

Die Entdeckung der Wirklichkeit

Vortrag von H. Ernst im Sommer 2001 anlässlich des 15-jährigen Bestehens des Fachbereichs Informatik an der Hochschule Rosenheim

An dieser Stelle eines Vortrags steht normalerweise ein kurzer Inhaltsüberblick, damit sich die Zuhörer ein Bild davon machen können, was sie erwartet. Ich will dies heute nicht tun, weil ich glaube, dass es so spannender wird. Ich möchte meine Thesen, von denen einige vielleicht etwas provokativ sind, nicht vorwegnehmen.

Lassen Sie sich also überraschen!

Heute, am 15. Geburtstag des Fachbereichs Informatik, haben wir unsere drei besten Absolventen mit dem Rosenheimer Informatik-Preis ausgezeichnet. Sie haben eine Zukunft vor sich, die sie vielleicht jetzt schon in ihren Träumen gestalten, sich ausmalen. Wie wird unsere Welt aussehen, sagen wir in 25 Jahren, einem viertel Jahrhundert, wenn die drei ungefähr so alt sein werden, wie ich es jetzt bin. Die Begrenztheit des eigenen Verstandes wird unserer Fantasie Zügel anlegen, wir werden es nicht wissen können. Aber wir dürfen immerhin den Versuch einer Extrapolation wagen.

Präludium

Die Informatik hat heute Grundlagen-Charakter für unser Bildungswesen. Der Umgang mit Computern gehört zu den notwendigen Kulturtechniken, die erforderlich sind, um sich in der modernen Welt zurecht zu finden. Der Umgang damit wird zum Allgemeingut, dafür sorgen schon Computerspiele und Internet. Dies wird Schranken niederreißen und Berührungspunkte verdrängen, die heute in einem latent technikfeindlichen Umfeld zu beobachten sind.

Was heißt eigentlich „Wirklichkeit“?

Das Schlüsselwort dieses Vortrags heißt *Wirklichkeit*. Wir müssen uns fragen, was dieser Begriff allgemein und speziell in der Informatik bedeutet.

Wittgenstein definiert 1970 in seinem „Traktatus logico-philosophicus“:

„Die Welt ist die Gesamtheit der Tatsachen,... d.h. das Bestehen von Sachverhalten.
Das logische Bild der Tatsachen ist der Gedanke.
Die Gesamtheit der wahren Gedanken sind ein Bild der Welt.“

Als „wahr“ sind hier die mit den formalen Mitteln der Logik beweisbaren Sätze über die beobachteten Sachverhalte (Tatsachen) zu verstehen. Man beachte ferner, dass dadurch nur ein *Bild* der Welt, d.h. der Wirklichkeit definiert wird, keineswegs die Wirklichkeit selbst. Letztlich ist uns allen klar, dass jedes Wissen sich auf ein Welt-Bild stützt und subjektiv ist. Wie nahe man der Wirklichkeit kommt, ist letztlich eine Frage von Wahrscheinlichkeiten.

Wie stehen Informatiker dazu? Gerhard Goos schreibt im ersten Band seiner erfolgreichen Lehrbuchreihe „Vorlesungen über Informatik“ [Go00] auf Seite 12:

„Man hat zwei Ebenen zu betrachten:

Die *Wirklichkeit* der Welt mit Objekten, die Personen, Dinge, Abläufe und Beziehungen sein können, sowie ein *Modell* dieser Welt mit logischen Begriffen zur Beschreibung realer oder auch nur gedachter (abstrakter) Objekte sowie der Beziehungen zwischen ihnen.“

Man kann dies in Form einer einfachen Skizze veranschaulichen: Die Welt W zum Zeitpunkt t_1 wird durch eine Vorschrift f in ein Modell M abgebildet. Die betrachteten Aspekte der Welt verändern sich nun, während die Zeit von t_1 nach t_2 fortschreitet. Dies lässt sich durch eine

Abbildung w formalisieren. Das Modell M ist genau dann sinnvoll, wenn es die beobachteten Veränderungen, beschrieben durch eine Abbildung m , adäquat wiedergeben kann. Symbolisiert man das Hintereinanderausführen von Abbildungen durch das Zeichen „ \circ “, dann muss im Idealfall gelten:

$$f(t_1) \circ m = w \circ f(t_2)$$

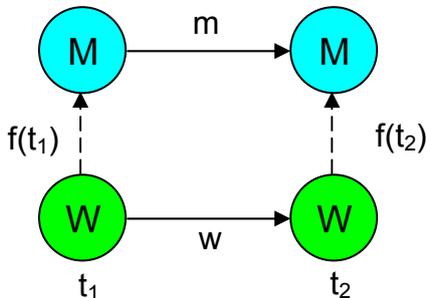


Abbildung 1:

Der zeitabhängige, funktionale Zusammenhang zwischen Modell und Wirklichkeit.

Modelle der Wirklichkeit kann man nutzen,

- um Einsichten in Vergangenes zu erlangen,
- um Bestehendes zu ordnen,
- vor allem aber um Aussagen über zukünftige Ereignisse zu machen.

Mit diesem Wissen kann man dann insbesondere steuernd in wirkliche Abläufe eingreifen – was wir ja auch reichlich tun.

In den Naturwissenschaften bezeichnet man solche Modelle als *Theorien*, die durch Experimente zu prüfen sind. In der Informatik spricht man von *Algorithmen* bzw. deren Implementierung in Form von *Computerprogrammen*.

Baut man beispielsweise eine Brücke, so geht man bei der Konstruktion von einem Modell der Brücke aus. Dabei werden Vereinfachungen und Abstraktionen verwendet, die ein möglichst einfaches Vorhersagen des zukünftigen Verhaltens erlauben. Man erwartet jedoch, dass alle wesentlichen Aspekte korrekt erfasst werden, dass also beispielsweise die Statik der Brücke durch das Modell so exakt wiedergegeben wird, dass in der Wirklichkeit „nach menschlichem Ermessen“ keine Probleme auftreten werden. Eine Restunsicherheit bleibt jedoch, und gerade dies begründet letztlich auch die *Verantwortung* des Informatikers für sein Tun. Man erkennt an diesem Beispiel ferner, dass der Prozess der Modellbildung mehrstufig sein kann. So werden die erforderliche Mathematik und die zu Grunde liegenden physikalischen Gesetze, hier insbesondere die der Gravitation, der Wirklichkeit zugerechnet, obwohl letztere genau genommen ebenfalls nichts anders sind als ein Modell.

Im folgenden Abschnitt möchte ich Ihnen in einigen Szenen ausmalen, wie die gegenwärtige Entwicklung unser Verständnis von dem hier skizzierten Begriff der Wirklichkeit in Frage stellt.

Erste Szene: maschinelle Intelligenz

Allem Anschein nach sind *Intelligenz*, *Bewusstsein* und eigenständiges Verhalten automatische und emergente Eigenschaften hochkomplexer, integrierter, lebender Systeme.

Neben der Intelligenz gilt auch die Fähigkeit zur *Selbstreproduktion* als eine Eigenschaft des Lebens. Längst schon wurde (durch John von Neumann um 1950) gezeigt, dass der Entwurf selbstreproduzierender Automaten möglich ist. Dies gilt erst recht für Computerprogramme und für dadurch gesteuerte Systeme. Die Fähigkeit zur Selbstreproduktion ist also keineswegs auf biologische Lebewesen beschränkt.

Man kann erwarten, dass sich die Aktivitäten der Systeme Computer und Mensch zunehmend überlappen werden. Nach Meinung zahlreicher Experten wird dies so weit gehen, dass Computer in praktisch allen Bereichen menschliche Fähigkeiten simulieren, erreichen und übertreffen können. Schon heute sind Computer längst so komplex, dass sie nur mit Computer-Hilfe verstanden werden können.

Bereits seit den Arbeiten von Alan Turing um 1950 ist die sich mit solchen Fragen befassende *Künstliche Intelligenz* (KI) oder *Artificial Intelligence* (AI) ein wichtiges Arbeitsgebiet der Informatik, das besonders durch Marvin Minsky und John McCarthy beeinflusst wurde. Ohne näher auf Details einzugehen, seien hier einige Schlagworte genannt, die in der KI-Forschung eine wichtige Rolle gespielt haben bzw. noch spielen:

- Turing-Test und Searles Zimmer als „Prüfstein“ für maschinelle Intelligenz
- Theorie der Algorithmen und der Berechenbarkeit
- Selbstreproduzierende Automaten
- Gödelsches Theorem
- Neuronale Netze, Fuzzy-Logic und Evolutions-Strategien mit Zufalls-Komponenten
- Chaostheorie und Selbstorganisation

In vielen Bereichen wurden mittlerweile große Fortschritte erzielt, auf deren Grundlage man mit einiger Sicherheit in die Zukunft extrapolieren kann:

Expertensysteme und Agenten

Expertensysteme sollen Spezialwissen menschlicher Experten speichern und bei der Problemlösung zur Verfügung stellen. Simple Programme wie die legendäre *Eliza* erregten bereits 1966 die Gemüter. Heute sind *Expertensysteme* als Werkzeuge in vielen Anwendungsgebieten in Gebrauch. Eine Weiterentwicklung sind *Agenten* (*Agents*), die über Interaktionsmöglichkeiten verfügen und selbständige Entscheidungen treffen können.

Logische Programmierung und maschinelles Beweisen

Schon seit Jahrzehnten werden mit KI-Sprachen wie LISP und PROLOG Probleme angegangen, die sich durch logisches Schließen lösen lassen. Die Euphorie der 80er Jahre ist zwar verflogen, doch in aller Stille hat man beachtliche Erfolge erzielt. So gelang kürzlich am Argonne National Laboratory (wo ich selbst auch zwei Jahre tätig war) mit Hilfe eines *Theorem-Provers* der Beweis von „Robbins Vermutung“. Es ist dies ein Problem der Boole'schen Algebra, an dessen Lösung Mathematiker vor dem Durchbruch in Argonne 60 Jahre lang vergeblich gearbeitet hatten.

Mustererkennung in Bild- und Sprachverarbeitung

Programme zur Mustererkennung mit Hilfe der digitalen Bildverarbeitung sind längst vergleichbaren menschlichen Fähigkeiten überlegen. Zahlreiche industrielle, medizinische und (leider auch) militärische Anwendungen zeugen davon.

Programme zur Simulation spezieller Fähigkeiten, beispielsweise Schachprogramme

Schachweltmeister Kasparov verlor gegen das Schachprogramm *Deep Blue* und bescheinigte der Maschine konsterniert eine „fremdartige Intelligenz“. *Deep Blue* übersteigt menschliches Maß bei weitem, allerdings nur spezialisiert auf das Schachspiel.

Für viele Menschen ist schon die Frage, ob es einen prinzipiellen Unterschied zwischen menschlicher und maschineller Intelligenz gibt, ethisch nicht vertretbar. Auch erscheint ein unberechenbar rechnender Computer vielen als eine gefährliche Vorstellung. Maschinelle Intelligenz wird der menschlichen in der Tat fremd sein, mehr als Menschen untereinander fremd sind, die immerhin biologische Bedürfnisse miteinander teilen. Andererseits müssen wir aber schon immer damit leben, dass auch Menschen unberechenbare Seiten haben – die davon ausgehenden Gefahren sind uns allen nur zu bekannt.

Ein prominenter Vertreter der KI-Forschung, Prof. Hans Moravec von der Carnegie Mellon University schreibt [Mor98], dass bei einer Leistungsverdopplung pro Jahr zwischen 2020 und 2030 Standard-Computer rein technisch die Rechenleistung eines menschlichen Gehirns erreichen werden. Er geht dabei davon aus, dass die Rechenleistung eines aus ca. 100 Milliarden Neuronen bestehenden biologischen Gehirns der eines Computers entspricht, der ca. 100 Mio. MIPS verarbeiten kann und über eine Speicherkapazität von ca. 100 Mio. MByte verfügt. Neue Ansätze wie optische, molekulare und Quanten-Computer könnten diesen Trend noch beschleunigen. Die folgende Grafik verdeutlicht dies. Von Hans Moravec stammt auch der Satz:

”Artificial Reality” may be an even more profound concept than “Artificial Intelligence”.

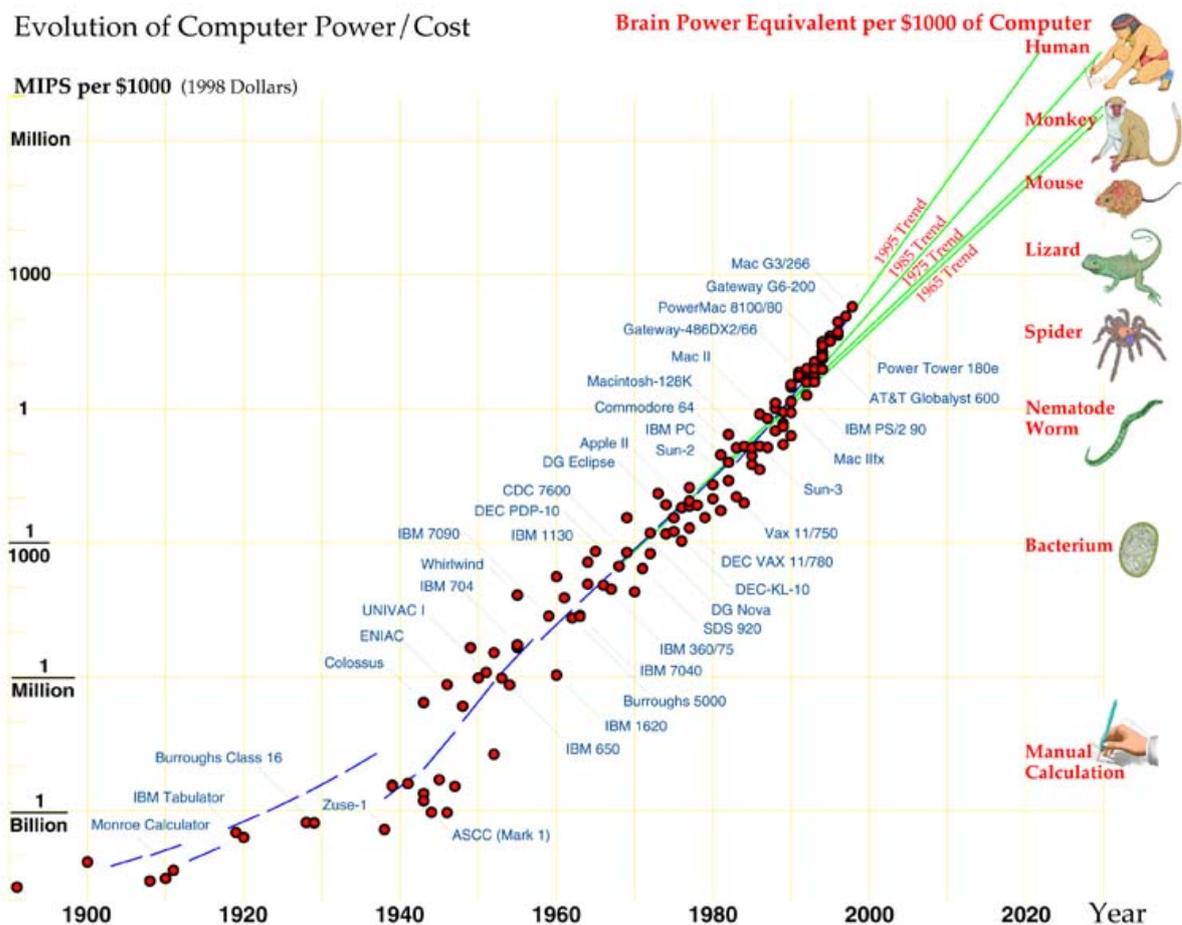


Abbildung 2: Die extrapolierte Rechenleistung von Standard-Computern bis ins Jahr 2020.

Zweite Szene: Das Netz

Die Entwicklung des Internet

Der Mensch beginnt sein Wissen in einem gewaltigen Speicher mit allgegenwärtigem Zugriff über ein globales Netz zu organisieren. Die Entwicklung des *Internet* gibt eine erste Vorstellung davon.

Eine frühe Vision zum Thema Internet stammt von Vannevar Bush, der 1948 in seinem viel beachteten Artikel „as we may think“ ein von ihm als *Memex* bezeichnetes Informations-Management-System beschrieb. Die technischen Anfänge gehen auf das ARPA-Netz zurück und waren zunächst militärisch und wissenschaftlich geprägt. 1992 entstand der populärste Teil des Internet, das *World Wide Web* (WWW). 1993, als der erste Web-Browser Mosaik erhältlich wurde, begann der Siegeszug des Internet. Im Jahr 2000 waren bereits über 120 Mio. Rechner im weltweiten Netz miteinander verbunden.

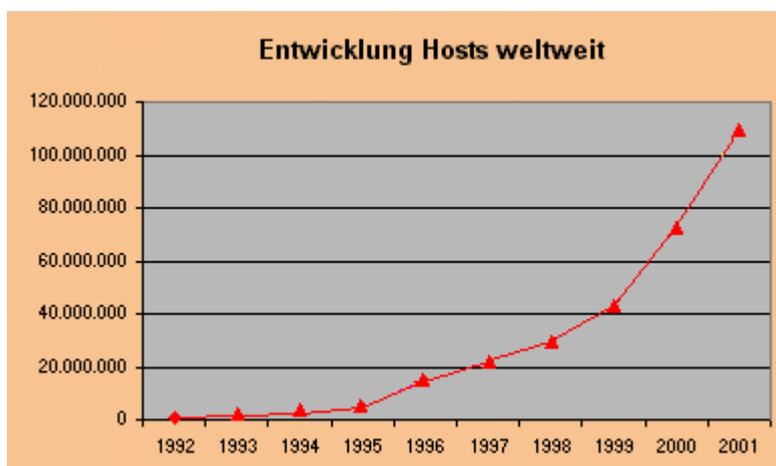


Abbildung 3:

Die Entwicklung der Anzahl der Host-Rechner im Internet.

Der leistungsfähigste Rechner der Welt: Das Internet

Bemerkenswert ist das 1999 durch die University of Berkeley gestartete Projekt [SETI@home](#). Dabei geht es um die Suche nach Signalen in Daten von Radioteleskopen, die als Nachrichten außerirdischer Lebewesen deutbare Muster zeigen.



Abbildung 4: Der Rechnerverbund im Internet bildet den größten Rechner der Welt, der besonders zur Lösung teilbarer Aufgaben geeignet ist. Ein Beispiel ist die Suche nach Signalmustern in Daten von Radioteleskopen.

Die ungeheure Datenflut der Radioteleskope ist von einzelnen Großrechnern nicht zu bewältigen. Den größten Rechner der Welt formen die im Internet miteinander verbundenen Rechner. Daher liegt es nahe, die zu verarbeitenden Daten in Hunderttausende von Paketen zu verteilen, dezentral auf den angeschlossenen Rechnern verarbeiten zu lassen und die Ergebnisse in einer Zentrale zusammenzufassen. Die Auswerteprogramme laufen dabei, ohne den Benutzer in seiner normalen Tätigkeit zu behindern, als Bildschirmschoner. Dies ist nur ein Beispiel, das Schule machen wird. Man kann erwarten, dass in Zukunft immer mehr Aufgaben dezentral im Internet bearbeitet werden.

Dritte Szene: Die totale Kommunikation

Der Beginn des Informationszeitalters

Handys sind eine Landplage geworden, in Kindergärten sollen sie verboten werden, hörte ich. Die persönliche Erreichbarkeit zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort der Erde ist heute schon nur noch eine Frage des Preises. Es geht hier wirklich um einen Massenmarkt: In 2001 verfügten bereits mehr als 200 Millionen Menschen über ein Mobiltelefon.

Nach langen Jahren getrennter Entwicklung war gegen Ende der 80er Jahre ein starker Trend zu einer Annäherung der Bereiche Telekommunikation, Medien und Computer zu beobachten. Wegen ihrer teilweise parallelen Zielsetzungen und gemeinsamen technologischen Basis sind diese Gebiete mittlerweile zur *Informationstechnik (Information Technology, IT)* zusammengewachsen. Die Möglichkeiten der Generierung, Speicherung, Auffindung, Übermittlung und Darstellung von Informationen jeglicher Art in einer auch hohen Ansprüchen genügenden Geschwindigkeit und Qualität, haben unsere Welt inzwischen bereits derart geprägt, dass man mit Recht vom Beginn des *Informationszeitalters* sprechen kann.

Mit neuer Technik ins Netz

Mit neuen Techniken wie GPRS und erst recht UMTS wird die Bandbreite, also die pro Zeiteinheit übertragene Informationsmenge, bis zu 200 mal so groß sein wie bei herkömmlichen Handys. Ab 2002 wird dann die Übertragung von Bildern und damit ein schneller Internet-Zugang kein Problem mehr darstellen, so dass die bislang verwendete unbefriedigende WAP-Technik abgelöst werden kann. Dazu kommt, dass UMTS mit niedrigeren Sendeleistungen arbeitet und ohne Pulsung auskommt, so dass geringere biologische Effekte zu erwarten sind als mit der alten Technik.

Es ist abzusehen, dass sehr bald in multifunktionalen Kommunikatoren Handys, Organizer und Palm-Tops mit permanentem E-Mail und Netzzugang integriert werden.

Ein weiterer Trend ist die zunehmende Miniaturisierung, der natürlich der Wunsch nach einem großen Bildschirm entgegensteht. Der in eine Brille integrierte mobile Kommunikator mit direkter Bildeinspiegelung in die Retina ist keine Utopie mehr.

Weltweite Kommunikation für Jedermann sowie auf exakte Positionserfassung bietet die *Satellitenkommunikation* mit verbesserten GPS-Verfahren, die ebenfalls Bestandteil von Handys sein werden.



Abbildung 5:

Die UMTS-Handys machen den Internet-Zugang mobil. Da nun Bilddaten effizient übertragen werden können, ist der vergleichsweise große Bildschirm ein wesentliches Design-Element.

Die totale Überwachung

Zur totalen Kommunikation gehört auch die totale Überwachung. Ein Beispiel dafür ist *Echelon*, das seit Ende des zweiten Weltkriegs aufgebaute, weltumspannende Abhörsystem der amerikanischen Geheimdienstbehörde NSA und der Britischen Organisation GCHQ sowie weiterer Partner [Ruh98], [Pat00]. E-Mails und andere elektronische Nachrichten sind für die Augen von Spionen so offen wie die ersten telegrafischen Nachrichten.



Abbildung 6:

Die Echelon-Station in Bad Aibling, ein unübersehbares Symbol der weltweiten Überwachung, wird demnächst geschlossen.

Daraus hat sich lange vor dem Internet das erste internationale Wide Area Network auf Basis der amerikanischen und britischen Militärkommunikationssatelliten und Unterseekabelverbindungen (Milstar und Skynet) entwickelt. Erst Mitte der 90er Jahre wurde das öffentliche Internet größer als dieses militärische Netz.

Auch nach dem Ende des kalten Krieges sind nach wie vor für jedes Land der Erde geheimdienstliche Informationen von Interesse. Natürlich, wenn auch immer wieder dementiert, spielt dabei auch Industrie- und Wissenschaftsspionage eine große Rolle.

Zur Bewältigung der Datenflut werden bei der Abhörung Filter verwendet, die bestimmte Wörter in gesprochener Form oder als Text erkennen oder bestimmte Sprecher identifizieren und Bilder erkennen. Die Routine-Statistik für typische Spionage-Analysesysteme besagt, dass in einer halben Stunde etwa eine Million Inputs generiert werden; Filter sortieren bis auf 6.500 Inputs alles aus; etwa tausend Inputs entsprechen den nachgeschalteten Auswahlkriterien; zehn Inputs werden normalerweise von Analysten aussortiert und nur ein Bericht wird produziert.

Von wesentlichem Interesse sind dabei *Verschlüsselungsverfahren*. Hier ist es Amerika dank seiner wirtschaftlichen und militärischen Vormachtstellung bislang immer gelungen, die Etablierung von Verfahren zu verhindern (etwa durch Begrenzung der Schlüssellängen), die durch die NSA-Computer nicht entschlüsselt werden können.

Die Methoden ändern sich im Laufe der Zeit, so spielt die Überwachung des Funkverkehrs heute eine geringere Rolle als früher. Große Anlagen, wie etwa die Echelon-Station in Bad Aibling, werden durch kleinere, mobile Stationen ersetzt. Die Überwachung wird damit unsichtbar und aus dem Bewusstsein der Menschen verdrängt.

Da effektive Schutzmaßnahmen im großen Stil kaum durchsetzbar sein werden, dürften Echelon oder ähnliche Systeme auf Dauer zu unseren ständigen Begleitern gehören. Man wird sich damit zufrieden geben müssen, einigermaßen sichere, räumlich und zeitlich begrenzte Enklaven zu schaffen.

Vierte Szene: Mensch und Maschine

Schon immer hat der Mensch versucht, seine Wahrnehmung zu verstärken. Schon immer hat dies auch unsere Vorstellung von der Realität teilweise radikal verändert.

Eine Schnittstelle zur Natur: Das Sehen

Nehmen wir als Beispiel das *Sehen*. Ohne eine *Brille* als Wahrnehmungsverstärker könnte ich beispielsweise nicht Auto fahren. Weitere Einsichten ermöglicht das *Mikroskop*. Unsere Wirklichkeit wurde mit der Erfindung des Mikroskops um eine für das bloße Auge unsichtbare Welt erweitert. Denken Sie an die Entdeckung der Mikroben, oder an die Brown'sche Bewegung, die Anlass zur statistischen Deutung der Thermodynamik war und zum ersten Angriff des Zufalls auf die Kausalität führte. Beugungseffekte und die Quantennatur des Lichts beschränken die erreichbare Vergrößerung von Lichtmikroskopen auf etwa den Faktor 1000. Doch eben diese Quanteneffekte erlauben die Konstruktion von Elektronenmikroskopen und weiteren Apparaten, mit welchen man selbst einzelne Atome sichtbar machen kann. Doch inwieweit beschreibt dieses „Sichtbarmachen“ durch gemessene und visualisierte Konturen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Elektronen in der Atomhülle noch dieselbe Wirklichkeit, die wir mit unseren Augen sehen? Inwieweit beschreiben Quantenphysik und Relativitätstheorie, die sich trotz aller Erfolge in der Praxis unserer Vorstellungskraft entziehen, die Wirklichkeit?

Makroskopische Größen wie Form und Farbe haben in dieser physikalischen Sicht der Wirklichkeit längst ihre Bedeutung verloren: ein Atom hat keine Farbe.

Als ultimative Mikroskope gelten heute kilometergroße Beschleunigeranlagen, etwa CERN bei Genf oder Fermilab bei Chicago. Man untersucht dort Elementarteilchen, die nur mit Computerhilfe als flüchtige Resonanzen überhaupt darstellbar sind und teilweise nicht einmal mehr das Kriterium der Raumerfüllung aufrechterhalten. Und doch ist daraus unsere Welt geformt.

Dieses Beispiel aus meinem früheren Leben zeigt, dass für Physiker die gelegentliche Neudefinition dessen, was wir als Wirklichkeit bezeichnen, weit unproblematischer ist als für Ingenieure, und zu diesen rechne ich die Informatiker hinzu.

Konventionelle Mensch/Maschine-Schnittstellen

Worum es hier geht und wofür eine simple Brille als erstes Beispiel stand, sind *Mensch / Maschine-Schnittstellen*. Man versteht darunter die technische Erweiterung unserer Sinne und die Anbindung unserer Sinnesorgane an Computer-Systeme, um mit diesen möglichst direkt zu kommunizieren und zu interagieren. Über die heute üblichen, per Mausklick bedienbaren, grafischen Benutzeroberflächen hinaus gehören mittlerweile auch fortschrittlichere Kommunikationsmethoden zum Stand der Technik, so beispielsweise:

- Sprachsteuerung
- Handschrifterkennung
- Gestensteuerung
- Head-Tracking und Eye-Tracking
- Sprachausgabe
- Einspiegeln von Bildern in die Retina
- In Brillen und Helmen integrierte Kommunikationssysteme
- Datenhandschuhe und Datenanzüge

Zum Thema Gestenerkennung wird auch in unserem Rosenheimer Informatik-Labor gearbeitet.



Abbildung 7: Datenhelm zur stereografischen Visualisierung virtueller Welten und Datenhandschuh zur Erfassung von Lage und Ausrichtung der Hand und der Finger [5dt01].

Fünfte Szene: Biologische Schnittstellen

Über die oben beschriebenen technischen Schnittstellen zwischen Menschen und Computern wird mit *Bio-Schnittstellen*, wirkliches Neuland betreten. Kennzeichnend ist, dass ein direkter Kontakt zwischen Nerven bzw. Gehirn und dem Rechner entsteht.

Erfassung von EEG-Signalen

Das einfachste Beispiel ist die *Brain-Mouse*: durch etwas Bio-Feedback-Training kann man mit diesem *mentalen Interface* über per Hautelektrode abgegriffene EEG-Signale einen Cursor über den Bildschirm steuern und Ereignisse auslösen. Bei der Firma Brain Actuated Technologies ist das Produkt *Cyberlink* für ca. 2000,- \$ erhältlich [Br01]. Cyberlink besteht aus einem am Kopf zu tragenden Band mit Hautelektroden. Die aufgenommenen EEG-Signale eines bestimmten Frequenzbereichs werden digitalisiert und an die serielle Schnittstelle des Computers angeschlossen. Die Hauptanwendung von Cyberlink ist eher im Bereich Spiel & Entertainment anzusiedeln, doch kommen vergleichbare Techniken mehr und mehr auch als Kommunikationshilfe für Behinderte infrage.



Abbildung 8:

Die behinderte Theresa kommuniziert mittels Cyberlink mit einem Computer.

Direkte Verbindung mit Nerven

Cyberlink ist zwar billig, aber auf einfachste Anwendungen beschränkt und stör anfällig. Für bessere Ergebnisse ist ein direkter Kontakt mit den menschlichen Nervenzellen erforderlich. An zahlreichen Instituten wird auf diesem Gebiet intensiv geforscht und entwickelt.

Zu nennen ist hier Prof. Kevin Warwick, der Leiter des Cybernetics Department der University of Reading in Großbritannien. Er plant Chip-Implantate und eine direkte Verbindung zwischen Nervensystem und Rechner. Es soll erforscht werden, inwieweit nach einer Lern- und Adaptionsphase des Gehirns auf diese Weise ein sinnvoller Informationsaustausch mit Computern realisiert werden kann, beispielsweise zur Kontrolle von Gliedmaßen. Als nächster Schritt ist vorgesehen, auf diese Weise nicht nur mit Computern, sondern auch mit anderen Menschen in direkten Kontakt zu treten [Wa01].



Abbildung 9:

Prof. Ken Warwick mit dem einzupflanzenden Chip in seiner Hand.

Hirn-Implantate

Auch *Hirn-Implantate* wurden bereits erfolgreich an vollständig paralysierten Personen getestet, die auf diese Weise mit ihren Gedanken einen Computer steuern können und so wieder Zugang zur Welt finden: „If you can run a computer, you can talk to the world“. Derartige Forschungen finden beispielsweise unter der Leitung von Prof. R. Bakay an der Emory University in Atlanta statt [Ba01]. Dort wurden einige kleine Glasröhrchen direkt in aktive Zentren des für motorische Funktionen zuständigen Cortex-Bereichs eingepflanzt und mit Elektroden verbunden. Mit Hilfe von körpereigenen Substanzen zur Förderung des Zellwachstums gelang eine direkte Verbindung der Nervenzellen mit den Elektroden.

Durch Zusammenfassen zahlreicher derartiger Sensoren zu *Neurochips* wird in Zukunft eine komplexe mentale Kommunikation möglich sein. Allerdings sind die entsprechenden Forschungen noch in den Kinderschuhen, so dass man auf Gedanken lesende Computer und computergestützte mentale Kommunikation von Mensch zu Mensch und zwischen Mensch und Computer noch einige Jahrzehnte warten müssen.

Hören und Sehen

Die direkte Übertragung akustischer Signale auf den menschlichen Hörapparat ist bereits in einem fortgeschrittenen Stadium. In vielen Fällen kann damit die Hörfähigkeit von Patienten verbessert werden. Eine weit größere Herausforderung ist jedoch die Konstruktion einer *künstlichen Retina*. Erste Erfolge mit lichtempfindlichen CCD-Sensoren, die anstelle einer zerstörten Netzhaut implantiert werden können und über elektrische Impulse den Sehnerv stimulieren, wurden bereits erzielt. [GI01].

Zahlreiche Einsatzmöglichkeiten liegen auf der Hand. Hier nur ein Beispiel: durch Verbindung von Telekommunikationstechnik mit implantierten Neurochips könnten – sagen wir bis 2030 – Bilder, die andere Menschen sehen, direkt und ohne weitere Hilfsmittel in das visuelle System anderer Menschen übertragen werden. Stellen Sie sich vor, Ihr Partner macht eine

Reise, und wenn ihm etwas besonders gefällt, aktiviert er – natürlich mental gesteuert – das in einem Zahn untergebrachte miniaturisierte Handy (oder nennen wir es besser Brainy?) und schon hören und sehen Sie genau das, was auch er/sie hört und sieht.



Abbildung 10:

Auch für Karikaturisten sind Hirn-Implantate schon ein Thema.

Wie viel Körper braucht der Mensch?

Zum Abschluss dieses Abschnitts möchte ich den Anfang 2001 unter dem Motto „Body-Check: Wie viel Körper braucht der Mensch“ ausgeschriebenen „deutschen Studienpreis“ erwähnen. Neben medizinischen, biologischen, soziologischen und auch künstlerischen Aspekten spielte dabei die Frage von Mensch/Maschine-Schnittstellen eine wichtige Rolle. Man darf auf die Ergebnisse gespannt sein.

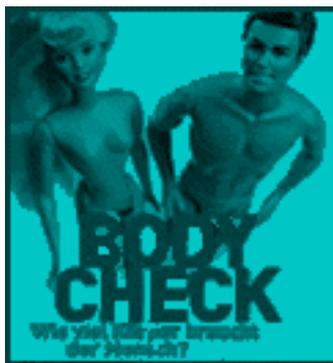


Abbildung 11:

Das Logo zur Ausschreibung des deutschen Studienpreises zum Thema „Body-Check: Wieviel Körper braucht der Mensch“ symbolisiert künstliche Körper.

Im Ausschreibungstext ist erkennbar, dass es den Initiatoren um eine Abkürzung des Evolutionsprozesses geht. Unter anderem heißt es in dieser Ausschreibung wörtlich:

„Was wird andererseits aus dem Körper, wenn er immer mehr aus Ersatzteilen oder künstlichen An- und Ausbauten besteht? Was bis vor kurzem als unabänderlich hingenommen werden musste, kann heute in rasant wachsendem Ausmaße vorherbestimmt und verändert werden. Von der pränatalen Diagnostik bis zu der schon realistisch gewordenen Vision des Klonens wachsen die Möglichkeiten menschlicher Eingriffe. Je nach Sicht scheint dies faszinierend oder erschreckend zu sein, aber unweigerlich steht die Menschheit vor der Frage, ob der Mensch, so wie er jetzt ist, weiterhin das Produkt der Evolution bleiben muss oder ob sich dieser Prozess nicht abkürzen und verbessern lässt.

Aber auch von einer ganz anderen Seite wird das alltägliche Körperverständnis in Frage gestellt: Was bedeutet es, wenn der Körper im Cyberspace verschwindet? Führt die Körperlosigkeit virtueller Welten dazu, dass wir zu Bioschnittstellen oder bloß zerebralen Anhängseln weltweiter Datenströme werden? Oder holt die Virtual Reality-Technik den Körper mittels tast- und temperaturempfindlicher Datenanzüge schon wieder zurück?“

Nach meiner Meinung geht es hier nicht nur um eine *Abkürzung* der Evolution. Die Menschheit folgt vielmehr durch die Gestaltung der eigenen Verkörperung mittels biologischer und elektronischer Manipulation den *Vorgaben* der Evolution, ohne dass dies den meisten Menschen unmittelbar bewusst.

Sechste Szene: Computer werden mobil

Roboter

Neben den Bemühungen, Menschen mit Computern zu vernetzen, wird auch an der Entwicklung menschenähnlicher *Roboter* gearbeitet. In einfachen Formen findet man sie längst im industriellen Einsatz.

Wichtige Entwicklungsgebiete sind heute:

- Orientierung im Raum mit Hilfe digitaler Kameras
- Kommunikation durch Spracheingabe und -Ausgabe
- Nachbildung menschlicher Bewegungsformen (Gehen und Greifen)
- Treffen autonomer Entscheidungen

Im Digital Creatures Laboratory von Sony wurde kürzlich ein Roboter vorgestellt [Son01], der sich nach Menschenart bewegen kann. Er orientiert sich im Raum über digitale Videokameras und er kann über Spracheingabe und -Ausgabe kommunizieren. Noch sind die Fähigkeiten solcher Systeme sehr beschränkt, doch zeichnen sich erste Anwendungen ab, beispielsweise als Haushaltshilfen.

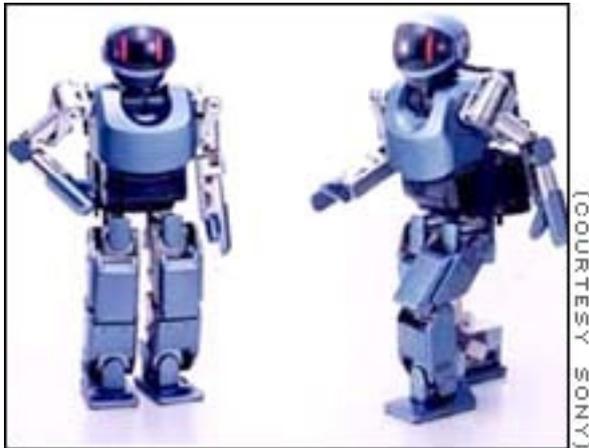


Abbildung 12:

Ein am Digital Creatures Laboratory von Sony entwickelter menschenähnlicher Roboter.

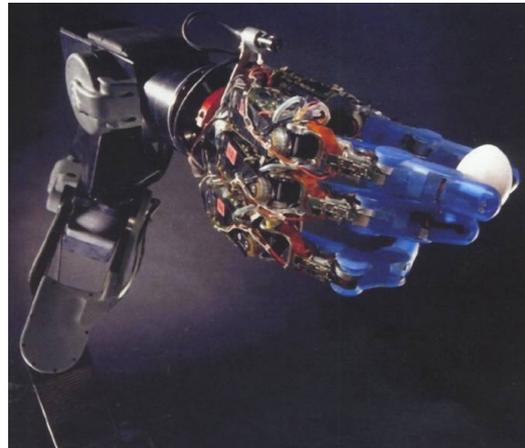


Abbildung 13:

Die vom Institut für Robotik und Mechatronik des DLR entwickelte anthropomorphe Roboterhand.

Ubiquitous Computing

Ein Teilbereich dieser Entwicklung sind *intelligente Räume*, die beispielsweise über Funkchnittstellen wie *Blue Tooth* für direkte Datenübertragung zwischen einem lokalem Computernetz und mobilen Geräten sowie für die Steuerung von Raumfunktionen sorgen. Computer werden dabei aus unserem Blickfeld mehr und mehr verschwinden und dafür miniaturisiert in praktisch allen uns umgebenden Objekten eingebettet sein. Dies wird nicht bei Geräten Halt machen, sondern auch Gebrauchsgegenstände und Kleidung (Wearables) betreffen. Diese omnipräsente Datenverarbeitung ohne sichtbare Computer ist als *pervasive* oder *ubiquitous Computing* bekannt [Mat01].

Man sollte allerdings die damit verbundenen Schwierigkeiten nicht unterschätzen. Es handelt sich um komplexe verteilte Kommunikations-, Organisations-, Sicherheits- und Berechnungsprobleme, die kaum bis zu fehlerfreier Funktion gelöst werden können. Schon jetzt gehören ja Computerabstürze zum täglichen Ärgernis. Dies wird sich möglicherweise verschärfen.

Siebte Szene: Die Entmaterialisation der Bilder

Die Bilder entmaterialisieren sich: sie haben keine Entsprechung mehr in der Realität. Auch die abgefilmte Wirklichkeit zielt oft nur auf die Erschaffung einer Scheinwelt. Die Grenzen zu virtuellen Kunstwelten haben sich damit längst verwischt.

Der 200 Mio. Dollar teure Weltraum-Thriller „Final Fantasy“ des Regisseurs Hironube Sakaguchi kommt völlig ohne menschliche Darsteller aus, und doch preist die Filmkritik als die „heißesten Action-Stars des Jahres“ die virtuelle Darstellerin Aki Ross in einem Atemzug zusammen mit der an praller Realität kaum zu übertreffenden Angelina Jolie, alias Lara Croft. Dabei wird nicht unterschieden, dass die eine der Computer-Retorte entstammt und einen Menschen verkörpert, die andere dagegen aus Fleisch und Blut ist und ein Kunstwesen aus dem Computer-Spiel Tomb Raider mimt. Ich hätte ja nichts dagegen, wenn beispielsweise Stefan Raab durch ein virtuelles Double ersetzt würde, vielleicht gewänne er ja dadurch an Substanz. Aber sind nicht auch Madonna und Cher eine Art Kunstwesen? Was ist real? Die Definition von Subjektivität und Wirklichkeit wird durch die modernen Medien in Frage gestellt [Wein01].

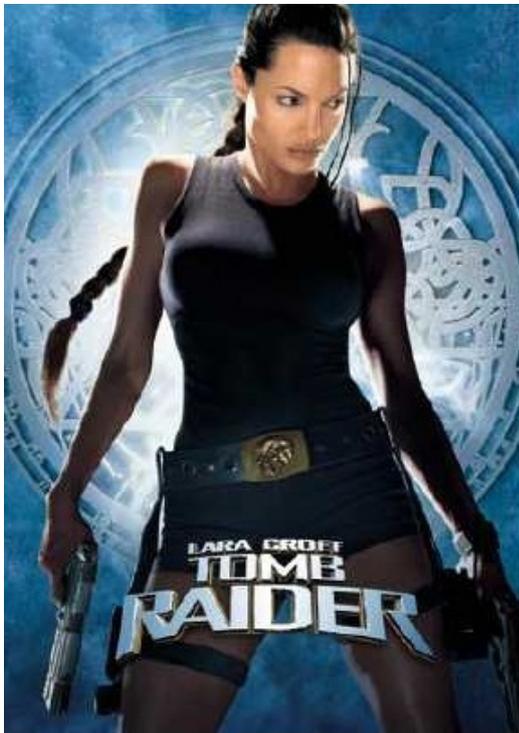


Abbildung 14: Angelina Jolie als Lara Croft mit dem Vorbild aus dem Computerspiel Tomb-Raider.



Abbildung 15:
Aki Ross, die virtuelle Hauptdarstellerin des Films „Final Fantasy“.

Achte Szene: Die Realität wird neu erfunden

Bereits die vorige Szene zeigte, dass künstliche und reale Welten in viel stärkerem Maße ineinander übergehen, als zur Zeit der naiven Prägung des Begriffs „Virtual Reality“ abzusehen war. Die Entwicklung hat uns eingeholt. Es ist in unserer durch Wertewandel an verschiedenen Fronten geplagte Gegenwart ein kleiner Schritt von bedeutungslos gewordenen Werten zu virtuellen Werten und zu virtuellen Welten, in denen überkommene Werte überholt sind. Es bieten sich Möglichkeiten, die je nach persönlicher Einstellung und Blickwinkel die ganze Skala von abstoßend bis faszinierend darin zu entdecken.

Lassen Sie mich einige Anwendungen vorstellen, die ich persönlich durchaus faszinierend finde.

Simulatoren

Ein Beispiel für eine sinnvolle und nützliche Virtual-Reality-Anwendung sind *Simulatoren*, die beispielsweise zum Training von Piloten oder Maschinenführern eingesetzt werden [Atl01]. In einem simulierten Cockpit kann durch stereoskopisches Einblenden der gerechneten Umgebung, unterstützt durch eine entsprechende Geräusch- und Bewegungskulisse, ein nahezu realitätsidentischer Trainingseffekt erreicht werden. Insbesondere können so auch Extremsituationen geübt werden, die beispielsweise mit einem realen Flugzeug nicht sicher beherrschbar wären.

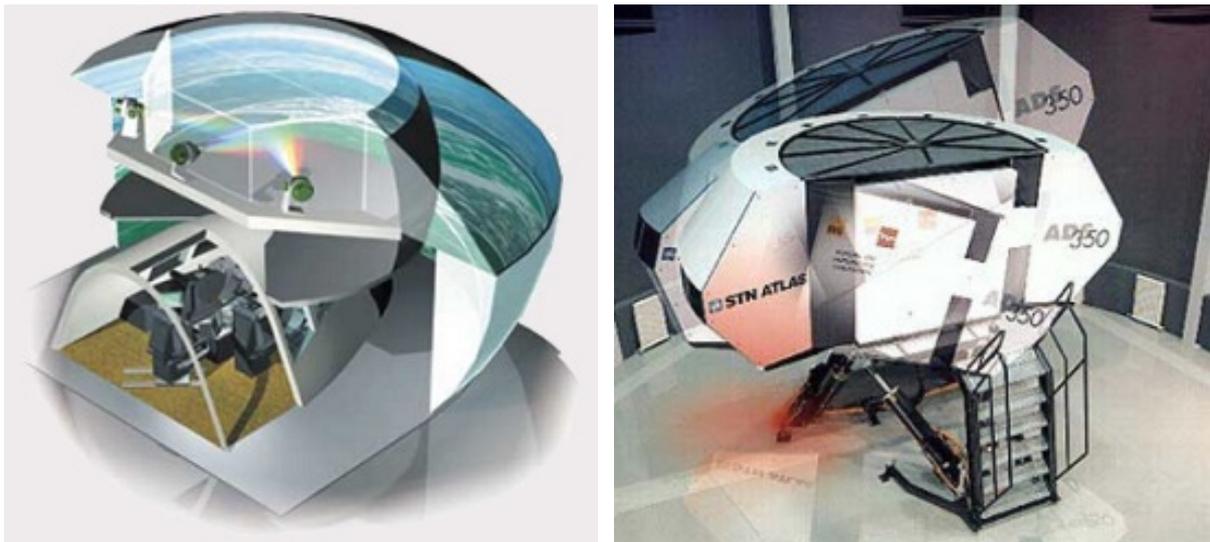


Abbildung 16: Links: Airbus-Flugsimulator. Rechts: Straßenbahn-Fahrsimulator (STN-ATLAS).

Augmented Reality in der Medizintechnik

In anderen Bereichen, etwa der Medizintechnik, werden virtuelle und reale Komponenten zu einer *Augmented Reality*, also einer „unterstützten“ Wirklichkeit zusammengefügt. Ein Beispiel dafür ist eine durch telerobotische Manipulatoren ausgeführte Operation, wobei der Chirurg ein stereografisches Bild [Ha01] betrachtet und nach zuvor ausgearbeiteten CAD-Plänen verfährt.



Abbildung 17:

Operation mit telerobotischen Manipulatoren. Der Chirurg ist links im Bild zu sehen.

Insbesondere Eingriffe, bei denen es auf höchste Präzision ankommt, etwa Gehirnoperationen und das Einsetzen künstlicher Gelenke, sind so viel sicherer durchführbar.

Virtuelle Studios

Augmented Reality wird auch in Fernsehproduktionen eingesetzt. Dabei agieren Personen in einem sog. *Blue Room*. Dieser ist ein völlig leeres Studio mit abgerundeten, schattenlosen Ecken und in gleichmäßigem Blau gefärbten Wänden. Die gesamte Umwelt wird virtuell in einem Rechner erzeugt und auf Monitoren auch den Akteuren in Echtzeit vorgeführt. Die Personen werden durch normale Studiokameras aufgenommen. Deren Position muss millimetergenau bekannt sein, damit die Videobilder korrekt in die virtuelle Welt eingepasst werden können. Die blaue Hintergrundfarbe des Studios dient bei der Einblendung als Schlüssel, d.h. alles was bei der realen Aufnahme in Blau erscheint, wird durch virtuelle Elemente ersetzt. Licht und Schatteneffekte sowie gegenseitige Verdeckungen virtueller und realer Bildelemente müssen bei dieser Methode abhängig von der Kameraposition laufend neu berechnet werden. Die dazu erforderliche Lokalisierung der Kameras geschieht schienengeführt oder neuerdings bildanalytisch, beispielsweise über Infrarot-Leuchtelemente, die mit an der Studiodecke fixierten Kameras erfasst werden. Diese Technik interessiert mich auch deswegen besonders, weil ich an der Entwicklung einschlägiger Ideen mit beteiligt war [Er96]. Eine der in dieser Technologie weltweit führenden Firmen ist die Thoma-Filmtechnik bei München [Tho01], die dafür auch einen Oscar erhalten hat.

Der Vorteil dieser Technologie liegt auf der Hand: Man spart auf diese Weise Zeit und teure Studioeinrichtungen.



Abbildung 18:

Die Sendung FOCUS-TV wird in einem virtuellen Studio produziert.



Abbildung 19:

Aufnahme in einem Blue Room. Man erkennt zwei Studiokameras mit fünf daran fest montierten Infrarot-Leuchtkugeln. An der Studiodecke sind acht zur Lokalisierung der Leuchtkugeln verwendete Kameras montiert.

Telekooperation

Interessant ist auch die Entwicklung zukünftiger *Telekooperations-* und *Videokonferenzsysteme*. Derartige Projekte laufen beispielsweise bei der Deutschen Telekom und am Heinrich-Hertz-Institut in Berlin [hhi01], Eines der Ziele ist die Überwindung der sozialen Isolation an Telearbeitsplätzen durch Schaffung einer virtuellen Umgebung, die eine informelle Kommunikation der Tele-Kollegen ermöglicht. Man kann dabei mit Kollegen, je nach deren Bereitschaft, Kontakt aufnehmen oder sich über ihre momentane Tätigkeit informieren. Die Präsenz der Teilnehmer wird durch Videokameras erfasst, die Darstellung im gemeinsamen Chat-Room erfolgt aber über frei bewegliche *Avatare* (Kunstwesen), um die private Atmosphäre an einem Heimarbeitsplatz nicht zu gefährden.

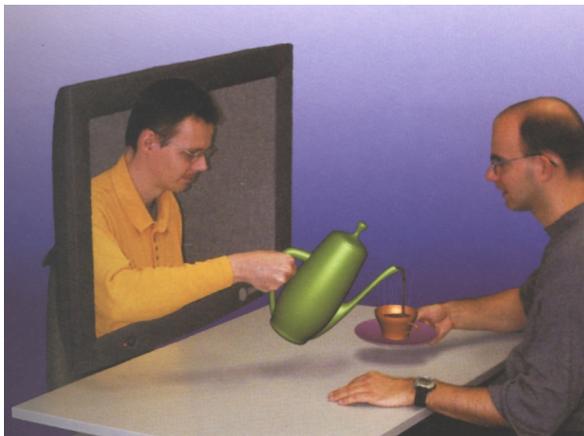


Abbildung 20:

Eine nicht ganz ernst gemeinte, am HHI entstandene Vision zum Thema Telekooperation.

Videokonferenzsysteme

Ein wesentlicher Aspekt der Arbeitswelt von morgen sind *virtuelle Videokonferenzen*. Um derzeitige Ressentiments gegen Videokonferenzen zu überwinden, muss die Telepräsenz verbessert werden. Dazu ist eine stereoskopische Abbildung mit integrierten Grafikelementen in realer Größe ohne den Zwang zum Tragen spezieller Brillen erforderlich. Dies wird durch autostereoskopische Wanddisplays erreicht, welche den Teilnehmern den Eindruck vermitteln, tatsächlich zusammen an einem Tisch zu sitzen. Wichtig ist dabei die Möglichkeit zur Aufnahme eines direkten Blickkontakts.



Abbildung 21:

Vision einer virtuellen Videokonferenzen mit autostereoskopischen Wanddisplays, die eine überzeugende Telepräsenz ermöglichen dürften.

Computerspiele

Realistisch wirkende Spielwelten von Dungeons und Ugliers aller Art bevölkern längst die Kinderzimmer. Trends sind die Vernetzung mehrerer Spieler, stereoskopische Visualisierung und die Verwendung des Internet als globalen Spielplatz. Virtuelle Begegnungen im Cyberspace unter Verwendung von Datenhandschuhen, Datenanzügen und HMDs sind nur noch eine Frage der Zeit. Fantastische Reisen in künstliche Welten, Abenteuerspiele und virtuelle Sexualkontakte sind die nächsten Stationen.



Abbildung 22:

Andariel, einer der Stars aus dem erfolgreichen Computerspiel Diablo II.

Zusammenfassend kann man sagen, dass virtuelle Räume schon heute mit entsprechendem Aufwand so wirklichkeitsnah gestaltet werden können, dass sie mit unseren menschlichen Sinnen erfahrbar sind. Das heißt, dass wir diese Räume und Welten mit Hilfe geeigneter Mensch/Maschine-Interfaces betreten, betasten, hören, sehen und sogar riechen können.

Synthese

Der Zusammenschluss als Muster der Evolution

Ameisen bilden Staaten, da die Spezialisierung in Arbeiter, Soldaten etc. Vorteile bietet. Auch Menschen bilden Staaten, nicht nur im politischen Sinne, sondern im Sinne eines arbeitsteiligen Zusammenschlusses. Am Anfang dieser Entwicklung stand die Spezialisierung, es folgte die Industrialisierung, die heute durch die Globalisierung abgelöst wird. Der Traum von der individuellen Unabhängigkeit der Menschen ist damit endgültig zur Illusion verblasst. Naturgeschichtlich gesehen haben sich schon Einzeller zu komplexen Organismen zusammengeschlossen. Der Zusammenschluss ist offenbar ein unabänderliches Muster der Evolution, das auch die weitere Entwicklung der Zivilisation prägen wird.

Der nächste Schritt der Evolution könnte der Zusammenschluss von Menschen und Computern zu einem „soziotechnischen System“ sein, wie es Prof. Klaus Haefner von der Uni Bremen nennt. Als Metapher schreibt man auch einer Nation als einem riesigen, komplexen sozialen System ein Bewusstsein zu, bei künftigen soziotechnischen Systemen mag die Wirklichkeit diese Metapher vielleicht einholen. Dazu schreibt Haefner [Ha90] bereits 1990:

„Soziotechnische Systeme [können] ein neues – ich nenne es: komplexes – Bewusstsein entfalten, das sowohl technische wie menschliche Informationsverarbeitung zu integrieren vermag.“

Solche Zusammenschlüsse werden zunächst einige wenige Menschen betreffen, vielleicht nur eine avantgardistische Elite. Es könnten sich jedoch immer größere Cluster bilden, die eigene Kulturen entwickeln, bis hin zu einer Art Staatenbildung ohne territoriale und materielle Grenzen.

Prof. Hermann Maurer [Mau01] von der Universität Graz sieht dies ähnlich:

„Das Gehirn des Einzelmenschen wird nur noch ein vergleichsweise winziger Bestandteil eines gewaltigen Wissensvorrats sein, der durch die Vernetzung aus Milliarden von Menschenhirnen und Datenbanken entsteht.“

Zusammenfassung in Thesen

Lassen Sie mich zum Schluss in einigen Thesen zusammenfassen, durch welche Entwicklungen diese neue Wirklichkeit im Laufe der nächste 30 bis 50 Jahre geprägt sein wird:

- Computer werden als eigenständige Rechengерäte aus unserem Blickfeld verschwinden, aber als unsichtbar eingebettete, nanotechnische Systeme unsere ständigen Begleiter sein.
- Computer könnten Intelligenz und Bewusstsein entwickeln, wenn auch eher fremdartig und nicht unbedingt nach menschlichem Muster.
- Weltumspannende Kommunikations- und Datennetze werden Rechner und Menschen in einer globalen, virtuellen Welt zusammenbinden. Wartezeiten für Verbindungsaufbau und Datentransfer wird es nicht mehr geben. Virtuelle Präsenz und beliebiger Informationsaustausch, aber als Exzess auch totale Überwachung, werden die Folge sein.
- Die Bandbreite der elektronischen Kommunikation wird so gewaltige Informationsströme von Mensch zu Mensch und von Mensch zu Maschine ermöglichen, dass in Verbindung mit der direkten Informationsübertragung ins Gehirn die Unterscheidung zwischen eigenen Gedanken und den Gedanken anderer, zwischen selbst Gewusstem und dem Datenpool des Netzes entnommenem Wissen, verschwimmen wird.
- Virtuelle Welten werden so realistisch sein, dass sie mit unseren menschlichen Sinnen direkt erfahrbar und Teil der alltäglichen Wirklichkeit werden.
- Die Schnittstellen zwischen Mensch und Maschine werden durch implantierte Neuro-Chips, synthetische Bio-Rezeptoren und nanotechnologische Apparate zu einer Integration führen,

die den Unterschied zwischen Mensch und Maschine verwischt. Es werden *Cyborgs* entstehen.

- Aus der Integration all dieser Entwicklungen wird eine neue Art verteilter Intelligenz entstehen, die ihre Eigendynamik entwickelt und einen Pool von Menschen mit Maschinen zu einer Matrix vereinigt. Es werden dezentrale Wesen entstehen, mit denen ein neuer Zweig der Evolution beginnt.

Das Zeitalter des „Robosapiens“ bricht an, eine neue Wirklichkeit mit ungeahnten Möglichkeiten, die es zu entdecken gilt.

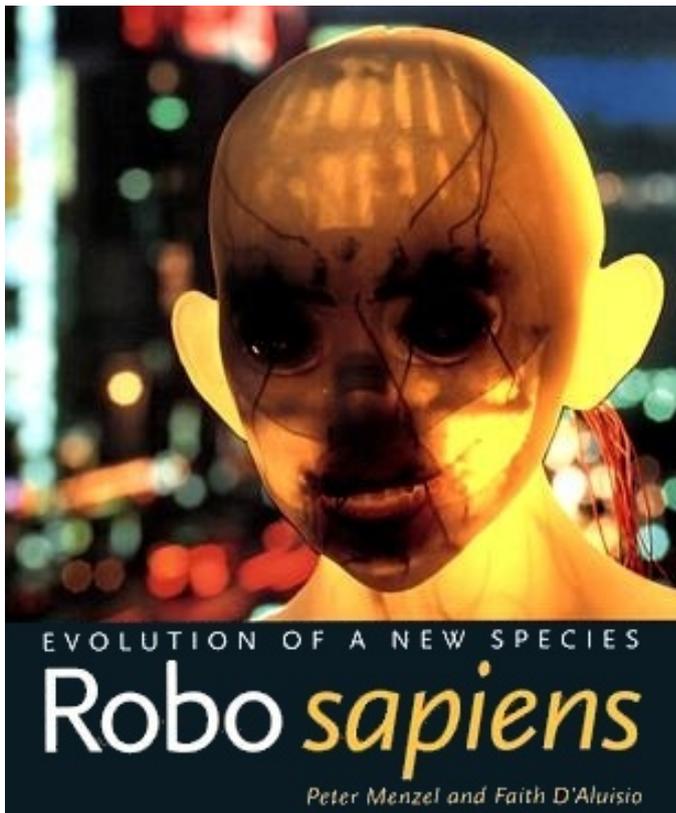


Abbildung 23:

Die Vision vom Robosapiens.

Die Frage ist natürlich, ob wir das alles wollen und viel mehr noch, ob wir es vermeiden können, falls wir es nicht wollen.

Ich möchte mit einem Wort des bis 1961 amtierenden UN Generalsekretärs Dag Hammarskjöld enden, das auch heute mit uneingeschränkter Gültigkeit unsere eigene Verantwortung bei der Gestaltung unserer Zukunft hervorhebt:

“We are not permitted to choose the frame of our destiny. But what we put into it is ours.”

Literatur

- [Atl01] www.stn-atlas.de
- [Ba01] www.emory.edu/WHSC/HSNEWS/releases/feb99/022399brain.html
- [Br01] www.brainfingers.com: Brain Actuated Technologies INC. (Cyberlink)
- [Er96] Technologie-Beratungsprogramm der LGA Bayern, Nr. 12271 (1996)
Laborbericht „Technische Informatik und Bildverarbeitung“ der FHR (1998)
- [Gl01] www.glasermurpyretina.com
- [Go00] Goos, G.: *Vorlesungen über Informatik, Band 1*. Springer (2000)
- [Ha01] Hallett, J.: *3-D imaging guides surgical operations*. Image Processing 5/6, pp31 (2001)
- [Ha90] Haller, M.: *Weizenbaum contra Haefner: Sind Computer die besseren Menschen?* Pendo-Verlag (1990)
- [hhi01] www.hhi.de
- [Mor98] Hans Moravec: *When will computer hardware match the human brain?* Journal of Transhumanism, Vol. 1 (1998)
- [Mat01] Mattern, F. : *Pervasive/Ubiquitous Computing*. Informatik Spektrum 24, 3, S. 145-147 (2001)
- [Mau01] Maurer, H. : *Die (Informatik-) Welt in 100 Jahren*. Informatik Spektrum 24, 2, S. 65-70 (2001)
- [Müh01] Mühlbach, L.: www.hhi.de
- [Pat00] Patalong, F.: Echelon – Spionage unter Freunden. Der Spiegel, 5. März (2000)
- [Ruh98] Ruhmann, I. und Ch. Schulzki-Haddouti: Echelon. C't5, S. 82 (1998)
- [Son01] www.cnn.com/2000/TECH/computing/11/22/sdr3.idg/index.html
- [Tho01] www.thoma.de
- [Wa01] www.cnn.com/2000/TECH/computing/12/07/robot.man
- [We01] Susanne Weingarten: *Real, digital, schnurzeigal*. Der Spiegel 27 (2001)
- [5dt01] www.5dt.com