

Operationale Hermeneutik und Interface-Design

Hans H. Diebner und Inge Hinterwaldner

Zentrum für Kunst und Medientechnologie,
Institut für Grundlagenforschung,
Lorenzstr. 19, D-76135 Karlsruhe

Basiert auf dem Vortrag gehalten am 22. Mai 2004 im Symposium „Days of Future Past“ im Rahmen des SpringFour Festivals im Kunsthaus Graz, veranstaltet vom Medienturm Graz.

Manuskript vom 13. Juni 2004

Auf die Frage, was ein Bild ist, schweigt die Medizin wie ein Grab. Sie hat aber ein interessantes pragmatisches Kriterium einer richtigen Interpretation von Bildern für die Diagnostik verfügbar gemacht – das so genannte Bayessche Rückschlussprinzip (Bayes 1763) – das mitunter über Leben oder Tod entscheidet. Interessant ist dieses Kriterium nicht nur für die Medizin, sondern hat allgemein epistemologische bzw. hermeneutische Bedeutung. Wir wollen es hier anhand von Anwendungen im Bereich der Bildinterpretation innerhalb der Medizin einführend erörtern und potentielle Weiterentwicklungen und deren Relevanz für das Design von Interfaces diskutieren. Die Bedeutung für eine Bildwissenschaft liegt nahe, streifen wir in diesem Beitrag aber nur am Rande. Der Schwerpunkt des Aufsatzes liegt auf der kritischen Auseinandersetzung mit der Algorithmisierung, die von den digitalen Medien ausgeht.

Im Bayesschen Kriterium, das zu den so genannten „boots-trapping-Verfahren“ verwandt ist, erkennt man eine formale Manifestation des hermeneutischen Zirkels, also einen Aspekt einer Operationalisierung der Hermeneutik (Diebner 2003), wie im Folgenden vertieft wird. Der scheinbare Widerspruch hebt sich ähnlich wie in Riegers „Kybernetischer Anthropologie“ (Rieger, 2004) in der performativen Auseinandersetzung mit den Schnittstellen auf. Schnittstellen sind die semantikerzeugenden Oberflächen von Medien. Über die Schnittstellen interpretieren wir, was dahinter verborgen ist. Die wahrgenommene Welt ist gemäß Otto Rössler ein Interface. Die Video-Installation „Magnet TV“ von Nam June Paik (Abbildung 1), bei der ein starker Magnet die Bildgebung des Videomonitors stark verzerrt und eine andere Wirklichkeit emergent werden lässt, ist in diesem Zusammenhang mehr als nur eine Illustration, obwohl die Übertragung auf das Gehirn, das vielleicht ein anderes Placksches Wirkungsquantum misst, wenn man es in ein hochfrequentes Magnetfeld steckt, nicht experimentell überprüft werden sollte.

Das Drehen am Stellrädchen des Interfaces lässt uns die bestehende Interpretation korrigieren. In der Systemtheorie, insbesondere in der Synergetik von H. Haken (1983), ist von „Kontrollparametern“ die Rede. Ein nichtlineares dynamisches System kann abhängig vom eingestellten Wert des Kontrollparameters qualitativ stark unterschiedliche Dynamiken hervorbringen. Die synergetische Beschreibung der Gehirndynamik, des Verhaltens und der Kognition beruht auf dem Konzept der Komplexitätsreduktion und dem der Wirkung von Kontrollparametern (Haken, 1995).

Aus den Erkenntnissen der Gehirnforschung und der Kybernetik schaffen wir uns „intelligente“ Algorithmen und programmieren Expertensysteme, die das „Wackeln“ am Kontrollparameter in einem gewissen Sinne „optimieren“. Diese Programme sind aber letztlich nur Interpretationen

unserer Interpretationsleistung. Durch die Manipulation des Interfaces führen sie zur Generierung von Hypothesen – auch über die Interpretationsleistung selbst. Diesen Prozess – gewissermaßen ein externalisierter hermeneutischer Zirkel – bezeichnen wir als operationale Hermeneutik. Es folgt eine Einführung in dieses Konzepts.

Außer in der Entscheidungstheorie –mit dem Spezialfall der medizinischen Diagnostik –findet das erwähnte Bayessche Rückschlussprinzip seit einigen Jahren in der KI-Forschung verstärkt Anwendung (Cozzio-Büeler 1995)¹. Dort verbessert das Verfahren die Mustererkennung durch neuronale Netze und lässt beispielsweise die autonome Steuerung von Sortiermaschinen zu. Von der menschlichen Kognition und Interpretationsleistung ist man damit noch weit entfernt. Eine große Fraktion der Kybernetiker hält aber daran fest, dass der Unterschied im Laufe der näheren Zukunft verschwinden wird und einige glauben sogar daran, dass in Kürze Maschinen die „besseren“ Menschen sein werden. Der prominenteste Vertreter dieser Transhumanismusidee ist Ray Kurzweil (2000), der die künstlich intelligenten Systeme als Teil der natürlichen Evolution betrachtet.

Heideggers Hermeneutik stellt das „In-der-Welt-sein“ des menschlichen Daseins in den Mittelpunkt (Heidegger 2001, Dreyfus 1991) und dadurch einen externen Standpunkt in Frage, der notwendig wäre, um den Erkenntnisprozess objektiv zu formalisieren und auf Maschinen zu übertragen. Hubert Dreyfus, der sich in seinem Argumentationsgang stark auf Heidegger beruft, reduziert damit die Erwartungen insbesondere der Erforschung und Entwicklung künstlich intelligenter Systeme (Dreyfus 1979, 1992). Auch unter den Kybernetikern wächst allmählich die Ansicht, dass die funktionalen Modelle letztlich selbst Interpretationen sind (Erdi and Tsuda 2002), d.h. Die menschliche Hermeneutik überlegt, wo die künstlichen Intelligenz an ihre Grenzen stößt. Die Produkte der KI-Forschung sind daher als Teil des hermeneutischen Prozesses zu verstehen, und zwar in zweierlei Hinsicht: Einerseits bereichern sie klassische Bereiche der Hermeneutik wie Textinterpretationen durch analytische Werkzeuge und andererseits sind die Werkzeuge selbst Resultate eines Interpretationsvorgangs unserer kognitiven Fähigkeiten.

Laut Heidegger handelt der Mensch so wie er handelt, nicht weil er Berechnungen anstellt, sondern vermöge seines „In-der-Welt-Seins“². Mit anderen Worten, über die Regeln und kausalen Zusammenhänge dieses Tuns, welche die Wissenschaftler aus ihrer vermeintlichen Exo-Perspektive bezüglich der zu beschreibenden Situation heraus aufstellen, ist sich der Handelnde selbst fast nie bewusst. Während Husserl der Meinung war, dass es diese Exo-Perspektive grundsätzlich gibt (Husserl 1996), ging sein Schüler Heidegger davon aus, dass man nie vollständig eine externe Sicht einnehmen kann, da der Wissenschaftler selbst immer schon vom Vorverständnis seines Daseins ausgeht und somit jede Beurteilung der kognitiven und intellektuellen Leistungen ein introspektives Moment besitzt.

Die Medizin ist eine ausgeprägte Erfahrungswissenschaft, die methodisch mehr als andere Naturwissenschaften auf die Statistik zurück greift. Statistik behandelt unterbestimmte Probleme, ist aber vor allem eine „anthropomorphe“ Methode³ in dem Sinne, dass sie unserer Unwissenheit über eine prinzipiell determiniert angenommene Natur Rechnung trägt. Die Statistik ist ein essentieller methodischer Bestandteil, der die Medizin, zusammen mit anderen Ingredienzien, zu einer evidenzbasierten Wissenschaft macht, wie man seit wenigen Jahren zu sagen pflegt (vgl. Sackett et

¹ Das Rückschlussprinzip findet auch in anderen Disziplinen Anwendung, hat aber dort nicht dieselbe epistemologische Tragweite.

² Oder Embodiments, wie man heute zu sagen pflegt, obwohl der Bezug zur Hermeneutik damit nicht immer explizit wird oder intendiert ist.

³ Die Wahl des Begriffes lehnt sich an die Aussage des bekannten Thermodynamikers E.T. Jaynes an, der die Entropie als „anthropomorphic entity“ bezeichnet (Jaynes 1964).

al. 2000). Aussagen über Hypothesen haben probabilistischen Charakter und zwar im Bayesschen Sinne. Die Wahrscheinlichkeit ist demnach ein subjektiver Glaubwürdigkeitsgrad einer Hypothese und unterliegt einer prozessualen Aktualisierung, als Resultat der individuellen Auseinandersetzung mit dem vorliegenden Problem.

Die für sinnvoll erachteten Methoden des Aktualisierungsprozesses haben sich zu Algorithmen für künstlich intelligente Systeme entwickelt, die nun in scheinbare Konkurrenz zum Menschen treten. Die operationale Hermeneutik versteht sich als Prozess der Überwindung der Spannung zwischen den vermeintlich disjunkten Kulturen „Interpretation“ und „Wissenschaft“⁴. Upshur (2003) spricht beim medizinischen Entscheidungsprozess von einer „dynamic tension between the 'art' and 'science' of medicine“ und dreht, ausgehend von der Rolle des Interpretationsprozesses in der Medizin, ganz im Sinne der operationalen Hermeneutik den Spieß um und plädiert für eine evidenzbasierte Hermeneutik. Mit anderen Worten: statt sich gegen die vermeintliche Konkurrenz zu wehren, sollten von den Kulturwissenschaftlern die neuen Technologien als Verbündete beispielsweise zur Generierung neuer Hypothesen betrachtet werden (Fellmann, 1999).

Möglicherweise gibt ein neuronales Netz einen Hinweis auf eine neue Interpretation als Basis einer erneuten performativen Auseinandersetzung. Durch die folgenden Überlegungen wird evident, dass vor allem die Bildwissenschaft profitieren kann.

Wir kommen auf die epistemologischen Fragen zurück, beziehen aber bei unseren Betrachtungen zunächst einen pragmatischen Standpunkt. Wir stellen uns zwei bildgebende Verfahren vor, die die Anatomie eines Patienten sichtbar machen – beispielsweise ein Röntgenbild und eine Tomographieaufnahme. Die Röntgenbildaufnahmen sollen wegen der Strahlenbelastung vermieden werden und daher erhebt sich die Frage, ob das Alternativverfahren mindestens die gleiche Aussagekraft hat. Üblicherweise geht man so vor, dass eine Gruppe von (sagen wir 50) Patienten und eine Gruppe (sagen wir ebenfalls 50) gesunder Probanden gewählt werden, die alle geröntgt werden und von denen man auch die alternative Aufnahme erstellt. Nun lässt man einen Arzt oder ein Ärztekollektiv anhand der Aufnahmen eine Diagnose erstellen. Dies führt zu einer wie in Abbildung 2 exemplarisch wiedergegebenen Tabelle, die als Screenshot aus einer Internetseite entnommen wurde (Bergmann 2004).

Nehmen wir an, der Arzt⁵ erkennt bei 45 Röntgenaufnahmen die vorliegende Krankheit in der Patientengruppe, dann erstellt er für die 45 Patienten einen richtigen und für die verbleibenden 5 Patienten einen falsch-negativen Befund. Der Anteil richtig diagnostizierter Patienten, $TP = 45/50 = 90\%$, heißt Sensitivität des Testverfahrens und sollte möglichst 100% betragen, was in praxi für keinen Test der Fall ist. Entsprechendes gilt für die Gesunden, die möglichst zu 100% einen negativen Befund haben sollten. Wir nehmen die realistische Zahl von 40 als gesund attestierten Probanden an und kommen auf den Anteil richtig negativer Resultate von $TN = 40/50 = 80\%$, der auch als Spezifität bezeichnet wird. Die selbe Vorgehensweise wenden wir auf die Alternativaufnahme an und ermitteln die entsprechenden Parameter. Die beiden Kenngrößenpaare können nun für einen Vergleich von Röntgenbild und Tomographieaufnahme heran gezogen werden. Auf welches Testverfahren die Wahl fällt, ist allerdings nicht nur von den Kenngrößenpaaren Spezifität und Sensitivität abhängig, sondern von Nebenwirkungen, Kosten und vielen weiteren Faktoren. Wir wollen dies an dieser Stelle nicht vertiefen, da die für die Hermeneutik entscheidenden Ingredienzien bereits durch Ermittlung und Vergleich der Kenngrößen gegeben sind.

⁴ Hier sind Wissenschaften gemeint, die einen Anspruch auf Objektivität erheben. Wir beziehen uns auf die im Angloamerikanischen häufig gebrauchte Wendung „art and science“, als die Pole der „two cultures“ (Snow, 1959).

⁵ oder das Ärztekollektiv im Mittel, was für den folgenden Gedankengang stillschweigend immer eine Alternative ist.

Wir begeben uns nun in die Arztpraxis und nehmen an, ein Patient lässt sich auf eine bestimmte Erkrankung hin untersuchen, wofür der Arzt eine Röntgenaufnahme erstellt. Nehmen wir weiterhin an, dass der Test positiv ausfällt, d.h., der Arzt auf der Aufnahme einen Hinweis auf die fragliche Erkrankung erkennt. Mit welcher Wahrscheinlichkeit ist der Patient wirklich krank? Dies ist durch den so genannten positiven prädiktiven Wert (PPW) gegeben, der sich aus den Wahrscheinlichkeiten für ein richtig-positives Resultat, TP, bzw. ein falsch-positives Resultat, FP, ergibt. Wesentlich ist, dass zur Berechnung des PPW der Anteil der Erkrankten in der Gesamtpopulation als *a priori*-Wahrscheinlichkeit, die auch als Prävalenz bezeichnet wird, bekannt sein muss. Es ist

$$\text{PPW} = \text{Sensitivität} * \text{Prävalenz} / (\text{Sensitivität} * \text{Prävalenz} + (1 - \text{Spezifität}) * (1 - \text{Prävalenz})).$$

Bei der Ausbildung zum Arzt bricht bei den Medizinstudenten regelmäßig eine lebhafte, mit Aversionen behaftete, Diskussion aus, wenn der obige Sachverhalt erläutert wird. Obwohl in den letzten Jahren durch eklatante Fehlentscheidungen bei der Behandlung von (vermeintlichen) Brustkrebspatientinnen und Herzerkrankten das Bayessche Kriterium sogar in manchen Nachrichtenjournalen erwähnt wurde (siehe z.B. Koch und Weymayr 2003), setzen sich die Ärzte viel zu wenig damit auseinander. Oft ist das Argument die angebliche Praxisferne. Tatsächlich stellt kein Arzt – und teilweise sogar nachvollziehbar, wie sogleich klar wird – eine Berechnung gemäß der obigen Formel für den PPW an und entscheidet darauf hin, was zu tun ist.

Für einen Test, der nicht auf dem Einsatz eines autarken Messgeräts oder Verfahrens mit quasi eindeutiger Ablesecharakteristik basiert⁶, also den Arzt als essentiellen Bestandteil hat, wie im Falle der Bildinterpretation, geben die charakteristischen Parameter in der Bayesformel ja gerade Aufschluss, wie oft der Arzt mit durchschnittlicher Erfahrung falsch entscheidet. Diese Parameter verbessert er im Laufe seiner Karriere sicherlich anhand der erworbenen Erfahrung. Von einem gewissenhaften Arzt würde man allerdings eine Reflexion des Bayesschen Verfahrens erwarten, was seiner Routine zuträglich wäre. Freilich, die unmittelbare Anwendung der Bayesformel zur Berechnung des positiven prädiktiven Wertes scheint fraglich, da der Arzt durch die dadurch mögliche Optimierung seiner Diagnose die charakteristischen Parameter in der Formel ad absurdum führen würde. Ohnedies würde nur ein unendlicher Regress entstehen, der dem kognitiven Interface-Problem anhaftet. Die Ermittlung der charakteristischen Testparameter in Anwendung auf den Arzt selbst macht nur retrospektiv und aus externer Sicht Sinn. Tatsächlich spiegelt sich ein adaptiver Prozess in dem Besagten wieder, den zu verstehen sowohl die Praxis als auch die philosophische Hermeneutik erheblich bereichern kann. Wir kommen darauf zurück.

Zunächst noch einmal der Hinweis, dass die Bayesformel eine *a priori*-Wahrscheinlichkeit enthält. Im ungünstigsten Falle würde man hier die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung in der Gesamtpopulation einsetzen. Nehmen wir an, dass 10% aller Männer an einer Herzinsuffizienz sterben, wie durch eine jahrzehntelange Dokumentation bekannt ist⁷. Ohne weiteres Wissen leidet also jeder zehnte Patient, der zum Arzt kommt, an einer Herzinsuffizienz. Der Arzt erstellt nun routinemäßig ein Belastungs-EKG, mit positivem Ausgang, der sich auf einem Display manifestiert. Er misstraut vernünftigerweise dem Ergebnis und könnte in die Bayesformel für den PPW die Parameter für das EKG und die Prävalenz von 10% einsetzen. Das wäre aber unklug. Er wird

⁶ was es in Reinform nicht gibt, da beispielsweise auch Lackmuspapier nie völlig eindeutig verfärbt und die von Messgeräten gelieferten Ergebnisse von der korrekten Handhabung abhängen, usw.

⁷ Das ist ein fiktives Beispiel. Meist wird statt der Prävalenz die so genannte Inzidenz angegeben, das ist die Anzahl (oder der Anteil) an Neuerkrankungen pro betrachtetem Zeitraum.

nämlich eine wesentlich größere *a priori*-Wahrscheinlichkeit einsetzen, wenn der Mann 65 Jahre alt und starker Raucher ist und charakteristisches Stechen in der Herzgegend hat. Er setzt einen kleineren Wert ein, wenn es ein kraftstrotzender 15jähriger Junge ist, der noch nie geraucht hat und regelmäßig Sport treibt. Diese Daten in Erfahrung zu bringen und in die Testsituation zu integrieren nennt man Anamnese – ein bereits bei Platon verwendeter Begriff für die angeborene Eigenschaft der Seele, sich aus einer Aporie herauszuwinden. Damit ist der Arzt noch viel stärker in den Prozess der Diagnostik verwickelt, als bis hier ausgeführt.

Im Falle einer Bildinterpretation durch den Arzt wird die Berechnung des PPW nahezu absurd. Beispielsweise leiden etwa 25% aller Kinder an der Scheuermannschen Krankheit, die oft schwer auf der Röntgenaufnahme zu entdecken ist. Hier wären die Testparameter relativ klein. Nichtsdestotrotz: Erkennt der Arzt auf der Aufnahme die (vermeintliche oder wirkliche) Wirbelerkrankung, dann wird er kaum diese Diagnose in Frage stellen, einen PPW berechnen und damit seinen eigenen erfahrungsreichen „gesunden Menschenverstand“ anzweifeln. Im Zweifelsfalle zieht er einen zusätzlichen anderen Test heran. Jedenfalls scheint das praktische Tun ohne Anwendung der Bayesformel auszukommen. Die Aversion gegen das Rückschlussprinzip scheint auch bei „objektiveren“ Fällen, bei denen Messgeräte benutzt werden, nachvollziehbar, da sich der Arzt als letztes Glied im Entscheidungsprozess immer involviert sieht und den Formalismus als Opponent seiner Expertise auslegt.

Hier knüpfen wir an die Frage an, inwiefern künstlich intelligente Systeme dem Menschen überlegen sein können. Nehmen wir im Sinne eines *advocatus diaboli* an, dass das Bayessche Prinzip die Diagnosesituation richtig erfasst, dann könnte man im Streben nach einer Objektivierung der Situation auf die Idee kommen, die Formel als Algorithmus zur Programmierung eines Expertensystems zu benutzen, das Urteile von Richtern und Diagnosen von Ärzten ersetzt. Im vorliegenden Fall der Röntgenbildanalyse könnte man versuchen einen strukturerkennenden Algorithmus auf die Röntgenaufnahme anzuwenden, um dann den PPW zu ermitteln und je nach Wahrscheinlichkeit eine adäquate Maßnahme einzuleiten – ganz ohne Subjektivität des Arztes. Ein Anliegen der evidenzbasierten Medizin liegt tatsächlich in einem Versuch, die klinische Praxis und Entscheidungsfindung zumindest teilweise zu algorithmisieren, weshalb ein immenser Aufwand betrieben wird und didaktisch elaborierte Nomogramme, Schautafeln und Tabellen erstellt werden, an denen die relevanten Werte bequem abzulesen sind. Zudem werden Datenbanken für immer mehr Krankheitsfälle und dem zugehörigen Datenaufkommen (wie z.B. Röntgenbilder) gefüllt, deren Inhalte mit dem vorliegenden Fall abgestimmt werden sollen, so dass auf der Basis eines gewissermaßen immer universelleren Wissens eine immer bessere Entscheidung getroffen werden kann. Im Grenzfall ließe das auf einen radikalen Positivismus hinaus.

In der Bildwissenschaft hat die Algorithmisierung noch nicht in diesem Maße Einzug gehalten, aber immer häufiger werden informationstheoretische Verfahren zur Strukturerkennung (z.B. semantische Segmentierung) eingesetzt, Komplexitätsmaße erstellt und Ähnlichkeitsbeziehungen ermittelt. Für den allgemeinen Fall bietet das Buch von Marchand-Maillet and Sharaiha (2000) einen Überblick und speziell für die Kategorisierung radiologischer Aufnahmen sei exemplarisch die Arbeit von Güld et al. (2004) erwähnt. Angestrebt ist die automatische und in Echtzeit verfügbare Klassifizierung von Bildern bzw. Taxonomie von Bilddatenbanken. Die Forschung und Technik im Dienste einer optimalen Kategorisierung von Datenbanken heißt „formale Ontologie“, d.h., dass offenbar auch namentlich versucht wird, an philosophische Probleme der Klassifikation und Taxonomie anzuknüpfen (Smith, 1995). Es gehört ausdrücklich zum Programm der evidenzbasierten Medizin, einen effizienten Zugang zur Information, insbesondere von

Bildmaterial, zu bieten. Man spricht von IRMA = Image Retrieval in Medical Applications.

Trotz aller Fortschritte der Algorithmisierung werden Kritiker berechtigt einwenden, dass letztlich der Anwender interpretiert und nicht etwa der Algorithmus selbst oder die Maschine, auf der er implementiert ist. Ungeachtet dessen gibt es eine plausible Beschreibung der menschlichen Kognition und der Handlungs- und Entscheidungsstrategien auf Basis der Bayesschen Statistik. Die folgende Äußerung in Form einer knappen Fußnote findet sich in einem Statistikbuch für Physiker (Eadie et al. 1971):

For the Bayesian the odds⁸ are the degree of belief in a hypothesis. The anti-Bayesian criticism is that all scientists will have different degrees of belief, and so the conclusion will be subjective. The Bayesian defence is that the odds should contain all hypotheses and all previous knowledge, and that if all scientists would pool their previous knowledge, they should be able to agree on a distribution for the odds.

Die Autoren geben also einen vagen Hinweis darauf, dass die Hypothesenbildung und deren Adaptation an neue „experimentelle Fakten“ und Beobachtungen einem Bayesianischen Prozess genügt. Sie nahmen auch das vorweg, was heute in der Medizin, wie bereits erwähnt, „evidenzbasiert“ genannt wird, also die Abstimmung mit dem kumulierten Vorwissen der Menschheit.

Neuerdings gehen die Kognitionsforscher noch weiter. Wie Gerd Gigerenzer (2000, 2001) ausführlich beschreibt und untersucht, ist bisweilen von einem Bayesschen oder statistischen Homunkulus im Gehirn die Rede, der gewissermaßen die Wahrscheinlichkeit für die Gültigkeit einer Hypothese berechnet und diese zur Grundlage des Entscheidungsprozesses macht, insbesondere wenn eine so genannte „beschränkt rationale“ Situation vorliegt, die durch eine unvollständige Information über den Sachverhalt gekennzeichnet ist, was die Regel und nicht die Ausnahme darstellt. Bei der Bewertung des Röntgenbildes im Hinblick auf die Scheuermannsche Krankheit war bereits die Rede von einer Unsicherheit, die den Arzt veranlasst, zusätzliche Verfahren zu bemühen. Liegt solch einer Entscheidung ein im Gehirn angelegter und ausgeführter Algorithmus zugrunde, der dem Bayesschen Entscheidungsverfahren zumindest verwandt ist? Vor einigen Jahren ist Robert Axelrod (1997, 2000) auf die Idee gekommen, ein Turnier von Entscheidungsalgorithmen zu veranstalten, die den Prototyp einer beschränkt rationalen Situation, das so genannte Gefangenendilemma, meistern sollten. Hierbei ist man sukzessive Entscheidungssituationen ausgesetzt, bei denen kooperiert oder nicht kooperiert werden kann. Stellt sich nach der Wahl der eigenen Strategie heraus, dass der Gegner kooperiert, dann erhält man, falls man selbst nicht kooperiert hat, maximale Punktzahl und man erhält eine mittlere Punktzahl, falls man selbst ebenfalls kooperiert hat. Keine Punkte erhält man, wenn man kooperiert und der Gegner sich für Nichtkooperation entschieden hat. Schließlich gibt es eine kleine Punktzahl für beide, wenn jeweils nicht kooperiert wird. Ziel ist, so viel wie möglich Punkte zu sammeln. Mit beachtlichem Erfolg schlug sich in einer ersten Turnier-Runde der Bayes-Algorithmus, mit dem offenbar eine recht präzise Vorhersage der nächsten gewählten Strategie des Gegners aus seinem bisherigen Verhalten ermittelt werden konnte. Gesamtsieger aber wurde das einfache „Tit-for-Tat“-Prinzip („Wie Du mir, so ich Dir“, d.h. im nächsten Schritt die vorhergehende Strategie des Gegners kopieren).

Der hier nun wesentliche Punkt ist, dass Axelrod ein zweites Turnier nach Analysemöglichkeit des ersten veranstaltete, so dass auf die gegnerischen Algorithmen reagiert werden konnte. Durch eine

⁸ Odds sind Chancen. Gemeint sind die Apriori-Chancen der Validität von Hypothesen.

hinzukommende Evidenz eine neue Entscheidungsgrundlage zu haben, sollte eigentlich bereits Bestandteil eines guten Algorithmus sein. Ein Teilnehmer kam nun auf die Idee, die Bayessche Vorhersage des Gegners zu benutzen, um die entsprechend optimale Gegenstrategie zu entwerfen. Bisher gibt es keine „Meta-Bayesschen-Algorithmen“, die ein gelegentliches Eingreifen intelligenter Wesen, d.h. diesen Adaptationsprozess, selbst vornehmen können. Dies zeugt nicht nur davon, dass das Bayesche Konzept letztlich ein retrospektives ist, in dem Sinne, dass es immer nur schon vorhandene Hypothesen zu überprüfen gestattet, sondern auch, dass sich die menschliche Intelligenz durch potentielle Komplexitätserhöhung auszeichnet. Dennoch – und das sei nochmal ausdrücklich betont – liefert die Auseinandersetzung mit den Entscheidungsalgorithmen Erkenntnis über unsere strategischen Vorgehensweisen und können als Werkzeug zur Navigation im Informationsraum zusammen mit dem interpretierenden Menschen hervorragende Dienste leisten.

Kehren wir zur (medizinischen) Bildinterpretation und zu ihren Tücken zurück. Wie bereits angedeutet, würde die Bildinterpretation zu individuelleren Kenngrößen führen als z.B. ein Messgerät, das eine eindeutige Zahl auf einem Display ausgibt, die jeder Arzt gleich abliest. Dort mag der Einfluss unsachgemäßer Handhabung des Messgeräts in einigen Fällen sogar vernachlässigbar sein, so dass der Test quasi an sich feste Kenngrößen besitzt. In aller Regel findet man aber für den Fall der Röntgenbildinterpretation ein an einem Ärztekollektiv ermitteltes Kenngrößenpaar zusammen mit einer durch die individuellen Unterschiede verursachte Varianz dokumentiert. Hier ist man von einer Automatisierung und potentiellen Objektivierung der Bildinterpretation z.B. durch strukturerkennende Algorithmen noch deutlich entfernt, da es derzeit keine zuverlässige Strukturerkennung gibt⁹. Dass Entwicklungen solcher Expertensysteme betrieben werden, erwähnten wir bereits oben, als die Rede von neuronalen Netzen, angereichert mit Bayesianischen Lernen, war. Neue Ergebnisse sind daher in Kürze zu erwarten.

Ein in der Praxis häufig wegdiskutiertes Problem stellt der so genannte „goldene Standard“ dar. Woher weiß man in der oben erörterten Studie zur Ermittlung der charakteristischen Testparameter, ob die 50 Patienten wirklich an der fraglichen Erkrankung leiden und die 50 Gesunden wirklich gesund sind? Man schenkt einem bestimmten Test – eben dem goldenen Standard – besonders großes Vertrauen. Während die Diagnostik, ja die Medizin im Allgemeinen, offensichtlich eine hermeneutische Wissenschaft ist, halten die meisten Physiker an der Objektivität ihrer Disziplin fest. Dennoch, in der Physik gibt es das so genannte Laplacesche Prinzip des maximalen Nichtwissens (auch selbstevidentes Prinzip des zureichenden Grundes genannt), demnach bei völliger Unwissenheit über das vorliegende System von einer Gleichverteilung der Möglichkeiten ausgegangen wird, d.h., dass alle potentiellen Möglichkeiten die gleiche Wahrscheinlichkeit haben. Wir erwähnten bereits E.T. Jaynes, der der Thermodynamik eine „anthropomorphe“ Qualität attestierte. Je mehr Evidenz für die Realisierung einer bestimmten Möglichkeit durch Experimente oder Beobachtungen vorliegt, desto größer wird deren Wahrscheinlichkeit. Die Werte von Makroobservablen der Physik sind daher an unser Wissen gebunden¹⁰. Wegen der zunehmenden Bedeutung von Computersimulationen und deren Visualisierungen erwarten wir über die Thermodynamik hinaus in nächster Zeit die wachsende Einsicht, dass auch die Physik interpretiert.

Wir sind in unserem medizinischen Beispiel immer nur von einer dichotomen Situation „krank/gesund“ ausgegangen. Dies ist nur ein Spezialfall, der aber wesentliche Eigenschaften enthält. Wir sehen von der Diskussion der allgemeinen hochdimensionalen diskreten und kontinuierlichen Fälle ab. Erwähnen möchten wir aber zumindest am Rande, dass sich das Problem

⁹ Zuverlässig im Sinne hoher Spezifität und Sensitivität.

¹⁰ Dies gilt auf jeden Fall für das Gibbs'sche Konzept. Ob das Boltzmann'sche Konzept, wie manche glauben, wirklich beobachterunabhängig, sei hier nicht weiter vertieft.

dadurch verschärfte, wenn noch nicht einmal die potentiellen Möglichkeiten klar wären. Man müsste in diesem Fall ein unbestimmtes Komplement zu den gegebenen bekannten Möglichkeiten einführen und mit einem Glaubwürdigkeitsgrad versehen. Möglicherweise hat der Zugriff auf diese Komplementärmenge an Möglichkeiten mit ad hoc-Vorgehensweisen und Heuristik zu tun.

Bereits in früheren Beiträgen haben wir auf die operationale Hermeneutik als performative Auseinandersetzung mit dem Interface hingewiesen (z.B. Diebner 2003). Im verbleibenden Teil dieses Artikels möchten wir von der oben diskutierten Entscheidungsstrategie ausgehend auf dieses Konzept zusteuern, in den Kontext von Interface-Design stellen und praktische Anwendungen diskutieren.

Zunächst halten wir nochmals die von Winograd und Flores 1987 diskutierte enge Parallele der philosophischen Hermeneutik von Heidegger und der autopoietischen Systemtheorie von Maturana und Varela fest. Die beiden Autoren zeigen nachvollziehbar auf, dass Heideggers Argumente einer Aufhebung der Subjekt-Objekt-Trennung durch das „In-der-Welt-sein“ dem Konzept der strukturellen Kopplung bei Maturana und Varela entspricht. Ein Gehirn ist ein dissipatives System. Es nimmt Energie von aussen auf, damit es funktioniert. Wesentlich aber ist, dass es auch wahrnehmen muss. Ohne Wahrnehmung setzen Halluzinationen ein und auf Dauer wird das Gehirn nachhaltig geschädigt. Ein Verständnis der Funktionsweise des Gehirns ist durch die Ausklammerung der wahrgenommenen Umgebung überhaupt nicht, unter ihrem Einbezug aber nur hermeneutisch möglich. Maturana und Varela kommen aus der Sicht ihres neurobiologischen Modells unabhängig von Heidegger auf einen analogen Schluss: „Jedes Tun ist Erkennen, und jedes Erkennen ist Tun.“ Der bei den beiden Biologen beschriebene performative Akt ähnelt frappierend exakt dem bei Heidegger beschriebenen: „Akte werden vollzogen, Person ist Aktvollzieher“ (Heidegger 2001, p48). Solange man nicht an einem intentionalen Handlungsbegriff festhält, können Ansätze der „performative studies“ bezüglich des Erkenntnisprozesses fruchtbar gemacht werden. Diese Zusammenhänge sprengen den Rahmen dieses Aufsatzes und werden an anderer Stelle vertieft. Hier ist für unseren Gedankengang der Vorschlag von Winograd und Flores, die Hermeneutik in Symbiose mit systemtheoretischen Ansätzen zu einer Optimierung von Design zu benutzen, wichtig. Von ganz besonderer Bedeutung für uns ist hierbei der Bereich des Interface-Designs, zu dem einige Beispiele folgen.

Wir begeben uns für eine erste, sehr gute Realisierung operationaler Hermeneutik auf die von Beat Döbeli Honegger gestaltete Internetseite (Honegger 2003). Man findet dort neben zahlreichen gut strukturierten und nützlichen Informationen zu Autoren und deren Werken die graphische Darstellung der Vernetzung zu anderen Autoren und Büchern. Die Autoren bzw. die Werke sind durch kreisförmige Knotenpunkte eines Netzwerks repräsentiert, verbunden mit Linien bzw. gerichteten Pfeilen, die Verweise und inhaltliche Beziehungen aufzeigen. Der Autor Terry Winograd, beispielsweise, hat eine Koautorenbeziehung zu Fernando Flores, gekennzeichnet durch eine fett gezeichnete Gerade zwischen den beiden, die Autoren repräsentierenden, Knotenpunkten (Abbildung 3). Man erkennt durch die eingezeichneten Pfeile die Beziehungsstruktur zu Francisco Varela, Humberto Maturana, Martin Heidegger und Hans-Georg Gadamer. Die Knotenpunkte stellen einen Hyperlink dar, der auf ein entsprechendes Beziehungsgeflecht führt, dass den angewählten Autoren nun in den Mittelpunkt eines Netzwerkes rückt. Ein analoges Netzwerk lässt sich für die Werke auf der Website abrufen, was zum Teil ungeahnte Beziehungen zutage bringt. Dargestellt ist in Abbildung 4 nur ein kleiner Ausschnitt aus dem von „Understanding Computers and Cognition“ ausgehenden Beziehungsgeflecht. Bereits ohne weitere Hilfsmittel aus der KI-Forschung lässt sich auf dieser Internetseite gewinnbringendes Kontextwissen generieren. Die Bereicherung der Hermeneutik ist evident. Die erwähnten Funktionen der Internetseite stellen nur

einen kleinen Ausschnitt ihrer Möglichkeiten dar. Man erahnt, welches Potential durch zusätzlich eingesetzte adaptive und kontextsensitive Kognitionssysteme frei gesetzt werden kann.

Es sei nicht verschwiegen, dass die im Jahre 2000 in „Wired“ vorgestellte (Silberman, 2000), von seinem Schöpfer Michael Lynch als revolutionär bezeichnete kontextsensitive data-mining Software „autonomy“ mittlerweile zusammen mit anderen Entwicklungen dieser Art in Verruf geraten ist, weil es – von „Informationsanbietern“ eingesetzt – den unwissenden Benutzer optimal zu manipulieren gestattet. Der „Sündenfall“ wird beinahe von Lynch selbst suggeriert¹¹:

Bayes gave us a key to a secret garden. A lot of people have opened up the gate, looked at the first row of roses, said, 'That's nice,' and shut the gate. They don't realize there's a whole new country stretching out behind those roses. With the new, superpowerful computers, we can explore that country.

Dieser Gefahr des missbräuchlichen Einsatzes bewusst, hoffen wir, durch unser eigenes Projekt „EyeVisionBot“ in Richtung harmonischen Umgangs mit Schnittstellentechnologien zu wirken (vgl. Abbildungen 5 und 6). Dieses, auf Blickerfassung beruhende Interface, lässt sich als adaptives Werkzeug für die Bildersuche in Datenbanken oder dem Internet und als Experimentiergerät einsetzen. Die Hardwarekomponente ist ein Blickerfassungsgerät, mit dem ermittelt werden kann, wohin der Anwender schaut. Diese Information dient zur Steuerung von Prozessen, für die man sonst die Maus oder die Tastatur benutzt, oder wird weiterer Analyse und Adaptation zugeführt. Als graphisches Interface benutzen wir eine flächendeckende Anordnung von Bildminiaturansichten zu einem rechteckigen Feld auf dem Monitor. Die Feldgröße beträgt im Beispiel (siehe Abbildung 5) 7*7 Bilder, kann aber an die Bildschirmgröße angepasst werden. Länger betrachtete Bilder „poppen“ nach einem zeitlichen Schwellenwert zu einer Großansicht auf (Abbildung 6). Die Betrachtungszeiten werden pro Bildkategorie kumuliert und zur Evaluierung eines Beliebtheitsranges der Kategorien benutzt. Beliebte Bilder werden in die Mitte des Feldes umsortiert und die äußeren, weniger beliebten, durch neue Bilder aus der Datenbank oder dem Internet ersetzt. Die Suchbegriffe für die neu hinzu kommenden Bilder werden hierbei aus den führenden Kategorien des Rankings entnommen. Eine allmähliche Häufung der gewünschte Bildkategorie ist die Folge. Es sei betont, dass diese Vorgehensweise nur einen Prototyp darstellt. Elaborierte Designs sind in Bearbeitung.

In unseren ersten Vorversuchen benutzten wir eine textbasierte „Kategorisierung“, wobei hier der Begriff „Kategorie“ nicht immer streng wissenschaftlich zu werten ist. Es werden Schlagworte benutzt, die im Falle von gut gestalteten Datenbanken auch mit Bildkategorien zusammen fallen können. Auch in proprietären Suchmaschinen gibt man zur Bildersuche ein Schlagwort ein, das in aller Regel Bilder liefert, die das Schlagwort im Dateinamen enthalten. Zusätzlich liefert die Schlagwortsuche Bilder, die in Seiten eingebettet sind, in denen das Schlagwort auftaucht. Darüber hinaus gibt es im zugrunde liegenden HTML-Skript der Internetseite enthaltene Schlagwörter und möglicherweise weitere Beziehungen, die bei proprietären Suchmaschinen nicht immer bekannt sind. Es handelt sich also um assoziative Muster, um Text-Bild-Beziehungen, die auch nach allen Regeln der Kunst erstellte Kategorien in Datenbanken sein können. Stereotyp durchnummerierte Bilddateien auf Seiten ohne Begleittext sind ohne Strukturerkennung im Bild schwer zu detektieren. Eine Erweiterung der schlagwortbasierten Bildersuche auf Strukturcharakteristika ist unerlässlich.

Eine detaillierte Beschreibung mit experimenteller Auswertung zu EyeVisionBot ist in Bearbeitung und würde den Rahmen des vorliegenden Überblicksartikel zur operationalen Hermeneutik

¹¹ Zitiert nach Silberman (2000).

sprengen. Wir beschränken uns hier auf einige wichtige zu untersuchende Punkte, zu denen erste Evidenz vorliegt. Erstens stellt man einen erheblichen Unterschied zwischen zwei grundsätzlich verschiedenen Arten der Rangermittlung fest. Kleinere Schwellenwerte, bei denen die Vergrößerungen der Miniaturbilder durchgeführt werden, sorgen für eine Gewichtung vorbewusster Mechanismen, während bei größeren Schwellenwerten zunehmend bewusste Entscheidungskriterien ins Spiel kommen. Dies wirkt sich auf die Balance rationaler und emotionaler Auswahlkriterien aus. Des Weiteren hängt die Gewichtung von Kategorien von der gebotenen Menge an Alternativen ab, und zwar die momentan auf dem Bildschirm als auch den im Zeitmittel dargebotenen. Die momentanen Untersuchungen zielen auf die Beantwortung der Frage ab, ob eine benutzer- und kontextabhängige Kategorisierung möglich ist. Auszuloten ist das Verhältnis der Gewichtungen vorgegebener und die durch das bewusste und vorbewusste Blickverhalten adaptierten Kategorien, sowie die Bewertung expliziter Wechselwirkungen anderer Art, wie z.B. Tastatur- und Mauseingaben.

Die Möglichkeiten digitaler Medien, aber insbesondere der Schnittstellentechnologien, lassen sich für den kritischen Geist äußerst gewinnbringend einsetzen. Aber auch um den Gefahren der digitalen Technologie gewachsen zu sein, ist eine Auseinandersetzung mit ihr unerlässlich. Peter Weibel spricht von einer „algorithmischen Revolution, die, ohne es zu bemerken, bereits stattfand“¹².

Danksagung:

Großer Dank gebührt Sebastian Fischer und Lasse Scherffig, den Programmierern und Designern des EyeVisionBot. Unser Dank gilt den Veranstaltern und Teilnehmern des Symposiums „Days of Future Past“.

Literatur:

Robert Axelrod (1997): *The Complexity of Cooperation: Agent-based models of Competition and Collaboration*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Robert Axelrod (2000): *Die Evolution der Kooperation*. Scientia Nova Oldenbourg. München.

Thomas Bayes (1763): *An essay towards solving a problem in the doctrine of chances*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 53, 370 – 418.

Helmar Bergmann (2004). *Bildgebende Verfahren III – Homepage des Instituts für Biomedizinische Technik und Physik, Medizinische Universität Wien*.

http://www.bmtp.akh-wien.ac.at/people/bergmann/bildgebende_verfahren.htm

Rico A. Cozzio-Büeler (1995): *The design of neural networks using a priori knowledge*. ETH Zürich, Diss. ETH No. 10991.

Hans H. Diebner (2003): *Operational Hermeneutics and Communication*. In: Hans H. Diebner and Lehan Ramsay, *Hierarchies of Communication*, ZKM Karlsruhe Germany.

Hubert Dreyfus (1979): *What computers can't do: The limits of artificial intelligence*. MIT Press

¹² Äußerung in einem persönlichen Gespräch zum Thema „Algorithmische Revolution“, einer im Herbst 2004 geplanten Ausstellung am ZKM.

USA.

Hubert Dreyfus (1991): *Being-in-the-World – A commentary on Heidegger's Being and Time*. MIT Press USA.

Hubert Dreyfus (1992): *What Computers still can't do: A critique of artificial reason*. MIT Press USA.

Beat Döbeli Honegger (2003): *Beats Biblionetz*. <http://beat.doebe.li/bibliothek/>

W. T. Eadie, D. Dryard, F. E. James, M. Roos, and B. Sadoulet (1971): *Statistical Methods in Experimental Physics*. North Holland, Netherlands.

Peter Erdi and Ichiro Tsuda (2002): *Hermeneutic approach to the brain: process versus device?*, *Theoria et Historia Scientiarum*, VI, 307 – 321.

Ferdinand Fellmann, Jean Grondin, Axel Bühler und Klaus Mainzer (1999): *Soll die Hermeneutik operationalisiert werden?* In: *Information Philosophie*, Heft 5, Seiten 110 – 119.

Michael Fortun and Herbert Bernstein (1998): *Muddling Through – Pursuing Science and Truths in the 21st Century*. Counterpoint Press.

Gerd Gigerenzer (2000): *Adaptive Thinking – Rationality in the real world*. Oxford University Press, USA.

Gerd Gigerenzer, Hrsg. (2001): *Bounded Rationality – The adaptive toolbox*. MIT Press, USA.

Göld MO, Schubert H, Leisten M, Plodowski B, Fischer B, Keysers D, Lehmann TM, Wein BB (2003): *Automatische Kategorisierung von medizinischem Bildmaterial in einen multi-axialen mono-hierarchischen Code*. In: Wittenberg T, Hastreiter P, Hoppe U, Handels H, Horsch A, Meinzer HP (Hrsg), *Bildverarbeitung für die Medizin 2003*, Springer-Verlag, Berlin, 2003; 388 – 392. (Siehe auch <http://libra.imib.rwth-aachen.de/irma>).

Hermann Haken (1983): *Synergetics – An Introduction*. Springer, Berlin.

Hermann Haken (1995): *Principles of Brain Functioning: A Synergetic Approach to Brain Activity, Behavior and Cognition*. Springer Series in Synergetics, Berlin.

Martin Heidegger (2001): *Sein und Zeit*. Max Niemeyer Verlag, Tübingen.

Edmund Husserl (1996): *Die Krisis der europäischen Wissenschaften und die transzendente Phänomenologie*. Felix Meiner, Hamburg.

Edwin T. Jaynes (1983): *Gibbs vs. Boltzmann entropies*. In: R. D. Rosenkrantz (Ed.): *Edwin T. Jaynes. Papers on Probability, Statistics and Statistical Physics*. D. Reidel, Dordrecht, Holland, Seiten 77 – 86.

Klaus Koch und Christian Weymayr (2003): *Vom Segen des Nichtwissens*. Die Zeit vom 04.09.03.

Ray Kurzweil (2000), *The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence*. Penguin, USA.

Humberto R. Maturana und Francisco J. Varela (1990): *Der Baum der Erkenntnis – Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Goldmann Verlag.

Stéphane Marchand-Maillet and Yazid M. Sharaiha (2000): *Binary Digital Image Processing: A Discrete Approach*. Academic Press.

Stefan Rieger (2003): *Kybernetische Anthropologie*. Suhrkamp, Frankfurt.

Otto E. Rössler (1998): *Endophysics – The World as an Interface*. World Scientific, Singapore.

David L. Sackett, Sharon E. Straus, W. Scott Richardson, William Rosenberg, and R. Brian Haynes (2000): *Evidence-based medicine*. Churchill Livingstone, Edinburgh.

Peter Schüler (2004): *Detektei Allwissend*. C't, Heft 8, Seite 86.

Steve Silberman (2000): *The Quest for Meaning: The world's smartest search engine took 250 years to build. Autonomy is here*. Wired. Siehe auch:
<http://www.wired.com/wired/archive/8.02/autonomy.html>

C.P. Snow (1959), *The two cultures*, Cambridge University Press, Cambridge UK, 1998 (Erstpublikation 1959).

Barry Smith (1995): *Formal Ontology, Common Sense and Cognitive Science*. *International Journal of Human-Computer Studies*, 43, 641-667. Siehe auch: <http://ontology.buffalo.edu/focscs.htm>

Ross E.G. Upshur (1999): *Priors and Prejudice*. *Theoretical Medicine and Bioethics* 20, 319 – 327.

Terry Winograd and Fernando Flores (1987): *Understanding Computers and Cognition. A New Foundation for Design*, Addison-Wesley.



Abbildung 1: Magnet-TV. Video-Installation von Nam June Paik, 1965.



Diagnostische Genauigkeit

Die Aussagefähigkeit eines Abbildungsverfahrens wird durch ihre *Sensitivität* und *Spezifität* bestimmt. Dies sind statistische Maßzahlen, die aus der Häufigkeit, mit der eine Diagnose richtig oder falsch unter Benützung eines bestimmten Verfahrens gestellt wird, berechnet werden.

Es besteht folgende Konstellation zwischen Krankheit und Ergebnis eines Befundes:

| | | Krankheit | | |
|------------|---------|------------------|---------------------|------------------------|
| | | vorhanden | fehlt | |
| Bildbefund | positiv | richtig pos (TP) | falsch pos (FP) | Summe positive Befunde |
| | negativ | falsch neg (FN) | richtig neg (TN) | Summe negative Befunde |
| | | alle Erkrankte | alle Nichterkrankte | Summe aller |

Damit lassen sich folgende für die Güte eines Tests wichtige Begriffe definieren:

Sensitivität = Wahrscheinlichkeit, daß Test bei kranken Personen positiv ausfällt:

$$\text{Sensitivität} = TP / (TP + FN)$$

Spezifität = Wahrscheinlichkeit, daß Test bei gesunden Personen negativ ausfällt:

$$\text{Spezifität} = TN / (TN + FP)$$

Die Sensitivität wird auch als true positive fraction (TPF), die Spezifität als true negative fraction (TNP) bezeichnet.

Abbildung 2: Bewertungsschema eines diagnostischen Testverfahrens (Screenshot aus Bergmann 2004).

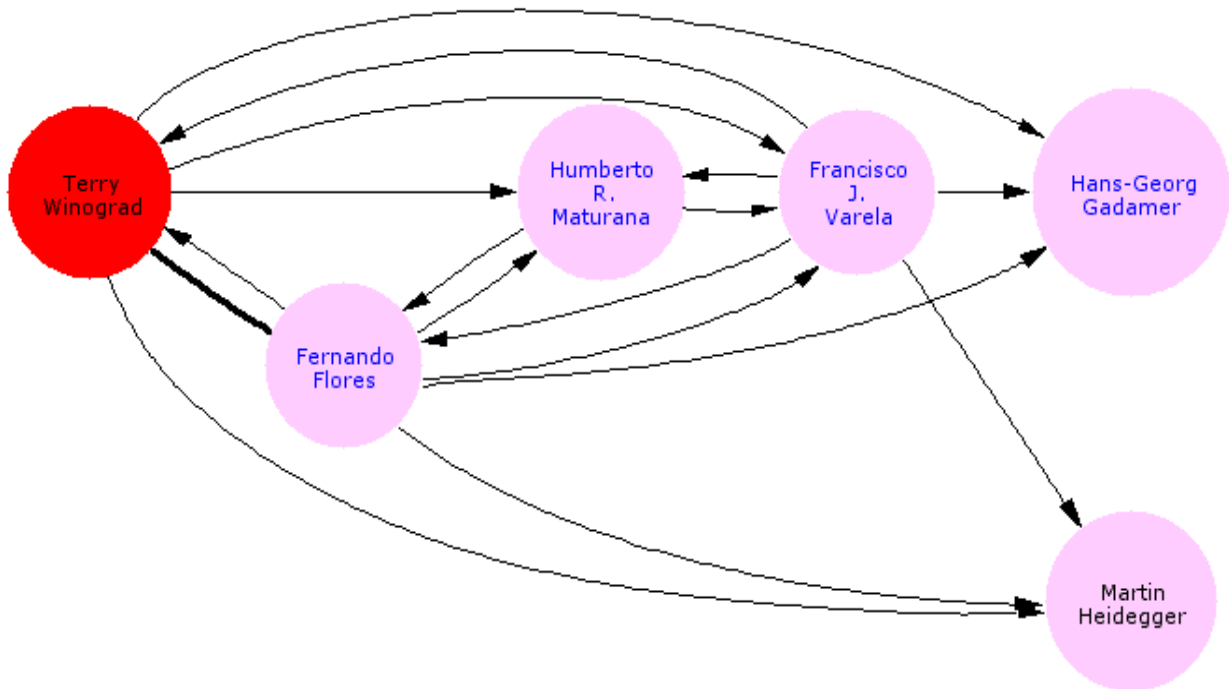


Abbildung 3: Beziehungsgeflecht des Autoren Terry Winograd zu anderen Literaten (Screenshot aus Döbeli Honegger 2003).

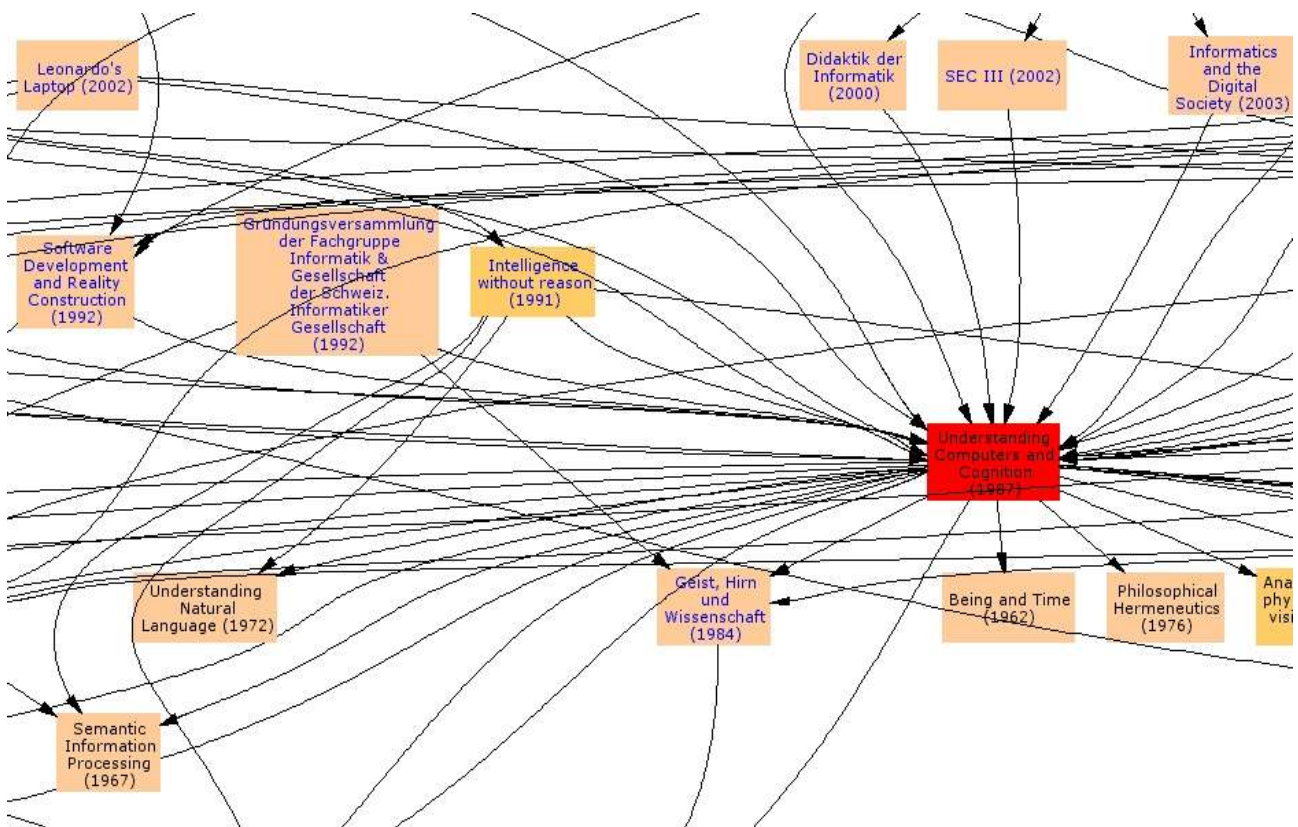


Abbildung 4: Beziehungsgeflecht des Buches „Understanding Computers and Cognition“ zu anderen Büchern (Screenshot aus Döbeli Honegger 2003).

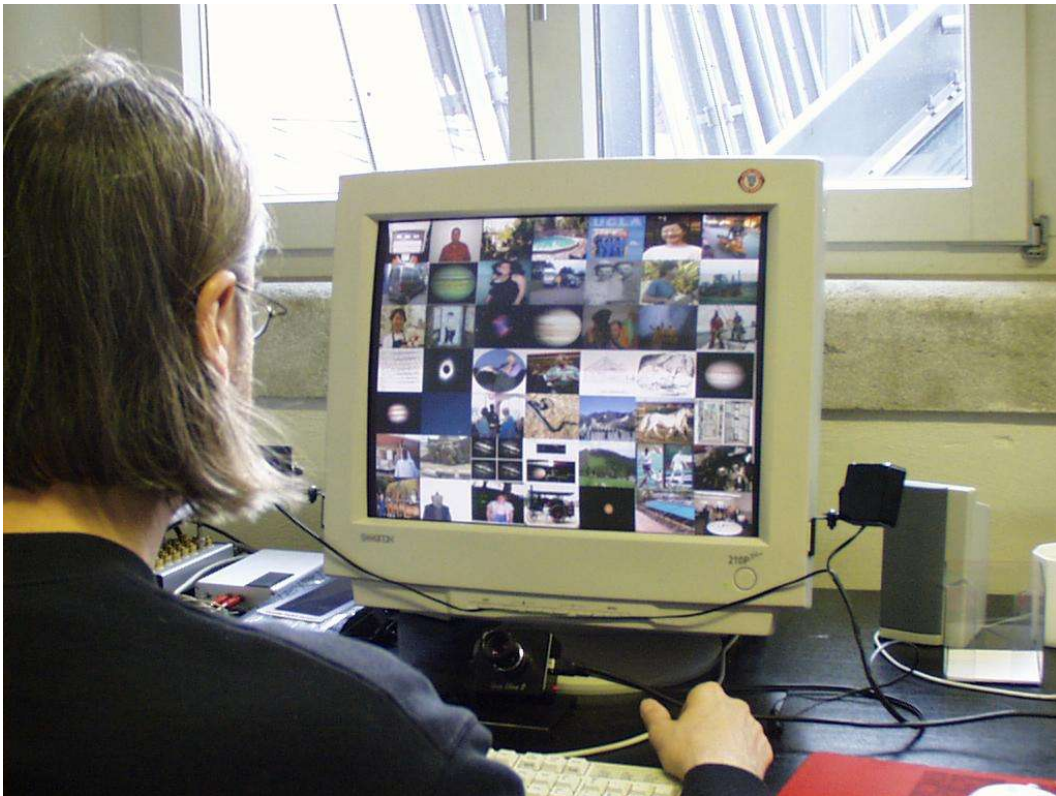


Abbildung 5: Projekt „EyeVisionBot“. Zu sehen sind die Teile des Blickerfassungsgerätes (Kamera vor dem Monitor, Infrarotscheinwerfer seitlich am Monitor) und das graphische Interface der Bildersuche. 7*7 Miniaturbilder, die Ergebnisse einer Bildersuche im Internet, sind zu einem Feld arrangiert.



Abbildung 6: Projekt „EyeVisionBot“. Nach längerer Betrachtungszeit eines Miniaturbildes poppt dieses auf die Originalgröße auf und der restliche Bildschirm wird dunkel getastet.