sie sind auch eine Metatheorie, mit verschiedenen Logische Systeme implementiert und auch kombiniert werden [Gabbay, 1996, Basin et al., 1997]. In [Lechner and Schmid, 1999] werden sie als Grundlage für die Modellierung von Medien verwendet.

2.2.2.7 Anwendungen: Informations- und Kommunikationssysteme

Bisher haben wir die physische Ebene des Wissensmedums in Gestalt seiner Informationsträger, den Kanälen, Agenten, ihrer Organisation (Rollen, Protokolle) und den Memen modelliert. Bisher haben wir lediglich

- Agenten als aktive Informationsträger,
 - Meme als transportfähige Informationsträger,
 - Kanäle als verbindende Informationsträger
- angesehen.

In Wissensmedien gibt es jedoch weitere Komponenten, die von dieser schematischen Aufteilung zunächst nicht erfasst werden, z.B. Datenbanken und andere Informationsträger. Sie können ebenfalls auf der Basis der Informationsträger Agent, Kanal und Mem modelliert werden. Um nun aktive und passive Informationsträger, Informationssysteme, Datenbanken und Expertensysteme nachbilden zu können, benötigen wir das Konzept der *Metainformation*.

2.2.2.7.1 Metainformation

Ein Kanal ist, auf hohem Abstraktionsgrad gesehen, eine Verbindung zwischen zwei Orten. Er ist, auf niederem Abstraktionsgrad gesehen, eine komplexe Struktur, welche die Steuerung des Informationsflusses regelt. Kanäle sind nicht nur hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften komplexe Strukturen (komplex wie z.B. ein Telefonsystem, ein Computernetzwerk, ein Fernsehsender). Auch ihre organisatorische Seite ist oft von hoher Komplexität und involviert

Strassenverkehr betrachten. Wieso entsteht dabei kein heilloses Durcheinander? Nun, bekanntlich wird Ordnung durch Verkehrsregeln hergestellt. Sie regeln das Zusammenwirken der Verkehrsteilnehmer und gestatten dem einzelnen Teilnehmer, im Rahmen von Regeln persönliche Pläne auszuführen. Diese Regeln, welchen die Teilnehmer gehorchen müssen, nennt man *Protokoll*. Sie steuern die Handlungen der Agenten hinsichtlich übergeordneter Ziele, sie ordnen ihren Ablauf und ihre Interaktion. Sie beinhalten die zur Bildung von kooperierenden Gruppen von Agenten (von Organisationen) notwendige Kontrollinformation. Sie können als *verteilte Programme*, welche die Gruppe der Agenten lenkt, aufgefasst werden.

Beschreibt die Rolle das, was der einzelne Agent tun darf oder muss, so regelt das Protokoll den Verkehr der Agenten untereinander aus einer ganzheitlichen Sicht: Es beschreibt die Regeln des Spieles als Ganzes.

2.2.2.6 Methoden der Informatik zur Modellierung von Kanälen, Rollen und Protokollen

Die Ansätze zur Modellierung von Agenten und Multi-Agentensystemen unterscheiden sich sowohl im Hinblick auf das Agenten als auch das Kommunikationsmodell. Wir beschränken uns hier auf eine kurze Übersicht über formale Methoden und insbesondere Logiken zur Modellierung von Agenten und Multi-Agentensystemen.

Der Ansatz der Possible Worlds [Kripke, 1963] ist die Grundlage für verschiedene formale Modellierungen von Agenten, ihrem Wissen und Verhalten. Proaktionen modellieren die verschiedenen, der menschlichen Gefühlswelt nachempfundenen Arten, Aussagen zu interpretieren [Konolige, 1996 Konolige, 1996, Kraus and Lehmann, 1988, Müller, 1996]. Realisiert werden solche Agentenmodelle z.B. mit Belief-Desire-Intention (BDI) Architekturen für Agenten [Müller 1996]. Ein Überblick über Agenten und Modellieren findet sich z.B. in [Jennings et al., 1998, Jennings and Wooldridge 1995].

In unserem Modell von Medien bilden Kanäle die Grundlage für die Koordination und Kommunikation von Agenten. Für über Kanäle kommunizierende verteilte Systeme gibt es eine Vielzahl von Ansätzen: CCS [Milner, 1989] oder CSP [Hoare, 1985] modellieren kommunizierenden Einheiten mit einer festen Kanalstruktur, während der pi-Kalkül mobile Agenten mit sich dynamisch verändernden Kommunikationsstrukturen beschreiben kann [Milner et al., 1992, Milner et al., 1993, Sangiorgi, 1993]. Temporale Logiken [Kröger, 1987, Lamport, 1990, Stirling, 1992 oder der mu-Kalkül [Kozen, 1983, Bradfield, 1992] erlauben es, über diese Modellierungen zu rasonnieren. Branching Time Logiken dagegen modellieren Verteiltheit unter Verwendung von temporaler Logik. [Ehrich et al., 1991, Sernadas et al., 1992, de Nicola and Vaandrager, 1995, Hartmann et al., 1994]. Mit formalen Systemen wie z.B. der deontischen Logik können die verschiedenen Proaktionen modelliert werden [Meyer and Wieringa, 1993, Fiadeiro and Maibaum, 1991].

Kanäle verbunden werden können, wie es in den Raum-Zeit-Diagrammen festgelegt ist. Während eine Telefonverbindung als Kanal typischerweise zwei Agenten verbindet, erlaubt der Kanal Internet die Verbindung vieler Orte mit beliebig vielen Agenten. Kanäle können Meme in verschiedenen Richtungen transportieren, wie z.B. eine Telefonverbindung oder nur in eine Richtung wie ein Radiosendern.

Wichtig für die Benutzer von Kanälen sind aber auch Eigenschaften von Kanälen, wie z.B.

- dass Kanäle garantieren, dass alle Informationsträger beim Empfänger ankommen,
- dass die Reihenfolge der gesendeten Nachrichten gleich der Reihenfolge der ankommenden Nachrichten ist.

An dieser Stelle berühren sich die logische und die physische Ebene des Wissensmediums.

2.2.2.4 Rollen von Agenten

Wie Agenten agieren, hängt von ihrem Wissen ab, d.h. ihre Handlungen sind abhängig vom Input, welcher Aktionen auslöst, sowie vom inneren Zustand des Agenten. Auf dieser Ebene sind Aktionen und Handlungen allein vom Agenten abhängig.

Im Wissensmedium und dem logischen Raum muss es jedoch ein Verständnis über das Verhalten von Agenten geben. Jeder Agent hat eine bestimmte Rolle zu spielen, die vom ihm bestimmte Fähigkeiten verlangt und die ihm bestimmte Rechte und Pflichten zuweist. Häufig wird vorausgesetzt, dass die Rollen der Agenten bekannt sind.

Ein Agent kann Rollen sequentiell oder auch gleichzeitig annehmen. Betrachten wir einen Agenten, der die Rolle eines Menschen in einem Wissensmedium wie z.B. der NetAcademy übernimmt³¹. In diesem Wissensmedium gibt es verschiedene Rollen, z.B. als Autor, Gast, Editor und Gutachter. Der Agent kann nacheinander die Rollen des Editors für ein Projekt und des Gutachters für einen Beitrag eines anderen Teilnehmers annehmen, er kann auch Autor sowie Gutachter für den Beitrag eines anderen Teilnehmers sein. Es gibt also Rollen, die gleichzeitig und/oder sequentiell vom selben Agenten verkörpert werden können, aber auch solche, die weder gleichzeitig noch nacheinander vom selben Agenten angenommen werden dürfen, so z.B. die Rollen sowohl des Autors X wie auch des Gutachters für die Arbeit des Autors X.

2.2.2.5 Protokoll

Als Beispiel eines Systems von zahlreichen Agenten, die durch kein übergreifendes Programm in ihren Wegen gelenkt werden, wollen wir den

³¹ Vgl. die Kapitel 12 und 19 in diesem Buch zum Projekt NetAcademy

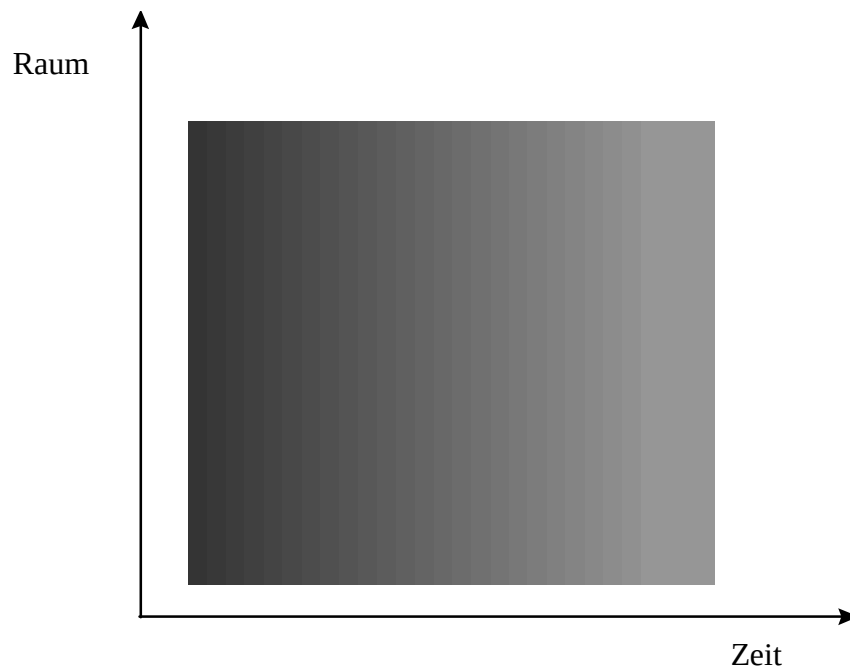


Fig. G Neue Medien-Kanäle

Mit Internet verschmelzen die Charakteristika der Kanalsysteme.

Information ist gleichzeitig, interaktiv, gelangt an räumlich weit verteilte Empfänger und ist über lange Zeit vorhanden.

Fig. 3 A-G: Kanalsysteme als Raum-Zeit-Diagramme

Neben der Fähigkeit des Kanals zur Verbindung von Raum- und Zeitpunkten ist seine Fähigkeit zur Aufnahme von Information, genauer gesagt, von transportablen Informationsobjekten, eine weitere Voraussetzung für die Kommunikation von Wissen.

Kanäle nehmen Informationen auf, können sie speichern und transportieren und wieder abgeben. Kanäle sind jedoch passive Informationsträger, sie transportieren die Information nur, während die Agenten die Kommunikation initiieren und Wissen verarbeiten können. Allerdings haben auch Kanäle - und auch Agenten - *Eigenschaften*. Die Reichweite von Kanälen, d.h. ihre maximale Entfernung über die sie Orte verbinden können ist, sowie das Trägermedium (wie z.B. Schall, Licht oder Papier) sind charakteristisch für einen Kanal. Charakteristisch für einen Kanal ist auch, wie viele Orte und Agenten durch

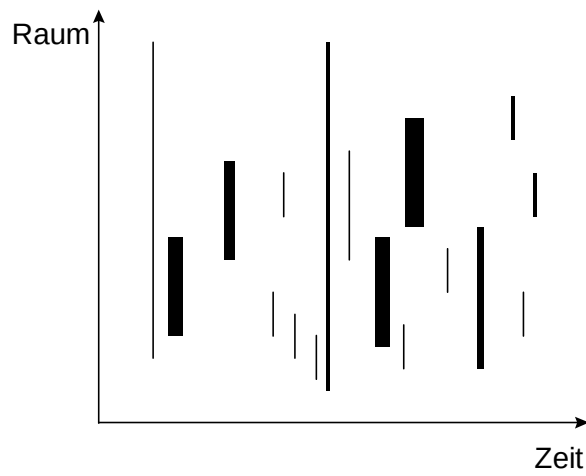


Fig. E Telekommunikations-Kanäle

Beim Telefon ist die synchrone Punkt zu Punkt Kommunikation über grosse räumliche Distanzen möglich. Der Informationsfluss ist dabei bilateral (interaktiv).

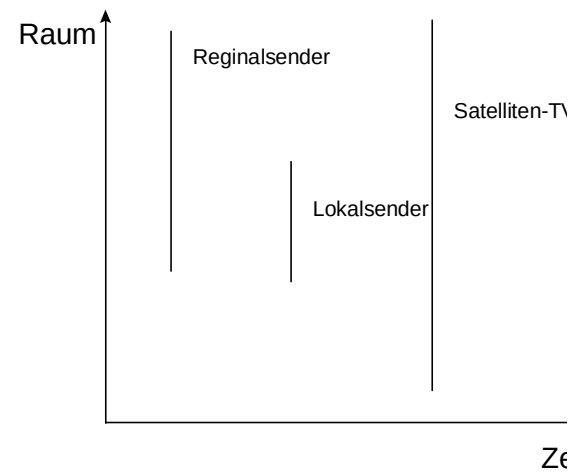


Fig. F Broadcasting-Kanäle

Mit dem Rundfunk werden gleichzeitig sehr viele Punkte mit einer Nachricht erreicht. Der Informationsfluss ist dabei unilateral.

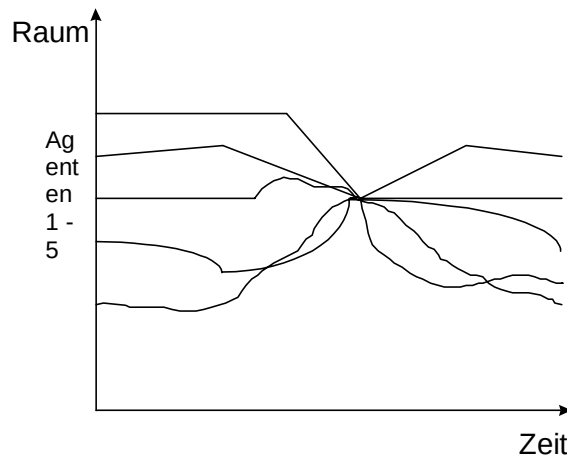


Fig A: **Agenten-Kanäle**

Die Versammlung: 5 Agenten kommen von verschiedenen Orten auf verschiedenen Wegen zu einem gemeinsamen Treffpunkt und trennen sich wieder.

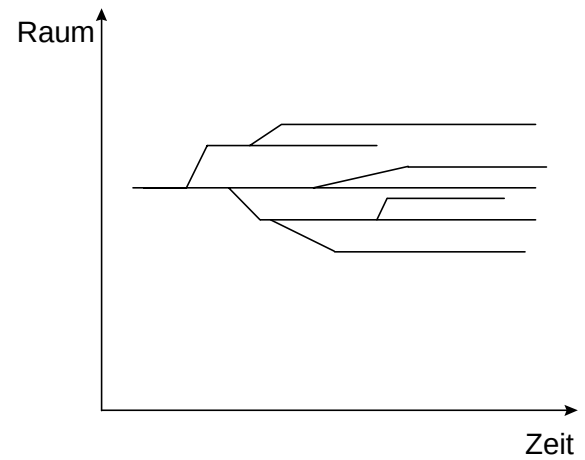


Fig B: **Text-Kanäle**

Die Handschrift: Ein Buch wird zu verschiedenen Zeitpunkten mit jeweils unterschiedlichem Zeitaufwand insgesamt 6x abgeschrieben. 2 Exemplare gehen verloren.

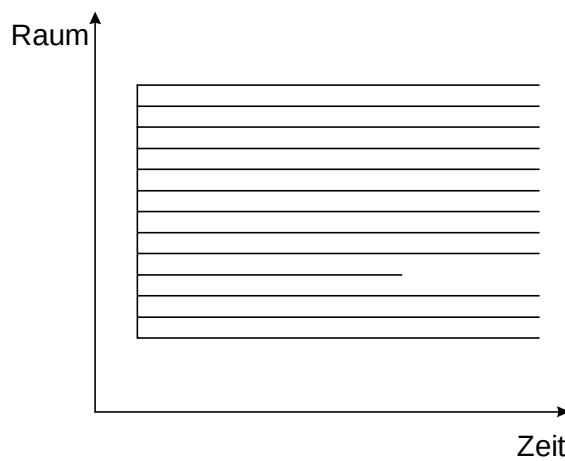


Fig. C: **Buchdruck-Kanäle**

Gleichzeitig werden 12 Exemplare desselben Textes zur Verfügung gestellt. Ein Exemplar geht irgendwann verloren.

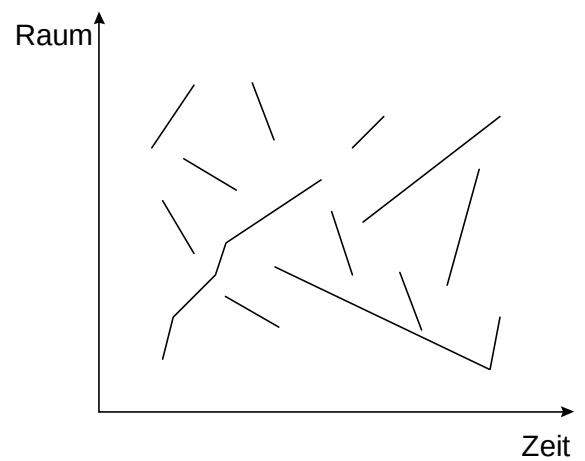


Fig. D: **Boten, Post-Kanäle**

Verschiedene Nachrichten werden von Punkt zu Punkt über räumliche Distanzen gebracht was jeweils unterschiedlich lange dauert.

Diagramme tun. Wir reduzieren dabei die Raumdimensionen auf eine Dimension, und bilden die Zeit auf die zweite Dimension ab. Eine senkrechte Strecke über einem Raumpunkt symbolisiert einen ortsfesten Kanal, z.B. eine Bibliothek. Ein solcher Kanal erlaubt den Transport von Information über die Zeit. Eine Strecke, deren Projektion auf die Raumachse nicht ein Punkt ist, symbolisiert einen Kanal, der räumliche Distanzen überwindet. Dabei wird immer auch Zeit benötigt, so dass es keine Kanäle gibt, die parallel zur Raumachse verlaufen. Die Projektion auf die Zeitachse gibt die für den Transport benötigte Zeit an, d.h. die Bandbreite eines Kanals verdeutlicht die zeitliche Dauer, in der er benutzt wird.

In Figur 2 sind mit einer Reihe von Grafiken einige Beispiele von Kanälen als Raum-Zeit-Diagramme dargestellt:

- Sie sind aber erst dann echte Vermittler von Wissen, wenn sie einen Dritten (den Empfänger) so instruieren können, dass dieser die in ihnen enthaltene Information selber weitergeben können (Drittheit).

Der Zweck der Kommunikation ist die Übermittlung und damit die Reproduktion von Wissen. Die *Replizierbarkeit des Wissens* ermöglicht erst sinnvolle Kommunikation: Das Wissen eines Agenten kann als Mem geäußert und dem Empfänger so kommuniziert werden, dass dieser den Replikationsvorgang wiederholen kann.

Damit Wissen kommuniziert werden kann, muss es also zunächst externalisiert, d.h. von seinem Träger losgelöst und als *Zeichen* geäußert werden. Man spricht in diesem Zusammenhang von der *Codierung* des Wissens. Zur Beschreibung von Code, d.h. der äusseren Gestalt von Zeichen können formale Sprachen verwendet werden.

Zeichen dienen dazu, Wissen zwischen Agenten auszutauschen. Wissen gibt es jedoch nur in Agenten und ohne diesen Bezug zu Agenten verlieren Zeichen ihre Funktion, d.h. das, was sie zum Zeichen macht. Wir wollen untersuchen, was ein Zeichen an Eigenschaften besitzen muss, damit es die Funktion der Wissensübermittlung erfüllen kann.

2.2.2.2 Kanäle

Ein Wissensmedium besitzt eine Sammlung von räumlich und zeitlich unterschiedlichen Orten, an denen sich Agenten aufhalten können und zwischen denen die Agenten auch wechseln können. *Der Sender befindet sich an einer andern Raum-Zeit-Stelle als der oder die Empfänger.*

Die erste Eigenschaft, die ein Informationsträger folglich besitzen muss, ist daher die, verschiedene Raum-Zeit-Punkte zu verbinden. Wir nennen ein Objekt, das verschiedene Raum-Zeit-Punkte verbindet und die Eigenschaft hat, Information aufnehmen (und abgeben) zu können, einen *Kanal*.

Wir verfügen über ein reiches Repertoire solcher Kanäle. Die menschliche Stimme ist einer der ältesten. Er verbindet zwei menschliche Agenten über kurze Distanzen. Optische Kanäle verbinden Agenten über grössere Distanzen. Die Erfindung der Schrift hat es erlaubt, die Zeit zu überbrücken und (durch Transport der Schriftstücke) gleichzeitig den Raum zu überwinden. Kopiertechniken wie der Buchdruck und das moderne Kopieren ermöglichen eine Verästelung der Kanäle (vgl. Fig. 2 b,c,d). Die Nutzung der elektromagnetischen Signale erlauben eine simultane Verbindung aller Raum-Zeit-Punkte auf einem Kanal der Raumzeitmannigfaltigkeit - aber nur für den Augenblick der Sendung, wie bei der Stimme (vgl. Fig. 2 e,f).

2.2.2.3 Charakterisierung von Kanälen durch Raum-Zeit Diagramme

Wenn man die verschiedenen Kanaltypen hinsichtlich ihrer Verbindungsfunktion in Raum und Zeit charakterisieren will, so kann man dies mit Hilfe der *Raum-Zeit-*

2.2.2 Das Kommunikationssystem: Kanäle, Protokolle und Rollen

Agenten können miteinander kommunizieren und dabei Wissen austauschen und Wissen erwerben. Das Wissensmedium ist die Plattform, die es Agenten ermöglicht, Wissen auszutauschen und zu erwerben.

Ein Wissensmedium umfasst eine Menge von *Orten*, an denen sich Agenten befinden und zwischen denen sie sich bewegen. Diese Orte sind zeitlich und räumlich verschieden und werden durch *Kanäle* verbunden, über die die Agenten kommunizieren können. Bei der *Kommunikation* zwischen Agenten wird in sprachliche Form gegossenes Wissen durch ein äusseres Zeichen auf einem physischen Träger verkörpert. Wir bezeichnen die transportfähigen Informationsträger als *Meme*.

Die Informationsträger, d.h. die Agenten, Kanäle, Meme sowie die Orte, bilden die physische Seite des Wissensmediums (vgl. Figur 1, S. 20). All diese Informationsträger, sowie das Wissensmedium und das Wissen als solches, haben Eigenschaften, die durch die logische Seite des Wissensmediums bestimmt werden. Rollen beschreiben das Verhalten der einzelnen Agenten, die diese Rollen annehmen können. Protokolle regeln das Verhalten und Zusammenwirken der Informationsträger. Wissen als solches hat die Eigenschaft, dass es weitergegeben und repliziert werden kann. Der logische Raum des Wissensmediums ist die Formalisierung dieser Eigenschaften mit Methoden der Informatik.

Im Folgenden beschreiben wir die Informationsträger und ihre Eigenschaften sowie ihr Zusammenwirken im Wissensmedium. Die Informatik hat verschiedene Konzepte entwickelt, um Systeme von kommunizierenden Agenten zu modellieren. Wir diskutieren kurz diese Ansätze und erklären anhand eines Ansatzes die Modellierung.

2.2.2.1 Vermittlung von Wissen durch Kommunikation

Wissen kann unmittelbar, durch direkte *Beobachtung* der Welt erworben werden. Der grösste Teil unseres Wissens stammt jedoch nicht aus eigener Beobachtung, sondern ist durch *Mitteilung* anderer erworben, d.h. unser Wissen ist *vermitteltes Wissen*. Kommunikation ist auf der physischen Ebene der Austausch von Zeichen, die von den Agenten gedeutet werden müssen.

Aus Sicht der Semiotik²⁹ können die Eigenschaften von Zeichen als Informationsträger mittels der Kategorie erfasst werden:

- Zeichen haben eine physische Seite (Erstheit);
- sie beziehen sich auf etwas ausserhalb ihnen Liegendes (Zweitheit)³⁰.

²⁹ Charles Sanders Peirce, Begründer der Semiotik, z.B. in: xxx

³⁰ Wenn Zeichen sich nicht auf etwas ausserhalb liegendes, sondern auf sich selbst beziehen, wird (semiotisch) von "Kunst" gesprochen.

aus der internen Sicht, nur beschränkt über die Beschreibung ihres Verhaltens verfügen können.

In der Psychologie wird mit Rückgriff auf die philosophische Tradition (speziell auf Kant) der Begriff des *Schemas* verwendet, um die Wissensrepräsentation zu erklären²⁸. Darunter versteht man eine Einheit ('declarative unit') des kognitiven Systems, die es erlaubt, Wissen zu einem Gegenstand zu speichern und für die interne kognitive Verarbeitung verfügbar zu machen. Ein Schema reduziert einen erfassten Gegenstand auf eine bestimmte Datenstruktur, d.h. es stellt den Gegenstand in einer bestimmten - schematischen - Sichtweise oder mit bestimmten 'Sprachmitteln' dar.

In der Künstlichen Intelligenz spricht man statt von Schemen von *Frames* oder *Scripts*. Beide Konzepte können als bestimmte Realisationen des Konzeptes des Schemas aufgefasst werden. Beispiele von Schemen sind das immer wieder zitierte Restaurant-Schema. Das Restaurant-Schema enthält die Subschemen Tisch und Stuhl, Essen und Trinke, usf. und bindet sie in einen Kontext von Bedienung, Bestellen, Zahlen, etc.

Lernen wird im Rahmen dieser Theorie grob wie folgt erklärt:

- Das Erkennen eines Gegenstandes erfolgt durch Assimilation. Dabei werden den Variablen des Schemas den Gegenstand kennzeichnende Werte zugewiesen, in objektorientierter Sprechweise: das Schema wird instanziiert, eine *Instanz* als Objekt gebildet.
- Wenn ein Gegenstand nicht assimiliert werden kann, wird das Schema geändert, entweder durch *Spezialisierung* oder durch *Generalisierung*.
- Eine radikalere Veränderung des Schemas ist die *Restrukturierung*. Dies kann auf zwei Weisen erfolgen:

Der Wertebereich von Variablen des Schemas wird verändert. (Dieser Vorgang wird '*pattern generation*' genannt.)

Zwei existierende Schemen werden zu einem neuen Schema verbunden ('*induction*' genannt).

Aus der internen Sicht verfügen Agenten nicht über die Sprache, in der sie programmiert sind und in der das sie beschreibende Metawissen implementiert ist. *In der einfachsten Sicht wird ein Agent durch einen Automaten beschrieben. Solche Automaten können Wissen assimilieren, sie können jedoch nicht die Schemata verändern.*

²⁸ Einen guten Überblick findet man bei Martin (...) in: Cowan, Pines, Meltzer: Complexity, Santa Fé Institute, New Mexico, 1994

vorhanden“ zu beantworten) zuschreiben. Je nach der verwendeten Logik weiss der Agent durch die in ihm implementierte Logik, wie er die gestellte Anfrage beantworten kann. Die Informatik hat auch hier eine ganze Reihe von Sprachen und Konzepten zur Modellierung geschaffen.

Um menschliches Schliessen modellieren zu können reicht dies jedoch noch nicht. Menschliches Wissen ist viel komplexer. Menschen können mit unscharfer und widersprüchlicher Information umgehen, sie können differenzierter als mit Ja oder Nein antworten, sie kennen die Grenzen ihres Wissens.

Im Kontext der Wissensmedien interessiert vor allem die Verarbeitung von Wissen durch *intelligente Agenten*. Dies verlangt nach geeigneten Repräsentationsformalismen und Logiken. Solche Formalismen, die das Rasonnieren über Wissen von Agenten gestatten, sind erarbeitet worden²⁷. Sie stellen jedoch auch eine externe Sicht dar, wie die zuvor beschriebene Sicht auf die Handlungen des Agenten. Die externe Sicht auf einen Objektbereich und ihre sprachliche Darstellung ist eng mit der Unterscheidung von Objekt- und Metaebene verknüpft.

Neben dieser in all den Schichten des Gehirns stattfindenden Semantik der Information bilden wir auch spontan *Vorstellungen*, namentlich Bilder zu Information, welche eine Situationen beschreibt, die räumliche Gegenstände oder Ereignisse betrifft.

Wissen ist eine Art Sehen:

- Informationen, die wir erhalten, lösen Wissen im alten Sinne von "Sehen" aus, wenn wir sie verstehen.
- Information besitzt im Agenten somit eine *Interpretation* in seinen eigenen inneren Aktivitäten und Zustandsübergängen
- Wir nennen diese Interpretation beim Menschen *Gedanken*, die mit ihnen verbundene innere Tätigkeit *Denken*.
- Sachverhalte, die in Gedanken abgebildet sind, sind uns *bewusst*.
- Bewusste Sachverhalte können symbolisch auf sprachlicher Ebene repräsentiert werden.

2.2.1.3 Lernen von Agenten

Agenten enthalten Wissen und sie können mit anderen Agenten kommunizieren und so ihr Wissen erweitern. Wir *bezeichnen die Veränderung des Wissens eines Agenten mit Lernen*.

Wir haben schon gesehen, dass es ganz unterschiedliche Arten von Agenten gibt, die mit Methoden der Informatik ganz unterschiedlich modelliert werden. Diese Agenten haben unterschiedliche Verfügungsgewalt über ihr Wissen, da sie,

²⁷ Vgl. hierzu: Fagin R., Halpern J.Y., Moses Y., Vardi M.Y.: Reasoning about Knowledge, MIT Press, Cambridge Massachusetts

hinzugefügt, beim Verleihen und beim Zurückgeben von Büchern wird der Zustand, d.h. die Menge der Bücher, verändert.

Den Zustand einer Bibliothek als Menge von Büchern zu modellieren ist eine Möglichkeit. Wir könnten uns auch entscheiden, eine etwas detailliertere Repräsentation zu wählen, indem wir die Ordnung, d.h. ihre Signaturen und ihre Stellplätze, mit betrachten. Zwei Bibliotheken, genauer gesagt: zwei Zustände von Bibliotheken sind im ersten Fall gleich, wenn sie die gleichen Bücher enthalten. Im zweiten Fall müssen sie die Bücher auch gleich signieren und aufstellen. Dieses Beispiel zeigt, wie die gewählte Repräsentation die Eigenschaften und die Aussagen, die über die Welt die abgebildet wird, beeinflussen.

Wenn wir diese Bibliothek nun als Automat sehen, dann interessiert uns nicht die Struktur der Bibliothek, sondern das beobachtbare Verhalten. Ein Beobachter kann sehen, wie eine Bibliothek auf „Eingaben“ reagiert. Die Eingaben seien Anfragen nach Büchern: ob sie ausleihbar sind und ob der Beobachter berechtigt ist sie auszuleihen. Aus der Sicht des Ausleihers ist es irrelevant, wie eine Bibliothek die Bücher aufstellt. Trotzdem gibt es Unterschiede in Bibliotheken:

- Es gibt Bibliotheken, die auf den Wunsch, ein nicht vorhandenes Buch auszuleihen, antworten: "nicht vorhanden".
- Es gibt auch Bibliotheken, die dann versuchen, das gewünschte Buch anderswo zu beschaffen (ohne den Benutzer mit den Details der Beschaffung zu beschäftigen) und die dann in wesentlich mehr Fällen mit der Ausgabe eines Buches antworten können.

Zwei Bibliotheken sind *gleich*, wenn sie auf alle Sequenzen von Anfragen mit der gleichen Antwort reagieren - unabhängig davon, ob die Bücher gespeichert sind, oder erst beschafft werden müssen, da dies von aussen nicht beobachtbar ist.

Beide Konzepte, das des Automaten und des Zustands-Transitionssystems, modellieren ein System oder einen Agenten als ein System mit Zuständen und Zustandsübergängen. Dies ist eine Sicht, die der Art und Weise, wie Computer Information verarbeiten, sehr nahe. Diese Art und Weise der Modellierung bezeichnet man als *operationelle Sicht*. Diese Sicht eignet sich, das Wissen künstlicher Agenten (d.h. von Agenten, die Computer modellieren), zu beschreiben. Vor allem die Sicht als Zustands-Transitionssystem erfordert ein detailliertes Wissen über die Vorgehensweise und den Algorithmus, mit dem es realisiert werden kann.

Um nun Agenten und Wissen zu modellieren, bei dem man nicht die Vorgehensweise sondern das Wissen modellieren möchte, gibt es deklarative Ansätze der Wissensmodellierung. Dabei wird nicht die Vorgehensweise exakt beschrieben, sondern das *Faktenwissen*: Regeln, wie aus den Fakten Folgerungen gezogen werden können und Regeln, wie die Regeln angewendet werden.

Wenn wir die Bibliothek als Menge von Büchern definieren, braucht der Agent, der die Bibliothek modelliert, um eine Anfrage für ein Buch beantworten zu können, einen Algorithmus, um die Menge von Büchern systematisch durchsuchen zu können. In einem deklarativen Ansatz würde man ihm Faktenwissen (d.h. die Menge der Bücher) und Handlungswissen (d.h. was es bedeutet, eine Anfrage nach einem Buch mit „Buch vorhanden“ oder „Buch nicht

2.2.1.2 Modellierung von Agenten mit Methoden der Informatik

Wie können wir Agenten und ihr Wissen mit Konzepten der Informatik modellieren? Die Informatik hat eine Reihe von Sprachen und Konzepten hervorgebracht, um Aktionen oder Handlungen zu beschreiben. Beschreibungen von Handlungen in einer solche Sprache nennt man *Pläne* oder *Programme*, die als Planbibliothek einen Teil des Wissens eines Agenten bilden. Die Programme stellen sein „Know How“, sein prozedurales Wissen dar.

Agenten enthalten Wissen, das *Faktenwissen* (propositionales Wissen) und *Handlungswissen* (prozedurales Wissen) umfasst. Eine Sprache versetzt sie in die Lage, Informationsobjekte abbilden zu können. Ein Kalkül ermöglicht es ihnen, aus dem Wissen zu folgern und ihr Verhalten steuern zu können. In der Sprache der Informatik heisst diese Einheit aus a) Sprache, b) Regeln die das Verhalten beschreiben und c) Regeln, die diese Regeln steuern: eine *Logik*.

Die Informatik hat ein weites Spektrum an Sprachen und Konzepten entwickelt, mit denen Agenten modelliert werden können. Diese Sprachen bedienen sich eines unterschiedlichen Abstraktionsgrads und unterschiedlicher Blickwinkel und erfassen daher auch ganz verschiedene Eigenschaften von Agenten.

Mit dem Begriff des *Automaten* hat man eine allgemeine formale Konzeption zur Beschreibung des Verhaltens von autonomen Agenten eingeführt. Ein Automat ist ein System, das Input aufnehmen (wahrnehmen) kann, einen inneren Zustand besitzt, diesen in Abhängigkeit vom Input verändert, und einen Output in Abhängigkeit von seinem Zustand und dem aufgenommenen Input erzeugen kann. Es gibt sogenannte universelle Automaten, die jeden andern Automaten simulieren können. Programmierbare Computer sind ein Beispiel für solche universellen Automaten²⁶.

Automaten charakterisieren Agenten durch ihr Verhalten, d.h. durch ihre *Reaktionen* auf Eingaben in Abhängigkeit von ihrem internen Zustand. (Sie beschreiben nicht den internen Zustand und nicht, wie die Eingabe die Reaktionen des Automaten beeinflusst.)

Systeme, die Zustände und Veränderungen dieser Zustände als Zustandsübergänge beschreiben, heissen *Zustands-Transitionssysteme*. Anders als beim Automaten ist hier der Zustand und seine Struktur sichtbar. Regeln beschreiben, wie der Zustand das Verhalten bzw. die Reaktion auf Inputs beschreibt.

Betrachten wir eine Bibliothek als Zustands-Transitionssystem und als Automat. In der Sicht der Bibliothek als Zustandstransitionssystem wollen wir den Zustand einer Bibliothek als die Menge aller Publikationen, die in ihr enthalten sind charakterisieren. Es gibt verschiedene Aktionen, die den Zustand einer Bibliothek verändern: Kauf von neuen Büchern, Ausleihe und Rückgabe. Beim Kauf von neuen Büchern werden diese Bücher zum Bestand der Bibliothek

²⁶ Begriffe der Automaten, Sprachen, die Turingmaschine

Wie kann Wissen als Teil von Agenten beschrieben und modelliert werden? Agenten repräsentieren Wissen in einem Wissensmedium und daher gibt es zwei Blickwinkel, unter der wir Agenten und ihr Wissen betrachten können: aus der Sicht eines externen Beobachters der über dem Wissensmedium steht und den Agenten modellieren, bzw. programmieren kann sowie aus der Sicht des Agenten heraus. Aus der *externen* Sicht ist es ein Beobachter - oder Programmierer - , der den Agenten (und später auch dem sie umgebenden Wissensmedium) ihr Wissen zuschreibt. In der *internen* Sicht verfügen Agenten selbständig über ihr Wissen.

Mit dem Begriff des Wissens verbinden wir Intelligenz, oder zumindest Bewusstsein. Ein Buch weiss nicht. Aber es enthält Information. Information bedarf offenbar der Agenten, um zu Wissen zu werden. Aber was ist ein *Agent* und inwiefern *weiss* er? Ein Agent kann handeln, etwas tun. Zu einem Agenten gehört aber mehr als blosses Tun. Ein Agent hat Wahrnehmung, er 'sieht'. Das Handeln des Agenten ist von seiner Wahrnehmung, von seinem Sehen abhängig: er re-agiert.

Von Wissen im uns hier primär interessierenden Sinne sprechen wir erst, wenn eine gewisse Form von *Intelligenz* oder Einsicht das Handeln lenkt. Der Frage, wie *intelligentes Handeln* zu verstehen ist (und, sekundär: wieweit es künstlich hergestellt werden kann), haben sich die Kognitionswissenschaften angenommen. Der Agent kann dabei immer noch als Maschine betrachtet werden, aber mit einer wesentlich differenzierteren Zustands- und Funktionsbeschreibung:

- Er besitzt nun als Teil seines Zustandes Wissen, um seine Vorgehensweisen, seine Strategien zu ändern, nämlich einen *Planungsmodul*.
- Weiter verfügt er über eine Art *inneres Modell* der Welt, in der er handelt.
- Zudem hat er *Ziele* und *Bewertungen* der Weltzustände.

Wir skizzieren im Folgenden das Konzept des intelligenten Agenten.

Wie kann das Verhalten von Agenten beschrieben werden? Agenten sind in der Lage zu agieren, zu reagieren und bewusst zu handeln. Ein Agent bildet in sich einen Teil der Welt als sein Wissen ab. Er hat eine subjektive, partielle Sicht der Welt. Das Wissen eines Agenten umfasst Faktenwissen auch *propositionales Wissen* genannt, und Handlungswissen, auch *prozedurales Wissen* genannt.

Ein Agent ist mit seiner Umwelt verbunden, auf die er mit seinen Aktionen einwirkt und die auf ihn einwirkt. Ein Agent hat neben der Aussenwelt eine *Innenwelt*: er besitzt einen (endlichen) inneren, privaten *Zustandsraum*. In seinem Zustandsraum hat er sein 'Wissen' über die Aussenwelt sowie Kontrollinformation, die sein Verhalten regelt, gespeichert

Unter *Aktion* verstehen wir eine Operation des Agenten in der Welt. Sie verändert den Zustand der Welt. Von *Handlung* sprechen wir, wenn eine Aktion des Agenten durch Wissensprozesse ausgelöst wird, also eine Metaebene über den blossen Aktionen involviert ist.

und Protokollen ein und diskutieren Kommunikation, Wissensaustausch und Lernen.

-

- Anschliessend geben wir eine Definition des Begriffs Wissensmedium und diskutieren die Rolle des Wissensmediums als eine Plattform des Denkens und die Rolle des Wissensmediums in der Konstituierung von Gemeinschaften.

2.2 Der physische Raum

Der physische Raum besteht, wie im vorangehenden Kapitel beschrieben und grafisch dargestellt, aus den Agenten, ihren Rollen und Protokollen und den Kanälen.

2.2.1 Agenten

Die Agenten sind als Komponenten Teil des Wissensmediums. Sie sind Informations- oder Wissensträger und enthalten somit Wissen. Sie sind in der Lage zu agieren, d.h. auf die Umwelt zu reagieren. Es gibt verschiedene Arten von Agenten in einem Wissensmedium. Je nach ihren Fähigkeiten tragen sie nicht nur Wissen in sich. Sie sind auch in der Lage, auf ihre Umwelt zu reagieren, ihr Wissen zu kommunizieren und Schlüsse aus dem in ihnen gespeicherten Wissen zu ziehen.

Ausgehend vom Konzept des Agenten beschreiben wir die Repräsentation der Welt in Agenten, ihr Wissen und die Methoden der Informatik, die zur Repräsentation von Wissen verwendet werden können. Agenten und ihr Wissen können aus zwei verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden: aus der externen Sicht eines Beobachters und aus der internen Sicht des Agenten selbst. Ziel dieses Abschnitts ist es, Agenten und ihr Wissen zu beschreiben und zu modellieren.

2.2.1.1 Agenten und ihr Wissen

Agenten repräsentieren sowohl Maschinen als auch Menschen in einem Wissensmedium.

Sie enthalten Wissen. Wir wollen nun zusammen mit dem Konzept des Agenten den Begriff Wissen und seine Repräsentation in Agenten erklären. Nachdem Agenten sowohl Maschinen als auch Menschen repräsentieren, gibt es eine ganze Bandbreite von unterschiedlich „intelligenten“ Agenten und unterschiedlichen Modellierungen von Agenten. Wir werden die Konzepte und Sprachen, die die Informatik für die Repräsentation von Wissen entwickelt hat vorstellen.

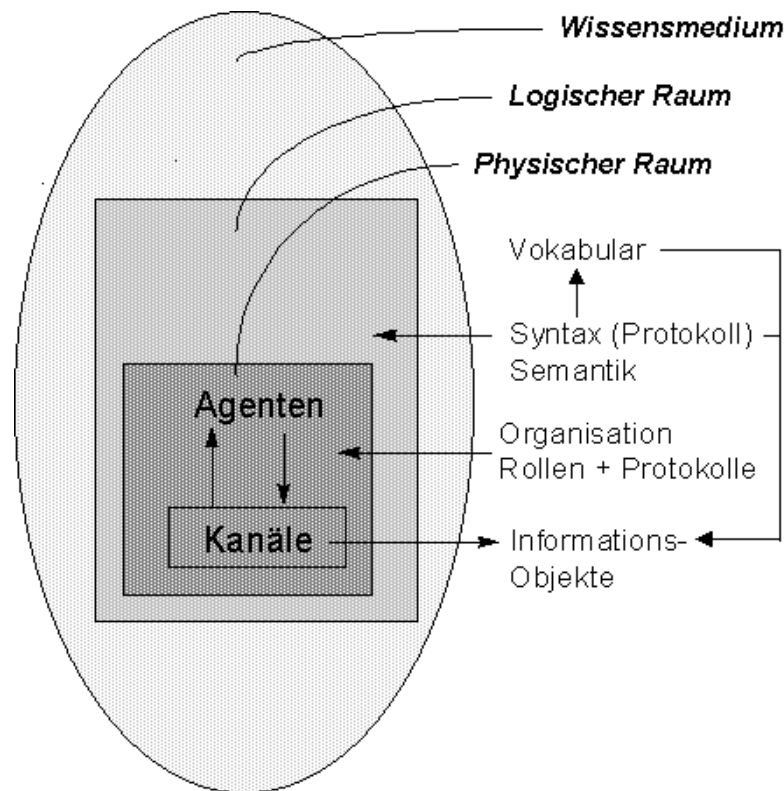


Fig. 1: Wissensmedium, dargestellt mit drei Ebenen

Damit haben wir die Komponenten des Wissensmediums als unseren Bausatz, aus dem wir konkrete Wissensmedien zusammensetzen können, bestimmt. Mit diesem Bausatz können wir auch Komponenten von Bestandteilen von Wissensmedien, wie Datenbanken und Expertensysteme, modellieren.

Zunächst sollen die Komponenten eines Wissensmediums im Detail erklärt werden.

- Wir gehen dabei von dem Konzept des Agenten aus und erklären Wissen und wie es Agenten repräsentieren.
- In einem zweiten Abschnitt betten wir die Agenten in das Kommunikationssystem bestehend aus Orten, Kanälen, Memen, Rollen

1. *Der physische Raum:* Dies ist die Ebene, auf der die Agenten bzw. Informationsträger Wissen repräsentieren und verarbeiten. Darin beschreiben wir die Informationsträger mit den Komponenten des Kommunikationssystems.

In der untenstehenden Grafik wird er dargestellt mit einem dunkel hinterlegten Viereck, worin die Agenten Informationsobjekte gemäss ihren Rollen/Protokollen über Kanäle austauschen und verarbeiten können.

2. *Der logische Raum:* Dies ist die Ebene, welche die Eigenschaften der Komponenten festlegt.

In der Grafik wird er dargestellt mit einem heller hinterlegten Viereck, worin der physische Raum, die Semantik (die für dieses Wissensmedium spezifische Optik) und die Syntax (das für dieses Wissensmedium spezifische Vokabular) enthalten sind.

3. *Das Wissensmedium als Ganzes:* Dies ist die Ebene, in der wir die Eigenschaften des gesamten Wissensmediums im Zusammenwirken seiner Komponenten beschreiben.

In der Grafik wird es umrissen mit einem hellen Oval.

und der Eigenschaften dieser Komponenten erklären und dazu die Formalismen der Informatik nur so weit wie nötig einführen.)

Ein Wissensmedium trägt als ein Mittler Wissen über einen Ausschnitt der Welt in sich. Bildlich ausgedrückt heisst das, dass ein Wissensmedium eine Reflexion der Welt darstellt; formal ausgedrückt bedeutet es, dass ein Wissensmedium einen Teil der realen Welt in sich repräsentiert. *Dabei ist die Welt das Modell und das Wissensmedium seine Repräsentation.* Diese Repräsentation benötigt Symbole um Objekte der realen Welt und ihre Verhalten in dieser Welt abbilden zu können. Darüber hinaus hat auch die Modellierung des Wissensmediums als System kommunizierender Agenten Eigenschaften die wir explizit machen wollen.

Um nun über die Eigenschaften des Wissensmediums und die Eigenschaften des Wissens und das Wissen selbst sprechen und rasonnieren zu können benötigen wir formale Grundlagen. Wir haben dazu das Konzept des logischen Systems gewählt. *Ein logisches System ist bestimmt durch eine formale Sprache, durch die Regeln, die Aussagen in dieser Sprache ermöglichen, ihre Symbole etc.* Die Symbole werden in der Informatik durch eine formale Sprache definiert. Damit haben wir schon in aller Kürze den Zusammenhang zwischen einer Repräsentation mithilfe einer Logik (aus der Sicht der Informatik), und der realen Welt, dem Modell einer solchen Logik, beschrieben.

Ein Wissensmedium repräsentiert nur einen Teil der Welt und es repräsentiert diesen Teil der Welt unter einem bestimmten Aspekt und unter Verwendung einer bestimmten Sprache. *Daher gibt es nicht nur viele Wissensmedien, die die Welt beschreiben, sondern auch unterschiedliche Wissensmedien, die den gleichen Teil der Welt auf verschiedene Art und Weise modellieren.* Wir bezeichnen diese Sicht, die einen Teil der Welt durch eine bestimmte "Brille" bzw. mittels einer bestimmten Theorie sieht, die *Optik* eines Wissensmediums.

2.1.3.1 Die drei Ebenen eines Wissensmediums

Wir modellieren ein Wissensmedium, wie bereits beschrieben, als einen *Kommunikationsraum*, dessen aktive, wissenstragende Komponenten das Multi-Agent-System ist. *Agenten* befinden sich an räumlich und zeitlich verschiedenen Orten, sie nehmen verschiedene *Rollen* ein. *Kanäle* verbinden die Agenten an ihren verschiedenen Orten, sie ermöglichen die Kommunikation und die Wissensvermittlung mit Memen.

Die *Optik* der kommunizierenden Agenten auf ihre gemeinsame Welt, d.h. der ihr verliehene Bedeutungskontext, wird mit einer protokollkonformen *logischen Sprache* in einem zugehörigen Vokabular ausgedrückt.

Diese Komponenten eines Wissensmediums - Agenten, Meme, Kanäle, der Raum und vor allem die Objekte, die sie abbilden, sowie Wissen als solches - haben Eigenschaften, über die wir rasonnieren wollen. Wir wollen für unsere Argumentation im folgenden drei unterschiedliche Untersuchungsräume unterscheiden:

- e) als eine *Klasse von möglichen Welten*, auf welche sich die Begriffe beziehen, die im Medium abgebildet werden und
- f) als konstituierend für Wissensgemeinschaften: Der Kommunikationsraum ist die *Plattform*, welche das gemeinsame Wissen, die gemeinsame Sprache und Methoden der Gemeinschaft repräsentiert und die Kommunikation ermöglicht.

Wir wollen den Kommunikationsraum weiter untersuchen, indem wir

- *Wissensmedien mit Konzepten der Informationstechnologie beschreiben*: Die Informatik besitzt eine präzise Rekonstruktion der Begriffe, der externen Sicht und des prozeduralen Wissens und die Technologie dieses Wissen zu verarbeiten und zu benutzen. Daher kann Wissen in immer grösserem Umfange und immer komplexerer Art auf Computer abgebildet werden.

In nur wenigen Jahrzehnten wurden mit Hilfe dieser Kompetenz Wissensmedien von enormem Umfang und lebenswichtiger Bedeutung für unser Leben aufgebaut. Dabei wurde Wissen, das auf viele „Köpfe“ verteilt war, in ein Wissensmedium integriert. Diese Wissensmedien sind entscheidend für das Umfeld, in dem sie eingesetzt werden. (Weite Bereiche der Wirtschaft würden nicht nur nicht mehr funktionieren, wenn die Computer ausfielen; es gibt oft die Menschen gar nicht mehr, die das Wissen besitzen, das einst auf Computer übertragen wurde, um in die Lücken zu springen und es ist oft kaum möglich, das Wissen, das in den Wissensmedien steckt, zu extrahieren um es auf eine neue Technologie (auf ein neues Wissensmedium) zu übertragen.

- *Aspekte der evolutionären Dynamik von Wissensmedien betrachten* sowie
- *Aspekte ihrer Adaptation an die Wahrheit* (im Sinne von Übereinstimmung von Wissen mit der Wirklichkeit) untersuchen.

2.1.3 Zur Modellierung

Wie kann ein Wissensmedium modelliert werden?

Es gibt ganz unterschiedliche Konzepte zum Begriff des Mediums²⁵, und speziell der Media, um die Vermittlung von Wissen zu beschreiben. Unser Begriff des Wissensmediums ist eine *Metapher*, welche Medien und die Prozesse der auf ihnen basierenden Wissensvermittlung mit Konzepten der Informatik beschreibt:

- Wir modellieren ein Wissensmedium als eine Gesellschaft kommunizierender Agenten.
- Die formale Grundlage bildet das Konzept des logischen Systems. (Wir wollen hier nicht dieses formale Konzept in den Vordergrund stellen, sondern unsere Metapher des Wissensmediums anhand ihrer Komponenten

²⁵ Vgl. bei Kapitel Einleitung s. 4 (Fussnote)

häufig geteilt oder wenigstens zugelassen. Seit R. Dawkins in seinem Buch 'The Selfish Genes'²² mit dem Konzept des Mems die Ideen bezeichnet hat, welche die Köpfe der Menschen bevölkern und sie lenken, ist die Bedeutung der Ideen als die Welt erschliessende und bildende Funktion von einer Reihe von Autoren beschrieben worden²³. Sie beschreiben den Wettbewerb der Meme, ihre Reproduktion und Selektion in Analogie zur Biologie und erklären eine Reihe von Phänomenen der Ideologiebildung und von Medienphänomenen mit diesen Kategorien²⁴.

Ein Medium besteht somit nebst den in ihm agierenden Agenten aus einem Kanalsystem K, Rollen R und Protokoll P, einer Syntax L und einem semantischen Raum W.

$$\mathbf{M\ edium\ von\ Agenten} = \mathbf{K + R + P + L + W}$$

2.1.2 Der Kommunikationsraum

Betrachten wir jetzt die Gesamtheit der Komponenten eines Wissensmediums, welche im Fall des Informationsaustausches den Kommunikationsraum bilden:

Ein Wissensmedium wird als Kommunikationsraum definiert, in dem Agenten Wissen austauschen können. Konzepte zur Erfassung von verteiltem Wissen und des gemeinsamen Wissens von Agentengemeinschaften sowie zur Beschreibung der Veränderung von Wissensbeständen werden mit Hilfe von Konzepten der Informatik rekonstruiert.

Dieser Kommunikationsraum wird definiert:

- a) als *Mannigfaltigkeit möglicher Orte* von Wissen tragenden Agenten und
- b) als *System von Kanälen*, die dem Informationsaustausch zwischen den Agenten dienen und
- c) als ein Raum, welcher neben menschlichen Wissensträgern auch *künstliche Wissensträger* als Agenten zulässt und
- d) als *logischer Raum von Begriffen* mit einer formal-logischen Struktur und

²² R. Dawkins, The Selfish Gene...

²³ (u.a. [],[],[],[]).

²⁴ Man kann mit dieser Terminologie den semantischen Raum als Bestand der Meme oder als Memom (in Anlehnung an den Begriff des Genoms der Biologie), verbunden mit der es regierenden Logik, bezeichnen. Es definiert die Weltsicht der das Medium bewohnenden Agenten. Es steht andererseits wie sein biologisches Pendant, das Genom, im Wettbewerb mit andern Memomen (d.h. mit anderen Spezies oder Medien) um die Gunst der Agenten. Damit dieser Wettbewerb erfolgreich bestanden wird, muss eine gewisse Ordnung, ein Management des Memoms erfolgen.

Layout. Ohne diese Syntax kann ein funktionsfähiger Kanal seine Aufgabe nicht erfüllen. (Man kann auch von der *Sprache* sprechen, die zur Codierung der Nachricht Verwendung finden soll.)

Die Syntax ist bei den klassischen Medien im Laufe der Zeit entstanden und in einem kontinuierlichen Lernprozess auf die potentiellen Sender und Empfänger übertragen worden. Der Erwerb der Fähigkeiten zur Codierung und Decodierung der Printmedien ist anspruchsvoll und wird in der Grundschule im Verlaufe einiger Jahre erworben. Der Code für die Kommunikation über den Fernseher ist vergleichsweise leichter zu erwerben. Das neue Medium Internet ist in der Einführungsphase und verlangt von seinem Benutzer wiederum das Erlernen einer teilweise neuen Syntax. (Diese oder Teile von ihr werden häufig auch als *Protokoll* bezeichnet. Wir verwenden diesen Begriff hier jedoch in einer etwas andern, noch zu beschreibenden Weise.)

- *Semantischer Raum W.* Kommunikation ist erfolgreich, wenn der Empfänger die übermittelte Botschaft so interpretiert, dass sie mit der Intention des Senders kompatibel ist. Man spricht in diesem Zusammenhang von der *Semantik* der transferierten, im Kanal vorhandenen Nachricht. Die Semantik ist weder im physischen Trägermedium noch in der Syntax enthalten; sie kommt von ausserhalb. Die Bedeutung des übermittelten Codes liegt darin, dass sie auf extern liegende Dinge - auf externe Welten - Bezug nimmt. Die Botschaft verstehen heisst, die darin codierten Referenzen zu verstehen. Kommunikation findet in diesem zuvor aufgespannten gemeinsamen Raum des Verständnisses statt, der wesentlicher Bestandteil des Mediums im Sinne seiner Definition als Austauschmechanismus für Information ist.

Die Semantik umfasst zum einen Abstrakta, d.h. Begriffe und Symbole, die nicht-materieller, geistiger Natur sind (Begriffe wie 'rot', 'Freiheit', 'der heilige Gral'). Zum andern umfasst sie referenzierte Welten, über die unter Verwendung der Begriffe Nachrichten ausgetauscht werden können. Letztlich sind die Kommunikationspartner meist an diesen Welten interessiert. Medien ermöglichen das Teilen und Mitteilen von Welten, die dadurch zu gemeinsamen Welten werden²¹. Diese semantische Gemeinsamkeit ist einer Logik der Bedeutungen unterworfen, die von allen Teilnehmern geteilt werden muss. Man kann daher, nimmt man die Syntax-Komponente dazu, auch vom gemeinsamen *logischen Raum* reden, der definierender Bestandteil eines Mediums ist.

Der semantische Raum besteht aus einem Kern von Anliegen und Ideen, die man als Axiome bezeichnen kann, mit den ihn umgebenden Sekundärkonzepten und den in ihnen formulierten Standpunkten. Die Axiome sind für die das Medium als ihre Welt auffassende Agentenpopulation mehr oder weniger verpflichtend, die sekundären Anliegen oder Positionen werden

²¹ Das gilt für die Innenwelt einer Organisation ebenso wie für die in den Massenmedien kommunizierten und gestalteten Welten, ob News, Olympiaden, Formel 1 oder Star Wars.

eine solche Verbindung einen Kanal¹⁹. Dieser Kanal muss geeignet sein, die zu übermittelnde Information aufzunehmen, zu tragen. Man spricht daher auch vom Trägermedium. Trägermedien bzw. Kanäle sind physische Produkte wie Papier oder elektromagnetische Signale, die mit einer bestimmten Technologie und einer sie produzierenden Wirtschaft verknüpft sind. (Der Medienbegriff wird immer noch häufig mit dem Begriff des Trägermediums gleichgesetzt²⁰). Diese bloss technologische Sicht greift zu kurz; die Kanäle sind nur ein, allerdings prominenter, Teil des Mediums.)

- **Rollen R.** In einem Medium gibt es neben Empfänger und Sender in der Regel noch weitere Akteure. Im Printmedium sind dies etwa Autoren, Redaktoren, Aufsichtsinstanzen, Erbringer von Diensten auf der Übermittlungsebene, etc. Die Aufgabenprofile dieser Agententypen, ihre Rechte und Pflichten bezeichnen wir als Rollen. Zu einem Medium gehört ein System von (aufeinander abgestimmten) Rollen.

Die Rollen definieren den *organisatorischen Aspekt* des Mediums: Sie legen sozusagen seine Aufbauorganisation fest. Ohne kohärente Rollendefinitionen funktioniert es nicht. Das ist nicht weiter erstaunlich, ist es doch als Transaktionsmechanismus definiert, und diese bedürfen einer Organisation, wenn sie funktionieren sollen. Es gilt, nicht nur die technischen Seiten des jeweiligen Mediums (z.B. eines Fernsehsenders oder eines Zeitungshauses) organisatorisch zu managen, sondern auch die Interessen seiner Kunden und Lieferanten. Dazu sind oft auch rechtliche Aspekte zu berücksichtigen (Autorenrechte, Konsumentenschutz) und die zugehörigen Rollen zu schaffen. Um nun konkrete Kommunikationstransaktionen abzuwickeln, d.h. das Medium wirklich seiner Bestimmung gemäss arbeiten zu lassen, sind Abläufe vonnöten. Diese entstehen aufgrund eines Protokolls.

- **Protokoll P.** Die Gesamtheit der Prozesse, die zur Funktionsweise eines Mediums implementiert sind, nennen wir (in Anlehnung an den im Kommunikationsbereich verwendeten Sprachgebrauch) Protokoll. Das Protokoll regelt die Abläufe; es enthält also die Ablauforganisation des Mediums.
- **Syntax L.** Die ausgetauschten Inhalte bedürfen einer spezifischen Strukturierung, kurz: einer Syntax, die den potentiellen Sendern und Empfängern bekannt ist und im Trägermedium (Kanal) realisiert werden kann. Solche syntaktischen Strukturen umfassen - am Beispiel der Schrift - die verwendete Sprache, die Schrifttypen, die Regeln der Grammatik und des

¹⁹ Vgl. zum klassischen Medienbegriff im Kap. Einleitung S. 4 (Fussnote). - Auch durch den modernen Kommunikationswissenschaftler Marshall McLuhan (1911-1980) wurde der Begriff Kanal für die neuen Medien verwendet: „Understanding Media“ (Mc Graw Hill, 1964, ins Deutsche übersetzt mit „Die magischen Kanäle“, Econ Verlag Düsseldorf, 1992)

²⁰ Man spricht dann von Printmedien, Fotografie und Film als Medien, vom Radio und dem Fernsehen als elektronischen Medien. Dieser Medienbegriff erfasst eine wichtige Komponente des Mediums. Er ist aber zu sehr an der Technologie und den ihr zugehörigen technischen Möglichkeiten bzw. den für sie typischen, historisch entstandenen wirtschaftlichen Strukturen ausgerichtet.

2 Wissensmedien

2.1 Allgemeiner Medienbegriff

Ausgangspunkt unseres Medienkonzeptes bilden Multi-Agenten-Systeme (MAS). Unser Ansatz fasst Multi-Agenten-Systeme als Gemeinschaften von kooperierenden Agenten auf, die Informationen oder andere Objekte wie Güter oder Leistungen austauschen. Damit sie dies tun können, bedürfen sie eines Mediums im Sinne einer den Austausch ermöglichenden Plattform.

Die neue Informationsinfrastruktur verbindet, wie dargestellt, global verteilte Agenten zu neuen Gemeinschaften. Diese 'Communities', wie sie im Internet-Umfeld genannt werden, begegnen sich auf elektronischen Plattformen des Internet, in einem sie ermöglichenden und konstituierenden Medium. Der Begriff des Mediums als Gesellschaft konstituierender Raum ist zentral für das Verständnis der sich nun bildenden neuen Gemeinschaften und Beziehungsmuster. Wir studieren also primär das Medium als einen die Gemeinschaft konstituierenden Raum (anders als beispielsweise die DAI, welche die Struktur der Agenten ins Zentrum der Aufmerksamkeit rückt). Im Folgenden stellen wir einen Medienbegriff dar, der die Gemeinschaftsbildung mittels der alten und neuen Austauschräume für Informationen (wie Distributed Virtual ¹⁸ Environments und Avatare ¹⁸) gleichermassen zu erfassen erlaubt. Medien sind Räume, Plattformen oder Systeme, welche den Austausch zwischen Agenten (Menschen, Organisationen, Maschinen, ...) ermöglichen. Damit der Austausch gelingt, sind einige Voraussetzungen zu erfüllen.

Wir wollen der Reihe nach die Komponenten, den dadurch entstehenden Kommunikationsraum und seine Modellierung umreißen, bevor wir in Kapiteln 1.2. bis 1.5. näher auf die einzelnen Komponenten eingehen.

2.1.1 Die Komponenten im Überblick

Betrachten wir zunächst die Komponenten eines Mediums im Fall des Informationsaustausches zwischen den Agenten:

- **Kanal K.** Der Informationsaustausch zwischen zwei Agenten findet über ein System von Verbindungen statt. Dieses erlaubt den Transfer der Information vom sendenden zum empfangenden Agenten. Die Nachrichtentechnik nennt

¹⁸ Avatar: siehe Anm. 17

Computergestützte Wissensmedien machen nicht nur die Prämissen, welche die jeweilige Gemeinschaft konstituieren, transparent, sondern weisen insbesondere die Veränderungen ihres Wissensstandes pro Zeiteinheit aus. Veränderungen können die Axiome, das Vokabular, den sprachlichen Rahmen, die Menge von Datenobjekten im Wissensmedium u.a.m. betreffen. Ist das Wissensmedium in formalisierter Weise strukturiert, können Veränderungen sogleich erfasst und strukturierte Aussagen zu den Konsequenzen gemacht werden. – Analoges gilt für die Wahl der Bezugswelten.

Die Veränderungen in einem Wissensmedien können auch zu einer Konstellation führen, die organisatorisch ungeregelt ist, d.h. das (bisher) verbindliche Protokoll und Rollensystem löst sich auf. Dann kann ein Agent *aus diesem Medium austreten* und sich weiter bewegen, bis im Koordinatensystem der Theorien und Welten wieder organisiertes Territorium auftaucht. Besonders tüchtige Agenten vermögen oft, *eine neue Organisation zu gründen* - eine neue Spezies tritt in der Evolution der Wissensmedien ins Dasein.

Nachdem der moderne Mensch in der Regel Mitglied mehrerer Gemeinschaften ist (etwa: Firma, Sportverein, Partei, Kirche, Newsgroup u.a.), d.h. seine Lebenszeit den verschiedenen Memonen – Gedankenwelten¹⁷ - nur portionenweise zur Verfügung stellt, kann er mit den neuen Technologien seine Medien als virtuelle Umgebungen ständig mit sich tragen und zu beliebigen Zeitpunkten für beliebige Zeitabschnitte in sie eintauchen: virtuell ins Büro, um eine Arbeit zu erledigen; in die Bibliothek, um Information zu beschaffen; in eine Konferenz, um mitzuhören oder zu -reden, etc. Diese Möglichkeit schwächt die Bindung des Agenten an ein bestimmtes Medium, fördert jedoch deren Evolution durch Selektion: Diejenigen Medien, die nicht genügend 'Einschaltzeit' zu bewirken vermögen, sterben aus. Die Bedürfnisse, für die sie entworfen wurden, haben bessere Ausgestaltungen gefunden. *Unter diesem Aspekt kann die Morphogenese der Medien als die Herausbildung von den Bedürfnissen der Agenten in ihnen immer besser entsprechender Ausgestaltung aufgefasst werden.*

Als Wissensmedien aufgefasste Gesellschaftsräume können mit geeigneten Rollensystemen (Aufbauorganisation) und Protokollen (Ablauforganisation) auch so ausgestaltet werden, dass sie in ihrer Gesamtheit zu zielgerichteten, entscheidungsfähigen Agenten werden. Dies gilt für Vereine, Staatsgebilde, Parteien, vor allem aber für Firmen. Diese aus Medien in unserem Sinne gebildeten Agenten - wir können sie *Computational Societies* oder *Computational Organization* nennen - sollen später vertieft beschrieben werden.

¹⁷ Memom: hier synonym verwendet mit Gedankenwelt oder Wissensmedium. Vgl. zum biologischen Aspekt S. 9, vgl. zum Konzept S. 16 sowie [Dawkins, The Selfish Gene]

für *Scientific Communities* darstellt. solche Plattform auch mit ihren organisatorischen Aspekten beschreibt.

1.1.5 Computational Societies: zur Morphogenese von Medien

Wissensmedien bilden Gemeinschaften von Agenten (Multi Agent Systems, siehe hierzu das folgende Kapitel), die eigenes und gemeinsames Wissen haben, das in ihnen lebt, das ihre Gemeinschaft konstituiert und eine – ihre – gemeinsame Welt schafft. Die Zu- und Zusammengehörigkeit wird durch die gemeinsame Sprache mit der gemeinsamen Terminologie (Vokabular), mit gemeinsamen Glaubenssätzen (Axiomen) ermöglicht, und auch durch die *gemeinsame Überzeugung* (dass ihre Sicht auf die Welt eine wahre ist) erkaufte. So gesehen ist die Gemeinschaft der Agenten sowohl eine bergende wie auch eine einsperrende, je nach innerer Bestrebung bzw. äusserem Standpunkt¹⁵.

Dennoch krankt ein grosser Teil von Wissensprozessen in Gruppen an einer erheblichen *Ineffizienz*, die auf unterschiedliche Prämissen, unterschiedliche Begriffsdefinitionen und Interpretationen zurückzuführen ist. Die gültigen Regeln und Glaubenssätze eines Wissensmediums sollten schnell und klar ersichtlich gemacht werden. Dies ist bei mathematischen Disziplinen oder bei klar definierten Feldern der Begegnung wie z.B. dem Schachspiel oder dem Fussball leichter herbeizuführen als z.B. bei philosophischen Gemeinschaften. In der Mathematik z.B. ist es Sitte, dass der Ausgangspunkt jeweils explizite genannt wird, damit sich die Empfänger der Information über die Prämissen und die Definition der verwendeten Begriffe und der vorgebrachten Argumentation im Klaren sind. Mit einer solchen Vorgehensweise darf ein Wissensmedium von einem Agenten grundlegend hinterfragt werden, solange dies in methodisch geordneter Form geschieht: Das Geflecht der Axiome soll wenigstens in seinem Kern intakt bleiben.

Die neue Gestalt der Information erlaubt auch in diesen Bereichen, wo die gültigen Regeln und Glaubenssätze eines Wissensmediums schnell und klar ersichtlich gemacht werden sollen, neue, verbesserte Lösungen. Für jede Gemeinschaft kann eine genau auf sie zugeschnittene Umgebung, ein DVE¹⁶ geschaffen werden, das die verwendeten Konzepte, die dargestellten Welten, die herrschenden Regeln transparent macht und die Informationsobjekte mit ihnen so verknüpft, dass es dem Konsumenten leicht fällt, sie aufzunehmen. Dies ist mit computerunterstützten Medien leichter herbeizuführen als mit konventionellen Mitteln: Das System kann so ausgestaltet werden, dass es nur zulässige Züge zulässt, auf unzulässige Aktionen hinweist, andere Hilfestellungen leistet, u.a.m. Da dadurch der Verkehr in diesem Wissensmedium erleichtert wird, wirken die mit der neuen Technologie realisierte Wissensmedien *gemeinschaftsstabilisierend*.

¹⁵ Vgl. hierzu die Ausführungen von Waltz bezüglich Gesellschaftsformen, Waltz, Ordnung der Namen ...

¹⁶ DVE=Distributed Virtual Environment, verteilte virtuelle Umgebungen

anderes gemeint als die oben genannte Qualität. Diese bezieht sich auf die Art und Weise der Befriedigung eines gegebenen Kundenbedürfnisses; jene misst die von andern nachgefragten Produkte an den *eigenen* Bewertungen, ist also kein Urteil über die Qualität der Dienstleistung, sondern ein Urteil zu den Präferenzen der Anderen. (Würde sich der über den Qualitätsverlust der Anderen Besorgte auf die Produkte konzentrieren, die ihm selber dienen, würde auch er in den Genuss der gesteigerten Markteffizienz kommen.)

Bei der Wissensproduktion ist die marktmässige Steuerung (in nicht der Zensur unterliegenden Medien) üblich. Das gilt auch für den wissenschaftlichen Bereich¹³. Die Etablierung von auf geldlicher Entschädigung basierenden Informationsmärkten auch im Bereich der Wissenschaften ist ein wichtiges Element, um die Wissensproduktion effizient (d.h. in Form des Wettbewerbs unter den Besten) zu gestalten. Die Preise vermögen auch hier dem Produzenten die richtigen Signale zu liefern.

Als Beispiel hierfür sei der in diesem Buch publizierte Beitrag "Märkte für quantitative Information" gegeben.

1.1.4.3 Überbetrieblichen Wissensmedien: Die Community

Wir haben Wissensmedien als Kommunikationsräume beschrieben, die auch ganz offen gestaltet werden können. Es werden laufend neue Plattformen (z.B. auf Internet) geschaffen, die Foren für breite wie auch für sehr spezifische Nachfragergruppen einrichten. Doch sind die heutigen Diskussionsgruppierungen (z.B. auf Usenet) oder Suchagenten (z.B. Yahoo, Alta Vista, Excite, Lycos etc. auf World Wide Web) noch weit vom Wünsch- und auch Machbaren entfernt.

Basis einer solchen Agora muss auf der logischen Ebene zunächst ein bestimmter Sprachraum mit einem bestimmten Vokabular sein. Die gemeinsame Sprache kann gewährleisten, dass sich hier Informationsobjekte mit einem gemeinsamen Kontext einfinden, dass eine Ordnung (im enzyklopädischen Sinn)¹⁴ entsteht. Wenn sich nur Informationsobjekte, deren Vokabular mindestens teilweise miteinander übereinstimmt, in dieser Agora versammeln, und wenn nun noch geeignete Präsentationsformen gewählt werden, die dem Nachfragenden ein zielgenaues Auffinden und eine rasche Beurteilung der Informationen ermöglichen, sind die notwendigen Voraussetzungen dafür geschaffen, dass eine erfolgreiche Evolution des Wissens als Folge beschleunigter Kommunikationsprozesse stattfinden kann, wie wir oben bereits festgestellt haben..

Als Beispiel hierfür sei der in diesem Buch publizierte Beitrag "NetAcademy" gegeben, welcher eine generische Lösung zur Schaffung von virtuellen Akademien

¹³ Dem widerspricht auch die Tatsache nicht, dass häufig archaische Formen der Bezahlung in Form von Ehrungen, Positionen etc. vorherrschen. Auch die Existenz von Geschmack Moden und Zeitgeist ist mit der Marktmechanik verträglich, wie in Textilmärkte oder in der Belletristik

¹⁴ Das seit der Antike erfolgreiche Konzept der Enzyklopädie sammelt nicht nur sondern ordnet Wissen zu einem bestimmten Thema gemäss einer vereinbarten Methodik

darf mit der raschen Einführung auch theoretisch sauber begründeter Konzepte der Informatik gerechnet werden¹².

Ein intensiver Dialog zwischen Informatik und Managementlehre wird daher unumgänglich. Die neue Organisations- und Managementlehre wird dabei den durch die Informatik erschlossenen logischen Raum nicht umgehen können. Sie sollte es auch nicht, da sie dieser neuen Gestaltungsdimension neben dem Konzept der rationellen Organisation der Arbeit, das sie zur Entstehung des Computers beige-steuert hat, noch einen reichen Fundus von Wissen zu vermitteln hat, und da umgekehrt die Konzepte und Werkzeuge der Informatik ihr eine neue wissenschaftliche Basis, exakte und mächtige Konzepte, Vorgehensweisen für überlegene Lösungen vermitteln können.

Es gilt, einerseits das Wissen in Unternehmen neu zu organisieren, andererseits eine Lösung für den Marktbereich zu finden, die produktgruppenspezifische Kaufhäuser dynamisch zu bilden gestattet.

Als Beispiel hierfür seien die in diesem Buch publizierten Beiträge über das "Enterprise Knowledge Medium" und über "Elektronische Produktkataloge" gegeben.

1.1.4.2 Zwischenbetriebliche Wissensmedien: Der elektronische Marktplatz

Neben der uns bei Informationssystemen vertrauten hierarchischen Organisationsform ist das Prinzip des offenen Marktplatzes wichtig, welches das Internet, in anderer Weise auch die Printmedien, prägt. In Märkten herrscht ein Protokoll, das dem einzelnen Akteur mehr oder weniger grosse Autonomie belässt. Der Kunde ist in seiner Wahl im Rahmen gewisser Restriktionen frei; der Anbieter muss um seine Gunst werden. Dies erhöht in der Regel sowohl Qualität als auch Kreativität:

- Die Qualität wird erhöht: Die Kunden wählen die Angebote mit dem besten Preis-Leistungs-Verhältnis und zwingen damit die Konkurrenten, den besten nachzueifern, bzw.: in diesem Wettbewerb werden nur die Besten überleben.
- Die Innovation wird erhöht: Einerseits soll mit Verbesserungen die Gunst des Kunden erhalten werden, andererseits (und vor allem) wirkt sich die Offenheit der Märkte anregend aus, denn wer eine neue Idee hat, darf sie ohne hierarchische und monopolistische Bewilligungsverfahren ausprobieren und umsetzen... So entstand der PC.

Eine Bemerkung zur Qualität: Wenn in den Medien, die den Marktkräften ausgesetzt sind, häufig der Qualitätsverlust beklagt wird, so ist damit etwas

¹² Vgl. als Beispiel, das in diese Richtung weist: Oberweis Andreas, Schätzle Roland, Stucky Wolfried, Weitz Wolfgang, Zimmermann Gabriele: INCOME/WF - A Petri net based approach to workflow management, in: Irtschaftsinformatik '97. Hrg. Krallmann, TU Berlin

Meme tragenden Agenten. Genotyp, Phänotyp und Umgebung stellen ein untrennbares Ganzes. Nur in diesem ganzheitlichen Kontext sind Dynamik und Evolution der Genome, in unserem Fall: der Memome, verstehbar. Die Analogien stellen sich wie folgt:

Gen	Mem
Genom	Memom
Genotyp	Memotyp
Phänotyp (Spezies)	Agentenpopulation

Begriffs-Analogien zur Verbreitung von Wissen bzw. von biologischer Information

Ist dieses Wissensmedium nicht etwas Neues? Leibniz konnte sich das noch nicht erträumen⁹. Ted Nelson dachte in diese Richtung¹⁰.

1.1.4 Beispiele der neuen IKT-Welt

Die nun rasch dominant werdende Internet-Welt, neben der überbetrieblichen auch im innerbetrieblichen (Intranet) und zwischenbetrieblichen Bereich (Extranet), erzwingt eine neue Sicht auf Wissensmedien: Diese sind zu Sozietäten von hybriden, d.h. menschlichen, maschinellen oder gemischten Agenten geworden, die in einem bestimmten Kontext interagieren. Die bisherigen klassischen Konzepte des Computers und des Informationssystems sind inzwischen zur Beschreibung und Planung dieser Strukturen nicht mehr ausreichend

Die konzeptionell interessierende Grösse ist somit nicht mehr der Rechner, auch nicht die Software, sondern das *interaktive Informationsobjekt*, aufgefasst als Agent im Netz, in dieser neuen Infosphäre ubiquitär verfügbar, um mit andern Informationsobjekten Wissen auszutauschen, Leistungen zu erbringen oder zu beziehen. Es gilt nun, diese Informationsobjekte und Informationssysteme, ihre Interaktionsräume und Interaktionen zu gestalten.

1.1.4.1 Innerbetriebliche Wissensmedien: Wissensmanagement im Unternehmen

Die Wirtschaft ist im Umbruch begriffen. Neue Typen von Unternehmen bilden sich heraus¹¹. Die Gestaltung der Ablauforganisation in den Unternehmen wird mehr und mehr von der Informatik geprägt. Die Prozessmodellierung und -gestaltung ist aber nichts anderes als Programmierung im Grossen. In diesem Feld

⁹ Vgl. zu Leibniz das Kapitel Einführung.

¹⁰ Der amerikanische Mathematiker Ted Nelson, Autor u.a. der "Dream Machines", erfand das Konzept des Hypertextes und erdachte sich bereits in den frühen 1970er Jahren eine ortslose Bibliothek (das Internet...) das er "Xanadu" nannte. Cf. Antrittsrede B. Schmid.

¹¹ Vgl. Hagel III, John, Armstrong, Arthur G.: Net.gain: Expanding markets through virtual communities. Harvard Business School Press, Boston, 1997

werden), oder umgekehrt: in immer kürzerer Zeit kann man immer mehr Wissen holen. Somit beschleunigt sich der Wissenszuwachs eines Agenten von einem Zeitpunkt zum nächsten. Um dies in der Sprache der neuen Informationsobjekte auszudrücken, können wir die Menge des dem Agenten verfügbaren Wissens als Wolke von virtuellen interaktiven intelligenten Informationsobjekten vorstellen, die den Agenten jederzeit umgibt und die ihm auf Abruf verfügbar sind. Es sind effektiv Agenten, die ihm zu Diensten stehen. Viele dieser Objekte haben den Charakter von virtuellen Räumen, die er betreten kann, um andere Agenten zu treffen.

1.1.3.2 ... in Analogie zur Genetik

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, können Phänomene der Genetik als Analogie für Phänomene bei den Wissensmedien gesehen und die in der Biologie erkannten Gesetzmässigkeiten versuchsweise auf unser Gebiet übertragen werden. Dawkins hat hierzu in seinem Buch 'The Selfish Gene'⁷ das Konzept des *Mems*⁸ populär gemacht. Er bezeichnet damit Wissensbestandteile, Ideen, die sich in Analogie zu den Genen in den Köpfen der Menschen festsetzen, und die sich durch Kommunikation 'fortpflanzen'. (Oft, aber für unsere Argumentation weniger fruchtbar, wird auch die Analogie von Ideen mit Viren gezogen – im Gespräch wird das Gegenüber von den Gedanken des Sprechenden "infiziert", er kann diese Gedanken memorieren, im Kontakt mit einem Dritten replizieren und dadurch diesen als weiteres Glied in der Kette infizieren.)

Im Lichte solcher Analogien benötigt Wissen mehrere Elemente, um seine Wirkung zu entfalten: Sein 'Genotyp' (oder 'Memotyp') ist auf einen Informationsträger angewiesen, auf die 'Meme'; es bedarf eines Austausch- oder Kommunikationsmechanismus, um die Meme von einem Agenten zum andern zu übertragen (Reproduktion); und es bedarf der Phänotypen, d.h. der Agenten, in denen die Meme ihre steuernde Wirkung entfalten können.

In der Biologie bezeichnet der Ausdruck Genom den genetischen Code, einen lebensfähigen Bestand aus einzelnen Genen. Dawkins spricht vom Memom als Informationsbestand einzelner Ideen bzw. Meme. Das Genom wird sichtbar als sog. Phänotyp, d.h. als Spezies, welche in eine Umwelt oder Umgebung eingebettet ist. Die Spezies im Falle von Wissensmedien ist die Population der

⁷ Richard Dawkins: The Selfish Gene. Oxford University Press, New York 1976

⁸ mem, memes (engl.) nach Mneme (grch), die = Gedächtnis, Erinnerung. In der Psychologie = die Funktion der 'organischen Materie', Reize in Form von Engrammen zu speichern und die ihnen entsprechenden Vorgänge später zu reaktivieren; wurde v.a. von R. Semon (1904) als Erklärung für Vererbung, Gedächtnisleistungen u.ä. angesehen. → Mnemotechnik, Mnemonik, → Mnemosyne = altgriech. Göttin des Gedächtnisses, Mutter der Musen.

¹¹ s. z.B. Mark Stefik: Internet Dreams. Archetypes, myths and metaphors, MIT Press Cambridge Massachusetts, London, England 1996; Mark J. Stefik: The Next Knowledge Medium. In: The ecology of computation, A. Hubermann (ed). Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1988

Henry Plotkin: Darwin Machines and the Nature of Knowledge. 1993 Penguin Books Ltd Great Britain. 1994 Harvard University Press, Cambridge Massachusetts

Gutenberg'schen Buchdruck⁵ zu vergleichen ist.) Wir schliessen daraus, dass der Produktionswirtschaft eine Revolution vom Gutenberg'schen Typ und Ausmass bevorsteht.

1.1.3.1 ... in Analogie zum Nervensystem

Wenn man das neue Medium mit *biologischen Kommunikationssystemen* im Organismus vergleicht, so kann es mit der Entwicklung des Nervensystems durch die Evolution verglichen werden. Vorher wurden die einzelnen Zellen ausschliesslich durch chemische Botenstoffe koordiniert bzw. informiert. Diese haben eine relativ langsame Ausbreitungsgeschwindigkeit, die durch die Entwicklung von Gefässsystemen zwar vergrössert wurde. Sie haben die grossen Vielzeller ermöglicht. Das Nervensystem hat eine neue Grössenordnung in der Geschwindigkeit des Informationstransports erlaubt. Sie war Voraussetzung für die Entwicklung neuer Formen von Organismen: tierischer, vom Boden befreiter Wesen⁶. - Welche neuen Organisationsformen der Agentenpopulationen wird das Medium der neuen IKT hervorbringen?

In dem Ausmasse, wie die *Interkonnektivität* zwischen den Informationsobjekten zunimmt, sei es durch die Etablierung gemeinsamer Sprachen oder von Verbindungsdiensten, wächst ihre Macht kombinatorisch: Durch Bilden von Geweben einzelner oder zusammengesetzter Objekte entstehen komplex strukturierte Hypertext-Objekte mit z.T. enormem Potential. Die Evolution dieser „Mehrzeller“ steht erst in den Anfängen. Auch die Verwendung gemeinsamer Sprachen und Protokolle steckt erst in den Anfängen. Das Internet ist eine Folgeerscheinung der Verwendung eines gemeinsamen Protokolls. Diese Entwicklung wird sich auf wesentlich reichhaltigere Dienste und Objekte fortsetzen.

Der in die neue Informationsphäre eingetauchte Agent – sei es ein Unternehmen, ein Konsument, ein Mitarbeiter – ist umgeben von unzähligen, z.T. ausserordentlich mächtigen Informationsobjekten, die selber Agenten sind. Er kann ihre Dienste nutzen, um Mehrwert zu schaffen oder seine Konsumbedürfnisse zu erfüllen. Umgekehrt ist dieser Agent über das neue Medium an jedem Ort der Erde telepräsent und kann dort seine Leistungen anbieten. Mit dem Anwachsen der Bandbreite wird diese Telepräsenz rasch an Macht gewinnen.

Die Beschleunigung der kommunikativen Prozesse ist ein evolutionär erfolgreiches Prinzip, wie wir mit Hinweisen auf die Biologie und auf die Geschichte unserer Technik gesehen haben. Die neuen Medien erlauben ebenfalls eine stark beschleunigte Wissensakkumulation: Die Menge des Wissens, die ein Agent dank der neuen Technologie in einer bestimmten Zeitspanne holen kann, ist im Vergleich zu früher viel grösser geworden (und wird noch erheblich grösser

⁵ Um 1450 erfand Gutenberg in Nürnberg den Buchdruck mit beweglichen Lettern, was (zusammen mit der damals aufkommenden Papierindustrie) die Initialzündung für die Entwicklung der Druckindustrie, des Printmediums, war.

⁶ [] es gibt ein amerikanisches mind. 1000 Seiten starkes Buch, Standardwerk... zum Thema Kommunikation zwischen Tieren...

Telefonieren am Ort des Gesprächspartners sind: interaktiv, mit der gleichen Fähigkeit zu reagieren, wie wenn wir vor Ort wären. Dies jedoch nicht nur mit der Stimme, sondern mit einem viel breiteren (multimedialen) Spektrum von Leistungen. Das Beispiel der Telemedizin ist populär und zeigt die Richtung der Entwicklung an..

Die Auswirkungen solcher Medien für den Arbeitsmarkt, die Organisation der wirtschaftlichen Produktion, die gesellschaftlichen Prozesse sind noch kaum erkannt. Dies würde eine hinreichend klare konzeptionelle Charakterisierung des neuen Mediums ebenso voraussetzen wie die Funktion der Information und Kommunikation bei der Leistungserstellung bzw. bei den jeweiligen Interaktionen. Diese Theorien fehlen noch weitgehend. Es bedarf allerdings keines allzu kühnen prophetischen Mutes, um von einer neuen Epoche der Menschheitsentwicklung zu sprechen. - Unser Thema sind die Wissensmedien und ihre Veränderung durch die neuen Kanäle.

Nicht nur menschlichen Agenten wird durch das neue Kanalsystem Ubiquität, d.h. die Unabhängigkeit vom Standort, verliehen. Informationsobjekte, die auf dem Computer mit Hilfe von Software hergestellt werden, sind samt ihren Funktionen global verfügbar. Jeder EMail-Benutzer kann das beispielsweise mit Texten erfahren, die er erhält: Sie können (in der Regel) sofort weiterverarbeitet werden, d.h. sie tragen die 'Knöpfe' für die Textverarbeitungsfunktionen mit sich. Dabei ist es unerheblich, auf welche Weise diese Funktionalität bewerkstelligt wird – ob durch ein auf dem Empfänger-PC installiertes Textverarbeitungsprogramm oder ob durch ein in der Information integriertes Java-Applet, das die notwendige Prozessinformation mitbringt. (Der Kunde braucht und will die Funktionalität und kümmert sich nicht darum, wo die benötigte Intelligenz implementiert ist.)

Um ein Beispiel aus der Produktion zu wählen: Ein auf der CAD-Workstation hergestellter CAD-Plan kann bekanntlich mit den zu seiner Auswertung in der Konstruktion bis zu den zu seiner Ausführung benötigten NC-Programmen³ oder den für Simulationen benötigten Systemen informationell gekoppelt werden. Diese Koppelung erfolgt dynamisch, d.h. eine Änderung des Planes kann (möglichst) automatisch auf diese Systeme übertragen werden und zu den entsprechenden Änderungen ihrer Outputs führen. Wird nun diese Funktionalität von den Anlagen, auf denen sie heute implementiert sind, losgelöst und mit der einer maschinenunabhängigen Darstellung versehen, so wird der CAD-Plan zu einem Agenten, der von jedem autorisierten und mit der entsprechenden Sprache und ihrer Semantik vertrauten Empfänger aus dem Äther (der Infosphäre) heruntergeholt und wirksam gemacht werden kann: Die NC-Maschinen setzen ihn in physische Produkte um, Simulatoren erzeugen die durch ihn beschriebenen virtuellen Objekte. (Dies stellt ein beträchtlicher Unterschied dar, welcher etwa mit der Produktion eines Buches als Inkunabel⁴ im Vergleich mit dem

³ NC=numeric control

⁴ Inkunabel: die von Hand gefertigte Abschrift, wie sie in den Klöstern üblich war

Die Verbindung dieser beiden Kanäle ergibt einen Kanal, der im Raum-Zeit-Diagramm mit der untenstehenden Grafik charakterisiert werden kann. Kanäle diesen Typs, welche Informationen augenblicklich und bleibend zur Verfügung stellen, wollen wir als *ortslose, persistente Informationsobjekte* bezeichnen.

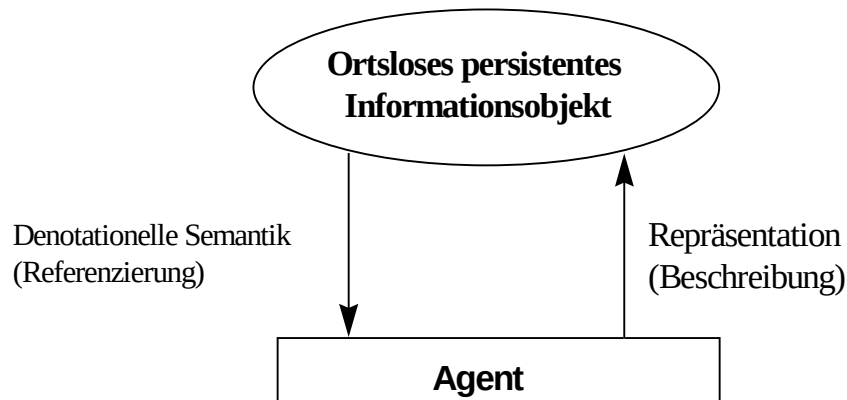


Fig. 1: Ortsloses persistentes Informationsobjekt

Konzeptionell sind Informationsobjekte Maschinen, welche die zu ihrem Datentyp benötigten Informationen mit sich tragen. Sie sind also selber Agenten im Wissensmedium. Zahlreiche heute eingesetzte globale Informationssysteme geben Beispiele solcher Informationsobjekte. Dazu gehören elektronische Börsen, Flugreservationssysteme und Web-Server.

Aus der Sicht des einzelnen Agenten ergibt sich folgendes Bild: Er ist von allen in diesem Kanalsystem befindlichen Informationsobjekten umgeben, von der Infosphäre - einem virtuellen Informationspool, der tendenziell alle Information umfassen kann. Die Aktivierung eines Informationsobjektes wird eine gewisse Zeit benötigen, die bei Bedarf durch technische und organisatorische Massnahmen sehr klein gemacht, d.h. in den Subsekundenbereich gebracht werden kann.

1.1.3 Telepräsenz ...

Agenten können persistente Informationsobjekte nicht nur beziehen, sondern eigene Anliegen zum Informationsobjekt machen. Aus der Sicht des Agenten gibt ihm das neue Medium *Telepräsenz*: Er befindet sich dauernd am Ort jedes möglichen Empfängers. Dies nicht in der Weise, wie ein Politiker im Fernsehen bei seiner Ansprache in allen Wohnzimmern ist, in denen der Empfänger auf Empfang eingestellt ist, sondern in der Weise, wie wir mit unserer Stimme beim

Aktionen auslösen kann. Diese Informationsobjekte werden im Zuge der Entwicklung des Information Highway mehr und mehr multimedial¹.

Informationsobjekte können wir als Maschinen (Maschinen des Informationszeitalters) bezeichnen, analog wie üblicherweise interaktive Artefakte als Maschinen bezeichnet werden. Anders ausgedrückt: Es entsteht gegenwärtig eine neue Maschinenindustrie mit einem enormen Wertschöpfungspotential.

Einen Spezialfall unter den Informationsobjekten stellen die *virtuellen Räume* dar: Diese können von einzelnen oder mehreren Personen betreten werden. Sie sind (heute auf der Basis Text und auch auf der Basis Stimme) im Internet zahlreich vorhanden in Gestalt der Multi-user-domains (MUDs). In einer Vorform kennen wir virtuelle Räume bereits aus den Telefon- und Videokonferenzen. Aber die Gestalt, wie sie im Internet verfügbar ist, wird mehr und mehr die Zukunft prägen.

Diese neuen Informationsobjekte, die Maschinencharakter haben, bilden eine neue die Erde umgebende Infosphäre, in der nun nicht mehr nur Fernseh- und Radioprogramme, Funkverkehr usw. anzutreffen sind, sondern in der inzwischen Abermillionen solcher Informationsobjekte schweben, die mit Konsumelektronikartikeln namens PC und Modem zu empfangen sind. Radikal neu ist, dass jeder Empfänger zugleich ein potentieller Sender (mit jeweils gleicher Ausgangslage) im globalen Äther ist.

Das ist ein Gestaltungspotential einer enormen Dimension, die uns zu wenig bewusst wird, wenn wir uns nur an der technischen Infrastruktur orientieren. Deshalb sollten wir mit dem Begriff Medium eher einen Raum assoziieren, ein neues global verfügbares Supermedium, in dem Informationsobjekte schweben.

1.1.2.1 Ortslose, persistente Informationsobjekte

Die von der Telekommunikation zur Verfügung gestellten *klassischen* Kanäle (Telefon, Radio, TV) machen die Informationsobjekte praktisch simultan verfügbar. Sie tun dies aber nur für den Augenblick der Sendung, die Information ist nicht persistent (es sei denn, die Nachricht werde dauernd wiederholt).

Die *computerbasierte* neue Informations- und Kommunikationstechnologie (Internet) hingegen stellt einen persistenten Informationsträger zur Verfügung: Die in ihm enthaltenen Information kann, wie bei einem Buch, zu verschiedenen Zeitpunkten immer wieder abgerufen werden. Die Möglichkeit, auf ihm zusätzlich Inferenzsysteme zu implementieren, macht die potentiell verfügbare Information oft sogar unendlich, wie bereits das Beispiel des Taschenrechners zeigt².

¹ (in Gestalt des Internet) zum Information Super-Highway, zu Breitband-Infrastrukturen, mit einer um das 2000fache gesteigerten Übertragungsleistung.

² - wobei zu berücksichtigen ist, dass die Inferenzen eine gewisse Zeit benötigen, die in den folgenden Überlegungen zu berücksichtigen wäre, hier aber vernachlässigt werden soll.

- Er ist interaktiv: Er kann die gespeicherte Information (wenigstens im Prinzip) anwenden; somit ist er Wissensträger, Agent.
- Er ist ortslos, d.h. ubiquitär verfügbar und gleichzeitig von räumlich weit verteilten Agenten nutzbar.
- Er ist multimedial, d.h. fähig, die in ihm enthaltene Information textlich, bildlich, akustisch, kinetisch oder auf andere sinnlich erfahrbare Weise zu äussern.

Wir wollen in diesem Kapitel kurz auf die Eigenschaft der IKT als neue *Infosphäre* eingehen, welche Agenten (seien sie menschliche oder künstliche) verbindet und *Informationsobjekte* persistent verfügbar machen kann, wir wenden uns dem Phänomen der *Telepräsenz* zu und verweisen dann kurz auf die als *Beispiele* zu unseren Ausführungen gesammelten Beiträge in diesem Buch. Schliesslich betrachten wir die Bedingungen, welche zu den jetzt entstehenden und zukü

nftigen *Computational Societies* führen, bevor wir uns im nächsten Kapitel dem Konzept des Wissensmediums zuwenden.

1.1.1 The Net is the Computer

Die Verbindung des neuen computerbasierten interaktiven Informationsträgers Computer mit der Telekommunikation stellt ein Informationsübermittlungssystem – wir nennen es Kanalsystem oder Kanäle - mit revolutionär neuen Charakteristiken zur Verfügung. Ein Kanalsystem trägt und transportiert die Informationen von Agenten, wodurch diese verbunden und (nach Ordnung, Kausalität, etc.) strukturiert werden. Der Computer als universeller Informationsträger ist nun zu einem Kanalsystem geworden, der gleichzeitig interaktiv, d.h. selbst ein intelligenter Agent ist, und somit Teil der sich durch ihn austauschenden Wissensgemeinschaft. Dazu ist die Etablierung eines gemeinsamen semantischen Raumes und eines entsprechenden Protokolls nötig (hierzu später mehr).

Was bedeutet dies für das Profil der neuen Maschine Computer? Häufig wird gesagt: „The net is the computer“, d.h. das Netzwerk selbst wird zum Computer. Unseres Erachtens ist vorzuziehen, die *Informationsobjekte*, also die eigentlichen Informationsträger, ins Zentrum zu stellen.

1.1.2 Informationsobjekte

Informationsobjekte sind zu vergleichen mit anderen Informationsträgern wie Papier, Mensch, usw. Charakterisiert man diese Informationsobjekte so, wird deutlich, dass sie ortslos und überall gleichzeitig verfügbar sind, wie Fernsehprogramme. Aber anders als jene sind sie interaktiv: Der Benutzer findet an den Informationsobjekten "Knöpfe", die er drücken und damit verschiedene

1 Zu den Auswirkungen der neuen Informations- und Kommunikationstechnologie

Die Erfindung der Computertechnologie hat unsere Umgebung bereits in einem tiefgreifenden Umfang zu revolutionieren begonnen, aber diese Revolution ist immer noch in einem Anfangsstadium. Wir spüren heute die wirtschaftlichen Auswirkungen durch die Globalisierung des Wettbewerbes, wir ahnen, dass die Macht der Nationalstaaten geschwächt wird, wir sind - ob wir wollen oder nicht - Mitglieder einer Informationsgesellschaft, die weltweit medialisiert wird. Die Kräfte, welche diese Medialisierung verursachen, welche sie zu erkennen und hoffentlich auch zu steuern vermögen, sollen in diesem Buch mit einem Medienbegriff umrissen werden, welcher den Gegebenheiten der neuen Informations- und Kommunikationstechnologie Rechnung trägt.

Der Computer ist zunächst ein neuer interaktiver, technisch hergestellter Informationsträger, der inzwischen eine Menge unterschiedlichster Informationen speichern kann. Interessant ist die Tatsache, dass er aus der Mathematisierung der Logik auf der einen Seite und aus der Übernahme der tayloristischen Arbeitsorganisation auf der anderen Seite entstand.

Als Wissensträger ist der Computer im Unternehmen schon seit langer Zeit verfügbar. Er wurde zunächst als Assistent eingesetzt, welcher die Aufgaben, mit denen sonst ein menschlicher Angestellter betraut war, automatisch ausführte. Dann kam die Verschmelzung des Informationsträgers Computer mit der Telekommunikation. Ende der '70er Jahre wurde damit begonnen, Firmennetze aufzubauen. Diese haben im wesentlichen die betrieblichen Informationssysteme untereinander verbunden, zunächst in den internationalen Konzernen. Über diese Infrastrukturen wurden - zuerst einfach als Alternative zum Postweg - Daten überspielt. Nach und nach hat man aber auch gelernt, die Steuerungsfunktionen über diese Netze abzuwickeln. Das Resultat ist eine zunehmende Mobilität der Arbeit selbst; die Arbeit wird über solche Infrastrukturen neu verteilt. Das akzentuierte sich, als die Netze Ende der '80er Jahre untereinander verbunden wurden, z.B. mit Netzen von Zulieferanten, Kunden und Banken. Diese informationslogistischen Drehscheiben wurden zu virtuellen Marktplätzen, zu elektronischen Märkten, auf denen der Kunde nicht nur seinen Lieferanten, mit dem er sich zunächst verbunden hatte, sondern auch die anderen Anbieter vorfinden und Preise vergleichen konnte. Und damit sind u.a. die globalen, inzwischen gut bekannten wirtschaftlichen Umwälzungen verschärft und beschleunigt worden.

Heute stellt uns die Informations- und Kommunikations-Technologie (IKT) einen radikal neuen Informationsträger zur Verfügung, der folgende Charakteristiken aufweist:

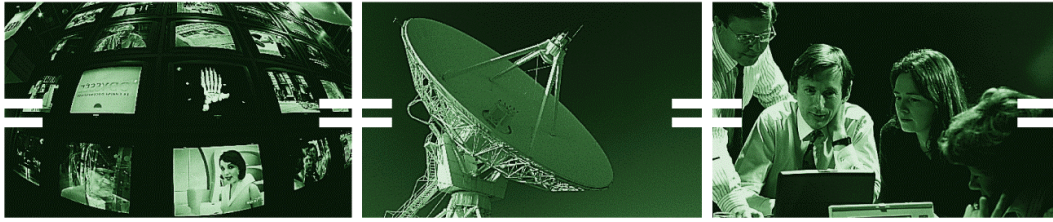
2.2.2.7.7 Wissensmedium als Agent.....	45
2.2.2.8 Welten und Optiken	45
2.2.2.9 Kategorisierung von Informationsobjekten.....	47
2.3 Der logische Raum	49
2.3.1 Semantik: Welten, Optiken und Systeme	49
2.3.1.1 Das Denken	49
2.3.1.1.1 Denken im Formalismus.....	50
2.3.1.1.2 Denken im Modell.....	50
2.3.1.1.3 Denken in der Vorstellung.....	51
2.3.2 Syntax: Der logische Raum	51
2.3.2.1 Wissensmedien - formale Definition.....	53
2.4 Wissensmedien als Plattformen des Denkens	55
2.4.1 Kernaussage	55
2.4.2 Wissensmedien als öffentlicher Raum	56
2.4.3 Wissensmedien als innere Bühne	57
2.4.4 Künstliche Informationsträger als Verstärker menschlicher Agenten	58
3 DAS KONZEPT DER FORMALEN SPRACHE	61
3.1.1 Die Formalisierung der Logik	61
3.1.2 Die Theorie des Konstruierbaren und Konstruierens	62
3.1.3 Das Paradigma 'logic as computation'	63
4 LITERATUR	66
5 INDEX	70

LANGES INHALTSVERZEICHNIS

1	ZU DEN AUSWIRKUNGEN DER NEUEN INFORMATIONSGE- UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE	6
1.1.1	The Net is the Computer	7
1.1.2	Informationsobjekte	7
1.1.2.1	Ortslose, persistente Informationsobjekte	8
1.1.3	Telepräsenz ...	9
1.1.3.1	... in Analogie zum Nervensystem	11
1.1.3.2	... in Analogie zur Genetik	12
1.1.4	Beispiele der neuen IKT-Welt	13
1.1.4.1	Innerbetriebliche Wissensmedien: Wissensmanagement im Unternehmen.....	13
1.1.4.2	Zwischenbetriebliche Wissensmedien: Der elektronische Marktplatz	14
1.1.4.3	Überbetrieblichen Wissensmedien: Die Community	15
1.1.5	Computational Societies: zur Morphogenese von Medien	16
2	WISSENSMEDIEN	18
2.1	Allgemeiner Medienbegriff	18
2.1.1	Die Komponenten im Überblick	18
2.1.2	Der Kommunikationsraum	21
2.1.3	Zur Modellierung	22
2.1.3.1	Die drei Ebenen eines Wissensmediums.....	23
2.2	Der physische Raum	26
2.2.1	Agenten	26
2.2.1.1	Agenten und ihr Wissen	26
2.2.1.2	Modellierung von Agenten mit Methoden der Informatik.....	28
2.2.1.3	Lernen von Agenten.....	30
2.2.2	Das Kommunikationssystem: Kanäle, Protokolle und Rollen	32
2.2.2.1	Vermittlung von Wissen durch Kommunikation	32
2.2.2.2	Kanäle	33
2.2.2.3	Charakterisierung von Kanälen durch Raum-Zeit Diagramme.	33
2.2.2.4	Rollen von Agenten	38
2.2.2.5	Protokoll.....	38
2.2.2.6	Methoden der Informatik zur Modellierung von Kanälen, Rollen und Protokollen.....	39
2.2.2.7	Anwendungen: Informations- und Kommunikationssysteme ...	40
2.2.2.7.1	Metainformation	40
2.2.2.7.2	Passive und aktive Informationsträger	41
2.2.2.7.3	Nachrichten und Boten	42
2.2.2.7.4	Kopplung von Agenten und Kanälen	43
2.2.2.7.5	Agenten als Kanäle und interaktive Kanäle.....	43
2.2.2.7.6	Datenbanken als Kanäle und Agenten.....	44

KURZES INHALTSVERZEICHNIS

1	ZU DEN AUSWIRKUNGEN DER NEUEN INFORMATIONSGESellschaft UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIE	6
1.1.1	The Net is the Computer	7
1.1.2	Informationsobjekte	7
1.1.3	Telepräsenz ...	9
1.1.4	Beispiele der neuen IKT-Welt	13
1.1.5	Computational Societies: zur Morphogenese von Medien	16
2	WISSENSMEDIEN	18
2.1	Allgemeiner Medienbegriff	18
2.1.1	Die Komponenten im Überblick	18
2.1.2	Der Kommunikationsraum	21
2.1.3	Zur Modellierung	22
2.2	Der physische Raum	26
2.2.1	Agenten	26
2.2.2	Das Kommunikationssystem: Kanäle, Protokolle und Rollen	32
2.3	Der logische Raum	49
2.3.1	Semantik: Welten, Optiken und Systeme	49
2.3.2	Syntax: Der logische Raum	51
2.4	Wissensmedien als Plattformen des Denkens	55
2.4.1	Kernaussage	55
2.4.2	Wissensmedien als öffentlicher Raum	56
2.4.3	Wissensmedien als innere Bühne	57
2.4.4	Künstliche Informationsträger als Verstärker menschlicher Agenten	58
3	DAS KONZEPT DER FORMALEN SPRACHE	61
3.1.1	Die Formalisierung der Logik	61
3.1.2	Die Theorie des Konstruierbaren und Konstruierens	62
3.1.3	Das Paradigma 'logic as computation'	63
4	LITERATUR	66
5	INDEX	70



mcm *institute*
Media Communications Management

Das Konzept des Wissensmediums

Beat F. Schmid

Working Report / Arbeitsbericht
Version 02. – September 1998

Entwurf zum Buch
"Wissensmedien:
Konzept und Schritte zu ihrer Realisierung"

University of St. Gallen : Institute for Media and
Communications Management (MCM-HSG)



**This publication was sent to you
by the NetAcademy
www.netacademy.org**

**© Institute for Media and Communications
Management,
University of St. Gallen
www.mcm.unisg.ch**