

Bioanaloge Ansätze für das globale multimediale Internet

Dipl.-Inform. Tobias Limberger, Prof. Dr. Max Mühlhäuser

Bio-Analog Approaches for the Global Multimedia Internet

The Internet continues to grow exponentially with respect to the number of computers attached. With zillions of nodes, it will exhibit both challenges and opportunities which only biological life has coped with successfully to date. Recording devices such as Web cams, digital cameras, audio recorders etc. become affordable peripherals of Internet computers, aggravating the problem as pervasive sources of huge amounts of “commodity” multimedia data. We compare these devices to human senses which are “always on” but do not need conscious human intervention as to recording – or erasure! After a short overview of bio-analog approach to computer science, the BioStore concept is sketched. It draws from existing models and theories about human cognition, memorization, and forgetting.

Internet-Explosion

Das Internet ist von 4 (1970) auf ca. 400 Mio. Computer angewachsen und wächst weiterhin exponentiell (explosionsartig) wie Bakterien in einer Nährlösung. Immer häufiger stoßen bekannte Informatik-Lösungen an Grenzen, wenn es um die Organisation und Aufbereitung der Daten aus dem Internet oder die Organisation der Zusammenarbeit von unzähligen Rechnern geht. Man sagt: diese Lösungen „skalieren nicht“.

Das Problem der Internet-Explosion kann sich aufgrund einer weiteren Entwicklung bald dramatisch verschlimmern: Digitalkameras, Web-Cams, Audio-Rekorder und sonstige Aufnahmegeräte sind schon für unter 100 € zu haben, werden also für große Bevölkerungsschichten verfügbar und attraktiv. Alles Aufgezeichnete kann wie normale Computerdateien gespeichert und verschickt werden, ist aber viel schwerer „sinnvoll“ zu durchsuchen und zu ordnen. Um eine Vorstellung von den Datenmengen zu vermitteln: das so genannte MyLifeBits-Projekt der Microsoft-Forschung geht von der Vision aus, daß in Zukunft jeder Mensch eine „persönliche Datenbank“ aufbauen wird, die Bild- und Tondokumente des gesamten Lebens, Videodaten, geschäftliche und medizinische Informationen sowie diverse weitere Daten beinhaltet. Eine exemplarisch aufgebaute Datenbank enthält derzeit etwa 20.000 Dokumente (Scans oder OCR), 40.000 Emails, 8.000 Fotos, 7 GB Musik- und 3 GB Videodaten. Hochgerechnet auf die menschliche Lebensspanne und viele Menschen ergeben sich unüberschaubar große Datenmengen. Ganz offensichtlich werden wir also in absehbarer Zeit unzähligen „Datenquellen“ gegenüberstehen, die fast ununterbrochen Informationen in das Netz einspeisen.

Bionik in der Informatik

Die Idee, komplizierte und unübersichtliche Fragen anzugehen, indem man „Mutter Natur“ über die Schulter schaut, ist nicht neu. Auch in der Informatik gibt es seit Jahren Ansätze, die unter den neuen Begriffen „Bionik“ und „Bioanalogie“ eingruppiert werden können. Am bekanntesten sind wohl neuronale Netze. An die Stelle komplexer Computer, Programme und Strukturen tritt dabei die Zusammenarbeit vieler extrem simpler Rechner, den Neuronen des Gehirns nachempfunden und ähnlich wie ein biologisches Nervensystem verschaltet. Die eigentliche Funktion wird nicht mehr programmiert, sondern trainiert (in der Praxis sind

die Kleinstrechner heute meist Softwarekomponenten, die auf klassischen Computern ablaufen). Zu den bioanalogen Ansätzen zählen z.B. auch Fuzzy Logic, genetische Algorithmen oder Aspekte der Robotik wie sechsbeinige Laufmaschinen. Faszination und Hoffnung geht von biologischen Organisationsstrukturen aus, die ohne „Schaltzentrale“ auskommen. So gibt es schon Informatik-Forschung unter den Bezeichnungen *Ant Colonies* und *Hive Mind* [KE94] in Anlehnung an Ameisenstaaten und Bienenschwärme. Basis ist eine Vielzahl unkomplizierter und für sich genommen unintelligenter Agenten, die in ihrem Zusammenspiel Aufgaben lösen können, welche eindeutig Intellekt erfordern. Wenn z.B. Bienen neue Futterquellen erschließen, arbeiten unzählige „Scouts“ zusammen; jeder für sich führt eine nicht optimierte Suche durch, doch aufgrund der Parallelität aller Suchvorgänge kann ein Ziel schnell erreicht werden. Knackpunkt ist die Frage, wie innerhalb des *Hive Mind* Entscheidungen getroffen werden: sie gehen von keinem Einzeltier aus, auch nicht von der Königin, sondern scheinen vielmehr in der Gesamtheit aller Tiere und ihrem Zusammenspiel „dezentral“ realisiert zu sein.

Grundidee eines BioStore

Der vorliegende Beitrag diskutiert einen als *BioStore* bezeichneten Ansatz, der als weitergehender Schritt der Bioanalogie gesehen werden kann und der das erwähnte Problem explodierender (Multimedia-)Daten im Internet angeht. Wie bereits erwähnt soll eine große Menge von Multimediadaten verwaltet und organisiert werden. Wichtig für das Verständnis der BioStore-Idee ist das Konzept einer begrenzten Ressource „menschliche Aufmerksamkeit“ [LE97, LO01, ML96], die aufgrund ihrer stark eingeschränkten Verfügbarkeit nicht mit der Sichtung minder relevanter Daten verschwendet werden sollte, also theoretisch weder mit der Aufzeichnung (der Mensch befiehlt nicht seinen Augen bei wichtigen Ereignissen, „aufzuzeichnen“: sie sind quasi immer angeschaltet) noch mit der Löschung (wir vergessen unbewusst). Der Mensch stellt also ein System dar, das mit einer Vielzahl von Sensoren ununterbrochen unvorstellbare Datenmengen aufnimmt und dessen Speichersystem „Gedächtnis“ trotzdem nicht vor diesem Datenchaos kapituliert.

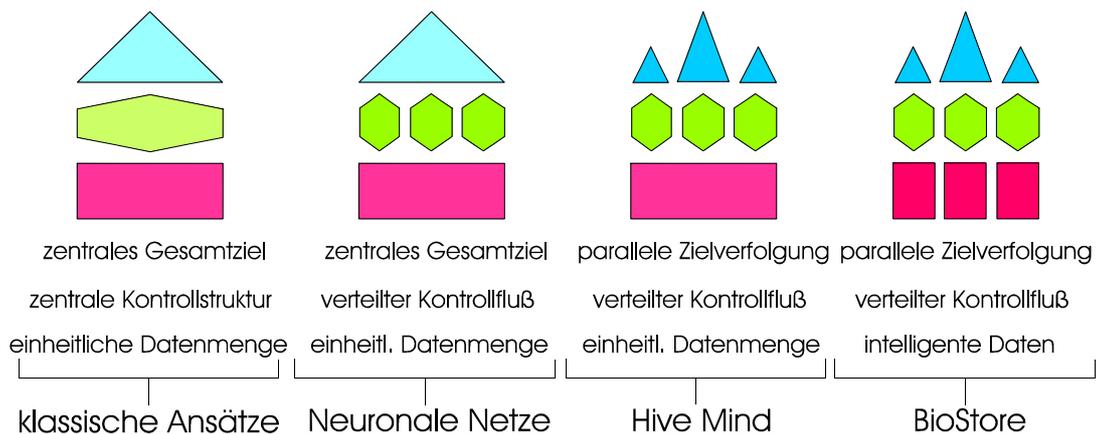
In der Historie bioanaloger Ansätze der Dezentralisierung von Problemlösungen (Abbildung 1), von der Grundidee neuronaler Netze über „Hive Mind“-Ansätze, ist nach Meinung der Autoren die dezentrale „Selbstverwaltung“ von Daten ein weitergehender Schritt. Der entscheidende Unterschied zu herkömmlichen Datenverwaltungskonzepten besteht im Einsatz einer Art „intelligenter Daten“, die es erlauben, Entscheidungen ohne den Einsatz einer zentralen Organisationseinheit zu treffen.

Leistungen des natürlichen Gedächtnisses

Betrachtet man die Alltagssituationen genauer, die jeder Mensch ganz selbstverständlich meistert, so erscheinen die Leistungen der biologischen „Sensoren“, „Datenleitungen“ und „Speicher“ besonders beeindruckend: die Sinnesorgane des Menschen sind wie bereits erwähnt pausenlos im Einsatz, zumindest bezogen auf den Wachzustand kann von einer kontinuierlichen Aufnahmeleistung gesprochen werden. Dabei gelingt es der biologischen Datenverarbeitungsmaschinerie nicht nur, aus all diesen Daten die tatsächlich relevanten herauszufiltern und zu interpretieren, sondern auch noch die jeweilige Situation zu bewerten und entspre-

chend zu reagieren. All diese Leistungen geschehen zudem notwendigerweise „in Echtzeit“!

Das häufig eher als nachteilig empfundene Vergessen gehört zu den wichtigsten Mechanismen des natürlichen Gedächtnisses. Wenn man von der unglaublich großen Menge an Informationen ausgeht, die die Sinnesorgane eines Menschen aufnehmen, besteht die vordringliche Aufgabe in einer möglichst frühzeitigen Filterung dieses Datenstroms. Die Tatsache, daß durch diesen Mechanismus mitunter auch relevante Daten „in Vergessenheit geraten“, erscheint gegenüber der Vermeidung eines unüberschaubaren Datenchaos im Kopf durchaus zu verschmerzen.



Dezentralisierung von DV-Strukturen Decentralization of data structures

Funktionsprinzipien biologischer Speicher

Die funktionale Grundeinheit des Gehirns ist das Neuron. Es bildet einen Knoten in einem riesigen Neuronennetz. Jedes Neuron ist in der Lage, eintreffende Impulse anderer Neurone zu integrieren und darauf zu reagieren, d.h. im allgemeinen Impulse weiterzuleiten.

Zu diesem Zweck besitzt es eine Vielzahl sogenannter Dendriten, Fortsätze des eigentlichen Zellkörpers, die mit Hilfe von Synapsen andere Neurone kontaktieren. Das Aussenden von Impulsen geschieht über das sogenannte Axon, einen speziellen Fortsatz, der in manchen Fällen stark verästelt sein und große Neuronenzahlen (über Synapsen) kontaktieren kann. Während an den Synapsen meist auf chemischem Wege Nachrichten weitergeleitet und evtl. moduliert werden, geschieht die Reizübertragung auf großen Wegstrecken bioelektrisch.

Da sie einem Alles-oder-Nichts-Prinzip folgt, d.h. ein Neuron kann entweder einen Impuls „feuern“ oder nicht, ist das zur Verfügung stehende „Vokabular“ recht eingeschränkt. Es entspricht in gewisser Weise dem Prinzip der Bits in digitalen Rechnern, die ebenfalls die Werte 1 oder 0 annehmen können, und somit stellt ein Neuron sicherlich einen einfachen „Kleinstrechner“ dar.

Wie kann nun in einem derartigen System Information gespeichert werden? Diese Frage ist noch nicht erschöpfend geklärt, doch sind bereits diverse Theorien vorgeschlagen worden. Die kurzzeitige Speicherung von Daten kann, ähnlich einem flüchtigen Speicher, in Form von Impulsen geschehen, die in einem Teilnetzwerk kreisen und so über eine gewisse Zeitspanne Bestand haben. Da das menschliche

Gehirn jedoch auch über weitaus längere Zeiträume Daten speichern und sogar nach einem „Kaltstart“ (z.B. Elektroschock, Unterkühlung) bewahren kann, müssen hier andere Mechanismen verwendet werden.

Die Synapsen sind in der Lage, Impulse auf vielfältige Weise zu modulieren, ihre Stärke zu variieren, sie zu invertieren, zu verzögern usw. Es ist bekannt, daß die Eigenschaften einer Synapse im Laufe der Zeit geändert werden können, daher liegt es nahe, in derartigen Veränderungen synaptischer Eigenschaften einen Mechanismus zur langfristigen Speicherung von Daten zu vermuten. Die Speicherung von Information erfolgt also anscheinend nicht in den Knoten des Netzes, sondern vielmehr stark verteilt in den Verbindungen zwischen diesen.

Modellierung von Gedächtnis in der Psychologie

Wenn man das eingangs beschriebene Problem der Datenflut im Internet betrachtet, so bietet sich die Verwendung des „Prinzips Vergessen“ geradezu an. Vor dieselbe Aufgabe gestellt, schafft es das menschliche Gedächtnis, die riesigen Mengen irrelevanter Informationen effektiv abzublocken und gleichzeitig Großteile der tatsächlich benötigten Daten zu speichern. Man vermutet, daß diese Speicherung von Daten im menschlichen Gedächtnis sozusagen stufenweise geschieht. Nach dem bekannten (modifizierten) modalen Modell von Atkinson und Shiffrin [AS68] ist das Gedächtnis in mehrere Subsysteme aufgeteilt.

Die erste Stufe bilden modalitätsspezifische sensorische Speicher. Sie speichern Daten ohne Diskriminierung für extrem kurze Zeit (<1 sec). Sensorische Speicher sind relativ unabhängig voneinander, d.h. ihre Inhalte beeinflussen sich gegenseitig nicht oder nur wenig.

An die sensorischen Speicher schließt sich das Kurzzeitgedächtnis (KZG) an. Allgemein akzeptierte Eigenschaften des KZG sind u.a. die relativ kurzzeitige und flüchtige Speicherung von Daten (im Bereich von Sekunden oder Minuten), die unmittelbare Abrufbarkeit derselben (Daten im KZG werde häufig auch als „aktiv“ bezeichnet) und die Begrenztheit der Speicherkapazität (die auch mit dem Schlagwort „Ressource Aufmerksamkeit“ zusammenhängt, s.o.). Im KZG geschieht offensichtlich eine intensive Bearbeitung von Daten, die Verknüpfung, Komprimierung und andere Modifikationen umfaßt. Es ist vermutlich nicht als eine definierte Untereinheit des Gedächtnisses zu verstehen; vielmehr stellt es eine Aktivität großer Neuronenzahlen zur selben Zeit dar.

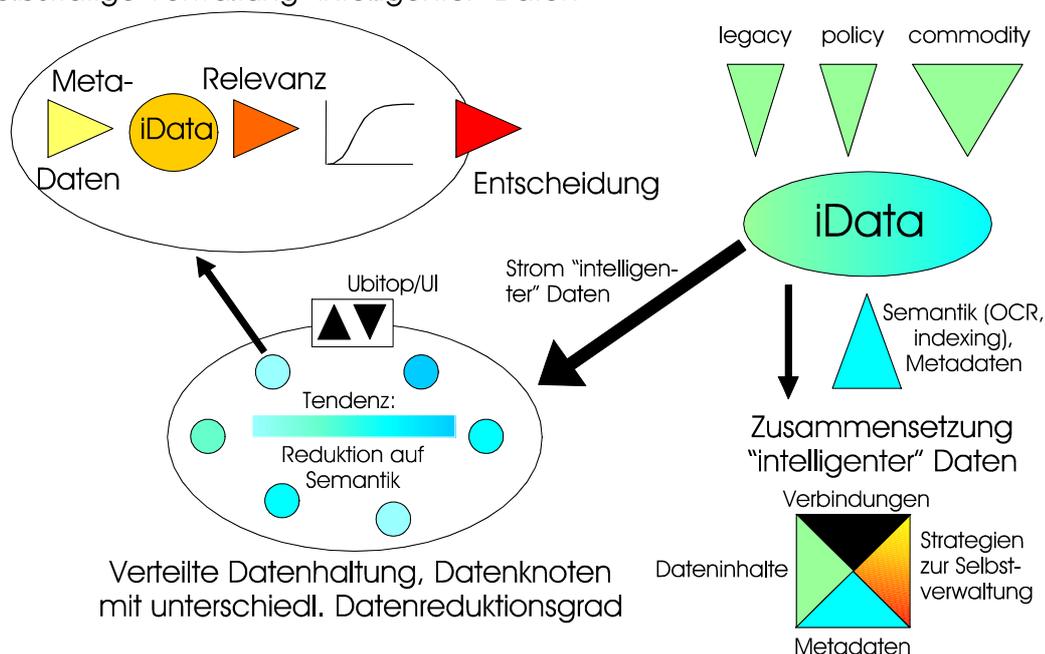
Die letzte Stufe wird als Langzeitgedächtnis (LZG) bezeichnet. Daten im LZG sind m.o.w. permanent gespeichert, und ihr Abruf erfordert einigen Aufwand. Die Speicherung von Daten im LZG (ihre sogenannte Konsolidierung) erfordert ebenfalls einen spürbaren Zeitraum. Darüber hinaus geht man davon aus, daß Daten im LZG hochgradig komprimiert sind, d.h. bei der „Aktivierung“ langfristig gespeicherter Daten durch Transfer in das KZG müssen evtl. Details erst wieder rekonstruiert werden. Außerdem sind sie wahrscheinlich nach semantischen Gesichtspunkten organisiert, so daß Sinnesmodalitäten bei der Organisation keine Rolle mehr spielen. Es handelt sich also offensichtlich nicht um 1:1-Kopien der Daten, die von den Sinnesorganen aufgenommen wurden, sondern um vielfach verarbeitete Extrakte aus diesem Datenstrom, die zudem dynamischer Natur sind, d.h. im allgemeinen im Laufe der Zeit Veränderungen erfahren.

Forschungsprojekt BioStore

Forschungsgegenstand sind geeigneter Umfang und sinnvolle Anpassungen biologischer Prinzipien für digitale Speichereinheiten sowie die Konsequenzen für den Nutzer im Betrieb.

Die Architektur nach Abbildung 2 deutet an, dass die aufwändige Erzeugung von *Metadaten* größtenteils in die Datenakquisitionsphase verlagert werden soll (oberer Bildteil). Metadaten geben Auskunft über thematische Zugehörigkeit, Modalität (z.B.: Sprachsignal oder maschinenlesbarer Text?), Qualität (z.B. Auflösung), Herkunft, Aktualität usw. und insbesondere über Verbindungen zu anderen gespeicherten Daten. Ihre Generierung kann äußerst aufwändig sein (Spracherkennung, OCR usw.) und ist häufig zum Zeitpunkt der Aufzeichnung einfacher und präziser (z.B.: Kamera-Schwenks von der Schwenkmotor-Steuerung digital melden zu lassen und aufzuzeichnen, ist einfach und bei Profikameras künftig üblich; sie im Digitalvideo nachträglich per Software zu detektieren, ist rechenintensiv und ungenau). Um ein allgemein verwendbares System zu entwickeln, werden drei Arten von Quellen unterschieden: die eingangs erwähnten Massendaten, die im „alltäglichen Leben“ gesammelt werden (commodity); professionell erzeugte Daten, die besonders gut zum Aufzeichnungszeitpunkt schon automatisch mit Metadaten versehen werden können (policy); bereits vorhandene Daten, die nachträglich mit Metadaten versehen werden müssen (legacy).

selbsttätige Verwaltung "intelligenter" Daten



Architektur des BioStore/Architecture of BioStore

Eine Strategie zur Verwaltung der Daten kann Metadaten nutzen, um Entscheidungen darüber zu treffen, ob Daten gespeichert werden sollen, in welcher Qualität und welcher Modalität dies geschieht und welche Daten assoziativ miteinander verknüpft werden sollen. Damit sind die Daten keine statischen Informationseinheiten mehr, sondern quasi-aktive Einheiten eines Netzes. Diese entscheiden – ggf. in Zusammenarbeit mit „verwandten“ aktiven Daten – von sich aus, ob und wie sie sich im Verlauf der Zeit ändern. Änderungen reichen von Umwandlung –

z.B. in ein andere, kompaktere Modalität – über Qualitätsreduktion („die Erinnerung verblasst“) bis zu einer Art des Sich-Löschens, umfassen aber auch die „schnelle Zugreifbarkeit“, die im Internet z.B. Verschieben oder Kopieren in die räumliche Nähe eines mobilen Nutzers bedeuten kann. Was die eigentliche Strategie des Vergessens betrifft, so ist eine Vielzahl von Theorien in der Fachliteratur beschrieben, etwa die des passiven Spurenerfalls, verschiedene Konzepte pro- und retroaktiver Verdrängung, die totale Löschung von Items, die Löschung von Zugriffspfaden, der allmähliche Verlust von Details etc. Diese Konzepte werden im Forschungsprojekt intensiv analysiert, verglichen und erweitert, weil sie naturgemäß die Qualität des Gesamtsystems BioStore wesentlich bestimmen.

Konsequenzen

Bei einem Konzept zur Nutzung vorteilhafter Eigenschaften natürlichen Gedächtnisses sollte allerdings die Frage nach möglichen negativen Auswirkungen nicht vergessen werden. Genauso notwendig ist die frühzeitige Untersuchung der Leistungsgrenzen dieses Ansatzes. Die Vision einer Soft-/Hardwarekombination, die es dem Benutzer erlaubt, Aufnahmegeräte quasi im Dauerbetrieb zu verwenden, ohne sich darum kümmern zu müssen, welche Daten tatsächlich gespeichert und welche „vergessen“ werden sollen, wird unabhängig von der Implementierung niemals „fehlerfrei“ sein können. Es ist unmöglich, im Vorhinein exakt zu ermitteln, welche Daten in Zukunft „wichtig“ sein werden. Umfangreiche Forschungsvorhaben beschäftigen sich mit der Frage nach einer möglichst exakten Definition von Relevanz. Daher wird es bei der Verwendung bioanaloger Speichertechnologie vorkommen, dass tatsächlich Daten „vergessen“ werden, die zu einem späteren Zeitpunkt relevant wären. Vergesslichkeit wird in Maßen beim Menschen toleriert und auch herkömmliche Computerspeicher verlieren Daten oder lassen sie als „unauffindbar“ erscheinen – trotz Datensicherung und „Suchmaschinen“ –, so dass auch ein BioStore tolerierbar scheint, der „selten genug Wichtiges vergisst“. Auch die automatisierte Speicherung im BioStore ist nicht unkritisch, erwähnt seien mögliche urheberrechtliche Konflikte oder Eingriffe in den Datenschutz. Letztendlich muß sich jedes Werkzeug daran messen lassen, welchen Nutzen es für den Anwender hat bzw. ob dieser Nutzen eventuelle Nachteile aufwiegen kann.

Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Artikel wurde ein Ansatz zur bioanalogen Organisation digitaler Speichermedien skizziert als mögliche Lösung für das Problem explosionsartig wachsender Mengen von Multimediadaten. Die Autoren arbeiten am Fachgebiet Telekooperation an dieser Fragestellung, unter anderem mit Hilfe von Simulationen verschiedener Gedächtnismodelle und von deren Anpassung an die BioStore-Architektur.

Informationen zum Fachgebiet Telekooperation an der TU Darmstadt

Das Fachgebiet Telekooperation erforscht, wie Menschen mit und mittels Computernetzwerken zusammenarbeiten können. Computernetz schlechthin ist das Internet: global oder auf kleinstem Raum, drahtlos oder per Gigabit-Leitung, explosionsartig wachsend, ist es Infrastruktur für die sog. Konvergenz von Informationstechnik, Telekommunikation und „Medien“, allgegenwärtig (ubiquitous) und in Zukunft hoffentlich unauffälliger Bestandteil unserer Umwelt (invisible, ambient).

Leitlinie der Forschung sind innovative Anwendungen, für deren effiziente Herstellung Werkzeuge, Plattformen und Methoden, programmiersprachliche und Hypertext-Konzepte, sogar Hardware-Prototypen entwickelt werden.

Der Forschungsbereich uBiz betrachtet „ubiquitous computing“ für eCommerce, für das Internet als viertes Massenmedium und für vernetzte und multimediale Softwaresysteme. Im Forschungsprojekt Mundo wird eine Infrastruktur geschaffen, die neben herkömmlichen Geräten und Netzen auch mobile Benutzer mit winzigen, Audio-basierten Allround-Geräten sowie HotSpots unterstützt, also drahtlose Netzzugangspunkte von beliebigen Anbietern wie Supermarktketten oder Privatpersonen. Weitere Arbeiten betreffen mobile-Commerce, bioanaloge Handhabung von Multimediadaten, Durchstöbern und Editieren von riesigen Digitalvideo-Datenbeständen, innovatives Musizieren im Internet und mehr.

Der zweite Forschungsbereich heißt „ubiquitous learning“ und unterstützt mobile Nutzer, die Vollzeit oder lebenslang lernen bzw. eine mit Wissenserwerb verknüpfte Aufgabe zu lösen haben. Klassenzimmer und Hörsäle werden aber nicht als veraltet betrachtet und durch virtuelle Räume, verteiltes und zeitversetztes Lernen gänzlich ersetzt, sondern – aufgerüstet mit „Learning Appliances“ und Softwarewerkzeugen – als Katalysator und Ort der Begegnung quasi zum Ausgangspunkt aller denkbaren Lernformen.

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Max Mühlhäuser
Tel. 06151/16-3709
Fax 06151/16-6597

Literatur:

[AS68] R.C. Atkinson, R.M. Shiffrin (1968), Human memory: A proposed system and its control processes, in *K.W. Spence and J.T. Spence (Eds.), The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory (Vol. 2, pp. 89-195). New York: Academic Press.*

[KE94] K. Kelly (1994), *Out of Control*, Perseus Books, Reading, Massachusetts.

[LE97] M. Lesk (1997), How much information is there in the world?, *unpublished paper*, available at <http://www.lesk.com/mlesk/diglib.html>

[LO01] W. Löw (2001), Der Weg zum Wissen. Eine Betrachtung aus biowissenschaftlich-neurobiologischer Sicht, *Information – Wissenschaft und Praxis*, 52. Jahrgang, Nr. 1, S. 5-13.

[ML96] B. MacLennan (1996), Mixing Memory and Desire: Want and Will in Neural Modeling", *invited paper for the Fifth Appalachian Conference on Behavioral Neurodynamics, The Brain and Values, October 18-20, 1996.*