

Hardwin Jungclaussen

Gedanken zum zukünftigen Platz der Informatik in Wissenschaft und Technik

Die Diskussion um den Begriff, den Inhalt und die Bedeutung der Informatik ist nach wie vor lebendig und wird kaum jemals einen von allen akzeptierten Abschluss finden. In nahezu jedem Heft des Informatik Spektrums kommt das Thema direkt oder indirekt zur Sprache. Über mehrere Jahrzehnte habe ich die Diskussion verfolgt und an einer eigenen Position gearbeitet. Das Ergebnis habe ich in dem Buch „Kausale Informatik“ [Jungclaussen 01] dargelegt und möchte es, reduziert auf die zentralen Gedanken und Definitionen, von diesem Podium aus einer breiten Öffentlichkeit zur Diskussion stellen. Ziel des Artikels ist es nicht, den Platz der Informatik in der Vergangenheit oder in der Gegenwart, sondern in der Zukunft zu erkennen und zu diskutieren. In dieser Hinsicht unterscheidet sich dieser Diskussionsbeitrag von solchen, die stärker auf die Gegenwart oder nächste Zukunft orientiert sind, wie beispielsweise der Artikel [Broy 99]

Angesichts der zunehmenden Verquickung der Informationsverarbeitung durch den Menschen einerseits und durch den Computer andererseits ist zu erwarten, dass die Bereiche der menschlichen und der maschinellen Informationsverarbeitung mit der Zeit immer mehr zusammenwachsen und schließlich sowohl praktisch als auch theoretisch und didaktisch als Einheit zu behandeln sein werden. Dies wäre ein erster Schritt in Richtung der Vision von Hermann Maurer, dass „die einzelnen Menschen fast wie ein großes ‘externes Gehirn’ gewaltig an mentalen Möglichkeiten gewinnen werden“ [Maurer 01], oder in Richtung der Prognose von Ray Kurzweil (1998) „Im Jahre 2099 verschmilzt das menschliche Denken mit der ursprünglich von der menschlichen Spezies erschaffenen Maschinenintelligenz“ (These 25 in [Maurer 00]).

Aus der Sicht einer viel näheren, vielleicht nur 10 Jahre entfernten Zukunft werde ich versuchen, den zukünftigen Platz der Informatik in Wissenschaft und Technik zu bestimmen. Der Blickwinkel von der Zukunft her ist ungewohnt und verlangt vom Leser eine gewisse naive Unbefangenheit und Freiheit von Denkgewohnheiten. Aber er ist wichtig und schon heute aktuell. Denn je konsequenter ein Land die Entwicklung der Informatik von der Zukunft her sieht und sie in Richtung erwarteter Entwicklungen vorantreibt, umso größer sind die Chancen, in der Zukunft eine führende Position in der Welt zu erringen bzw. zu bewahren.

Ich werde eine Reihe von Bezeichnungen einführen, die als vorläufig aufzufassen sind. Es müssen z.T. neue gefunden werden, die der internationalen (englischen) Ausdrucksweise besser entsprechen und die auch aus der Sicht der deutschen Sprache „schöner“ sind. In meinem Beitrag kommt es mir in erster Linie nicht auf die Bezeichnungen, sondern auf die Inhalte der Begriffe an. Die Wörter *sprachlich* und *codiert* bzw. *codierend* werden als Synonyme verwendet.

1. Die Begriffe Information und Informatik

Der erste Teil dieses Abschnitts besteht aus einer durchnummerierten Reihe von Feststellungen (Fakten, Sachverhalten), Bezeichnungsvereinbarungen, Definitionen und Überlegungen. Ausgangspunkt ist der umgangssprachliche Informatikbegriff.

- (1) Eine Aussage (ein Aussagesatz) *informiert* einen Interpretierer (Leser oder Hörer) der Aussage über ein Objekt oder einen Sachverhalt. Insofern stellt eine Aussage eine Information dar. Umgekehrt stellt eine Information eine Aussage dar.
- (2) Eine Aussage *beschreibt* ein Objekt oder einen Sachverhalt. Eine Beschreibung beruht stets auf idealisierender, begrifflicher Abstraktion. Insofern stellt eine Aussage ein

- sprachliches Modell eines Originals dar. Umgekehrt stellt ein sprachliches Modell eine Aussage (evtl. einen Aussagenkomplex) über das Original dar.
- (3) Auf der Grundlage von (1) und (2) wird vereinbart: „Aussage“, „Information“ und „sprachliches Modell“ werden als Synonyme behandelt.
 - (4) Eine konkrete Aussage ist ein sprachliches Konstrukt, das aus zwei Komponenten besteht, der *Bedeutung* der Aussage und dem *materiellen Träger*. Der Träger ist ein Zeichenkörper, der als Zustand eines Trägermediums realisiert ist und der die Bedeutung der Aussage *codiert*. Ich nenne einen solchen Zustand **codierenden Zustand**. Den materiellen Zeichenkörper nenne ich das **Realem** (von „real“) und die Bedeutung das **Idem** (von „Idee, ideell“) der Aussage (Betonung jeweils auf der letzten Silbe, in Analogie zu Morphem oder Lexem).
 - (5) Einem Realem wird durch *Interpretieren* ein Idem und einem Idem wird durch *Artikulieren* ein Realem zugeordnet. Ein Idem ist ein Bewusstseinsinhalt des Interpretierers bzw. Artikulierers. Die Natur des Bewusstseins und damit auch der Ideme wird nicht betrachtet.
 - (6) Nach (3), (4) und (5) besteht eine Information und ebenso ein sprachliches Modell aus einem Realem und einem Idem, m.a.W. aus einem Realem und seiner Interpretation bzw. aus einem Idem und seiner Artikulation, kurz :
 - (7) **Eine Information ist ein Realem-Idem-Paar.** (Wegen (18) müsste, genau genommen, *Information* durch *Humaninformation* ersetzt werden.) Dieser Informationsbegriff verbindet Bewusstsein und Wirklichkeit miteinander (überbrückt also den sog. „kartesischen Schnitt“). Diesbezügliche erkenntnistheoretische Diskussionen werden durch die Ausgrenzung des Bewusstseins gegenstandslos.
 - (8) Informationsverarbeitung bzw. sprachliches Modellieren beinhaltet das Artikulieren und Interpretieren von Informationen bzw. von sprachlichen Modellen. Demzufolge können wegen (3) „Informationsverarbeitung“ und „sprachliches Modellieren“ als Synonyme behandelt werden.
 - (9) Vereinbarung: Informationsverarbeitung durch den Menschen bzw. durch den Computer wird als **Human-IV** bzw. **Computer-IV** bezeichnet.
 - (10) In dem häufig anzutreffenden Satz „Die Informatik ist die Lehre von der Informationsverarbeitung“ kann wegen (8) „Informationsverarbeitung“ durch „sprachliches Modellieren“ ersetzt werden. Dadurch gewinnt der Satz an Aussagekraft, denn er definiert die Informatik nicht mehr „zirkulär“ mithilfe des Informationsbegriffs, sondern impliziert dessen Definition im Sinne von (1). Um als Definition der Informatik dienen zu können, muss er verschärft werden zu:
 - (11) **Die Informatik ist die Lehre vom aktiven sprachlichen Modellieren.** Das Adjektiv *aktiv* weist darauf hin, dass es sich nicht um eine phänomenologische Wissenschaft handelt, sondern dass vom Prozess des Modellierens, von der modellierenden *Aktion* die Rede ist. Außerdem charakterisiert das Wort *aktiv* das Produkt des Modellierens als *agierendes Modell*, das selber Informationen verarbeiten kann.
 - (12) Aktive Modelle schließen im Gegensatz zu passiven Modellen das Trägersystem, in dem die modellierenden Prozesse ablaufen, ein. Passive Modelle können nicht agieren und haben ohne Interpretierer keinen Sinn. Beispielsweise ist ein in einem Buch abgedruckter Satz oder eine Formel zur Berechnung irgendeiner Größe ein passives sprachliches Modell; der Sinn des Satzes bzw. der Formel muss vom Leser herausgelesen (hineininterpretiert) werden. Dagegen ist die Implementation („Realisierung“) der Formel in einem Computer, der die Formel auswerten kann, zusammen mit dem Computer ein aktives sprachliches Modell.
 - (13) Eine Information kann von verschiedenen Personen unterschiedlich verstanden werden, m. a. W. dem Realem einer Information können verschiedene Personen unterschiedliche Ideme zuordnen. Eine Information kann aber nur dann der Kommunikation dienen, wenn

- sie für alle Beteiligten eine einheitliche, „*objektive*“ Bedeutung hat, d.h. wenn Sender und Empfänger dem Realem der Information das gleiche Idem (genauer: ausreichend ähnliche Ideme) zuordnen. Ein solches Idem nenne ich **objektiviert**.
- (14) Ein für die Kommunikation ausreichend objektiviertes Idem wird als **Semantik** des betreffenden Realems bezeichnet. Idemobjektivierung ist ein Begleitprozess der Kommunikation. Sie ist deren Voraussetzung und Ergebnis. Sie ist stets mit Abstraktion verbunden. Die reine Mathematik ist das Nonplusultra der Idemobjektivierung.
- (15) Die Semantik der Human-IV bezieht sich direkt oder indirekt auf die Umwelt, genauer auf die bezüglich des modellierenden (denkenden, sprechenden, schreibenden) Menschen *externe* Welt. Darum nenne ich sie **externe Semantik**.
- (16) Gegenwärtig kann der Computer Realemen keine Ideme im Sinne der Human-IV zuordnen, denn er besitzt kein Bewusstsein (siehe jedoch (18)). Folglich ist Computer-IV primär reine Realemverarbeitung. Aus der Sicht des Computers ist die Bedeutung eines Realems (z.B. einer Zeichenkette) die Wirkung, die das Realem bei seiner Interpretierung (Abarbeitung) im Computer auslöst. Ich nenne sie **interne Semantik** des Realems.
- (17) Damit die Realemverarbeitung für den Computernutzer zu Informationsverarbeitung wird, muss allen Ein- und Ausgaberealemen externe Semantik zugeordnet werden, d.h. der Nutzer muss den Kalkül, der als Hard- und Software im Computer implementiert und zunächst nicht interpretiert ist - ich nenne ihn **Maschinenkalkül** -, durch seine *Nutzersemantik interpretieren* (interpretieren im Sinn des Sprachgebrauchs der Mathematik).
- (18) Die semantische Anbindung der Nutzersemantik an die *Maschinensemantik* (an den Maschinenkalkül) ist Grundlage jeder Computeranwendung. Ein- und Ausgaben eines Computers müssen vom Nutzer interpretierbar sein, sie müssen Informationen im Sinne von (6) und (7) sein. Das kann sich ändern, wenn die Computer beginnen, *unter sich* eine eigene Sprache zu entwickeln. Dann kann von Computerbewusstsein und von Computeridem gesprochen werden, sodass zwischen **Computerinformation** und **Humaninformation** zu unterscheiden ist. Computerinformationen müssen dann ebenso *entschlüsselt* werden wie Informationen, die Tiere untereinander austauschen, oder wie schriftliche Dokumente versunkener Kulturen oder wie genetische Informationen.
- (19) Bezüglich der Human-IV ist die interne Semantik eines Realems dessen *interne* Wirkung im Gehirn, also der durch das Realem ausgelöste neuronale Prozess.

Mit diesen Begriffsbestimmungen positioniere ich mich zwischen zwei Auffassungen von der Informatik, einer engen und einer weiten. Nach der engen (klassischen) Auffassung - sie ist unter Informatikern zur Zeit die gängigste - ist die Informatik eine *technische* Disziplin. Eine extrem enge Auffassung sieht in ihr ein *mathematische* Disziplin, was durchaus folgerichtig ist, wenn auf jede externe Semantik verzichtet und die Informatik auf die Definition und Nutzung des Maschinenkalküls eingeschränkt wird.

Nach der weiten Auffassung stellt jedes strukturierte materielle Objekt eine Information dar. Diese Auffassung hat ihre Wurzel darin, dass eine Aussage, die man aus einer materiellen Struktur herausliest, häufig auch dann als Information bezeichnet wird, wenn die Struktur keinen Code (keinen Zeichenkörper) darstellt, beispielsweise wenn charakteristische Wolkenformen über das morgige Wetter „informieren“. In diesem Falle spreche ich von **nichtcodierter Information** im Gegensatz zur **codierten Information**, die von einem Sender artikuliert worden ist. Die weite Auffassung lässt sich theoretisch untermauern, wenn der von Shannon eingeführte *informatische* Entropiebegriff zum *physikalischen* Entropiebegriff der statistischen Physik in Beziehung gesetzt wird (siehe z.B. [Ebeling 98]). Dieses Vorgehen ist von großem heuristischem Wert. Dennoch halte ich es nicht für zweckmäßig, die Disziplin *Informatik* auf der Grundlage des weiten Informationsbegriffs zu definieren. Denn der

Gegenstand der Informatik würde im allzu Allgemeinen verschwimmen. In letzter Konsequenz würde jede Naturwissenschaft zu einem Bereich der Informatik und jeder Naturwissenschaftler zu einem Informatiker. Die weite Auffassung eignet sich als Basis einer der Informatik übergeordneten *Wissenschaft von den materiellen Strukturen*, deren Organisation, Evolution und - im Falle dynamischer Strukturen - deren Verhalten. Die Wörter *Kybernetik* und *Systemtheorie* wurden und werden häufig etwa in diesem Sinne verstanden.

Nach der engen Auffassung hat die Informatik mit maschinenlesbaren codierten Informationen zu tun, nach meiner Auffassung mit beliebigen codierten Informationen und nach der weiten Auffassung mit codierten und nichtcodierten Informationen. Ich erwarte, dass die enge Auffassung früher oder später überlebt sein wird, denn es existiert heute schon eine intensive Kooperation zwischen Computerwissenschaft und Gehirnforschung, die aller Voraussicht nach zu einer Naturwissenschaft Informatik führen wird, deren Gegenstand sowohl die Computer-IV als auch die Human-IV sein wird.

Ersetzt man in der Definition (11) *sprachlich* durch *codiert*, werden auch Gene und ihre „Verarbeitung“ zum Gegenstand der Informatik. Denn ein Gen kann als *Realem* und seine Wirkungen (Semantik, Bedeutung) als *Interpretation* des Realems durch den Organismus aufgefasst werden, sodass ein Gen zusammen mit seiner Bedeutung hinsichtlich desjenigen Individuums, welches in der DNS „sprachlich modelliert“ ist, eine Information darstellt und der Interpretationsprozess als **genetische IV** bezeichnet werden kann. Doch sind genetische Informationen keine Informationen (Humaninformationen) im Sinne von (4) bis (7), denn die Realem-Idem-Zuordnungen (die Codierungsvorschriften) sind nicht an das Bewusstsein gekoppelt. Zu der notwendigen Verallgemeinerung des Informationsbegriffs gelangt man, wenn man das Realem (die codierende Struktur) über folgende „**Ritualisierungsbedingung**“ definiert: Eine physische Struktur wird zu einem Realem, wenn sich die Struktur bezüglich ihrer „Bedeutung“ (ihrer physischen Ursachen und Wirkungen) verselbständigt hat. Auf den Prozess der Verselbständigung wird hier nicht näher eingegangen. Er wird in [Ebeling 94] *Ritualisierung* genannt und genauer untersucht.

Unter diesem Aspekt kann auch bei der Kommunikation zwischen Tieren mittels charakteristischer Laute von Information und von *animaler IV* gesprochen werden. Ganz umfassend kann man von **biologischer Informatik** als der Wissenschaft von der Informationsverarbeitung durch und in Lebewesen sprechen. Zu beachten ist, dass mit dem Wort **Bioinformatik** i.d.R. etwas anderes bezeichnet wird, nämlich der Anwendungsbereich informatischer Methoden in der Biologie, vorwiegend bei der Entzifferung und Entschlüsselung genetischer Information. In einem entsprechenden Sinne wird mit **Wirtschaftsinformatik** der Anwendungsbereich informatischer Methoden in der Wirtschaft bezeichnet.

Damit habe ich meine Position zur Informatik umrissen. Die Überlegungen, die mich zu dieser Position und zu den angeführten Begriffsbestimmungen führten, sind in [Jungclaussen 01] ausführlich dargelegt.

2. Systematisierung von Naturwissenschaft und Technik

Um der Informatik ihren Platz im System von Naturwissenschaft und Technik zuweisen zu können, muss zunächst ein solches System eingeführt werden. In Naturwissenschaft und Technik ist es üblich, zwischen Grundlagen-, Entwicklungs- und angewandter Forschung oder auch von Forschung, Entwicklung und Anwendung zu unterscheiden. Ich ziehe das zweite Tripel vor. Diese nicht ganz einheitlich verwendeten Begriffe definiere ich durch die Ziele und Aktivitäten der betreffenden Bereiche. Im **Forschungsbereich** werden neue Erkenntnisse über die Natur durch Messen und durch das Formulieren von Theorien gewonnen, d.h. durch das Entwickeln von Kalkülen, die durch die Messergebnisse interpretierbar sind. Im **Entwicklungsbereich** werden Funktionsprinzipien und Methoden

erfunden und im Labormaßstab gerätetechnisch realisiert. Im **Anwendungsbereich** werden die Methoden und Geräte in technische Verfahren und Anlagen überführt und angewandt, wobei es sich vorwiegend um industrielle Anwendungen handelt. Doch gehören zum Anwendungsbereich auch fremde Disziplinen, in denen die Methoden und Geräte der eigenen Disziplin zum Einsatz kommen, wie z.B. in der Wirtschafts- und der Bioinformatik. Im Forschungsbereich stehen Ursache-Wirkungs-Relationen im Vordergrund, im Entwicklungs- und Anwendungsbereich Ziel-Mittel-Relationen.

Eine gewisse Verschärfung erhalten die Bereichsbezeichnungen, wenn sie durch **Exploration, Invention** (Erfall, Erfindung) und **Innovation** ersetzt werden, wobei Innovation einen speziellen Akzent auf den zu erzielenden *Fortschritt* setzt. Mit dem Wort **Technik** werden üblicherweise sowohl die Geräte und Methoden des Entwicklungsbereichs als auch der Anwendungsbereich als solcher bezeichnet. Tabelle 1 dient der Illustration der Systematik anhand von Beispielen.

Bereich	Forschung / Exploration	Entwicklung / Invention	Anwendung / Innovation
Ziel	Erkenntnis	Methoden, Geräte	Verfahren, Anlagen
Physik	Halbleiterphysik	Transistor	Fernsehtechnik, Medienindustrie
Chemie	Struktur des Benzolrings	Benzolsynthese im Labor	großtechnische Benzol- synthese, Kunststoffindustrie
Biologie	Gen-Entschlüsselung	Methoden der Genmanipulation	großtechnische Genmanipulation, Nahrungsmittelindustrie
Informatik	Aussagenlogik, neuronale Gedächtnismechanismen, Codierung in neuronalen Strukturen des Gehirns, natürliches Artikulieren und Interpretieren	logische Schaltwerke, elektronische Speicherprinzipien, Objekterkennung mittels künstlicher neuronaler Netze, maschinelles Artikulieren und Interpretieren	Diodenmatrizen, Speicher- und Datenbanktechnik, Diagnostik in Medizin und Industrie, Multimediatechnik

Tabelle 1. Zur Systematisierung von Naturwissenschaft und Technik. In den Feldern der fett umrahmten Matrix sind für die Disziplinen Physik, Chemie, Biologie und Informatik Beispiele für Objekte der Forschung bzw. Entwicklung bzw. Anwendung angegeben. Beispielsweise ist die Codierung in neuronalen Strukturen des Gehirns ein Objekt des Forschungsbereiches der Informatik. Er überlappt sich mit der Neurophysiologie, die zum Forschungsbereich der Biologie gehört.

In der Legende zu Tabelle 1 ist erklärt, wie die Tabelle zu lesen ist. Die Felder der fett umrahmten Matrix können sich inhaltlich überlappen. Beispielsweise kann die Fernsehtechnik nicht nur zum Anwendungsbereich der Physik, sondern auch zu dem der Informatik gerechnet werden, denn sie ist eine Kommunikationstechnik und dient dem „Transport von Informationen“. In der Legende ist ein weiteres Überlappungsbeispiel angeführt. Es existieren viele derartige Überlappungen, auch zwischen Forschungs- und Entwicklungsbereichen, sodass die Felder untereinander mehr oder weniger stark verflochten sind. Ein Feld stellt jeweils die Basis für sein rechtes Nachbarfeld dar.

Die Systematik lässt sich weitertreiben, indem jedes der 12 Felder in zwei Unterbereiche unterteilt wird, einen theoretischen und einen praktischen. Im **Theoriebereich** werden

Probleme mit Hilfe mathematischer Methoden, im **Praxisbereich** durch Konstruieren und Experimentieren gelöst.

3. Die Teilbereiche der Informatik und ihre Fundamente

Stellt man die hier vorgeschlagene Systematik und Terminologie der heute in der Informatik üblichen gegenüber, erkennt man Folgendes. Dem Forschungsbereich der Informatik (ich nenne ihn abgekürzt **F-Informatik**) entspricht in der gängigen Terminologie noch kein klar definierter und fest etablierter Bereich. Sein Gegenstand ist die Human-IV. Im praktischen Forschungsbereich (im Praxisbereich der F-Informatik) wird die Human-IV experimentell untersucht. Er überlappt sich mit der Neurophysiologie. Der Entwicklungsbereich (**die E-Informatik**) ist in der Regel dann gemeint, wenn von Informatik oder Computer Science gesprochen wird. Ihr Gegenstand ist die Computer-IV. Dem theoretischen Entwicklungsbereich (dem Theoriebereich der E-Informatik) entspricht der Bereich der theoretischen Informatik im Sinne der zur Zeit üblichen Terminologie. Als **Neuroinformatik** werden üblicherweise experimentelle und theoretische Unterbereiche der F- und E-Informatik bezeichnet, die sich mit der Informationsverarbeitung durch neuronale Netze beschäftigen. Wenn von IT (Informationstechnologie) gesprochen wird, ist i. Allg. der Anwendungsbereich (**die A-Informatik**) gemeint. Akzeptiert man die dargelegte Dreiteilung der Informatik als sinnvoll und zweckmäßig, bezieht man also die Human-IV in den Gegenstandsbereich der Informatik ein, so impliziert das die Anerkennung der Informatik als Naturwissenschaft.

In Tabelle 2 sind die Fundamente der F- und E-Informatik zusammengestellt. Eine Spalte für die A-Informatik erübrigt sich, da ihre Fundamente im Wesentlichen diejenigen der E-Informatik sind. Die Mathematik ist nicht extra ausgewiesen. Sie ist ein „Fundament aller Fundamente“.

Komponenten des sprachlichen Modellierens	Human-IV (F-Informatik)	Computer-IV (E-Informatik)
Trägersystem	Biochemie, Neurophysiologie	Elektrodynamik, Optik, Elektronik
Entwicklung u. Herstellung des Trägersystems	Wissenschaft von der Evolution des Gehirns	Hardwaretechnologie
Artikulationsmittel	Sprachwissenschaft	Softwaretechnologie
Artikulation	Schreib- und Redefertigkeit, Rhetorik	Programmierungstechnik
Metamodellierung, Modellierung der Intelligenz	Wissenschaft von der natürlichen Intelligenz, Kognitionswissenschaft	Wissenschaft von der künstlichen Intelligenz

Tabelle 2. Fundamente des sprachlichen Modellierens (aus [Jungclaussen 01] mit einigen Änderungen).

In der linken Spalte (Kopfspalte) sind die wesentlichen Komponenten des sprachlichen Modellierens aufgelistet. In den Feldern der fett umrahmten Matrix sind die wichtigsten Gebiete von Wissenschaft und Technik angegeben, auf deren Grundlage die jeweiligen Komponenten erforscht bzw. entwickelt werden, getrennt nach F-Informatik (Human-IV) und E-Informatik (Computer-IV). Beispielsweise ist die Elektronik technisches Fundament der Entwicklung des Trägersystems der Computer-IV (der Computerhardware).

In der Legende zur Tabelle 2 ist erklärt, wie die Tabelle zu lesen ist. Die oberen beiden Zeilen der fett umrahmten Matrix betreffen den materiellen Träger sprachlicher Modelle und

des sprachlichen Modellierens; die restlichen Zeilen betreffen das Artikulieren sprachlicher Modelle. In der letzten Zeile ist mit *Metamodellierung* das Modellieren des sprachlichen Modellierens bezeichnet und mit *Intelligenz* die Fähigkeit zum sprachlichen Modellieren.

Wenn ein Gebiet der Wissenschaft oder Technik einem Bereich der Informatik als Fundament dient, bedeutet das nicht, dass dieses Gebiet von der Informatik „vereinnahmt“ wird, dass also beispielsweise die Neurophysiologie der Informatik zuzurechnen ist. Mit dem gleichen Recht könnte der betreffende Informatikbereich diesem Gebiet zugerechnet werden, z.B. die Human-IV der Neurophysiologie.

Die Frage der Zuordnung steht auch im Falle der A-Informatik. Ich halte es in vielen Fällen für zweckmäßig, die Anwendungen der Ergebnisse der E-Informatik nicht demjenigen Bereich zuzuordnen, in dem sie entwickelt worden sind, sondern demjenigen, in dem die Anwendung stattfindet, insbesondere dann, wenn eine Anwendung breite gesellschaftliche Wirkungen nach sich zieht und zu einer Herausforderung für Politik und Gesetzgebung werden kann (siehe z.B. [Fiedler 01]). Das gilt z.B. für die Wirtschaftsinformatik, die Bioinformatik, die Multimediatechnik und allgemein für die Kommunikationstechnik. Um Missverständnisse auszuschließen, sei noch einmal betont, dass nicht die Entwicklung, sondern die Anwendung der genannten Techniken gemeint ist. Ein anderer Grund dafür, die Zuordnungen in dem genannten Sinne zu treffen, besteht darin, dass sonst die Informatik Gefahr laufen würde, ihre Grenzen zu verlieren und sich als Disziplin im Unbestimmten aufzulösen. Aus dem gleichen Grunde habe ich mich oben dagegen ausgesprochen, die Disziplin Informatik auf der Grundlage des *weiten* Informationsbegriffs zu definieren.

In der F-Informatik wird - in Zusammenarbeit mit der Neurophysiologie - die Informationsverarbeitung durch das menschliche Gehirn sowohl experimentell als auch theoretisch untersucht mit dem fernen Ziel, die Messergebnisse im Rahmen einer mathematisch formulierten Theorie (eines interpretierten Kalküls) zu beschreiben und letztendlich auf der Grundlage der physikalischen Gesetze zu erklären. Wenn es sich als unmöglich herausstellen sollte, die beobachteten neuronalen Phänomene mit den Gesetzen der Physik - die Quantenphysik eingeschlossen - in Einklang zu bringen, muss die Physik eventuell erweitert werden. Wie bereits gesagt, wird die F-Informatik gegenwärtig noch nicht allgemein als zur Informatik gehörig aufgefasst.

Auffällig ist die Verzögerung der Entwicklung der F-Informatik relativ zur E-Informatik (Computer Science). Das Nachhinken des Forschungsbereichs hinter dem Entwicklungsbereich ist jedoch nicht nur für die Informatik, sondern auch für andere Naturwissenschaften charakteristisch. Beispielsweise bauten Erfinder bereits im Altertum physikalische Geräte, lange bevor die Physik zu einer messenden und Theorien entwickelnden Wissenschaft geworden war. So wurde der Hebel - als Erfindung dem Entwicklungsbereich zugehörig - erfolgreich benutzt, lange bevor im Forschungsbereich das Hebelgesetz formuliert wurde.

4. Informatik und kulturelle Evolution

Sprachliches Modellieren ist die Voraussetzung jeder menschlichen Tätigkeit und Kooperation. Jeder wissenschaftlich-technische Bereich bedient sich der Sprache als Modellierungsmittel. Insofern sind Sprache und sprachliches Modellieren das Elixier der kulturellen Evolution und insofern ist die F-Informatik ein potenzielles Fundament jeder Wissenschaft, nicht nur der Naturwissenschaften, sondern auch der Geistes- und Gesellschaftswissenschaften; und die Informatik insgesamt ist potenzieller Initiator und Motor gesellschaftlicher Entwicklungen. Aus diesem Grunde ist zu erwarten, dass die breite Nutzung der Informationstechnik zu einer neuen Qualität der kulturellen Evolution führen wird. Das betrifft nicht nur die Geschwindigkeit, mit der die Evolution vorwärts schreitet, sondern auch die Bewusstheit und Zielgerichtetheit, mit der die Menschen auf die Evolution

Einfluss zu nehmen versuchen. Es stellt sich die Frage, wie sich eine solche Entwicklung auf die Menschen und die menschliche Gesellschaft auswirken wird. Ich beschränke mich darauf, einige wenige Auswirkungen anzudeuten.

Erkenntnisgewinnung und Erkenntnistheorie. Die Tatsache, dass der Computer das Finden (Berechnen) *numerischer* Aussagen über die Welt beschleunigt, ist offensichtlich und wird in allen Bereichen des Lebens, von der Haushaltsführung bis zur Wissenschaft ausgenutzt. Weniger offensichtlich ist, dass der Computer auch das Finden *nichtnumerischer* Aussagen über die Welt beschleunigen kann und evtl. überhaupt erst möglich macht. Beispielsweise war es lange Zeit nicht möglich, die Bildung stabiler Wirbel aus den Grundgleichungen der Hydrodynamik herzuleiten, sodass man schon über Quanteneffekte als Ursache von Wirbeln zu spekulieren begann. Erst Simulationsexperimente mit dem Computer zeigten, dass die hydrodynamischen Gleichungen die Möglichkeit der Wirbelbildung durchaus enthalten. Doch sind die Gleichungen zu kompliziert, um derartige Lösungen analytisch herleiten zu können. Auch numerische Lösungen lagen früher infolge der Komplexität des Problems außerhalb des praktisch Machbaren. Erst der Computer war der Aufgabe gewachsen. Dies ist ein Beispiel dafür, dass der Computer (die künstliche Intelligenz) in der Lage ist, naturwissenschaftliche Erkenntnisse zu gewinnen, die der natürlichen Intelligenz infolge der Komplexität des zu modellierenden Objekts verschlossen sind. In diesem Sinne kann man von einem „eigenständigen“ Beitrag der E-Informatik (der Computer-IV) sprechen, auch wenn die Grundgleichungen und die Simulationsalgorithmen Produkte natürlicher Intelligenz sind. Andere Beispiele maschineller Erkenntnisgewinnung sind die Lösung des sog. Vierfarbenproblems und die Bestätigung der fermatschen Vermutung. Derartige maschinelle Erkenntnisleistungen öffnen ein neues Feld der Erkenntnistheorie. Ihr Gegenstand sind Erkenntnisse, die durch das Zusammenwirken natürlicher und künstlicher Intelligenz, durch „*hybride Intelligenz*“ gewonnen werden können.

Die Erkenntnistheorie versucht folgende Fragen zu beantworten: Ist es möglich, objektiv wahre Aussagen über die Welt zu gewinnen, und, wenn ja, mit welchen Methoden und in welchen Grenzen? Die Frage nach den Methoden stellt auch die Informatik, jedoch nicht auf der logisch-philosophischen, sondern auf der naturwissenschaftlich-technischen Ebene. Jede Teilantwort, die von der F-Informatik hinsichtlich der Human-IV auf diese Frage gefunden wird, stellt eine kausal begründete Teilantwort auf die logische Frage der Erkenntnistheorie dar. Die Informatik bewirkt, dass die Erkenntnistheorie kausal untermauert wird, dass aus einer Geisteswissenschaft eine Naturwissenschaft wird. Diese Art von Erkenntnistheorie kann als *Theorie der Kognition* oder *synchrone Theorie über Erkenntnis* bezeichnet werden [Bieri 87, S.30]. Eine solche Theorie ist am ehesten denkbar, wenn ausschließlich Realeme, d.h. neuronale Zustände betrachtet werden, wenn also die Ideme (Bewusstseinsinhalte), die den Realemen zugeordnet sind (die durch die neuronalen Zustände codiert werden), außerhalb der Theorie bleiben. Ein solcher Ansatz würde das Bewusstsein und damit das philosophische Kernproblem von der Betrachtung ausschließen. Er hat den Vorteil, „philosophiefrei“ zu sein, d.h. er braucht hinsichtlich philosophischer Theorien, beispielsweise der Identitätstheorie oder des eliminativen Materialismus (siehe z.B. [Carrier 89], [Paun 99]) keine Position zu beziehen. Nichtsdestoweniger bietet der Ansatz, auch wenn das Bewusstsein unerklärt und das Leib-Seele-Problem unberührt bleibt, ganz neue Perspektiven und kann zu einem neuen Selbstverständnis des Menschen führen. Die der E-Informatik zuzurechnende Robotertechnik provoziert schon heute einen neuen Blick auf uns selbst. Am Rande sei vermerkt, dass nicht nur die Informatik, sondern auch die Quantenphysik eine neue Erkenntnistheorie verlangt.

Auf lange Sicht wird sich auch das Bewusstsein dem Zugriff der Naturwissenschaft nicht entziehen können. Diese Möglichkeit prinzipiell auszuschließen und jeden Gedanken in dieser Richtung als unwissenschaftlich oder gar unerlaubt zu verwerfen, hieße, der wissenschaftlichen Phantasie und Erfindungsgabe des Menschen ihre Potenzen zu nehmen.

Darum muss jede Definition und Systematisierung von Wissenschaft und Technik „offen“ sein; sie muss einen Wirklichkeitsbereich jenseits des gegenwärtig Erkannten zulassen. Denn in diesem Bereich werden diejenigen Erfahrungen, Erkenntnisse und Erfindungen gemacht, die einen Durchbruch und Aufbruch in Neuland bedeuten, Erkenntnisse, welche die Grenzen des Gekanntes „transzendieren“ und jenseits des momentanen „physikalischen Weltbildes“ liegen, naturwissenschaftliche Erkenntnisse also, die in eine „transzendente, meta-physische Realität“ einbrechen.

Zusammenleben der Menschen und Soziologie. Dass die Informatik das Zusammenleben der Menschen verändert, ist offensichtlich und verständlich, denn ihr Gegenstand, das sprachliche Modellieren, ist eine der wichtigsten Grundlagen menschlichen Zusammenlebens. Die Veränderungen spürt jeder, der das Internet benutzt. Die A-Informatik bewirkt eine enorme Intensivierung und Effektivierung menschlicher Kontakte, sodass eine sozialisierende Wirkung zu erwarten ist. Neben positiven Wirkungen gibt es auch negative, die oft weniger ins Auge fallen. Eine negative Wirkung kann sich z.B. daraus ergeben, dass die unmittelbare mündliche Kommunikation zunehmend durch *mittelbare* (durch Computertechnik vermittelte) Kommunikation ersetzt wird. Eine Folge dieser *Ersetzung* ist eine teilweise *Außerkraftsetzung* des von der Evolution hervorgebrachten emotionalen Instrumentariums, das der Regulation des Verhaltens von Menschen dient, die sich „Auge in Auge“ gegenüberstehen. Der Verlust an emotionalem Kontakt kann dem oben genannten sozialisierenden Effekt entgegenwirken. Es wird eine wichtige Aufgabe der Soziologie sein, Methoden zu entwickeln, die diesen Verlust wettmachen. Informatiker entwickeln bereits derartige Methoden, beispielsweise das Erkennen und Berücksichtigen des emotionalen Zustandes des Computernutzers durch den Computer. Schon der Einsatz der Multimediatechnik bedeutet eine emotionale Anreicherung der Kommunikation.

Ein anderes Problem menschlichen Zusammenlebens ist die Ausgrenzung einzelner Personen oder ganzer Personengruppen infolge des technischen Fortschritts. Dieses Problem erfährt durch die Informationstechnik eine erhebliche Verschärfung. Wer nicht bereit oder nicht imstande ist, die Informationstechnik zu akzeptieren, d.h. sie zu „bewältigen“ und anzuwenden, verliert den Kontakt zur modernen Gesellschaft. Hier eröffnet sich ein weiteres Feld für die Soziologie, aber auch für die Psychologie und möglicherweise für die Psychiatrie.

Ein weiteres, zwar vorübergehendes, jedoch in der nächsten Zukunft umso schwerer wiegendes Problem ist die „Innovationskriminalität“. Damit bezeichne ich eine Art von Kriminalität, die sich neue technische Möglichkeiten in egoistischer Weise zunutze macht, bevor dies durch Gesetze verhindert oder zumindest erschwert wird. Sie ist die Folge der verzögerten Anpassung von Moral und Rechtsprechung an neue technische Möglichkeiten, gegenwärtig vor allem an die Möglichkeiten, die das Internet bietet (siehe [Fiedler 01]). Die zeitliche Verzögerung der notwendigen Anpassung relativ zur Innovation ist unvermeidbar. Die Höhe des Schadens, der durch Innovationskriminalität verursacht wird, hängt von der Klugheit und Entschlossenheit der Gesetzgeber ab. Auch stellt sich die alte Frage nach der Verantwortung der Erfinder für die Folgen ihrer Erfindungen, konkret nach der Verantwortung der Informatiker für die Internetkriminalität (siehe dazu [Scheffe 01])

Ferner kann die Informatik noch in ganz anderer, möglicherweise sehr positiver Weise das Zusammenleben der Menschen beeinflussen, nämlich über die Soziologie. Diese wird sich, so erwarte ich - ähnlich wie die Erkenntnistheorie - früher oder später in eine Naturwissenschaft verwandeln. Wichtige Voraussetzung dafür ist die Erarbeitung mathematischer Methoden, die sich für die Beschreibung und Untersuchung komplexer, nichtlinearer, dynamischer Systeme eignen. Bereits für eine naturwissenschaftliche Erkenntnistheorie sind solche Methoden erforderlich, für die Soziologie umso mehr, denn ihr Untersuchungsgegenstand ist ein *zweischichtiges dynamisches System*, man könnte auch - in Anlehnung an den Sprachgebrauch der Physik - von einem „Vielkörperproblem“ sprechen, das aus zwei Schichten besteht. Die „vielen Körper“ der unteren Schicht sind die Neuronen eines Gehirns,

die der oberen Schicht sind die Personen einer sozialen Gruppe. Fortschritte auf diesem Gebiet werden ganz neue Möglichkeiten für die Organisation des Zusammenlebens der Menschen eröffnen.

Damit habe ich nur ganz wenige Schlaglichter auf ein unübersehbares Feld neuer Perspektiven und Möglichkeiten der kulturellen Evolution und speziell der Wissenschaftsentwicklung gesetzt, auf neue Sichten und Wege, die durch die Informatik bzw. unter wesentlicher Beteiligung der Informatik kreiert, sichtbar und vielleicht sogar gangbar gemacht werden. Dabei wird sich immer wieder die Frage stellen, ob eine Disziplin, die wesentlich von der Informatik beeinflusst und geformt wird, der Informatik zuzurechnen ist, ähnlich wie im oben diskutierten Fall einer möglichen, aber nicht gerechtfertigten „Vereinnahmung“ der Neurophysiologie durch die Informatik. Man könnte die Vereinnahmung auf die Spitze treiben, indem man die *Wirkungen* der Informatik auf andere Bereiche als *Gegenstand* der Informatik auffasst und die Informatik durch ihre Wirkungen definiert, z.B. durch die Wirkungen auf die Tätigkeit und das Zusammenleben der Menschen oder gar durch ihre Wirkungen auf die kulturelle Evolution ganz allgemein. Konsequenterweise wären dann auch die Physik, die Chemie und alle anderen Wissenschaften nach diesem Prinzip zu definieren.

Dazu wäre in der Vergangenheit wiederholt Anlass gewesen. Beispielsweise hat die Dampfmaschine die Industriegesellschaft in ähnlicher Weise geformt, wie heute der Computer die Informationsgesellschaft formt. Wie man damals die Energietechnik oder gar die Physik nicht von den Wirkungen der Dampfmaschine her definiert hat, so sollte man auch heute die Informatik nicht von den Wirkungen des Computers her definieren. Das würde kaum zu einer klaren und durchsichtigen Systematisierung von Wissenschaft und Technik führen. Diese wird aber umso notwendiger, je mehr die Grenzen zwischen den verschiedenen wissenschaftlich-technischen Bereichen und Disziplinen verschwimmen. Ich zweifle nicht daran, dass eines fernen Tages auch die Kluft zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften verschwunden sein wird. Die Informatik wird wesentliche Voraussetzungen dafür schaffen.

Bei der Herausbildung und Festigung meiner Auffassungen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Informatik, die in diesem Artikel und in meinem Buch „Kausale Informatik“ [Jungclaussen 01] dargelegt sind, haben Diskussionen mit Informatikern und Vertretern anderer Disziplinen eine wesentliche Rolle gespielt. Das gilt auch für kontrovers geführte Diskussionen. Für alle Diskussionen bin ich dankbar. Meinen besonderen Dank sage ich den Herrn Dr. Manfred Bonitz, Prof. Volkmar Dienhold, Bernd Dupal, Prof. Peter Fleissner, Dr. Claude-Joachim Hamann, Prof. Frieder Nake, Dr. Wolfgang Oertel, Dr. Horst Piehler, Dr. Heinz Rötger, Prof. Dietrich Schubert, Prof. Peter Scheffe, Dr. Rainer Schulze, Prof. Dirk Siefkes, Prof. Erwin Stoschek, Prof. Reiner Tschirschwitz, Prof. Hartmut Wedekind und Prof. Paul Ziesche.

Literatur

Bieri, Peter (Hrsg.): Analytische Philosophie der Erkenntnis, Frankfurt am Main: Athenäum Verlag, 1987

Broy, Manfred; Joachim W. Schmidt: Informatik: Grundlagenwissenschaft oder Ingenieurdisziplin? Informatik Spektrum, 22/3, S. 206, 1999

Carrier, Martin; Jürgen Mittelstraß: Geist, Gehirn, Verhalten. Das Leib-Seele-Problem und die Philosophie der Psychologie. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 1989

Ebeling, Werner; Rainer Feistel: Chaos und Kosmos: Prinzipien der Evolution. Heidelberg; Berlin; Oxford: Spektrum. Akad. Verl., 1994

Ebeling, Werner; Jan Freund; Frank Schweitzer: Komplexe Strukturen: Entropie und Information. Stuttgart, Leipzig: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1998

Fiedler, Herbert: Der Staat im Cyberspace. Informatikspektrum 24/5, S. 309, 2001

Jungclaussen, Hardwin: Kausale Informatik. Einführung in die Lehre vom aktiven sprachlichen Modellieren durch Mensch und Computer. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag, 2001.

Maurer, Hermann: Prognosen und Thesen...nicht nur zum Schmunzeln. Informatik Spektrum 23/1, S. 53, 2000

Maurer, Hermann: Die (Informatik-)Welt in 100 Jahren. Informatik Spektrum, 24/2, S. 66, 2001

Pauen, Michael: Das Rätsel des Bewusstseins. Eine Erklärungsstrategie. Paderborn: mentis Verlag, 1999

Scheffe, Peter: Ohnmacht der Ethik? Über professionelle Ethik als Immunisierungsstrategie. Informatik Spektrum, 3/24, S.154, 2001