



# Europäische Akademie

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor:  
Professor Dr. Carl Friedrich Gethmann

---

## **Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft. Materialienband**

von

**T. Christaller, M. Decker (Hrsg.)**

November 2001



# Europäische Akademie

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Direktor:  
Professor Dr. Carl Friedrich Gethmann

## **Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft. Materialienband**

von

**T. Christaller, M. Decker (Hrsg.)**

November 2001

Die Schriften der „Grauen Reihe“ umfassen aktuelle Materialien und Dokumentationen, die von den Wissenschaftlern der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH laufend erarbeitet werden. Die Publikationen der „Grauen Reihe“ werden als Manuskripte gedruckt und erscheinen in loser Folge im Selbstverlag der Europäischen Akademie. Sie können über die Europäische Akademie auf schriftliche Anfrage hin bezogen werden.

**Herausgeber**



**Europäische Akademie**

zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen  
Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH

Wilhelmstraße 56, D-53474 Bad Neuenahr-Ahrweiler  
Telefon: ++49 - (0)2641 - 973 - 300, Telefax - 320  
e-mail: [europaeische.akademie@dlr.de](mailto:europaeische.akademie@dlr.de)  
[www.europaeische-akademie-aw.de](http://www.europaeische-akademie-aw.de)

**Direktor:**

Professor Dr. Carl Friedrich Gethmann (V.i.S.d.P.)

**ISSN** 1435-487 X

**Redaktion:**

Friederike Wütscher

**Druck:**

Warlich Druck Ahrweiler GmbH, Bad Neuenahr-Ahrweiler

## Vorwort

Interdisziplinär arbeitende Projektgruppen bilden die Kernaktivität der wissenschaftlichen Arbeit der Europäischen Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH. Anfang des Jahres 1999 wurde eine Projektgruppe zum Thema „Robotik. Optionen der Ersetzbarkeit des Menschen“ berufen, in der folgende Professoren mitarbeiten: Dr. Thomas Christaller, Dr. Joachim M. Gilsbach, Dr. Gerd Hirzinger, Dr. Dr. Karl Lauterbach, Dr. Dr. Erich Schweighofer, Dr. Gerhard Schweitzer und Dr. Dieter Sturma. Von Seiten der Europäischen Akademie wird die Projektgruppe durch den Projektleiter Dr. Michael Decker ergänzt.

Die thematische Vorbereitung einer solchen Projektgruppe ist vorläufig in dem Sinne, als im Verlauf der interdisziplinären Diskussion Aspekte angesprochen werden können, die innerhalb der befristeten Projektlaufzeit nicht von der Projektgruppe bearbeitet werden können. Je nach Art und Umfang dieser Fragestellungen sieht das Projektgruppenprinzip die Möglichkeit vor, dass die Projektgruppe um ein weiteres Mitglied ergänzt wird oder dass externe Experten eingebunden werden, die entweder eine schriftliche Studie anfertigen oder zu einzelnen Sitzungen der Projektgruppe eingeladen werden.

In diesem Band der Grauen Reihe sind die schriftlichen Studien zum Projekt „Robotik“ zusammengefasst. Sie ergänzen das Memorandum der Autoren T. Christaller, M. Decker, J.-M. Gilsbach, G. Hirzinger, K. Lauterbach, E. Schweighofer, G. Schweitzer und D. Sturma: „Robotik. Perspektiven für menschliches Handeln in der zukünftigen Gesellschaft“, das in der Schriftenreihe Wissenschaftsethik und Technikfolgenbeurteilung, Band 14, Springer Verlag 2001, erschienen ist. Die Projektgruppe möchte hiermit den Autoren der Studien für ihr Mitwirken an der Projektarbeit danken.

Bad Neuenahr-Ahrweiler, im Oktober 2001

Thomas Christaller  
(Vorsitzender der Projektgruppe)

Michael Decker  
(Projektleiter)

# INHALTSVERZEICHNIS

**Mensch-Maschine-Interface** . . . . . 7

Jan-Hendrik Heinrichs / Hans-Peter Riegel

**Natürliche Intelligenz: Konzepte, Entwicklung und Messung** . . . . . 74

Bernd-Otto Hütter

**Zurechnung von Roboterhandlungen im Bereich  
der privatrechtlichen Haftung** . . . . . 122

Helmut Ofner

# Mensch-Maschine-Interface

*Jan-Hendrik Heinrichs/Hans-Peter Riegel*

(Fachbereich Philosophie der Universität Essen)

|   |    |
|---|----|
| <b>Einleitung</b> .....   | 7  |
| <b>Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion</b> .....  | 8  |
| <b>Ökonomische Aspekte des Mensch-Maschine-Interface</b> .....  | 16 |
| Produktlebenszyklus .....   | 16 |
| Organisation .....  | 21 |
| <b>Standardisierung versus Individualisierung</b> .....   | 24 |
| Standardisierung der Benutzerschnittstelle in Form<br>allgemeiner Gestaltungs- und Programmierrichtlinien ..... | 24 |
| Schutz von Rechten am eigenen Design .....  | 28 |
| Möglichkeiten und Grenzen zur Individualisierung<br>von Benutzerschnittstellen .....                            | 30 |
| <b>Juristische Aspekte</b> .....  | 35 |
| Urheberrechtliche Bestimmungen .....  | 35 |
| Produkt- und Produzentenhaftung .....   | 36 |
| Europäisches Arbeitsschutzrecht .....   | 38 |
| <b>Psychologie des Mensch-Maschine Interface</b> .....  | 44 |
| Kognitive Psychologie .....   | 44 |
| Methoden .....  | 46 |
| Reduktionismus .....  | 46 |
| Der Modell-Human-Processor .....  | 48 |
| Psychologie im Designprozess .....  | 51 |
| Aktuelle Forschungsprogramme .....  | 54 |
| <b>Stand der Entwicklung</b> .....  | 58 |
| Klassische Schnittstellen .....   | 58 |
| Nicht-klassische Schnittstellen .....   | 68 |
| <b>Zusammenfassung</b> .....  | 70 |
| <b>Literatur</b> .....  | 71 |

## Einleitung

Die Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, im weiteren Mensch-Maschine-Interface genannt, hat die Aufgabe, maschinelle Funktionen für Menschen verfügbar zu machen. Maschinelle Funktionen werden dabei als von Maschinen geleistete Erweiterungen menschlicher Handlungsmöglichkeiten und Fähigkeiten verstanden.

Die Einbettung technischer Hilfsmittel in die kulturelle Lebensform hat im Laufe der Entwicklung meistens ohne explizite Reflexion über normative Aspekte stattgefunden. Im Zusammenhang des Designs des Mensch-Maschine-Interface werden technikethische Gesichtspunkte aber immer wieder in Betracht gezogen. So wird es als die Hauptaufgabe des System-Designs betrachtet, die Lebensqualität des Benutzers zu verbessern.<sup>1</sup> Dieses abstrakte Ziel, das das Ergebnis eher theoretischer Betrachtungen über das Interface ist, weicht aber im normalen Prozess der Systementwicklung spezifischeren Zielen des jeweiligen Zusammenhangs. Als konkrete Form eines übergeordneten Ziels bleibt eine Orientierung des Entwicklungsprozesses und des entstehenden Produktes am Kriterium der ‚Benutzerfreundlichkeit‘.

Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass eine Orientierung am Kriterium der Benutzerfreundlichkeit in der Regel keine ethische Betrachtung der jeweiligen maschinellen Funktionen und ihrer Rolle impliziert. In dieser Perspektive stehen arbeitspsychologische und ergonomische Aspekte im Vordergrund, während die zentralen Probleme der Technikethik wie die Gegenläufigkeit von technischer Eigendynamik und Verlust sozialer und individueller Kontrollmöglichkeiten sowie die unterschiedlichen Positionen in der Entscheidungshierarchie, die Mensch und Maschine zuzuordnen sind, dabei weitestgehend ausgeklammert bleiben. Diese Probleme müssen in einer anderen Perspektive betrachtet werden, in der der Begriff der Benutzerfreundlichkeit keine bestimmende Rolle spielt. Für die Betrachtung der Mensch-Maschine-Interaktion, die sich an ergonomischen Kriterien und der Benutzerfreundlichkeit orientierten, spielen sie keine

---

<sup>1</sup> Vgl. die Diskussion um die High Level Goals, die insbesondere Shneiderman 1987 führt.

Rolle, und bleiben dementsprechend im vorliegenden Beitrag auch weitgehend unberücksichtigt.

Die Interaktion von Mensch und Maschine reicht von der einfachen Bedienung von mechanischen Maschinen mittels Hebeln und Knöpfen bis hin zur modernen Einbettung des Benutzers in eine virtuelle Realität. Der Bereich der Interaktion mit trivialen und mechanischen Maschinen wird in der Literatur zur Mensch-Maschine-Interaktion weitgehend als unproblematisch angesehen bzw. an die Disziplin der Ergonomie verwiesen. Es sind die Interaktion mit nicht-trivialen Maschinen, Computern und insbesondere die Gestaltung von Graphischen Benutzeroberflächen (GUI), die die Aufmerksamkeit sowohl der Wissenschaften wie auch der Öffentlichkeit auf sich ziehen.

Daher steht die Entwicklung der Graphischen Benutzeroberfläche und ihrer Nachfolger im Brennpunkt des vorliegenden Beitrags. Auf eine Darstellung ihrer historischen Herkunft folgt die Untersuchung der ökonomischen und juristischen Rahmenbedingungen, unter denen die Arbeit in diesem Bereich steht. Daran schließt eine Darstellung der Forschungs- und Designtätigkeit an, die einen Schwerpunkt in der Leitdisziplin, der kognitiven Psychologie, findet. Abschließend findet sich ein exemplarischer Überblick über gegenwärtige Forschungsprogramme und Umsetzungen.

### **Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion**

Die Entwicklung der Graphischen Benutzeroberfläche und damit des modernen Mensch-Computer-Interfaces vollzog sich seit den 1960er Jahren in mehreren Schritten. Zentrale Neuerungen waren dabei das Time-Sharing, die direkte Manipulation von graphisch repräsentierten Datenobjekten und das Fenstersystem.

Die Möglichkeit, Prozessorzeit zwischen unterschiedlichen Aufgaben aufzuteilen und damit für mehrere Benutzer eines Computers die Illusion zu schaffen, alleine über den Computer zu verfügen, wurde gleichzeitig und unabhängig voneinander von John McCarthy und Christopher Strachey vorgestellt. Die Auswirkungen des Time-Sharing auf großen Systemen bestanden insbesondere darin, dass mit höherer Verfügbarkeit auch die Zahl der Benutzer stark stieg. Während der Rechner zuvor noch ein Pro-

jekt nach dem anderen bearbeitet hatte, wurden mit diesen Systemen parallele Interaktionen von unterschiedlichen Benutzern an Terminals mit dem Zentralrechner möglich. Eine Konsequenz dieser erhöhten Nutzungsmöglichkeit bestand darin, dass Benutzer untereinander Nachrichten über den Computer auszutauschen begannen. Datei-Sharing und Mail-Systeme entstanden durch diese Entwicklung ebenso wie die stärker benutzerorientierte Schnittstelle.<sup>2</sup> Zuvor war die Interaktion von Computer und Benutzer auf eine einzige Eingabe von Aufgaben beschränkt, da in die serielle Verarbeitung von Projekten nicht eingegriffen werden konnte, und daher möglichst vollständige und umfangreiche Prozesse an den Rechner abgetreten wurden. Mit den Timesharing-Systemen wurde es nun sinnvoll, auch Teilaufgaben oder kleinere Aufgaben an den Computer zu delegieren. Die Zahl der Interaktionen und deren Varianz stieg, und damit auch der Anspruch der Benutzer an den Dialogstil mit dem Rechner.

Einige der frühen Computer der 1950er Jahre, wie beispielsweise Whirlwind am MIT und das SAGE Luftabwehr Kommando- und Kontrollsystem, verfügten bereits über einen Bildschirm zur graphischen Darstellung von Berechnungen. Die Möglichkeit der direkten Darstellung der Manipulation von Zahlen, Text und auch Graphiken war damit bereits gegeben. Auf den Bereich der Datenmanipulation am Bildschirm konzentrierte sich ein wesentlicher Teil der Forschung. Der erste wirkliche Erfolg in diesem Bereich setzt auch den Anfangspunkt der Geschichte der direkten Manipulation von Datenobjekten. Sie beginnt mit Sutherlands 'Sketchpad', das er 1963 am MIT als Ph.D.-Thesis einreichte. Sutherlands Ziel war es, eine schnelle Kommunikation zwischen Mensch und Computer durch linienförmige Zeigegesten zu ermöglichen. Sketchpad ermöglichte mittels eines Lightpen das Greifen, Verschieben und Skalieren von Datenobjekten auf dem Bildschirm. Obwohl Sutherland noch davon sprach, das Display wie ein Blatt Papier zu behandeln, ging aus dieser Idee die Schreibtisch-Metapher hervor, die die Interface-Entwicklung kommerzieller Systeme bis heute dominiert.

---

<sup>2</sup> Einige Neuerungen verdanken sich dabei der Entwicklung alternativer Nutzungen des Computers, insbesondere der Entwicklung von Multi-Player-Spielen, aus denen sich das erfolgreiche Betriebssystem Unix entwickelt hat.

Auf der Spring Joint Computer Conference, auf der Sutherland 1963 sein Sketchpad präsentierte, wurden auch die ersten Grundlagen von CAD (Computer Assisted Design)-Programmen vorgestellt.<sup>3</sup> Beide Systeme basieren auf der Fähigkeit eines Systems, Zeigegeräten mit einem entsprechenden Gerät zu interpretieren und diesen Eingaben entsprechend graphische Objekte zu manipulieren. Zusammen regten sie technische Neuerungen auf dem Gebiet der Zeigegeräte an.

Die Entwicklung der Zeigegeräte geht vom Lightpen aus, der schon 1954 Verwendung fand. Die nächste Entwicklungsstufe war die Maus, die als Teil von Engelbarts NLS Systems 1968 im Stanford Research Lab entwickelt wurde. Die kommerzielle Nutzung begann mit Apple Lisa, Apple Macintosh, Xerox Star und dem PERQ von Three Rivers Company.

Die Anforderungen von Sketchpad und nachfolgenden Entwicklungen im Bereich der Manipulation von graphischen Objekten erforderte zusätzlich nicht nur eine neue Bildschirmtechnologie, die in den 1970er Jahren durch eine Weiterentwicklung der etwa 20 Jahre zuvor entwickelten „direct view storage tubes“ verfügbar wurde, sondern auch schnellere Bildprozessoren, die zur Echtzeit-Manipulation von Liniengraphiken in der Lage waren und präzisere Eingabegeräte wie etwa das „data tablet“. Die kombinierte Entwicklung solcher neuer Hard- und Software führte besonders in den Bereichen der Naturwissenschaften und Mathematik zu einer großen Zahl neuer Anwendungen, die in der Lage waren, wissenschaftliche Berechnungen zu unterstützen und teilweise dreidimensional darzustellen.

Das Konzept der direkten Manipulation wurde in kommerziellen Systemen zuerst im Xerox Star 1981 und im Apple Lisa 1982 sowie Apple Macintosh 1984 benutzt. Der Begriff der direkten Manipulation wurde von Ben Shneiderman 1982 eingeführt und in die entstehende Theorie des Interface-Designs eingebettet.

Das Fenstersystem wurde zuerst in Engelbarts NLS 1968 benutzt. Alan Kay führe 1969 in seiner Ph.D-Thesis an der University of Utah die

---

<sup>3</sup> Coons 1963, Ross 1963, Stotz 1963, Johnson 1963.

Zusatzoption überlappender Fenster ein. Obwohl schon das Smalltalk System bei Xerox Parc und einige Lisp Machines Inc. mit solchen Fenstersystemen liefen, wurde der kommerzielle Durchbruch wiederum mit Apple Lisa und Apple Macintosh sowie Xerox Star erzielt.

Das Design von Mensch-Computer-Dialogen wurde seit 1970 immer mehr zum Thema der Computerwissenschaftler. Das erste umfassende Werk zu diesem Thema war Sackmans „Man-Computer Problem Solving“. Wie andere Werke, die zu dieser Zeit erschienen<sup>4</sup>, war es maßgeblich mit der technischen Seite der Mensch-Maschine-Interaktion befasst. Betrachtungen menschlicher Leistungen und Ansprüche gingen in die Forschung zumeist nur in der Form von Untersuchungen im Rahmen der kognitiven Psychologie ein.<sup>5</sup> Diese konzentrierte sich auf Effizienzkriterien des Systems Mensch-Maschine, welches durch menschliche Reaktionszeiten, Wahrnehmungsfähigkeiten und Gedächtnisleistungen beeinflusst wird.

Aus ökonomischen und theoretischen Gründen galt das primäre Interesse den Werkzeugen, wie Programmiersprachen, nicht aber den damit produzierten Produkten, also der Anwendersoftware. Die Softwareentwicklung war zu Beginn der 1970er Jahre noch sehr kostenintensiv. Zudem waren auch die Produkte noch von recht geringer Verlässlichkeit. Diese Problematik erforderte eine systematische Erforschung und Verbesserung der Arbeit mit dem Computer, die noch weitgehend in programmiererischen Tätigkeiten gesehen wurde. Die Erforschung wurde von der Hoffnung angetrieben, deutliche Fortschritte in der Softwareproduktion machen zu können. Das Verhalten von Programmierern galt als weitaus interessanter für die Erforschung von Mensch-Maschine-Schnittstellen, da es als weitaus komplexer und das Benutzerverhalten nur als eine einfachere Abweichung davon galt.

Wichtige Forschungsarbeit auf diesem Gebiet leisteten Nickerson, Sackman, Yntema und Kollegen bei der System Development Corporation und

---

<sup>4</sup> Zu den ersten Werke zählen Sackman 1970, Weinberg 1971 und Martin 1973.

<sup>5</sup> Eine Darstellung der Theorien, Methoden und Ergebnisse der kognitiven Psychologie im Feld der Mensch-Maschine-Interaktion findet sich im Kapitel *Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion*.

am MIT Lincoln Lab, die Gruppe um John Gould bei IBM Research in Yorktown Heights und das Applied Information Processing Psychology Project von Allan Newell, Stewart Card und Tom Moran am Xerox Parc.

Die Umsetzung der Idee von Sutherlands Sketchpad sowie den anderen Neuerungen für benutzerfreundliche Schnittstellen in allgemein zugängliche Gesamtsysteme kann erst mit Apples Macintosh 1977 als wirklich gelungen angesehen werden, brauchte seit der Präsentation von Sketchpad 1963 also 21 Jahre. Dieser lange Zeitraum ist zum Teil mit technischen Einschränkungen zu erklären. Anhand der drei ersten kommerziellen Systeme, die das Prinzip der direkten graphischen Manipulation umsetzten, lassen sich weitere Gründe für diese langsame Umsetzung absehen. Diese drei Systeme waren die bereits mehrfach benannten Xerox Star, Apple Lisa und Apple Macintosh.

Der Xerox Star war das erste der drei Systeme, welches auf den Markt gebracht wurde. Es profitierte von den Untersuchungen zum Mensch-Maschine-Interface des Xerox Parc in den Jahren zuvor. So verfügte der Star als erstes System über 1) eine graphische Desktop-Metapher, also ein konzeptuelles Modell für den Benutzer<sup>6</sup>, 2) die Möglichkeit der direkten Manipulation mit der Maus, die Möglichkeit, das Erscheinungsbild selbst zu spezifizieren, 3) WYSiWYG (What you see is what you get), 4) universelle Befehle, die sich innerhalb des gesamten Systems und der darauf implementierten Programme benutzen ließen, wie etwa 'Move', 'Delete' und 'Copy'. Der Star war nicht nur aufgrund der Forschungsarbeiten am Xerox Parc, sondern auch mit Hilfe von ausgiebigen Benutzertests und Befragungen gestaltet worden. Als erstes Produkt wurde bei ihm also von den Methoden des User-Interface-Design und moderner Techniken des Projektmanagement Gebrauch gemacht, die in den darauf folgenden Jahren zum angestrebten Standard der neuen Disziplin werden sollten.

Trotz seines technisch innovativen Charakters war dem Star am Markt aus mehreren Gründen kein Erfolg beschieden. Zum einen war das Marktsegment, das er hätte ansprechen sollen, 1981 noch nicht in ausreichendem Maße ausgebildet. Die Zielgruppe der „knowledge worker“, die

---

<sup>6</sup> Eine Darstellung von konzeptuellen bzw. mentalen Modellen für den Benutzer findet sich im Kapitel Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion.

Xerox in seiner Verkaufsstrategie als primäre Abnehmer spezifiziert hatte, war zu diesem Zeitpunkt noch eine marginale Größe. Diejenigen, die ihr schon angehörten, verfügten normalerweise über Rechnersysteme in Laboratorien und großen Firmen. Zwar waren diese deutlich schwieriger zu bedienen, doch stellte Bedienungsfreundlichkeit für diese ersten Computerbenutzer kein Kriterium für einen Kaufentscheid dar<sup>7</sup>. Hinzu kam, dass der Star noch recht teuer war. Nach Umrechnung der Netzwerkkomponenten und Drucker auf den einzelnen Rechner kostete er um die 15.000 U.S.\$. Das war für den Privatbereich und die Firmen, die auch zuvor aus Preisgründen auf Computerisierung verzichtet hatten, gemessen am damals wahrgenommenen Nutzen des Star, zu teuer.

Hinzu kam, dass der Star als langsam empfunden wurde und zudem nicht über die Möglichkeit zur einfachen Programmentwicklung verfügte. Xerox gab die 'Mesa' Entwicklungsumgebung, die bei der Programmierung des Star benutzt worden war, nicht frei, sondern stattete ihn statt dessen mit dem unterlegenen 'Customer Programming System' aus.

Das wichtigste Problem aber war, dass der Markt 1981 von einer Gruppe von Käufern beherrscht wurde, denen Funktionalität das einzige Kriterium für einen Computer war. Der Zusatznutzen des Star verschwand hinter dem aufgrund der angeblichen Langsamkeit und der geringen Breite verfügbarer oder entwickelbarer Software als gering empfundenen Grundnutzen. In wieweit das Marketing des Star, welches scheinbar noch aus derselben Feder stammte wie das Marketing für Photokopierer, dem Markt für Computer angemessen war, ist ebenfalls fraglich.

Das nächste System auf dem Markt war 1983 Apples Lisa. Die mit Lisa verbundenen Ambitionen waren geringer als beim Star. Während der Star weitreichende Netzwerk-Unterstützung bot, war Lisa als Mischform zwischen Büro und Privatrechner angelegt, um einer Person das Editieren von Dokumenten aller Art zu ermöglichen. Dafür war Lisa aber mit 10.000 U.S.\$ deutlich billiger als der Star. Davon abgesehen war Lisa dem Star hinsichtlich des Benutzer-Interface sehr ähnlich. Wie der Star scheiterte aber auch der Lisa am Markt, und zwar weitgehend aufgrund

---

<sup>7</sup> Eine Darstellung der Kriterien unterschiedlicher Kundengruppen in unterschiedlichen Produktlebensphasen findet sich im Kapitel *Ökonomische Aspekte*.

derselben Gründe. Das Benutzer–Interface beider Produkte war sehr ausgereift, aber im Bereich der Funktionalität, dem damals wichtigsten Kriterium, wurden sie als nicht ausreichend empfunden. Lisa wurde innerhalb von drei Jahren wieder vom Markt genommen.

Den Durchbruch schaffte erst der Apple Macintosh. Im Januar 1984 wurde er für 2.500 U.S.\$ auf den Markt gebracht und war der erste wirklich erfolgreiche PC mit einem Benutzerinterface, das den Namen verdient. Dabei steht zu beachten, dass der Macintosh natürlich in ein bereits eröffnetes Feld einzog. Während der Star und Lisa die ersten Produkte einer neuen Produktfamilie gewesen waren, war der Markt für den Macintosh durch diese und den IBM PC bereits vorbereitet.

Bei der Gestaltung des Macintosh konnte Apple von den Problemen des Lisa Systems und auch des Star profitieren. Diverse Fehler im System des Lisa wurden für den Macintosh beseitigt, und das Interface wurde aufgrund der Daten, die mit Lisa gesammelt worden waren, weiter verbessert. Mit der offenen Architektur des Macintosh und dem „developers toolkit“ wurde erstmals eine breite Verfügbarkeit von Software zu jedem Zweck ermöglicht. Zudem eröffnete die überlegene Graphik und die kostengünstige Verfügbarkeit eines 300 dpi Laserdruckers ein neues Marktsegment, das „desktop publishing“. Sicherlich profitierte der Macintosh aber auch von seinem sehr geringen Preis, gerade mal einem Viertel des Vorgängersystems.

Obwohl das Interface des Macintosh nicht bahnbrechend besser war als das des Star oder des Lisa, konnte er aufgrund einer besseren Abstimmung auf die vorherrschende Zielgruppe und eines bereits eröffneten Marktes weitaus bessere Erfolge erzielen. Der Macintosh war den vorherigen Systemen zwar überlegen, doch diese waren ihren Vorgängern ebenso überlegen, ohne dadurch einen Vorteil am Markt zu haben.

Der Star, Lisa und Macintosh waren die ersten Computer, die weitgehend dem Prinzip des „User-Centered Design“ entsprachen. Während im technologiezentrierten Design, dessen exemplarische Umsetzung der IBM PC war, die zur Verfügung stehenden Ressourcen zuerst dazu eingesetzt werden, ein funktionales, technisches System zu konzipieren, und erst ab einer späten Phase im Prozess Erwägungen hinsichtlich der Benutzer-

freundlichkeit hinzukommen, ist das Paradigma der Human Centeredness darauf ausgerichtet, Kriterien wie Benutzerfreundlichkeit und einfache Erlernbarkeit schon in den ersten Phasen der Produktkonzeption zu beachten. Dieses Designprinzip etablierte sich etwa zeitgleich mit den ersten Markterfolgen, obwohl erste Kritik am technikzentrierten Design schon in den 1960er Jahren von skandinavischen Designern erfolgt war. Die Humanisierungstendenzen in der Arbeitswelt, die sich besonders in den siebziger Jahren vollzogen und in Gesetzen zu Arbeitsbedingungen und Ausbildung niederschlugen, verlangten auch für Bürosysteme nach einer Form der Schnittstelle, die diesen Tendenzen entsprach.

Eine Professionalisierung der Arbeit an Mensch-Maschine-Schnittstellen stellte sich am Anfang der achtziger Jahre mit dem Erscheinen der ersten allgemein zugänglichen Computers und damit der Kommerzialisierung des Bereiches ein. Als zentrales Datum wird die Gaithersburg Conference on Human Factors in Computing Systems 1982 genannt, die die erste der jährlichen ACM Special Interest Groups on Computers and Human Interaction hervorbrachte. Im selben Jahr erschien Shneidermans Definition der direkten Manipulation:

1. Continuous representation of the object of interest.
2. Physical actions or labeled button presses instead complex syntax.
3. Rapid incremental reversible operations whose impact on the object of interest is immediately visible.<sup>8</sup>

Im Jahr darauf gingen bei Card, Moran und Newell die Forschungsergebnisse und Erfahrungen der neuen Disziplin in *The Psychology of Human Computer Interaction*<sup>9</sup> ein, welches seitdem eines der wichtigsten Standardwerke geblieben ist. Gemäß der Aufteilung dieses Werkes in eine wissenschaftliche bzw. psychologische Basis, dem Model Human Processor<sup>10</sup>, und seine praktische Anwendung in Designregeln, Methoden und Prinzipien werden heute noch die meisten Forschungsprojekte und Veröffentlichungen auf dem Feld der Human-Computer-Interaction konzipiert.

---

<sup>8</sup> Shneiderman 1982, S. 251.

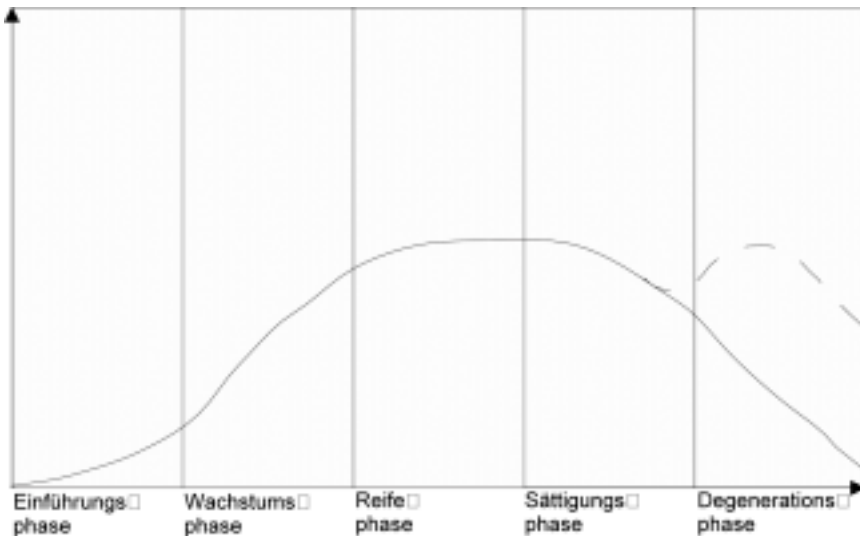
<sup>9</sup> Card, Moran and Newell 1983.

<sup>10</sup> Vgl. *Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion*.

# Ökonomische Aspekte des Mensch-Maschine-Interface

## Produktlebenszyklus

Produkte, insbesondere technische Produkte wie auch Produktfamilien haben einen eigenen Lebenszyklus. Dieser Lebenszyklus wird in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur normalerweise eingeteilt in die Einführungsphase, Wachstumsphase, Reifephase, Sättigungsphase und Degenerationsphase. Diese Phasen lassen sich nicht nur nach den üblichen Kriterien von Umsatz und Gewinn charakterisieren, sondern auch hinsichtlich unterschiedlicher Kundenschichten, Kundenwünsche und Anforderungen an die Produktvariation unterscheiden.



*Schematische Darstellung eines Produktlebenszyklus*

Die Einführungsphase und Wachstumsphase technischer Produkte werden von ähnlichen Käufern dominiert. Von anfänglicher Begeisterung für technische Neuerungen getragen, werden Produkte wie die frühen Computer Apple Macintosh und IBM PC normalerweise zuerst ohne besondere Ausrichtung auf die Bedürfnisse einer besonderen Käuferschicht auf den Markt gebracht. Die ersten Käufer und Benutzer sind technologisch

versierte Personen, die in der neuen Technologie einen Mehrwert sehen, der den zusätzlichen Aufwand des Erlernens ausgleicht.

Während in späteren Phasen der über den Grundnutzen eines Produktes hinausgehende Zusatznutzen etwa in Form von Prestige oder Bedienerfreundlichkeit Einfluss auf die Marktposition gewinnt, wird in diesen frühen Phasen fast ausschließlich der Grundnutzen des jeweiligen Produktes die Verkaufszahlen bestimmen. Im Falle der frühen Computer der 1980er Jahre waren insbesondere VisiCalc für den Apple II und Lotus 1-2-3 für den IMB PC bestimmend für diesen Grundnutzen. Die Programme ermöglichten erstmals flexible Rechnungen und Planungen, die mit den vorherigen Mitteln von Tischrechnern nicht möglich gewesen waren. Ein Zusatznutzen wie Bedienerfreundlichkeit ging damit aber insbesondere beim IBM PC nicht einher.

Die Orientierung an dieser frühen, technisch versierten Käuferschicht führt in der technisch dominierten Wachstumsphase der Produktentwicklung dazu, dass aufgrund technischer Machbarkeit und der besonderen Nutzenstruktur besagter Käufer die Entwicklung aufwendiger, komplexer Ausstattungsmerkmale vorherrscht. Die Benutzerfreundlichkeit, oder gar die Einfachheit der Benutzung sind in dieser Phase keine Kriterien für die Produktentwicklung.

Während des Reifens des Produktes bekommt zusätzlich zu den technischen Möglichkeiten die Vermarktbarkeit des Produktes und damit das Marketing Einfluss auf die Gestaltung des Produktes. Da aber die Ansprüche der ersten Kunden sich durch die langsam entstehende technische Literatur und Produktvorstellungen in Fach- und Populärzeitschriften verselbständigt, fließen insbesondere quantifizierbare Kriterien – am Beispiel des Computers Speichergröße, Taktfrequenz und Prozessorgeneration – in das neue Design ein. Diese Kriterien sind es, die in Produkt-Reviews zuerst eingehen, und die das Aufkommen von Kriterien wie Benutzerfreundlichkeit vollständig unterdrücken. Die Forderungen des Marketing sind also Listen weiterer Ausstattungserweiterungen und erhöhter Leistungsmerkmale: schnellere Prozessoren, größere Speicher, mehr Datendurchsatz. Exemplarisch für diese Einstellung des Käufer und Produktrezensenten ist die Reihenfolge wichtiger Charakteristika für

Office Automation Systeme, die sich in *Datamation* 1984 finden lässt:

”The following list indicates the actual relative importance of various aspects of an OA system:

1. Functionality
2. Functionality
3. Nothing
4. Functionality
5. Everything else”<sup>11</sup>

Erst wenn das Produkt eine breitere Öffentlichkeit und damit auch konservative Käufer erreicht, werden Forderungen nach Einfachheit in der Benutzung, Bedienerfreundlichkeit, Zuverlässigkeit laut. Das Produkt wird zu einem Massenprodukt und muss den Kriterien eines Massenmarktes entsprechen. Dies ist die späte Reifephase und Sättigungsphase des Produktlebenszyklus. Die technischen Ausstattungsmerkmale des Produktes werden mittlerweile als selbstverständlich hingenommen. Der hierin bestehende Grundnutzen bestimmt nicht länger die Verkaufszahlen. Jeder Anbieter vermag diesen Grundnutzen zur Verfügung zu stellen, über die Marktposition entscheidet jetzt der Zusatznutzen.

Die Kunden sind nicht mehr nur technisch versierte oder interessierte Benutzer, sondern Personen aus allen demographischen Schichten, deren Interesse sich nicht mehr auf neue Technologie sondern auf ein nützliches Werkzeug oder Medium richtet. Die quantitativen Kriterien, die vorherige Käuferschichten zu begeistern in der Lage waren, verlieren langsam ihren Reiz, andere Aspekte werden wichtiger. Diese Aspekte sind nicht mehr allein durch technische und Vermarktungskriterien zu ermitteln, sondern sie bedürfen umfangreicherer Marktforschung und Benutzerbefragung. In diesem Stadium der Produktzyklus wird das Produktdesign, hier das Schnittstellen-Design zentral.

In dieser Phase kann der Lebenszyklus des Produktes durch Variation verlängert werden. Die Veränderung von funktionalen, ästhetischen, oder symbolischen Produkteigenschaften wie etwa dem der Qualität, dem Design oder dem Markennamen kann für den Käufer Zusatznutzen stif-

---

<sup>11</sup> Hammer 1984.

ten, der über den des ursprünglichen Produktes hinausgeht. Diese Veränderungen können zu einem Relaunch des Produktes oder der Produktfamilie führen.

Der in der Graphik zu ersiehende unausbleibliche Abfall der Umsatzkurve gilt bisher für jedes Produkt. Obwohl Produkte sich über sehr lange Zeit halten können, werden sich letztlich doch durch Weiterentwicklungen abgelöst. Ausnahmen davon bilden natürlich Produkte der Grundversorgung, Grundnahrungsmittel etc. Diese Produktfamilien werden nie aus dem Markt verdrängt, obwohl einzelne Produkte oder Marken auch in diesem Bereich dem normalen Produktlebenszyklus unterliegen.

Dieser Verlauf des Produktlebenszyklus ist ein zentraler Einfluss auf das Design von Mensch-Maschine Interfaces gewesen, und wird es wahrscheinlich bleiben. Die frühe Phase machte sich insbesondere durch ein Mangel an Design bemerkbar. Wie bereits dargestellt herrschte ein Kundenstruktur vor, die aufgrund von technischer Bildung und einer Konzentration auf den Grundnutzen keinen Bedarf an Designcharakteristika hatte. Das Marketing, welches in dieser Einführungs- und in der Wachstumsphase mit dem Vertrieb des Computers konfrontiert war, konnte anhand von Marktumfragen und Produktrezensionen auch keine anderen Bedürfnisse als die des Grundnutzens in immer steigender Quantität feststellen. Die Entwicklung von Benutzerfreundlichkeit oder anderen Interface-Charakteristika stagnierte daher.

Erst in der Reifephase und der langsam beginnenden Sättigungsphase konnte Produktdesign, die Konzentration auf Zusatznutzen eine Rolle bei der Marktposition des Computers zu spielen beginnen. Allerdings sind noch immer die frühen technischen Kriterien von Prozessortakt, Speichergröße und Datendurchsatz wichtige Faktoren für die Kaufentscheidungen<sup>12</sup> auf einem Markt, der beginnt, auch konservative Kunden anzulocken.

---

<sup>12</sup> Dieser Umstand hat sich bis heute nur geringfügig geändert. Produktankündigungen für Computer tragen noch immer Megahertz, Ram- und Romgröße in der Titelleiste und werden selten durch nicht-technische Angaben ergänzt. Ein triviales aber charakteristisches Beispiel ist, dass es kaum CD-Laufwerke gibt, deren Öffnungsmechanismus so angebracht ist, dass man ihn auch bei geöffnetem Schacht problemlos erreichen kann.

Eine Folge dieser Diskrepanz zwischen Bedürfnissen und Kenntnissen der neuen Kunden und dem Zuschnitt des Produktes auf die früheren Käufer ist die beständig steigende Zahl von Kundenservice-Leistungen und Telefonhotlines. Während die Komplexität von Programmen und Anwendungen beständig steigt, um die Möglichkeiten der immer leistungsfähigeren Rechner auszunutzen (während dieser Text geschrieben wird ist der Rechner, der immerhin schon 3 Jahre alt ist, zu gerademal 12 Prozent ausgelastet), sinkt entsprechend die Übersichtlichkeit. Einfache Textverarbeitungssysteme verfügen über tausend und mehr Befehle. Programmoptionen, die kaum ein Benutzer jemals brauchen wird, müssen in jeder Version eines jeden Programmes neu hinzugefügt werden. Mit jedem zweiten Update spätestens muss der Kunde seine gesamte Infrastruktur umstellen, um seine alten Dateien konvertieren oder Daten mit Bekannten austauschen zu können. Die Lernzeit für Programme steigt mit der Zahl der Optionen und Befehle, und die Rückfragen an die Produzenten steigen rasant an. Dementsprechend werden enorme Ressourcen dadurch verbraucht, dass Benutzer auf den ständig verfügbaren Expertenrat an Telefonhotlines zurückgreifen. Diese Ressourcen fehlen im Designprozess.

Die bleibende Ankopplung des Produktionsprozesses an die Neuerungen der Rechnertechnik lassen derzeit eine Spanne zwischen zwei Produktversionen von bestenfalls wenigen Monaten zu. Spätestens dann ist ein Rechner hinsichtlich der technischen Kriterien nicht mehr auf dem neuesten Stand, bei Software beträgt diese Phase häufig nur bis zu einem Jahr. Dementsprechend ist für das Design von Benutzerschnittstellen eine noch kürzere Zeit vorhanden, es sei denn, das Design von bereits vorhandenen Produkten wird direkt übernommen, oder aber der Produktentwicklungsprozess um diese Aufgabe erweitert. So nützlich die rasante Fortentwicklung der Rechnertechnik sein mag, die kriterienlose Anbindung des Marktprozesses daran führt dazu, dass dieser Nutzen nicht ausgeschöpft werden kann. Umfangreiche Ressourcen in die technischen Charakteristika zu investieren, die Nutzung der dadurch erzielten Kapazität durch schlechte oder unzureichend verständliche Schnittstellen und Software aber zu erschweren, ist sowohl ineffizient als auch für den Abnehmer

nachteilig. Eine Ressourcenallokation im Produktionsprozess von Rechnern und Software, die es erlaubt, Produkte so zu gestalten, dass vorhandenen Rechner- und Softwarekapazitäten genutzt werden, könnte diese Ineffizienz beseitigen. Um dies zu gewährleisten, bedarf es allerdings einer Reorganisation des Produktionsprozesses, wie auch eines Wandels des Verständnisses der an diesem Prozess beteiligten hinsichtlich der Kriterien, die an ein solches Produkt zu stellen sind.

## **Organisation**

Mit dem Eintritt in die Reifephase und der Zunahme der Forderungen nach Zusatznutzen bei Computer- und Softwaresystemen stellen sich neue Anforderungen an die Einbettung der für das Schnittstellen Design zuständigen Mitarbeiter oder Abteilungen in Unternehmen. Während in den frühen Phasen das Design und die „user-experience“ erst nach weitgehend abgeschlossener Produktentwicklung beteiligt wurden, können diese Gesichtspunkte in dieser Marktphase nicht mehr als nachträgliche Ergänzungen betrachtet werden. Eine konsequente Orientierung am entwickelten Markt erfordert die frühe Einbettung von Designkriterien in den Produktentwicklungsprozess. Wie bei anderen technischen Produkten auch wird daher die Organisationsform für den Designprozess umstrukturiert.

Designgruppen konnten in früheren Marktphasen aus dem eigentlichen Produktionsprozess ausgelagert werden. Sie standen, wie auch die Qualitätskontrolle, teilweise am Ende einer linearen Abfolge von Entwicklungs- und Produktionsvorgängen und hatten die Aufgabe, fertige Produkte benutzerfreundlich zu gestalten. Ähnlich wie für die Qualitätskontrolle war damit für das Designteam die direkte Einflussnahme auf die Produktentwicklung auf ein Minimum reduziert. Zusätzlich wurde damit die Belohnungsstruktur für Designteams so eingerichtet, dass sie nicht dafür honoriert wurden, benutzerunfreundliche Produkte zurückzuweisen, sondern dafür, solche Produkte mit den nach dem Produktionsprozess noch zu Verfügung stehenden Mitteln an die Kundenbedürfnisse anzupassen. Das Ergebnis war natürlich weit schlechter, als es bei einer kon-

sequentem Einbindung des Designteams in den Entwicklungsprozess hätte sein können.

Entsprechend modernen Prinzipien in der Organisationslehre, aber auch gemäß der gewachsenen Nachfrage nach Zusatznutzen bei Computerprodukten tendieren Hersteller heute dazu, Entwicklungsprozesse in andere Organisationsformen einzubetten. Dabei dominieren virtuelle Organisationen, Matrixorganisationen und insbesondere Projektmanagement. Diese Strukturen zeichnen sich dadurch aus, den Entwicklungsprozess interdisziplinären Gruppen von geringer Hierarchietiefe zu überantworten. Die Verantwortung für das Projekt wird dabei normalerweise auf alle Mitwirkenden solcher Gruppen verteilt.

Demzufolge ändern sich auch die Anforderungen an Softwareingenieure und -designer. Während in den frühen Marktphasen maßgeblich technische Fähigkeiten verlangt wurden, wachsen die Anforderungen in dieser neuen organisatorischen Einbettung nicht nur um die für das Design gebrauchten Disziplinen wie kognitiver Psychologie, graphischer Gestaltung, Industriedesign, journalistischen und sozialwissenschaftlichen Fähigkeiten, sondern auch um Versatzstücke aus dem Management. Projektmanagement erfordert neben Experten für einzelne Disziplinen Personalmanagement, Budgetplanung, Zeitplanung etc.

Auch da, wo innerhalb gegebener Organisationen eigene Abteilungen für das Interface-Design geschaffen werden, arbeiten Mitglieder dieser Abteilung meistens in Einzelprojekten ähnlich dem Verfahren im Projektmanagement mit. Dementsprechend findet sich in der Ausbildung von Software-Ingenieuren und Designern sowie in der einschlägigen Literatur mittlerweile ein großer Anteil organisationstheoretischer Anleitung. Da Softwareerstellung normalerweise kein Serienprodukt sondern vielmehr einzelne Projekte realisiert, umfasst ihre moderne Organisation Entwicklung, Management, Qualitätssicherung, Wartung und Pflege.

Die typische Form der Organisation von Softwareentwicklung, das Projektmanagement, hat sich dem Fortschritt der Informationstechnologie parallel stark entwickelt, es gewann in den 60er Jahren an Bedeutung, als erstmals Computersoftware dafür kommerziell vertrieben wurde. Pro-

jektmanagement-Techniken wurden ursprünglich von Wissenschaftlern und Ingenieuren entwickelt und von Softwarespezialisten für die Anwendung auf Rechnern umgesetzt. Diese Phase der Softwareentwicklung befasste sich noch stark mit Methoden, die eigene Arbeit zu erleichtern. Ebenso wie das Interface-Design sich vorerst darauf konzentriert hat, Werkzeuge für die Softwareentwicklung bereitzustellen<sup>13</sup>, wurden parallel dazu Werkzeuge für die Planung und Durchführung von Softwareprojekten im wirtschaftlichen Bereich erstellt. Exemplarisch für diese Entwicklungen sind Netzplantechniken, deren früheste Formen PERT (Performance Evaluation and Review Technique) und CPM (Critical Path Method) sind. Schon diese ersten Netzpläne basierten auf Vorgehensweisen aus der Informatik und fanden bald Software-Realisierungen.

Die parallele Entwicklung von Softwareentwicklung und Projektmanagement hat in beiden Bereichen zu einer zusätzlichen Professionalisierung und der Ausbildung neuer Berufszweige geführt. Die gegenseitigen Einflüsse sind sowohl in der Struktur der Informatik, wie auch in der modernen Managementlehre zu finden. Charakteristisch dafür ist nicht nur das bereits angeführte Projektmanagement, sondern auch der Bereich des Operations Research, der sich sowohl methodisch wie auch inhaltlich auf die Theorie der Informationsverarbeitung stützt. Insbesondere die Orientierung an mathematischen Modellen, die der informationstheoretischen Systemtheorie entstammen, sind für diese Disziplin, die sich auch historisch parallel zur Erweiterung der computationalen Möglichkeiten entwickelt hat, bestimmend.

Ein weiteres Anwendungsfeld, welches von der Verschmelzung von Informationstheorie und Wirtschaftswissenschaften profitiert, sind die Management-Informationssysteme. Sie bestehen in rechnergestützten Weiterentwicklungen von Netzplantechniken, die auch andere Quellen der Information integrieren, so Daten der Finanzbuchhaltungsprogramme und der seit langem computergestützten Logistik.

---

<sup>13</sup> Vgl. *Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion*.

## **Standardisierung versus Individualisierung**

### **Standardisierung der Benutzerschnittstelle in Form allgemeiner Gestaltungs- und Programmierrichtlinien**

Aufgrund steigender Speicherkapazitäten, schnellerer Prozessoren, grafikfähiger Bildschirme sowie immer ausgeklügelteren Eingabesystemen wie Maus und Data Tablets bis hin zur natürlichen Spracherkennung und visuellen Erfassung von Gesten haben graphische Benutzeroberflächen eine enorm rasche und große Verbreitung erfahren. Mit der Verbreitung stieg zugleich die Fülle von Gestaltungsmöglichkeiten, die nicht selten zu Lasten der Benutzerfreundlichkeit ausfielen. Der Gestaltungsspielraum wird jedoch aus den unterschiedlichsten Gründen beschränkt und schlägt sich in den allgemeinen Gestaltungs- und Programmierrichtlinien der Softwarehersteller nieder.

Aus strategischen Gründen des Marketings sind die Softwarehersteller stets bemüht, ihren Produkten ein unverwechselbares Erscheinungsbild zu verleihen. Darüber hinaus soll die Hervorhebung einer einfachen Bedienbarkeit als zusätzliches Verkaufsargument dienen. Seit längerem ist man dazu übergegangen, unterschiedlichen Produkte aus ein und demselben Softwarehaus ein einheitliches Erscheinungsbild und, soweit es möglich ist, eine einheitliche Anwendungsfunktionalität zu geben. Der Benutzer muss für eine Aufgabenstellung zumeist auf unterschiedliche Werkzeuge zurückgreifen, so dass sich eine Standardisierung anbietet, die den Benutzer in die Lage versetzt, trotz Verschiedenartigkeit der Anwendungen gleichermaßen mit den Programmen zurechtzukommen. Die anfangs noch recht weit verbreiteten integrierten Komplettlösungen wie z.B. die Works-Programme von Claris oder Microsoft können jedoch langfristig den Anforderungen und der damit einhergehenden Zunahme des Funktionsumfangs im Hinblick auf Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit nicht Rechnung tragen. Somit gibt es Softwareprogramme, die zu sogenannten „Bundles“, d.h. Softwarepaketen, zusammengeschnürt angeboten werden. Beispiele hierfür sind neben den üblichen Office-Lösungen die Produktpaletten von Adobe und Macromedia. Je nach Aufgabenbereich bietet beispielsweise Adobe vier verschiedene Sammlungen seiner Softwarepro-

dukte an. Die für den DTP- und Print-Bereich bestimmte „Publishing Collection“ umfasst zusätzlich zu dem DTP-Klassiker „Pagemaker“ die Bildbearbeitungssoftware „Photoshop“, das vektororientierte Zeichenprogramm „Illustrator“ und das Tool „Acrobat“ zur Erstellung plattformunabhängiger PDF-Dokumente. Die ebenfalls für den DTP- und Print-Bereich bestimmte „Design Collection“ besteht aus „Photoshop“, „Illustrator“, „Acrobat“ und das sich vorwiegend an Graphikdesigner wendende DTP- und Design-Programm „Indesign“. Mit der für die Erstellung von Internet-Seiten vorgesehenen „Web Collection“ ist der graphische HTML-Editor „Golive“, „Photoshop“ und „Illustrator“ erhältlich. Zur Verarbeitung bewegter Bilder beinhaltet die „Dynamic Media Collection“ die Videobearbeitungssoftware „Premiere“, sowie „Photoshop“, „Illustrator“ und das Tool „After Effects“ zur Erstellung visueller Spezialeffekte. Auffallend bei allen Programmen dieses Herstellers ist, dass die anfängliche Verschiedenheit in Erscheinung und Bedienung einer einheitlichen Struktur gewichen ist. Menüstruktur und Oberflächenelemente wie Paletten sind aufeinander abgestimmt und oftmals identisch. Ähnlich verhält es sich mit den Produkten des Softwareentwicklers Macromedia. So bietet Macromedia seinen graphischen HTML-Editor „Dreamweaver“ zusammen mit dem vektororientierten Zeichenprogramm „Fireworks“ als „Web Essentials“ an. Das „Director Shockwave Internet Studio“ wiederum besteht aus dem Programm „Director“ zur Erstellung multimedialer Applikationen und „Fireworks“. Auch hier ist es auffällig, dass die Programme immer besser aufeinander abgestimmt werden und mehr und mehr ineinandergreifen, ohne in eine integrierte Komplettlösung aufzugehen.

Neben einer einheitlichen Benutzeroberfläche spielt die Standardisierung der Programmierschnittstellen und Netzwerkschnittstellen eine wichtige Rolle. Der Softwareentwicklung liegt ein rationelles Verfahren zugrunde.<sup>14</sup> Vordefinierte Oberflächenelemente und in Modulen zusammengefasste Programm-Prozeduren erleichtern und beschleunigen die Arbeit der Entwickler, so dass sie sich verstärkt auf die optimale Gestaltung der Anwendungsfunktionalität konzentrieren können. Die fundamentale Ziel-

---

<sup>14</sup> Vgl. bspw. hierzu die System-Anwendungs-Architektur (SAA) von IBM, in: „SAA/CUA guide to userface design“, IBM Report SC34-4289-00 und „SAA/CUA advanced interface design reference“, IBM Report SC34-4290-00.

setzung aller Gestaltungs- und Programmierungsrichtlinien, egal um welchen Hersteller es sich handelt bzw. ob es sich hierbei um die Gestaltung der eng mit dem Betriebssystem verbundenen Benutzeroberfläche oder um die einer Anwendung dreht, besteht darin, „den Benutzer beim *Wis-senstransfer* zwischen Produkten zu unterstützen, seine *Produktivität* zu erhöhen, seine *Fehlerrate* zu reduzieren und schließlich die *Zufriedenheit* mit dem Produkt zu verbessern“<sup>15</sup>.

Heutige Benutzeroberflächen knüpfen demnach an ein gewisses Vorwissen der Benutzer in Form einer Schreibtisch-Metapher an. Der Benutzer sieht sich auf einer basalen Ebene, d.h. nicht der Anwendungsebene, mit einer Art virtuellem Büro konfrontiert. Auf seinem ‚Schreibtisch‘ befinden sich Ordner, ein Papierkorb, der Drucker usw. In den Ordnern wiederum liegen die Dokumente oder weitere Ordner. Erweitert wurde der Schreibtisch mit den wachsenden multimedialen Fähigkeiten der PC's um Fax, Telefon und elektronischem Briefkasten. Selbst die Unix-basierten Systeme mit den für das Betriebssystem typischen zeichenorientierten Kommando-Shells haben mit schreibttischähnlichen Oberflächen wie KDE oder Gnome nachgezogen.

Das Kopieren, Verschieben oder Löschen von Dokumenten erfolgt zumeist durch Mausclick und -bewegung. Zum Öffnen der Dokumente ist bei der anwendungsorientierten Arbeitsumgebung jeweils das Starten eines entsprechenden Anwendungsprogramms erforderlich. In einer objektorientierten Arbeitsumgebung hingegen erfolgt die Manipulation der Objekte direkt, ohne dass der Anwender ein Anwendungsprogramm starten muss. Man spricht hierbei im Unterschied zur anwendungsorientierten Arbeitsumgebung nicht von einem ‚Schreibtisch‘ oder ‚desktop‘, sondern von einem Arbeitsplatz bzw. ‚workplace‘. Eine ausführlichere Darstellung und Erörterung sowohl objektorientierter als auch anwendungsorientierter Arbeitsumgebungen soll an dieser Stelle weitgehend ausgespart bleiben, zumal einerseits die objektorientierten Arbeitsumgebungen sich aus Gründen von Interessenkonflikten unterschiedlicher Softwarehersteller in einem breiteren Umfange nicht durchgesetzt haben, wie das Beispiel der Open-Doc-Lösung von Apple gezeigt hat und andererseits

---

<sup>15</sup> Eberleh 1994, S. 150.

hinsichtlich der anwendungsorientierten Arbeitsumgebungen auf die mittlerweile weitläufige Praxis im Umgang mit den gängigen Benutzeroberflächen von Apples MacOS oder Microsofts Windows zu verweisen ist.

Allen allgemeinen Gestaltungsrichtlinien der verschiedenen Softwarehersteller sind Prinzipien gemeinsam und von grundlegender Bedeutung, wonach der Benutzer stets die Kontrolle darüber haben sollte, was gerade passiert. Insbesondere Apple hat im Rahmen der vorwiegend auf den Benutzer und weniger auf die Anwendung ausgerichteten Gestaltungsrichtlinien von Anfang an viel Wert darauf gelegt, dass die Aktionen der Benutzer von sofortigen visuellen oder auditiven Rückmeldungen begleitet werden. Apple ging hierbei weitgehend von einem Benutzertyp aus, der seine ‚Umwelt‘ entdecken und stets kontrollieren möchte. Erreicht werden sollte dies beispielsweise dadurch, dass die Anwendung fehlertolerant reagiert und der Benutzer nicht den Eindruck erhält, er habe einen Fehler gemacht, sondern dass auftretende Fehler lediglich auf Unzulänglichkeiten des Produktes zurückzuführen seien. Zudem sollte möglichst auf modale Dialoge, d.h. Situationen, in denen der Benutzer in seinem Handlungsspielraum stark eingeschränkt wird und die Anwendung anders reagiert als normal, verzichtet werden. Die funktionalen Produkteigenschaften sollten vielmehr vom Benutzer ausgehend seinen individuellen Fähigkeiten und Anforderungen anpassbar sein, ohne gleichzeitig auf angemessene Voreinstellungen verzichten zu müssen.<sup>16</sup> Die Gedächtnisbelastung des Benutzers sei soweit zu entlasten, dass er sich nicht das behalten muss, was das Programm zu speichern vermag. Weiterhin sollte eine gewisse Konsistenz innerhalb einer Produktpalette gewährleistet werden, d.h. dass einmal erlerntes Wissen mit einem Produkt auf andere mehr oder weniger übertragbar sein muss. Dass dies durchaus für eine Produktpalette innerhalb eines Softwarehauses zutreffen kann, wurde bereits gezeigt. Ob dies jedoch firmenübergreifend gelingen kann, ist Gegenstand des nächsten Abschnitts des Kapitels zum Schutz der Rechte am eigenen Design.

---

<sup>16</sup> Zur Problematik individualisierter Benutzerschnittstellen siehe nächstes Kapitel.

## Schutz von Rechten am eigenen Design

Die externe Konsistenz, d.h. eine unternehmensübergreifende Softwareentwicklung im Bereich der Benutzeroberflächen und Benutzerschnittstellen, stößt unweigerlich auf das Problem zum Schutz von Rechten am eigenen Design. Die Vielzahl juristischer Verfahren der vergangenen Jahre in diesem Zusammenhang zeigt, dass die Softwarehersteller stets bemüht sind, den Schutz am eigenen Design zu wahren. Während sich Apple immer wieder erfolgreich gegen Nachahmungen seiner Benutzeroberfläche erfolgreich vor Gericht verteidigen konnte, wurde Microsofts Vormachtsstellung dem eigenen Unternehmen zum Verhängnis. Der mittlerweile gerichtlich bestätigte Vorwurf lautet, Microsoft hätte mit dem Betriebssystem Windows seine Monopolmacht vielfach missbraucht. Im Unterschied zur restriktiven Lizenzierungspolitik sowohl von Apple als auch von Microsoft steht die ‚Public Licence‘ des Betriebssystems Linux für eine liberale Lizenzierungspolitik ein.

Die Lizenzen für die meiste Software sollen verhindern, dass sie weitergegeben und verändert werden können. Im Gegensatz dazu will die GNU General Public Licence sicherstellen, dass freie Software von jedem benutzt und verändert werden kann – um zu gewährleisten, dass die Software für alle Benutzer frei ist.

Hierbei bezieht sich der Begriff „frei“ auf Freiheit, nicht aber auf den Preis. Softwareautoren, die ihre Programme dieser Lizenz unterstellen, bekommen freien Zugang zu den Quellcodes, haben das Recht, bestehende Programme zu ändern oder Teile von anderen Programmen für ihre eigenen zu verwenden und Kopien frei zu verbreiten. Um diese Rechte zu gewährleisten verbietet es die Lizenz, jedem diese Rechte zu verweigern oder auf diese zu verzichten. Mit anderen Worten, jedem anderen müssen die gleichen Rechte eingeräumt werden, die man selbst in Anspruch nimmt. Darüber hinaus wird die Software unter ein Copyright gestellt und darauf verwiesen, dass für die Software keine Garantie besteht, wenn Programme modifiziert und weitergegeben werden, um nicht die Reputation des ursprünglichen Autors bei eventuell auftretenden Problemen zu schädigen. Die Lizenz wendet sich gegen eine bestimmte Form der Patentierung, um auszuschließen, dass Distributoren freie Programme durch

Patente individuell lizenzieren und die Programme somit proprietär werden.

Diese Auffassung trifft auf die der Befürworter einer ungeschützten Lizenzierungspolitik, welche das Design von Benutzerschnittstellen als ein öffentliches Gut betrachten. Neben der bereits angesprochenen Monopolisierungsgefahr sehen sie den Schutz der Rechte am eigenen Design als Grund dafür an, dass es zu keinerlei Art von Standardisierung kommen kann, weil jeder darauf zu achten habe, dass er keine Schutzrechte verletzt und somit gezwungen ist, ständig neue oder andersartige Formen von Benutzerschnittstellen zu entwickeln. Standardisierung manifestiere sich lediglich in Monopolisierung und omnipotenten Unternehmungen.

Eine Ansicht, die nach Meinung Shneidermans im Großen und Ganzen unbegründet und zudem zu kurz gegriffen erscheint. Im Gegenteil, so Shneiderman, sei der rechtliche Schutz am eigenen Design in einer bestimmten Weise von öffentlichem Interesse und als ein Beitrag zu innovativen Entwicklungen auf dem Gebiet benutzergerechter Gestaltung von Interfaces anzusehen. Shneiderman spricht sich gegen eine Aufhebung aus. Schließlich investiere man viel Zeit und Geld in die Entwicklung innovativer Benutzerschnittstellen. Eine Aufhebung käme einem finanziellen Risiko gleich, das die Existenz einer Unternehmung oder einer Person bedrohe. Eine finanzielle Entlohnung sei somit mehr als angemessen. Noch weit wichtiger als die finanzielle Seite erscheint ihm die Reputation zu sein, die einem Entwickler beispielsweise durch Preisausschreibungen zuteil werden kann. Die besondere Anerkennung durch andere erachtet Shneiderman als ein zusätzliches und nicht zu unterschätzendes Element der Motivation. Sollten die Rechte am eigenen Design jedoch ungeschützt sein, so bestehe die Gefahr vielmehr darin, dass Softwareentwickler einem angesagten Trend hinterher liefen bzw. nacheiferten, um sich so einerseits die finanzielle Entlohnung zu sichern und andererseits die nötige Anerkennung zu erkämpfen. Die Angst gegenüber einer Monopolisierungsgefahr und eventuellem Missbrauch einer Vormachtsstellung ist Shneiderman zufolge unbegründet. Unternehmen hätten vielmehr Interesse daran, ihre Produkte einer großen Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen und auf die Erwartungen und Wünsche der Benutzer einzugehen und diese zu erfüllen.

Der Schutz von Rechten am eigenen Design gäbe den Unternehmen Gelegenheit, ganz im Interesse der Öffentlichkeit echte Neuerungen auf dem Gebiet der Benutzerschnittstellen zu schaffen und zur Marktreife zu bringen.

Anleihen für die Ausgestaltung der Copyrights entnimmt Shneiderman den für die Musik- und Filmbranche üblichen Urheber-, Verwertungs- und Nutzungsrechte sowie dem Patentrecht. Während das Urheberrecht den Urheber (UrhG §§7 ff.) als Schöpfer seiner ‚Werke‘ im Sinne ‚persönlicher geistiger Schöpfungen‘ (UrhG §2, Abs. 2) sowie seine geistigen und persönlichen Beziehungen zu seinen Werken (UrhG § 11) und deren Nutzung und Verwertung (UrhG §§15 ff.) schützt, bezieht sich das Patentrecht vorwiegend auf funktionale Aspekte. Da jedoch die Grenze zwischen Gestaltung und Funktionalität von Benutzerschnittstellen fließend verläuft, schlägt Shneiderman eine Mischung zwischen Urheberrecht und Patentrecht (‚new form of intellectual protection‘) zum Schutz von Rechten am eigenen Design vor. Die Vergabe von Schutzrechten sollte gegenüber der Vergabe von Copyrights schwieriger gestaltet werden, die Verfahren hierfür jedoch gegenüber denen der Patentierung vereinfacht und schneller ausfallen. In diesem Zusammenhang wäre eindeutig festzulegen, was im einzelnen als schützenswert zu betrachten sei, wobei der Schutz zeitlich limitiert werden sollte, um den Entwicklern so die nötige Zeit für eine angemessene Entlohnung, sei es in reputierlicher Form oder in Form finanzieller Zuwendungen, einzuräumen. Danach bestünde immer noch die Gelegenheit, andere an der vielleicht erfolgreichen Arbeit partizipieren zu lassen, damit der Gedanke an einer standardisierten, schutzbedingt auf echten innovativen Entwicklungen basierenden Schnittstelle nicht verloren geht.

### **Möglichkeiten und Grenzen zur Individualisierung von Benutzerschnittstellen**

Um einer möglichst hohen Zahl von Anwendern gerecht zu werden, ist eine Standardisierung der Schnittstelle Mensch-Maschine zwar unabdingbar, führt jedoch zwangsläufig dazu, dass die an eine Schnittstelle herangetragenen individuellen Bedürfnisse notwendigerweise nicht erfüllt wer-

den können bzw. übergangen werden müssen. Der Grund für das Bedürfnis nach Individualisierung ist zum einen in der großen Bandbreite der Fähigkeiten und des Kenntnisstandes der Benutzer und zum anderen in der Vielfältigkeit der Aufgaben zu suchen. Aber auch menschliche Bedürfnisse wie die nach Abwechslung oder eigene Wege gehen zu können spielen eine nicht unerhebliche Rolle hierbei. Individualisierung bezieht sich ebenso auf die Gestaltung der Benutzeroberfläche als auch auf die Systemfunktionalität.

Eine Erweiterung des Handlungsspielraums kann nur durch Flexibilität des Systems aufgebracht werden. Kennzeichnend für eine derartige Form der Individualisierung ist die Unabgeschlossenheit der Produkte, d.h. dass diese nicht über ein gewisses Stadium der Entwicklungsphasen hinaus gekommen sind. Bei der Entwicklung können und sollen solche Systeme auch nicht ausreichend spezifiziert werden, da man nicht genau weiß, mit welchen Benutzern und zukünftigen Aufgaben man es zu tun haben wird.

Abgesehen von der Unmöglichkeit zur Erfassung aller Benutzertypen und möglichen Aufgabenstellungen ist es im Rahmen einer „individuell-differentiellen Arbeitsgestaltung“<sup>17</sup> deshalb nicht so sehr beabsichtigt, alle Unterschiede der Benutzer und Aufgaben zu berücksichtigen, sondern diese vielmehr ernstzunehmen. Die Devise lautet „Offenheit durch Veränderbarkeit“. Individualisierte Lösungen entsprechen somit nicht so sehr den Vorstellungen von einem epistemischen Begriff der Individualität als sie vielmehr eine Reihe von Wahl-, Einfluss- und Eingriffsmöglichkeiten seitens des Benutzers bieten. Sie sollen die Handlungskompetenz des Benutzers stärken und die Effizienz u.a. durch Verkürzung der Arbeitswege und Vereinfachung der Arbeitsabläufe steigern.

Eine „dynamisch-differentielle Arbeitsgestaltung“<sup>18</sup> betrachtet den Lern- und Entwicklungsprozess eines einzelnen Benutzers über die Zeit hinweg. Aus diesem Grunde verfügen Anwendungen, die dieser Form der Arbeitsgestaltung folgen, zumeist über drei Modi. So kann der Anwender zwischen Anfänger-, Fortgeschrittenen- und Expertenmodus wählen. Je

---

<sup>17</sup> Vgl. Oppermann 1994, S. 237.

<sup>18</sup> Vgl. Oppermann 1994, S. 237.

nach Modus steht ihm ein entsprechender Menü- und Funktionsumfang zur Verfügung. Um den Anfänger vor Irritationen oder Fehlern zu bewahren, wird der Funktionsumfang der Programme entsprechend eingeschränkt, was wiederum zur Folge hat, dass bestimmte Aufgaben wegen fehlender Funktionen oftmals nicht bearbeitet werden können. Eine derartige Dreiteilung ist eher bei Programmen sinnvoll, mit denen ein Anwender tief in die Systemressourcen eingreifen kann. Ein unachtsamer und wenig versierter Anfänger könnte hierbei unter Umständen wirklichen Schaden anrichten. Ansonsten ist eine klare Abgrenzung der Stufen eher unbefriedigend, da Lernprozesse kontinuierlich ablaufen und die Einteilung in drei Modi zu grob ausfallen dürften. Zudem sind die sich dem Benutzer stellenden Aufgaben keineswegs statischer Natur, d.h. sie folgen nur selten dieser Dreiteilung. Deshalb wird bei Standardanwendungen die gesamte Menge an Basisfunktionen dem Anwender von vornherein zur Verfügung gestellt, damit er imstande ist, eine möglichst große Anzahl von Aufgaben zu erledigen, wenn auch oftmals auf uneleganteren Wegen. So kann er beispielsweise Textformatierungen in einer Textverarbeitung wie Word vornehmen, ohne auf Druckformate oder Formatvorlagen zurückgreifen zu müssen. Eventuell anstehende Änderungen der Formatierungen im Nachhinein gestalten sich jedoch dann als unverhältnismäßig mühsam.

Eine Vielzahl von Anwendungsprogrammen sind heute hinsichtlich Menüstruktur und Funktionsumfang individuell anpassbar. Die Möglichkeiten zur Anpassung sind vielfältig. Bestimmte Funktionsbezeichnungen lösen beim Benutzer andere als die ursprünglich intendierten Assoziationen aus oder sind intuitiv nicht erfassbar. Hier kann der Anwender die Bezeichnungen seinem jeweiligen Sprachgebrauch anpassen. Die Menübefehle lassen sich per Maus anwählen oder aber für den versierten Benutzer über Tastaturkürzel ansprechen, die er zumeist selbst festlegen kann.

Um Arbeitsabläufe zu verkürzen, können Befehlsabfolgen zu sogenannten „Makros“ zusammengefasst werden. Die Handlungsabfolgen werden entweder ähnlich einem Rekorder aufgezeichnet oder direkt mittels einer formalen Programmiersprache erstellt. Aufgezeichnete Makros können

nachträglich editiert werden. Skriptsprachen erlauben es dem Benutzer, Anwendungen auf seine Bedürfnisse abzustimmen und den Funktionsumfang der Programme zu steigern. Komplexe und komplizierte Makros und Skripte können von Experten erstellt und den weniger versierten Anwendern zur Verfügung gestellt werden, die diese dann nur noch mittels eines einzigen Befehls oder Mausklicks aktivieren.

Die hohe Anzahl der gegebenen Wahl-, Einfluss- und Eingriffsmöglichkeiten innerhalb der jeweiligen Schnittstellen erfordert in der Perspektive der aktuellen Designpraxis immer noch den geschulten Anwender. Neure Entwicklungen auf diesem Gebiet versuchen die Kompetenzvoraussetzungen durch den Einsatz sogenannter „Software-Assistenten“ zu egalieren.

Sie sollen den Benutzer bei komplexeren und komplizierteren Handlungsabläufen unterstützen. Die Assistenten leisten beispielsweise dem Anwender bei der Installation und Konfiguration komplizierter Systemkomponenten oder bei der Erstellung komplexer Dokumente Hilfestellung. In der ersten Generation des Office-Pakets von Microsoft waren Assistenzfunktionen zuschaltbar und bereits in der zweiten Generation voreingestellt und im Hintergrund aktiv, zum Ärger manch eines Benutzers, der sich plötzlich merkwürdigen Verhaltensweisen des Systems gegenüber sah. Die Abkürzung „i. A.“ für „im Auftrag“ zum Beispiel deutete das System als Aufzählung und änderte die Eingabe kurzerhand in „I. a.“ um. Erst seit der letzten Generation erhält der Anwender entsprechend Rückmeldungen und kann derartige Vorschläge zur Änderung bzw. Automatisierung entweder bejahen oder verneinen.

Mehr als nur eine Assistenzleistung sollen die mit den Möglichkeiten der Künstlichen Intelligenz versehenen Software-Agenten leisten, indem sie zunächst ein Profil des Benutzers mit seinen Stärken und Schwächen, Vorlieben und Abneigungen erstellen, um sich letztlich auf die Bedürfnisse und den zu erwartenden Handlungen einstellen zu können. Doch gehen hier Anspruch und Wirklichkeit noch weit auseinander.

Als Einsatzgebiet für diese „intelligenten Agenten“ ist beispielsweise das Internet mit seiner schier unendlichen Fülle von Informationen vorgese-

hen.<sup>19</sup> Software-Agenten sollen den Benutzer dahingehend unterstützen, diejenigen Informationen aus dem Netz zu besorgen bzw. zu filtern, an denen der Benutzer wirklich interessiert ist. Die Entscheidungskompetenz allerdings wird aufgrund der oftmals fehlenden Nachvollziehbarkeit auf die Agenten verlagert und liegt letztlich in der Hand der Entwickler. Versuchen Hard- und Softwareentwickler noch vorwiegend Schnittstellen zu schaffen, die dem Menschen immer ähnlicher werden oder dem Menschen anzupassen, geht ein Großteil der Vertreter der Kognitiven Psychologie den quasi umgekehrten Weg. Ihr Anliegen liegt vielmehr in der Entdeckung computerähnlicher Prozesse des menschlichen Denkens.

---

<sup>19</sup> Siehe auch das Kapitel „Anwendungsgebiete intelligenter Softwareagenten“ in: Brenner 1998, S. 219 ff.

## Juristische Aspekte

### Urheberrechtliche Bestimmungen

Das Design von Mensch-Maschine-Schnittstellen wird sowohl in der EU-Richtlinie 91/250/EWG über den Rechtsschutz von Computerprogrammen, wie auch in den Vorschriften des Urhebergesetzes, insbesondere § 69a, als Teil des jeweiligen Computerprogrammes aufgefasst. Computerprogramme werden im Rahmen dieser Vorschriften im Sinne der Berner Übereinkunft zum Schutze von Werken der Literatur und Kunst als Werke der Literatur geschützt. Dieser Schutz umfasst alle Ausdrucksformen der Software. Ideen und Grundsätze irgendeines Bestandteiles sind demgegenüber aber nicht urheberrechtlich geschützt.

Gemäß der Umsetzung der Richtlinie im Urhebergesetz muss die Schnittstelle eines Programmes zusätzlich die Voraussetzungen für deren Schutz nach UrhG oder UWG erfüllen. Andernfalls bleibt sie vom urheberrechtlichen Schutz für Computerprogramme, der schon dann eintritt, wenn das Programm ein individuelles Werk in dem Sinne darstellt, dass es das Ergebnis der eigenen geistigen Schöpfung seines Urhebers ist, ausgenommen. Sowohl laut Richtlinie 91/250/EWG als auch laut UrhG sind qualitative und ästhetische Kriterien bei der Bewertung der Schutzwürdigkeit ausgeschlossen. Dies stellt im Vergleich zum vorher geltenden Recht insbesondere in der Bundesrepublik eine Absenkung der Schutzvoraussetzungen, wie auch der Beweislastanforderungen dar.<sup>20</sup>

Der geringere Schutz der Benutzeroberfläche kann als eine Reaktion auf die Tendenzen zur Standardisierung der Schnittstellen gewertet werden. Wie im Kapitel *Standardisierung der Benutzerschnittstelle in Form allgemeiner Gestaltungs- und Programmierrichtlinien* diskutiert, schreitet sowohl aufgrund technischer und arbeitsökonomischer wie auch aufgrund strategischer Gründe des Marketings die Reduzierung der Gestaltungsoptionen im Interface Design voran. Der internationalen Standardisierung erklärt sich die Europäische Union in der genannten Richtlinie explizit verpflichtet. Mit einem umfangreichen Schutz von Schnittstellen müssten

<sup>20</sup> Vgl. Raubenheimer 1994.

sich marktverzerrende Wirkungen einstellen, weshalb der Schutz nicht auf diesen Bereich ausgedehnt wurde. Zu geringer und uneinheitlicher Schutz von Software jedoch wirkt sich ähnlich auf den Markt aus. Eine der Begründungen für den Erlass der Richtlinie 91/250/EWG war, dass „Unterschiede des in den Mitgliedsstaaten gewährten Rechtsschutzes von Computerprogrammen [...] direkte und schädliche Auswirkungen auf das Funktionieren des Gemeinsamen Marktes für Computerprogramme“<sup>21</sup> haben.

Die Rechtsprechung reagiert auch darauf, dass die Oberfläche eines Programmes durch eine Vielzahl von informatischen Realisierungen ähnlich gestaltet werden kann. Da der Schutz sich aber allein auf die Ausdrucksform des Programmes, d.h. Object- und Source Codes, Entwurfsmaterial, Vorstufen sowie vorbereitende Arbeiten, die die spätere Entstehung eines Computerprogramms zulassen, bezieht, ist die optische Erscheinung ebenso wie „Ideen und Grundsätze die der Logik, den Algorithmen und der Programmiersprache zugrunde liegen“ nicht urheberrechtlich geschützt.

### **Produkt- und Produzentenhaftung**

Die Haftung für Schnittstellen zwischen Computer und Mensch werden nicht getrennt von der Haftung für andere Teile von Software-Systemen behandelt. Daher sind die Haftungsvorschriften für Computerprogramme hier bestimmend. Computerprogramme stellen risikante Systeme dar, durch deren Fehler Schäden von hohem Umfang sowohl an Personen, wie auch an Sachen verursacht worden sind und werden. Daher ergibt sich für die Rechtsprechung das Problem, Regelungen für die Haftung dieser durch Software entstandenen Schäden zu treffen.<sup>22</sup>

Diese Regelungen können durch das Produkthaftungsgesetz bzw. die Produzentenhaftung, die Wissenschaft und Rechtsprechung aus dem § 823 Abs. 1 BGB entwickelt haben, getroffen werden. Allerdings ist in der Diskussion noch nicht abschließend bestimmt, ob es sich bei Software um

<sup>21</sup> Richtlinie 91/250/EWG des Rates vom 14. Mai 1991 über den Rechtsschutz von Computerprogrammen.

<sup>22</sup> Für eine ausführliche Diskussion vgl. Taeger 1996.

Produkte im Sinne des Produkthaftungsgesetzes, welches die Produkthaftungsrichtlinie<sup>23</sup> der EU in nationales Recht umsetzt, handelt.

Zweifel am Produktcharakter von Software kommt insbesondere durch die Definition von Produkten als bewegliche Sache auf, während Software als nicht materiell und als von Datenträgern unterschieden, also nicht als Sache betrachtet wird. Allerdings ist an dieser Einschätzung insbesondere insofern Zweifel anzumelden, als die EU Kommission dem Europäischen Parlament explizit mitgeteilt hat, dass die Produkthaftungsrichtlinie auch auf Computerprogramme Anwendung fände.<sup>24</sup>

Zweifel an der Anwendbarkeit des Fehlerbegriffs des Produkthaftungsgesetzes (ProdHaftG) kommen insbesondere dadurch auf, dass Software nach dem heutigen Stand des Wissen nicht fehlerfrei zu konzipieren ist. Allerdings kann ein Computerprogramm im Sinne des ProdHaftG als fehlerhaft angesehen werden, wenn die berechtigten Sicherheitserwartungen des Anwenders enttäuscht werden. Das Produkthaftungsgesetz ist also auf Software anwendbar. Auch die Grundsätze der Produzentenhaftung können im Falle der Verletzung von Gefahrenabwendungspflichten durch den Produzenten greifen.

Das Produkthaftungsgesetz bzw. die Produkthaftungsrichtlinie umfassen den größten Teil der möglichen Schäden durch Software. Sie stellen eine besonders strenge Norm dar, da sie die Beweislast umkehren. Geschädigte müssen nur den Schaden und die Verursachung durch den Produktfehler nachweisen, während der Produzent durch vollständige Dokumentation nachzuweisen hat, dass sein Produkt fehlerfrei funktioniert hat. Allerdings betrifft das Produkthaftungsgesetz nur Schäden im privaten Sektor, nicht aber für beispielsweise Wirtschaftsunternehmen. Ein Selbstbehalt von 500 Euro ist eine weitere Begrenzung der Produkthaftung. Diese Einschränkungen sind aber in der deliktischen Produzentenhaftung nicht gegeben.

<sup>23</sup> Richtlinie des Rates 85/374/EWG vom 25. Juli 1985 über die Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte – EG Produkthaftungsrichtlinie (Abl. EG Nr. L 210/29) angepasst durch Art. 23 Buchstabe c in Verbindung mit Anhang III des Abkommens über den EWR 8Abl. EG Nr. L 1/1).

<sup>24</sup> Mitteilung der Kommission 89/C 114/42 vom 8.5.1989.

Die Anwendung dieser Normen entspricht dem Prinzip, Transaktionskosten gering zu halten und demjenigen aufzuerlegen, der diese am ehesten gering halten kann. Durch diese Kostenverlagerung für Schäden Dritter auf den Hersteller, werden Kosten internalisiert, die der Hersteller ansonsten an den Kunden weitergegeben hätte. Somit ist der Produzent durch finanziellen Anreiz angehalten, Sicherheitserwägungen in der Produktion von Software Bedeutung beizumessen.

## **Europäisches Arbeitsschutzrecht**

### *Leitlinien zum Schutz der Arbeitsumwelt in Europa*

Der Begriff Arbeitsumwelt wird in den Organen der EU unterschiedlich weit ausgelegt. Während im europäischen Parlament über den engeren Rahmen von Arbeitshygiene und Arbeitssicherheit hinaus auch die Ergonomie sowie die materiellen oder physischen Belange der Arbeitnehmer dazugehören, wird im Rat und der Kommission der Bereich des „technischen Arbeitsschutzes“ darunter verstanden.<sup>25</sup>

Im Jahre 1986 verpflichteten sich die Mitgliedstaaten der Europäischen Union mit der Verankerung des Artikel 118 a im EG-Vertrag von Maastricht (§138 in der Fassung von Amsterdam) zur Verbesserung der Arbeitsumwelt. Als Leitbild dienten sowohl die Arbeitsumweltgesetze Dänemarks, Schwedens und Norwegens (1977/78) als auch der Niederlande, die etwas später einen ähnlichen Arbeitsschutz entwickelten.

Die wesentlichen Neuheiten, die allen nationalen Ansätzen gleich waren, sind:

- die Betriebsorientierung des Gesundheitsschutzes;
- die verantwortliche und aktive Beteiligung der Beschäftigten sowie
- der umfassende Gesundheitsbegriff.

Letzterer umfasst „nicht nur das Freisein von Krankheit und Gebrechen, sondern auch die physischen und geistig-seelischen Faktoren, die sich auf die Gesundheit auswirken und die in unmittelbarem Zusammenhang mit der Sicherheit und der Gesundheit bei der Arbeit stehen.“<sup>26</sup>

<sup>25</sup> Vgl.: Bucker, Feldhoff und Kothe 1994, S. 80 ff.

<sup>26</sup> siehe ebd. S. 81.

1981 kam es in Genf im 155. Abkommen der Internationalen Arbeitsorganisation zum ersten völkerrechtlichen Vertrag bezüglich Arbeitsschutz und Arbeitsumwelt. In diesem Abkommen ist vorrangig die Notwendigkeit der Gefahren- und Unfallprävention angesprochen worden, die durch ein „dynamisches Konzept“ umgesetzt werden soll, das heißt eine ständige Überprüfung und Verbesserung der Arbeitssicherheit muss angelegt sein.

Dieses Abkommen hatte keine unmittelbare Gesetzeskraft, aber die Grundsätze flossen in die Rechtsprechung des EuGH ein, was 1986 dazu führte, dass sich alle späteren EU- Mitglieder zu einer gemeinsamen Verbesserung der Arbeitsumwelt entschlossen. 1989 wurde dieses Vorhaben mit der Verabschiedung der Rahmenrichtlinie „zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit“ zur Gesetzgebungsgrundlage für alle Mitgliedstaaten.

### *Das Arbeitsschutzrecht im EGV*

Das Arbeitsschutzrecht des EGV ist in den Artikeln 39 ff., 43ff., 95, 138, 139 141 und 143 (48 ff, 52 ff., 100a, 118a 118b ,119 und120 in der Fassung von Maastricht) behandelt. Die konkretisierenden Normen sind die Richtlinie 89/391/EWG über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Arbeitnehmer bei der Arbeit, und die darin angekündigten, weiteren konkretisierenden Richtlinien:

- 89/392/EWG Maschinenrichtlinie
- 89/655/EWG Arbeitsmittel
- 90/269/EWG Lasten
- 90/270/EWG Bildschirmgeräte.

Im Folgenden werden die Maschinen- und die Bildschirmrichtlinie, die für das Design von Mensch-Maschine-Schnittstellen besonders relevant sind, diskutiert.

### *Maschinenrichtlinie*

Die Besonderheiten dieser Einzelrichtlinie sind die Sicherheitsvorkehrungen an der Maschine durch ein dynamisches Konzept von Einzel- und

Bereichswerten, um die bisherige, statische Sicherung im Arbeitsschutz dem sich schnell entwickelnden Maschinenmarkt und Fortschritt der Technik anzupassen. Der Impetus gilt der Vereinheitlichung zur effizienten und präventiven Arbeitssicherheit.

Der Aufbau dieser Einzelrichtlinie lässt sich in vier Bereiche gliedern. Im ersten, definitorischen Teil sind die davon betroffenen Maschinen und die organisatorische Verantwortlichkeit definiert. Im anschließenden, zweiten Teil legt die erste zentrale Norm (Art.3) die Sicherheitsanforderungen bezüglich der Maschinenkonstruktion sowie die Sicherheit durch Verhaltensforderung bezogen auf Schutzausrüstung und Benutzung von Arbeitsmitteln fest.

Den dritten Bereich bildet die „Kernnorm“ (Art. 4). Sie regelt die Richtlinienkonformität der Mitgliedstaaten bei Exporten. Dabei ist detailliert festgelegt, bis wann die europäische Richtlinie umzusetzen ist, welches nationale Gesetz bei Exporten den Vorrang hat und wie gegen Unrechtmäßigkeiten vorgegangen werden kann. Im nachfolgenden letzten Teil wird die Bestimmung der organisatorischen Verantwortlichkeit auf konkrete Sicherheitsanforderungen bezogen.

Für die Systematik, die die Richtlinie vorgibt, ist dabei eine Aufgabenbeschreibung und Detailfestlegung durch Bereichs- und Einzelwerte vorgesehen. Dadurch ist ein statischer Bestimmungskatalog, wie er im deutschen Arbeitsschutz angelegt war, in einen Beurteilungsraum verwandelt worden, der die verantwortlichen Arbeitnehmer und Arbeitgeber in die Pflicht nimmt, um ständige Sicherheitsanpassung zu betreiben.

### *Grundsätzliche Begrifflichkeiten der Maschinenrichtlinie*

Bei den allgemeinen Sicherheitsvorgaben der Maschinenrichtlinien bilden der Gesundheitsbegriff, das dynamische Konzept und eine moderne Sicherheitsphilosophie die Grundlage.<sup>27</sup> Durch ersteren wird der Bereich der psychischen Belastungen in den Gesundheitsschutz mit einbezogen.

Bei der Vereinheitlichung der Sicherheitsphilosophie werden dem unterschiedlichen Sicherheitsverständnis in Frankreich und Deutschland Rech-

---

<sup>27</sup> Vgl.: ebd. S. 146 ff.

nung getragen. Während nach französischem Verständnis der Arbeiter vor seinen Fehlern geschützt werden muss, ist der deutsche Ansatz, dass die Berufsausbildung die Aufgabe hat vor unsachgemäßer Maschinenbedienung und damit auch vor Fehlern zu schützen. Weiterhin sind unter der Rubrik der Einzelziele im Anhang konkrete Beispiele zur Maschinensteuerung und Befehlseinrichtung zu finden. Dadurch, dass sie mit den weiter gesteckten Bereichszielen in Verbindung stehen, wird die Absicht verfolgt, dass Fehler in der Logik nicht zu kritischen Situationen führen, sondern ungefährlich korrigiert werden können.

In diesem Zusammenhang wurden vier weitere Grundsätze formuliert. Zum einen ist es erforderlich, nicht nur die Benutzung fachgerecht zu erklären, sondern auch auf atypische Gefahren hinzuweisen. Zweitens muss über die Arbeitsumfeldbedingung hinaus auch die mentale Belastung sowie die Ermüdung als psychische Beanspruchung in Betracht gezogen werden. Ein Katalog über den Umgang mit den Risiken, die aus dieser Situation hervorgehen, soll gemäß dem dritten Grundsatz in die Arbeitsplatzeinweisung integriert sein. Letztlich dürfen einer gründlichen und schnellen Gefahrenbehebung oder Verbesserung der Sicherheitsvorkehrung dabei wirtschaftliche Aspekte nicht als Hinderungsgründe im Wege stehen. Eine weitere, neue Grundvoraussetzung für den Arbeitsschutz ist die Pflicht des Arbeitgebers, eine Generalanalyse des Arbeitsplatzes durchzuführen.

### *Umsetzung*

Hinsichtlich der Umsetzung dieser Richtlinien hat der Gesetzgeber drei Normentexte benötigt (das GSG, die deutsche Maschinenrichtlinie und die 9. Verordnungen zum GSG). Das Gerätesicherungsgesetz (GSG) ist als Grundlage zur Umsetzung verschiedener Richtlinien, die nicht für Einzelproduktgruppen gelten, notwendig. Produktspezifische Anforderungen sind in die deutsche Maschinenrichtlinie aufgenommen worden. Die Maschinenverordnung beinhaltet den Anhang der EU-Richtlinie.<sup>28</sup>

Die Transformation hat im deutschen Recht durch das weitere und flexiblere Sicherheitsfeld Verbesserungen gebracht. Auch eine Plakettierung

<sup>28</sup> Vgl.: ebd. S. 151f.

mit EG-Zeichen (Maschinenverordnung § 2-4) für sicherheitsstandardisierte Maschinen ist neu eingeführt worden. Jedoch wurde die EU-Richtlinie bis Ende 1992 nicht vollständig übernommen.<sup>29</sup> Zum Beispiel war eine Beteiligung der Sozialpartner in manchen Mitgliedsstaaten an der technischen Normung zur weiteren Vereinheitlichung EU-umfassender Werte im GSG nicht verankert. Dem dynamischen Element der ständigen Vereinheitlichung der Normen und des Wissens über den Sicherheitsstand der Sozialpartner wollte man hier noch nicht folgen.<sup>30</sup>

### *Bildschirmrichtlinie*

Die Bildschirmrichtlinie bildet im deutschen Arbeitsschutzrecht eine Neuheit. Zum einen gab es vor der Verabschiedung dieser 5. Einzelrichtlinie zum Arbeitsschutz keine deutsche Rechtsnorm zur Bildschirmtätigkeit. Zum anderen wurde für diesen Arbeitsbereich erstmals eine Gesundheitsgefährdung rechtlich anerkannt. Obwohl Augenleiden, Kopfwahl, Schmerz und Verspannung des Stütz- und Bewegungsapparates (durch Stress- und stille Zwangshaltung) sowie das RSI-Syndrom (Muskel- und Sehnenverschleiß v. a. an den Armgelenken) als gesundheitliche Beeinträchtigung am Arbeitsplatz bis dahin bekannt waren, wurde hinsichtlich einer Vorbeugung vor möglichen Berufskrankheiten keine Initiative im deutschen Arbeitsschutz unternommen.<sup>31</sup>

Der Anwendungsbereich der Richtlinie ist allgemein und umfassend, da alle Arbeitnehmer, inklusive des öffentlichen Dienstes, integriert sind. Weiterhin ist der Bezugsraum nicht vom physischen Arbeitsplatz aus beschrieben, sondern von der Person ausgehend festgelegt.

Ausgangspunkt des Arbeitsschutzes ist die geforderte Arbeitsplatzanalyse. Dabei sind Seh-, Körper- und psychische Probleme sowie eine Kombination dieser Beeinträchtigungen zu berücksichtigen. Weiterhin werden Anforderungen zur Gesundheitssicherung kategorisch genannt. Bezüglich der Arbeitsumgebung müssen Fenster mit Lichtschutzvorrichtung gegen Tageslicht ausgestattet sein. Bei den Geräten darf es nicht zu einer Wär-

<sup>29</sup> Vgl.: ebd. S. 155.

<sup>30</sup> Vgl.: ebd. S. 154.

<sup>31</sup> Vgl. ebd. S. 96 ff.

meentwicklung kommen, die auf die Arbeitnehmer störend wirkt. Beim Manuskriptbild ist Stabilität sowie eine personenbezogene Verstellbarkeit gefordert. An der Mensch-Maschine-Schnittstelle muss der Arbeitgeber bei Konzipierung, Erwerb und Änderung von Software bestimmte Anforderung der Ergonomie erfüllen. Darüber hinaus ist der Arbeitgeber nicht befugt, Kontrollen quantitativer und qualitativer Art ohne das Wissen des Mitarbeiters durchzuführen (Art. 6 II Bildschirmrichtlinie, „kohärentes System“).

Die Arbeitsorganisation ist auch in dieser Einzelrichtlinie nochmals angesprochen worden, um bisher gültige, von der Berufsgenossenschaft erlassene starre Regeln (wie 50 Minuten Arbeit, dann 10 Minuten Pause) flexibler zu gestalten. Nun ist die Forderung, dass Pausen oder eine Mischarbeit ermöglicht werden. Dadurch wird zwischen dem Arbeitsplatz und der Person unterschieden sowie die Notwendigkeit von allgemeiner Flexibilität und Abwechslung deutlich gemacht. Gegenüber dem bisherigen Ansatz im deutschen Arbeitsschutz wird Abschied genommen von einem monotonen Tat- und fixierten Pausenverhalten.

Detaillierte medizinische Konsultationen wie Augenuntersuchungen von einer fachkundigen Person sind ebenfalls gefordert. Außerdem wird der Arbeitgeber aufgefordert, sofern nötig Sehhilfen zur Verfügung zu stellen (Art. 9 Bildschirmrichtlinie, Bezug nehmend auf Art. 14 Rahmenrichtlinie).

Die Bundesrepublik Deutschland ist der Pflicht zur Umsetzung laut rechtlicher Terminierung bis Januar 1997 mit der Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) vom 4. Dezember 1996 nachgekommen.

## **Psychologie des Mensch-Maschine Interface**

Die Einbindung der Psychologie in das Projekt des Designs von Mensch-Maschine-Schnittstellen geht historisch auf die „human factors“-Arbeit während des zweiten Weltkrieges zurück. Währenddessen hatte sich gezeigt, dass eine wichtige Beschränkung der Effizienz von Mensch-Maschine-Systemen in den Problemen zu finden war, die Bediener im Umgang mit den maschinellen Systemen hatten. Die Erfolge insbesondere beim Design von Flugzeug-Cockpits und bei Aufgaben der Signalerfassung und -verarbeitung gaben einen wichtigen Impetus für die zivile psychologische Forschung an Mensch-Maschine-Schnittstellen. Allerdings hat sich der human factors Bereich lange Zeit unabhängig von der akademischen Psychologie entwickelt. Ihre größte Überschneidung lag währenddessen in der geteilten empirischen Methode. Erst die kognitive Psychologie und insbesondere deren angewandter Zweig der Psychologie der Mensch-Maschine-Schnittstelle griff wieder explizit auf die Expertise und die Daten des human factors Bereiches zurück.

## **Kognitive Psychologie**

Die Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion ist durchweg kognitive Psychologie. Wie weit allerdings der Begriff der kognitiven Psychologie ist, wird schon daran deutlich, dass sich ca. 75% aller akademischen Psychologen in den USA als kognitive Psychologen bezeichnen. Zusammen mit der Künstlichen Intelligenz-Forschung, der Philosophie, den Neurowissenschaften und der Linguistik bildet die kognitive Psychologie den Bereiches der Kognitionswissenschaften, einen losen Verbund von Wissenschaften, der durch gemeinsames Interesse an kognitiven Funktionen wie Wissen, dessen Verarbeitung oder Phenomenalität zusammengehalten wird. Die anwendungsorientierte kognitive Psychologie des Mensch-Maschine-Interface konzentriert sich dabei auf die Struktur und Verarbeitung von Wissen und abstrahiert von emotiven und phänomenalen Zuständen.

Die Paradigmen dieses Verbundes sind Repräsentation und Informationsverarbeitung. Repräsentation beschreibt den Umfang und die Organisation des Wissens eines beliebigen Systems wie etwa eines Menschen, Tiers

oder Roboters. Sie ist auf den statischen Aspekt dieses Wissens begrenzt. Die Bildung und Modifikation von Repräsentationen beschreibt die Theorie der Informationsverarbeitung.

Innerhalb des Verbundes der Kognitionswissenschaften bestehen gegenseitige Abhängigkeiten. So verdankt die kognitive Psychologie einen breiten Bereich ihrer Modelle und Methoden dem Bereich der Künstlichen-Intelligenz-Forschung. Insbesondere die Werkzeuge der Computersimulation und umfangreiche mathematische Modelle des menschlichen Geistes bzw. menschlicher Verhaltensweisen, die unter dem Namen der Computermetapher des Geistes firmieren, stammen aus diesem Bereich. Gemäß der Paradigmen der Informationsverarbeitung und der Repräsentation stellt das Modell der Mensch-Maschine-Schnittstelle die Interaktion normalerweise als Austausch- und Verarbeitungsprozess von Informationen dar.

In Handbüchern, die dieses Modell für Software Designer umsetzen, wird die Begrifflichkeit der kognitiven Psychologie und der Informatik oft in anschaulichere Begriffe der Alltagssprache, die normalerweise Mensch-Mensch Kommunikation beschreiben, umgesetzt. Während in der wissenschaftlichen Diskussion also die Computermetapher des Menschen vorherrscht, ist in der Alltagssprache eher eine Mensch-Metapher für den Computer zu finden.

So wird der Computer, mit dem der Mensch – der Benutzer oder User – interagiert, als einer von zwei Beteiligten an einem kommunikativen Dialog begriffen. Wie sein Partner habe er die Möglichkeit, Informationen bzw. Zeichen zu manipulieren oder korrigieren und den Dialog zu steuern oder zu unterbrechen. Im Kontrast zu diesem Modell der Interaktion als Kommunikation steht die skandinavische Schule des Interface Design. Sie definiert den Computer entweder als Werkzeug oder aber als Medium zur Kommunikation, nicht aber als Kommunikationspartner. Sie stützt sich auf ausgewählte Beiträge aus der europäischen philosophischen Tradition. Die Betonung des Werkzeugcharakters findet ihre Begründung im Heideggerschen Begriff des zu-Handen-seins, das Modell des Computers als Medium stützt sich besonders auf die Systemtheorie um Niklas Luhmann.

Trotz dieser Diskrepanzen in der Einschätzung der Rolle des Computers hat sich in der Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion aber eine kohärente Struktur herausgebildet, die aufbauend auf einem reduktiven Forschungsprogramm durch eine Zahl spezifizierter Methoden eine Beschreibung des Menschen als Grundlage des Designprozess bereitzustellen in der Lage ist.

## **Methoden**

Die Methoden, die den Kern der empirischen psychologischen Untersuchung bilden, sind die Aufgabenanalyse, Berechnung und Approximation. Der Aufgabenanalyse wird ein zentraler Stellenwert eingeräumt, weil menschliches Verhalten als zielgerichtet interpretiert wird. Die Handlungen von Benutzern sind gemäß diesem Konzept darauf ausgerichtet, ein gegebenes Ziel unter den Einschränkungen menschlicher Wahrnehmungsfähigkeit und Kapazität zur Informationsverarbeitung zu verwirklichen. Daher ist die Analyse der Aufgabe bei gegebenem Ziel von großen Einfluss auf die Analyse und Vorhersage des Verhaltens des Benutzers. Diesen methodischen Kern teilt dieser Zweig der Psychologie mit anderen Bereichen, die sich ebenfalls auf Erkenntnisse und Methoden der human factors Arbeiten stützen, wie etwa Bereiche der Wirtschaftswissenschaften.

Berechnung und Approximation sind Werkzeuge der kognitiven Psychologie, die in diesem Anwendungsbereich besonderes Gewicht erlangen. Die weitgehend kontrollierten Bedingungen menschlicher Handlungen im Umgang mit Computern ermöglichen eine Konzentration auf überschaubare rechnerische Modelle, die in anderen Alltagssituationen als zu simplifizierend zurückgewiesen werden. Inwiefern allerdings die Situation der Computernutzung im alltäglichen Berufs- oder Privatleben kontrollierten Bedingungen entsprechen ist mehr als zweifelhaft. Aufgrunddessen nimmt die Approximation einen sehr hohen Stellenwert ein. Alltagssituationen entziehen sich präzisen Quantifizierungen und Vorhersagen.

## **Reduktionismus**

Zu den methodischen Aspekten gesellt sich als weiterer Stützpfeiler der Psychologie der Mensch-Computer-Interaktion die Theorie der Informa-

tionsverarbeitung des Menschen. Diese Theorie enthält insbesondere Modelle des Gedächtnisses, der Problemlösung, der Wahrnehmung und des Verhaltens. Sie bleibt durchweg auf dem Bereich der Individualpsychologie und klammert Gruppenverhalten und dessen Einfluss auf den Benutzer aus. Dieser Theorie entstammt das Erklärungsmodell für den Menschen, welches für die empirischen Untersuchungen bestimmend ist: der „Human Model Processor“, also das Modell des Menschen als Informationsprozessor. Dieses Modell teilt den Menschen in mehrere interagierende System ein: das perzeptorische System, das motorische System und das kognitive System. Diese Systeme bringen in Interaktion Verhalten hervor, welches mit aufsteigendem Komplexitätsgrad in Schemata ähnlich dem Folgenden eingeteilt wird: Wahrnehmung, motorische Fähigkeiten, einfache Entscheidungen, Lernen und Informationsabfrage und letztlich komplexe Informationsverarbeitung.

Das Modell profitiert insbesondere in der Beschreibung des motorischen Systems von den bereits vorliegenden Datensammlungen der Anthropometrie. Sie ermöglichen eine umfangreiche statistische Erfassung von Körpermaßen möglicher Benutzer. Über die statischen Maße hinaus wird das motorische System dahingehend beschrieben, auf welchen Bahnen und wie schnell Bewegungen ablaufen. Dabei geht es besonders bei Zeigegesten und Fingerbewegung auf der Tastatur um Reichweite, Geschwindigkeit und Genauigkeit von Bewegungen.

Die kognitive Psychologie profitiert zusätzlich sowohl im methodischen, wie auch im theoretischen Bereich von den Neurowissenschaften. Erklärungen kognitiver Prozesse werden wenn möglich nicht nur in Begriffen der Informationverarbeitung, sondern auch auf der Basis neuronaler Prozesse oder zumindest neuronaler Aktivität erklärt. Insbesondere Messungen von Gehirnaktivitäten etwa im visuellen Cortex dienen der weiteren Aufklärung der Funktionsweise des Modell Human Processor, sind aber aufgrund des bisher noch relativ geringen Umfangs von Ergebnissen kaum in die funktionale Beschreibung eingegangen, die die anwendungsorientierte Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion formuliert. Das reduktive Programm der Formulierung menschlicher Verhaltensweisen und Fähigkeiten in Begriffen der Informationsverarbeitungs-

theorie findet aber seine programmatische Fortführung in der Beschreibung dieser Informationsverarbeitung in Begriffen der Neurowissenschaften.

### **Der Modell Human Processor**

Gemäß der Computermetapher menschlicher Funktionen richtet sich die Erfassung und Beschreibung des Modell Human Processor außer nach den benannten Systemen nach In- und Output-Kanälen, Speicher und Verarbeitungsweisen. Die hier nur kurz skizzierte, oftmals sehr detaillierte Beschreibung der genannten Systeme stellt die wissenschaftliche Basis weiterer Untersuchungen von Charakteristika des Benutzers dar.

Das sensorische System wird den sensorischen Modalitäten entsprechend eingeteilt. Für die Interaktion mit Computern erweisen sich die Sinne Sicht, Gehör und Tastsinn als zentral. Geruchssinn und Geschmacksinn werden nicht angesprochen. Unter den genannten drei zentralen Sinnen wird der Sicht als primärem Sinn die größte Aufmerksamkeit zuteil. Die visuelle Wahrnehmung wird aufgeteilt in die physische Aufnahme externer Stimuli, d.h. Licht, und die Verarbeitung und Interpretation dieser Stimuli. Das psychologische Interesse innerhalb des HCI Bereichs gilt besonders der Verarbeitung von visuellen Sinnesreizen. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, zu ermitteln, wie sich Größen- und Tiefenwahrnehmung bedingen, wie sich Helligkeit und Farbe darauf auswirken, wieviel der dargebotenen Stimuli wahrgenommen werden, wie sie gewichtet werden, und welchen Einschränkungen die Erkennung von Mustern unterliegt. Ebenfalls in diesen Bereich fällt die Untersuchung von optischen Täuschungen, sowie die Analyse von Leseleistung bei unterschiedlicher Gestaltung von Text und Textumgebung oder die Analyse der Aufmerksamkeit auf unterschiedlich dargestellte Objekte.

Die akustische Wahrnehmung wird ähnlich aufgeteilt in die physische Reizung der Sinnesorgane durch Schallwellen und die Verarbeitung der dargebotenen Stimuli. Dabei wird insbesondere auf die Aufmerksamkeit lenkende Funktion von Geräuschen abgehoben. Am Beispiel des sogenannten Cocktailparty-Effekts werden Phänomene der unbewussten Selektion insbesondere akustischer Wahrnehmung diskutiert.

Die haptische Wahrnehmung wird als der letzte der drei zentralen Sinne für die HCI nur zu sehr geringem Teil auf seine Informationsfunktion hin betrachtet.<sup>32</sup> Bei ihm geht es vielmehr darum, wie Bewegungen mittels des haptischen Feedbacks gesteuert werden. Diese Funktionen des haptischen Sinnes, die Propriozeption und die Mechanorezeption, vermitteln Informationen über die Position der Gliedmaßen und den Druck, der auf sie ausgeübt wird, wie etwa beim Druck von Tasten. Thermorezeption und Vibrationswahrnehmung werden in diesem Bereich nicht diskutiert, da sie im normalen Schnittstellen Design keine Rolle spielen.

Hinsichtlich des motorischen Systems steht maßgeblich dessen physische Beschaffenheit, die im Rahmen der Anthropometrie erfasst wird, und dessen Steuerung durch das sensorische System im Mittelpunkt des Interesses. Untersuchungen haben gezeigt, dass motorische Reaktionen 150 ms nach einem visuellen Signal, aber 700 ms nach einem akustischen Signal einsetzen können. Die geringste Reaktionszeit ist jedoch bei einem kombinierten Signal zu erreichen.

Neben der Geschwindigkeit wird auch die Akkuratheit der betrachteten Bewegungen gemessen. Messungen haben zum Beispiel ergeben, dass die Größe eines Zieles, welches bei einer Zeigegeste erfasst werden soll, und die Ausführungszeit der Geste in logarithmischen Zusammenhang stehen (Fitt's Law).

In einigen Untersuchungen wird ein gesonderter Bereich des Gedächtnisses bzw. des Speichers dem sensorischen System zugeordnet. So sprechen z.B. Card, Moran und Newell von Sensory Memory und diskutieren diese Funktion im Rahmen der Behandlung des sensorischen Systems. Andere Autoren diskutieren es im Rahmen der Gedächtnis- und Speicherleistungen insgesamt. In beiden Fällen wird das Gedächtnis unterteilt in sensorisches Gedächtnis, Kurzzeitgedächtnis oder Arbeitsgedächtnis und Langzeitgedächtnis (Sensory Memory, Short Term / Working Memory, Long Term Memory). Diese Beschreibung abstrahiert weitestgehend von den Erkenntnissen der Neurowissenschaften. Die tatsächli-

---

<sup>32</sup> Eine Ausnahme bilden die neusten Forschungen an haptischen Interfaces, die im Kapitel Stand der Forschung diskutiert werden.

chen Abläufe interessieren für die Anwendung weniger, als eine rein funktionale Beschreibung, wie sie hier vorgestellt wird.

Das sensorische Gedächtnis wird mit einem Pufferspeicher verglichen, der die zeitliche Bindung der Einzeleindrücke für die jeweiligen Sinnesorgane ermöglicht. Effekte, wie der bereits genannte Cocktailparty-Effekt, oder das Verschwimmen schnell bewegter Objekte in der Sicht deuten darauf hin, dass die Sinne über einen eigenen Speicher mit sehr geringer Speicherdauer verfügen. Informationen dieses Speichers werden je nach Aufmerksamkeit und Wichtigkeit der Informationen in das Arbeitsgedächtnis weitergeleitet. Die Verfallszeit von Informationen im sensorischen Gedächtnis beträgt bis zu 0,5 s.

Das Kurzzeitgedächtnis oder Arbeitsgedächtnis enthält nach empirischen Messungen durchschnittlich  $7 \pm 2$  sogenannte Chunks. Diese Einheiten bestehen aus Einzelinformationen, die nach bestimmten Kriterien der Ähnlichkeit geordnet und kombiniert werden. Da das Kurzzeitgedächtnis größere Chunks durchaus zu speichern in der Lage ist, nicht aber mehr dieser Einheiten, wird auf diese Weise eine größere Informationsdichte erreicht. Übliche Ordnungskriterien zur Bildung solcher Chunks sind semantische oder numerische, aber auch ästhetische. Da das Kurzzeitgedächtnis teilweise auf die Inhalte des Langzeitgedächtnisses zurückgreift, wird teilweise eine korrigierte Angabe der Kapazität eingeführt. Das reine Kurzzeitgedächtnis hätte demzufolge  $3 \pm 1$  Chunks Speicherplatz. Allerdings lassen sich die unterschiedlichen Systeme nicht sauber trennen, und die effektive Kapazität bleibt bei  $7 \pm 2$ . Das Kurzzeitgedächtnis speichert Informationen im Normalfall nur für 7s. Die Zugriffszeit liegt bei 70 ms.

Das Langzeitgedächtnis stellt die Hauptinformationsquelle dar. Die Verfallszeit in diesem Speicher ist umstritten. Die Aussagen dazu liegen zwischen einigen Jahren und Unendlich. Dafür ist die Zugriffszeit mit 100 ms höher als beim Kurzzeitgedächtnis. Auch die Kapazität unterscheidet sich drastisch von der des Kurzzeitgedächtnisses. Sie scheint prinzipiell unendlich zu sein. Eine Kapazitätsgrenze konnte bisher jedenfalls nicht ermittelt werden, wenn auch der Alltagsverstand oft gegenteilige Überzeugung nahelegt.

Die Struktur des Langzeitgedächtnisses ist assoziativ bzw. semantisch. Informationen liegen in der Form eines semantischen Netzes oder eines episodischen Netzes vor. Allerdings gibt es zusätzliche Theorien über die Struktur dieses Speichers, die sich an Scripts oder Frames aus der KI-Forschung orientieren. In jedem Falle scheint das strukturierende Prinzip das semantische zu sein.

Das zuletzt betrachtete, weil höchststufige System menschlicher Funktionen ist das kognitive System. Es wird aufgeteilt in drei Bereiche: Schlussfolgerung, Problemlösung und Erwerb bzw. Nutzung von Fertigkeiten. Schlussfolgerung besteht demnach in Induktion, Deduktion und Abduktion neuer Informationen aus gegebenen. Problemlösung wird beschrieben als die produktive Umsetzung vorhandener Informationen zur Lösung neuer Probleme, wobei zumeist auf die Problem-Space-Theory von Simon und Newell bezug genommen wird. Die Anwendung von Fertigkeiten besteht gemäß dieser Einteilung darin, vorhandenes Wissen auf bekannte oder bekannten ähnliche Situationen anzuwenden. Fertigkeitserwerb ist eine besondere Form von Lernen, die nicht nur neue Informationen abspeichert, sondern deren Anwendung schneller und sicherer werden lässt.

### **Psychologie im Designprozess**

Die Anwendung der kognitiven Psychologie auf den Design-Prozess folgt drei unterschiedlichen Vorgehensweisen: der analytischen Methode, der empirischen Methode und der praktisch bedeutsamsten Methode der Designregeln, -prinzipien und -standards.

Die empirische Methode besteht aus der Sammlung von Daten über das Verhalten des Benutzer und die von diesem zu lösende Aufgabe. Die praktischen Methoden hierbei reichen von Fragebögen über Interviews, diverse Beobachtungstechniken bis hin zu Tests an Prototypen und fertigen Schnittstellen unter Laborbedingungen. Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse fließen entweder im iterativen Designprozess bzw. der Planung einer Schnittstelle direkt ein, oder werden zur Evaluation gegebener Produkte benutzt.

Die analytische Methode konzentriert sich auf die formale Erfassung geplanter Schnittstellen und ihrer Konsequenzen für den Benutzer. Sie

kann in Werkzeuge zur Repräsentation der Struktur der Schnittstelle und zur Vorhersage des Verhaltens des Benutzers in gegebenen Situationen unterschieden werden. Im Gegensatz zur empirischen Methode wird der Designprozess hierbei als weitgehend linear und im vorhinein analytisch erfassbar verstanden. Die von dieser Methode erfassten Aspekte der Mensch-Maschine-Interaktion sind der Benutzer, die Maschine und die zu bewältigende Aufgabe, wobei diese Erfassung in unterschiedlichem Grad von psychologischen Theorien bestimmt ist.

Die Werkzeuge zur Repräsentation beschränken sich weitestgehend auf die Erfassung der bestimmenden Variablen von Benutzer, System und Aufgabe. In dieser Hinsicht dienen sie dazu, dem Designer ein strukturiertes Wissen für das Design zur Verfügung zu stellen, sie sind jedoch für eine vollständige Erfassung und Strukturierung der Entwicklung unzureichend. Die Werkzeuge zur Vorhersage von Benutzerverhalten sind psychologische Modelle, die Verhalten in Abhängigkeit von Benutzercharakteristika, Aufgabe und System zu spezifizieren versuchen. Das klassische Beispiel eines solchen Werkzeugs ist die GOMS Theorie von Card, Moran und Newell, die auf der Basis von Approximation und Kalkulation spezifischer menschlicher Fähigkeiten und Eigenschaften Vorhersagen über Dauer und Erfolgsrate einer Aufgabenbearbeitung zu treffen versucht.

Für diese analytische Methode gilt, dass die unterschiedlichen Werkzeuge zwar in der Beschreibung zu trennen sind, dass in der Praxis Repräsentation und Vorhersage aber oft ineinander laufen. Beide Werkzeuge kommen sowohl aufgrund des Forschungsstandes der kognitiven Psychologie, als auch aufgrund des Anspruches der Anwendung, überschaubare Theorien zur Stützung des Designprozesses zu erhalten, ohne starke Simplifizierungen hinsichtlich menschlicher Kognition nicht aus.

### *Designregel, Designprinzipien und Standards*

Die Methode, die in der Praxis am häufigsten verwendet wird, basiert auf der Vorgabe von Designregeln, -prinzipien und -standards. Designregeln bestehen zumeist aus kurzen Empfehlungen, die auf der Basis von Daten der empirischen Psychologie basieren. Designregeln können jeden Grad

von Allgemeinheit annehmen, und die Zahl vorhandener Regeln übersteigt die 500 seit langem. Trotz ihrer mangelnden Spezifität und Abgeschlossenheit sind sie im Bereich des Designs der Mensch-Maschine-Schnittstelle weit verbreitet. Der Übergang zwischen Regeln und Prinzipien ist in diesem Zusammenhang fließend. Als Designprinzipien gelten abstraktere Empfehlungen, die eher das Konzept von Schnittstellen insgesamt betreffen als einzelne Aspekte einer Schnittstelle.

Im Gegensatz dazu stehen Designstandards, die formelle Anforderungen an Schnittstellen stellen, die meistens durch gesetzliche oder vertragliche Regelungen vorgegeben werden. Bekannte Standards beziehen sich bisher maßgeblich auf die Hardware von Mensch-Maschine-Schnittstellen, wie etwa Spezifikationen über minimale Bildwiederholfrequenzen für Monitore, sind aber auch für die Software Komponente denkbar.

### *Bewertung von Schnittstellen*

Eine weitere Aufgabe der Psychologie im Bereich des Mensch-Maschine-Interface-Design ist die nachträgliche Bewertung von Schnittstellen und Softwaresystemen sowohl im Laboratorium als auch in der endgültigen Benutzungsumgebung. In diese Bewertungen fließen nicht nur das oben beschriebene Modell des Menschen und individualpsychologische Kriterien, sondern seit der weitgehenden Professionalisierung und Kommerzialisierung des Bereiches auch gruppenpsychologische und arbeitspsychologische Bewertungen ein, die sich in Richtlinien sowohl von offiziellen Stellen wie auch von Wirtschaftsunternehmen bis hin zu ISO-Normen niederschlagen. Damit ist eine Anbindung an die Bewertungsverfahren normaler Arbeitsplätze und ergonomische Normen erreicht worden, die wiederum auf das Design der Schnittstelle zurückwirkt. Zwar finden sich auch in neuesten Veröffentlichungen nur wenige Hinweise auf die praktische Umsetzung der neuen Anforderungen, die etwa Systeme stellen, in denen mehrere Benutzer zusammen oder nebeneinander arbeiten, doch immerhin tauchen schon exemplarische Systeme und programmatische Einschätzungen der Möglichkeiten solcher Systeme auf. Diese Entwicklung stützt sich insbesondere auf Aktivitäten im Bereich „computer-supported cooperative work“, CSCW.

## **Aktuelle Forschungsprogramme**

Forschungsprogramme, die auf diesem Konzept menschlicher Fähigkeiten beruhen und in der Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion derzeit starkes Interesse auf sich ziehen, sind die Aufmerksamkeitslenkung, die Grundlage für Mentale Modelle des Benutzers und die Analyse von Benutzerfehlern.

Die Arbeit am Design von Anwendungen für Gruppen von Benutzern stellt ebenso eine Erweiterung des Betrachtungsbereiches der Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion dar wie die Suche nach dem neuronalen Korrelat von spezifischen Verhaltensweisen.

### *Aufmerksamkeitslenkung*

Die Theorie der künstlichen Aufmerksamkeitslenkung durch eine Schnittstelle basiert maßgeblich auf der Beschreibung des perzeptorischen Systems. Experimentelle Befunde hinsichtlich der Aufmerksamkeitsweckenden Wirkung von Geräuschen, Farben, Bewegung werden dabei direkt in Anordnungsprinzipien für Schnittstellen übersetzt. Das Modell des kognitiven Systems und des Gedächtnisses ist dabei das Limit, welches angibt, ab welcher Konzentration von aufmerksamkeitslenkenden Elementen eine Schnittstelle die Fähigkeiten des Benutzers übersteigt, bzw. wann die Aufmerksamkeit des Benutzers überbeansprucht und somit der Zweck der Schnittstelle verfehlt wird.

Dieser Forschungszweig wird seit der frühen Entwicklung von graphischen Benutzeroberflächen verfolgt und kann auf eine umfangreiche Wissensbasis zurückgreifen, die in der Literatur für die Designpraxis ihren Niederschlag gefunden hat. Weitere Forschung wird insbesondere an Instituten für Computergraphik geleistet und auf neuere Schnittstellen, wie etwa Virtuelle Realität, übertragen.

### *Mentale Modelle*

Mentale Modelle des Benutzers sind Konzepte, die der Benutzer eines Computersystems verwendet oder verwenden soll, um das Verhalten des Computers für sich zu beschreiben und zu erklären. Das Paradigma eines

mentalen Modells ist die Desktop Metapher, die der Benutzer heranziehen soll, um sich das Geschehen und den Aufbau seines Computers in Analogie zu einem Schreibtisch vorzustellen. Da im Design mentale Modelle vorgegeben werden, ist die Aufgabe der Psychologie hier, die Kompatibilität der benutzten Metapher oder des mentalen Modells mit den kognitiven Fähigkeiten von Benutzern zu überprüfen.

Da mentale Modelle nur Teile des Verhaltens des Computers zu erklären in der Lage sind, weisen sie oft Inkonsistenz und Instabilität auf. Die Desktop-Metapher stellt auch hier das beste Beispiel dar. Weder funktionieren Desktops, egal welchen Designs, so wie ein wirklicher Schreibtisch, noch kann diese Metapher auf alle Bereiche des Bildschirmes angewandt werden. Erklärungsmodelle auf dieser Ebene können oft zu Fehlern führen, sind aber für den Benutzer unumgänglich, da es bei modernen Computerprogrammen unmöglich geworden ist, ihr Verhalten bei beliebigen Aktionen abzusehen.<sup>33</sup> Daran wirkt allein schon die Zahl möglicher Aktionen mit, die beispielsweise bei der 1997er Version von Word auf 1033 Befehle angewachsen war.<sup>34</sup>

### *Bedienfehler*

Bedienfehler stehen im Mittelpunkt von Untersuchungen, die die Vorhersagbarkeit menschlichen Verhaltens in der Interaktion mit Computern thematisieren. Fehler in der Bedienung von Computern können minimale Konsequenzen wie das Verschwinden einiger Notizen, aber auch katastrophale Folgen wie Schäden in Kernkraftwerken haben. Daher ist das Interface zwischen Mensch und Maschine so zu entwickeln, dass er Fehler minimiert und vorkommende Fehler in kritischen Bereichen auszugleichen vermag, ohne den Menschen aus der Entscheidungshierarchie zu drängen.

Fehler können zum einen aufgrund von Konzentrationsmängeln oder Gewohnheit geschehen; solche Fehler sind nur durch fehlerresistente

---

<sup>33</sup> Die Probleme, die dieser Mangel an Vorhersagbarkeit mit sich bringt, und die daraus möglicherweise resultierende Auswirkung auf die Rolle des Menschen in der Entscheidungshierarchie in Mensch-Maschine-Systemen diskutiert Grote 1999.

<sup>34</sup> Vgl. Norman 1999, S 81.

Interfaces abzufangen, die dem Benutzer jederzeit Rückmeldung über seine Aktionen zu geben in der Lage sind, oder in kritischen Feldern mehrfache Bestätigung verlangen. Andere Fehler basieren auf Problemen des Interface selbst. Zum einen können Schnittstellen zu unübersichtlich sein oder zu viele Informationen liefern. Diese Probleme sind insbesondere am Beispiel von Flugzeug Cockpits bekannt geworden. Andererseits werden Interfaces so gebaut, dass die Modelle, die die Benutzer zu deren Erklärung heranziehen, unzureichend sind. In diesen Situationen kann das Systemverhalten nicht korrekt vorhergesagt werden, und Fehleinschätzungen führen zu Fehlern.

Die Forschung bemüht sich daher um das Design von fehlerresistenten Schnittstellen, Hilfesystemen, Vorhersagemodellen für menschliche Bedienfehler und Methoden, das Verhalten des Computers für den Menschen vorhersagbar und kontrollierbar zu gestalten.<sup>35</sup>

*“Computer-supported cooperative work”, CSCW*

CSCW stützt sich auf die Analyse genuin menschlicher Kommunikationsstrukturen und verlässt auf diese Weise zumindest in Teilen das Paradigma der Informationsverarbeitung. Zwar werden auch hier die Kommunikationskanäle menschlicher Kommunikation eingehend studiert und die Eigenschaften von Gestik, Mimik und Körpersprache sowie von verbalen Gesprächsstrukturen beschrieben, doch wird durch die Übernahme von Positionen aus der Linguistik und Sprachphilosophie eine qualitative Dimension eingebunden.

Frühe Ansätze im Bereich CSCW, wie das Coordinator Programm von Winograd und Flores, waren zwar schon auf Theorien der Sprachhandlung gestützt, orientierten sich aber noch an der reinen Informationsübermittlung. Coordinator basierte auf der Speech Act Theory, versuchte aber durch vorgegebene Strukturen den illokutionären Akt jeder Sprachhandlung explizit zu machen. Die einhellige Ablehnung des Programmes liegt nicht zuletzt darin begründet, dass die illokutionäre Dimension von Sprechakten im normalen Sprachgebrauch gerade implizit bleibt. Durch

---

<sup>35</sup> Vanderhaegen 1999; Virvou 1999; Johnson 1998.

die explizite Hervorhebung und Einordnung wurden aus normalen Sprechakten durchweg starre Systeme von Aufforderungen und Angeboten.

Die CSCW-Forschung stößt aufgrund der Komplexität von Gruppenverhalten bisher noch an enge Grenzen. Insbesondere kontrollierte Experimente sind aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren nicht möglich. Eine methodische Reaktion darauf ist die Anlehnung an die Ethnographie, d.h. Interface-Designer versuchen im Vorfeld durch Einbettung in den sozialen Kontext einer Benutzergruppe, deren Verhalten zu analysieren.

### *Neuropsychologische Korrelate*

In der Interaktion von neurologischer Forschung und kognitiver Psychologie wird derzeit untersucht, wie die Verarbeitung bestimmter Aufgaben auf der Ebene des Gehirns abläuft. Der Erwartung, Unterschiede in der Reaktion auf unterschiedliche visuelle Schnittstellen und eventuell auch die Mechanismen der Informationsverarbeitung erklären zu können, wird beispielsweise mit der Messungen der elektrooktalen Aktivität nachgegangen.

Beispielsweise arbeitet das Brain Science Institute an der Swinburne University of Technology sowohl im militärischen als auch im zivilen Bereich an der Kartographierung der Gehirnaktivität bei der Interaktion mit Schnittstellen wie Flugzeug-Cockpits oder in Zusammenarbeit mit dem Computer Human Interaction Labor an spatiovisuellen Interfaces für industrielle Anwendungen.<sup>36</sup>

---

<sup>36</sup> Vgl. Sanderson, Pipingas, Danieli and Silberstein 1999.

## **Stand der Entwicklung**

Die Aktivitäten in der Entwicklung von Mensch-Maschine-Schnittstellen sind seit der Abkoppelung von militärischen Bedürfnissen nach Ende des zweiten Weltkrieges sowohl durch öffentliche als auch durch private Forschungseinrichtungen fortgesetzt worden. Aufgrund der hohen ökonomischen und praktischen Nutzenerwartungen waren schon früh Einrichtungen von Computer- und Softwareherstellern wie Xerox Parc auch in führenden Positionen des Feldes vertreten.

Die Entwicklungstätigkeit kann in zwei Bereiche eingeteilt werden.<sup>37</sup> Die Fortentwicklungen der klassischen Schnittstelle Bildschirm und Tastatur konzentrieren sich auf von der Maschine ausgesandte Signale, die der Mensch mit den Sinnesorganen aufnimmt und auf die er durch eine Form der Manipulation reagiert, die durch seine natürlichen Körperfunktionen vorgegeben ist. Die nicht klassische Form der Schnittstelle stellt das Direkte Neuronale Interface (DNI) dar, welches auf dem Versuch beruht, einen Siliziumchip und eine Nervenzelle zu verbinden und einen Signalaustausch zwischen diesen Systemen zu ermöglichen.

## **Klassische Schnittstellen**

Auf dem Bereich der klassischen Schnittstellen wird besonders an der haptischen Signalübermittlung, der virtuellen Realität<sup>38</sup> und der natürlichsprachlichen Interaktion geforscht. Die Arbeiten an haptischer Signalübermittlung und virtuellen Realitäten stehen in direkter Abhängigkeit voneinander, da es für eine überzeugende Darstellung virtueller und dreidimensionaler Räume einer haptischen Repräsentation der darin vorhandenen Objekte bedarf.

### *Haptisches Interface*

Haptische Schnittstellen sprechen den bislang in der Mensch-Maschine-Interaktion sekundären Tastsinn an. Zwar liegt in Form der Maus und der

<sup>37</sup> Zur Trennung zwischen klassischer und nicht klassischer Schnittstelle vgl. Decker 1997.

<sup>38</sup> Einen Überblick über die Entwicklungstendenzen im Bereich der virtuellen Realitäten bietet Mills und Noyes 1999.

Tastatur schon eine Form des haptischen Interface vor, doch die Rückmeldung des Systems an den Benutzer ist in diesem Falle gerade einmal der Widerstand der Tasten auf die Finger des Schreibenden. Das Projekt haptischer Interfaces liegt daher darin, dem Benutzer Informationen über das System und dessen Zustand durch den Tastsinn zu vermitteln. Auf dem umgekehrten Weg sollen komplexere Körperbewegungen als der Tastendruck als Input für den Computer interpretiert werden können.

Eines der ersten erfolgreichen haptischen Interfaces namens Phantom wird von SensAble Technologies vertrieben. Dessen Gründer Thomas Massie entwickelte das Gerät als Engineering Senior am MIT. Phantom sieht wie ein Fingerhut am Ende eines dünnen Gelenkarmes aus. Die Möglichkeiten offenbaren sich, wenn man einen Finger in den Hut steckt und bewegt – es fühlt sich an, als berühre man unsichtbare Objekte. Dieses Gefühl verdankt sich Kräften, die computerkontrollierte Motoren durch den schmalen Gelenkarm auf den Finger ausüben. Mit zwei dieser Geräte für Zeigefinger und Daumen kann man Objekte anheben und bewegen, die nur als Computerbits existieren. Die Illusion kann verstärkt werden, indem man die virtuellen Objekte mit 3D Graphiken sichtbar macht und in eine virtuelle Realität einbettet.

Auf dieser Basis arbeitet das AI Lab des MIT, wo Phantom entwickelt wurde, weiterhin an Tastwahrnehmung und Feedback für erweiterte Interfaces. Ebenfalls mit dem Phantom System arbeitet die Brown University Computer Graphics Group, der es maßgeblich um die Kombination von haptischer und visueller Information auf zwei und dreidimensionalen Desktops geht.

Die Harvard Biorobotics Gruppe an der Division of Applied Sciences stellt die Verbindung zwischen haptischem Interface und Telerobotik her, indem sie zusätzlich zum Widerstand die auftretenden Vibrationen in die Benutzerschnittstelle zu integrieren versucht. Das Human Engineering Lab in Berkeley konzentriert sich in seiner Arbeit zum haptischen Interface auf die Verbindung zur virtuellen Realität und insbesondere auf die Modulierung von Widerständen, die das Gefühl der Interaktion mit physikalischen Gegenständen von Masse vermitteln.

Die Analyse von Gesten und Zeigebewegungen, die den Kern des haptischen Computerinputs bildet, wird auch als eigene Schnittstelle insbesondere für den Bereich des Graphikdesign eingesetzt. Durch das Programm Sketch (Zelevnik 1996) und seine Nachfolger wird aufgrund von Gesten ein dynamisches dreidimensionales Bild erzeugt.

In diesen Projekten wird bereits die Einbindung des haptischen Interfaces in virtuelle Realitäten, Umgebungen oder Räume angestrebt.

Diese Integration des haptischen Interfaces in virtuelle Realitäten versucht unter anderem das Problem zu lösen, dass Bewegung in virtuellen Welten normalerweise nur über den visuellen Kanal dargestellt werden kann, und durch die Disharmonie von Propriozeption und visueller Wahrnehmung die Wirkung des Interfaces sowohl unvollständig als auch Übelkeit erregend ist.

### *Virtuelle Realität*

Virtuelle Realitäten (Virtual Reality, Virtual Environment) präsentieren dem Benutzer dreidimensionale Räume, durch die er mittels unterschiedlicher Geräte navigieren und in denen er virtuelle Objekte manipulieren kann. Obwohl insbesondere im Spielesektor weitestgehend noch normale Bildschirme zur Darstellung von dreidimensionalen Räumen benutzt werden, ist die geeignetere Darstellungsform eigentlich die 3D-Brille oder der entsprechende Datenhelm, die den Benutzer vollständig in den dargestellten Raum eintreten lassen. Dementsprechend unterscheidet man zwischen einbeziehender (immersive) und nicht einbeziehender (non-immersive) virtueller Realität. Der Computerinput erfolgt in der einfachen, nicht einbeziehenden VR, insbesondere bei 3D Spielen durch Kombinationen von Maus oder Joystick und Tastatur, bei einbeziehender VR durch die Space Mouse oder Datenhandschuhe.

Eine weitere Schnittstelle für dreidimensionale Räume und virtuelle Realität stellte das Electronic Visualization Laboratory an der University of Illinois at Chicago 1992 bei der ACM SIGGRAPH Vorführung 1992 vor. Die CAVE™ ist ein Raum, der aus großen Schirmen besteht, auf die die Graphiken, die die virtuelle Realität erstellen, projiziert werden. Die Perspektivität, die für dreidimensionale Wahrnehmung nötig ist, wird durch

schnelle Umrechnung der Position des Benutzers durch mehrere Supercomputer, die die Graphiken entsprechend ändern, ermöglicht. Der Benutzer trägt zu diesem Zweck einen Positionssensor. Um die unterschiedlichen Graphikfelder zu trennen, wird eine stereographische LCD Shutter Brille benutzt.

Die Projektion auf den Boden und die Schirme, die die CAVE“! begrenzen, erzeugt die Illusion eines kontinuierlichen Raum, in dem auch dreidimensionale Objekte dargestellt werden können. Für den Benutzer außerhalb des Raumes stellt sich die Simulation als ein begrenzter dreidimensionaler Raum dar, für den Benutzer innerhalb kann die Illusion erzeugt werden, der Raum erstreckt sich unendlich.

Forschungen am Human Computer Interaction Labor der Virginia Tech University haben gezeigt, dass einige Benutzer von Virtuellen Realitäten negative Nebenwirkungen durch die Einbettung in eine graphisch erzeugte Realität erleben. Einige der Nebenwirkungen, die dokumentiert worden sind, waren: Desorientierung, Kopfschmerz, Probleme mit der Sicht. Zwar konnte experimentell eine Abhängigkeit der auftretenden Nebeneffekte von technischen Aspekten wie etwa dem head tracking erwiesen werden, doch eine Vorhersage, bei welchen Benutzern diese Probleme auftreten würden, war bisher nicht möglich.

Das Projekt Gaiter am Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence – Naval Research Laboratory in Washington DC ist ein Versuch, aufgrund von körperzentrierter Bewegungssimulation zusätzlich zu visueller Bewegungskonstruktion dieses Problem zu lösen. Indem der Nutzer auf der Stelle geht oder läuft kann er über Sensoren an seinen Beinen und Füßen dem VR-System die Richtung seiner Bewegung angeben. Durch die entsprechende visuelle Rückmeldung die den Schritten entspricht, wird dem Nutzer die Illusion von Bewegung vermittelt. Die üblichen Mittel der Interaktion durch 3D-Brille, und teilweise haptische Simulation durch Datenhandschuhe ergänzen diese Illusion zusätzlich.

### *Telesensorprogrammierung*

Im Anwendungsbereich der TeleSensorprogrammierung stehen die haptische und dreidimensionale Interaktion ebenfalls im Zentrum des For-

schungsinteresses. Tele-Sensorprogrammierung wird benutzt, um entfernten Systemen, die mit Manipulatoren ausgestattet sind, Operationen vorzugeben. Dazu werden Operationen entweder vollständig an das entfernte System gesandt, welches die gegebenen Befehle dann im Offline Modus durchführt, oder das ferngesteuerte System folgt online den Befehlen des Benutzers und meldet laufend den aktuellen Systemzustand zurück. Das Interface für diese Operationen war ursprünglich eine zweidimensionale visuelle Bildschirmrepräsentation und eine text- und koordinatengesteuerte Befehlssequenz. Dieses Interface wird zunehmend durch virtuelle Realitäten ersetzt, indem Benutzer eine dreidimensionale Repräsentation des Teleroboters und eventuell sogar eine haptische Repräsentation von dessen Position und Interaktion mit seiner Umgebung präsentieren. Unter anderem in diesen Bereich fallen auch medizinische Roboter, die für minimalinvasive Operationen genutzt werden.

Telerobotik profitiert also von den Projekten zu virtuellen Realitäten, wie zum Beispiel am MIT AI Labor, das im Rahmen des Virtual Worlds Project an eine VR Schnittstelle für Teleroboter arbeitet. Weitere Projekte sind etwa der Operationsroboter Davinci am Deutschen Herzzentrum München, oder Hippocrates, der am Department of Computer Science an der Carnegie Mellon University entwickelt wird.

### *Augmented Reality*

Virtual Reality-Technik wird auch in Bereichen eingesetzt, in denen zusätzliche Informationen die normale Sinneswahrnehmung ergänzen sollen. Der Bereich der augmented reality, der beispielsweise an der University of North Carolina für den medizinischen Bereich oder in Zusammenarbeit des Oregon Graduate Institute und der Columbia University erforscht wird, stellt die Möglichkeit bereit, zusätzliche Informationen durch sprachliche Befehle oder Zeigegesten auf ein virtual reality display wie Shutter-Brillen aufzurufen.

Techniken der augmented reality werden ebenfalls in Kleidungsstücke einzubinden versucht. Diese Wearables sollen nicht nur der zusätzlichen Information über eine Umgebung dienen, sondern sollen im Zuge der allgemeinen Verkleinerung von computergesteuerten Geräten auch andere

Funktionen übernehmen. So sind sowohl winzige PCs, virtuelle Büros wie auch Biomonitoren in der Bekleidung oder als Accessoires geplant. Erste Umsetzungen bestehen beispielsweise aus in Westen integrierten Übersetzungscomputern mitsamt Mikrofonen und Lautsprechern, die Spracherkennung, Übersetzung und Sprachsynthese ermöglichen.

### *Multimodale Interfaces*

Die Kombination diverser klassischer Interface Typen liegt dem Projekt multimodaler Interfaces zugrunde. Dieses Forschungsprogramm versucht, sich an der menschlichen Interaktion zu orientieren, die alle menschlichen Sinnesmodi nutzt. Basierend auf dieser Breite von Informationskanälen wird eine Einbettung von Computern in die alltägliche Lebenswelt angestrebt. Möglichkeiten zur multimodalen Interaktion werden daher sowohl in Virtual Reality, wie auch in zweidimensionalen Interfaces eingefügt.

Ein Beispiel multimodaler Schnittstellen ist das Quickset System, das im Department of Computer Science and Engineering am Oregon Graduate Institute in Portland entwickelt wird. QuickSet ist ein auf dem Prinzip von Software Agenten aufgebautes multimodales System für Gruppen von Benutzern. Für die Entwicklung und Kontrolle militärischer Simulationen entwickelt (von der DARPA finanziert), ist das System sowohl als tragbarer Minicomputer als auch als Wandbildschirm umgesetzt. Es nutzt Bildschirm, Mikrophone, Eingabestift, Spracherkennung, Gestenerkennung und natürlichsprachliche Ausgabe. Diese Komponenten werden über das Prinzip distribuiertes Agenten miteinander in Verbindung gesetzt.

Quickset kann benutzt werden, um Desktop und CAVE<sup>TM</sup>-basierte virtuelle Realitäten zu kontrollieren und soll so weiterentwickelt werden, dass es sprach- und gestische Kontrolle direkt in 3D-Brillen basierte virtuelle Realitäten umzusetzen in der Lage ist.

Parallel wird an diesem Institut auch die Einbindung multimodaler Schnittstellen in den alltäglichen Gebrauch geforscht. Entsprechend dem Prinzip des Intelligent Room, der sowohl bei Microsoft als auch am MIT AI Labor weiterentwickelt wird, geht es hierbei um eine nicht simulierte

interaktive Umgebung, in der über multimodale Eingabemöglichkeiten diverse Funktionen aktiviert und gesteuert werden können. So verfügt zum Beispiel der intelligente Raum HAL am MIT über Kameras, Mikrophone, Sprach- und Gestenerkennung und ist in der Lage, auf den Input von Benutzern sprachlich zu reagieren.

### *Natürlichsprachliche Interfaces*

Natürlichsprachliche Interfaces wurden anfänglich maßgeblich im Bereich von einfachen Voice Mail- und Informationssystemen wie Datenbanken genutzt. Die ersten derartigen Eingabesysteme verlangten vom Bediener die Orientierung an einer vorgegebenen Menüstruktur und häufiges und überklares Wiederholen der sprachlichen Eingaben. Das Vokabular und die Erkennungsgenauigkeit dieser Systeme waren sehr beschränkt (einige 10 Begriffe).

In diesem Bereich der Spracheingabe wurde durch das Berger-Liaw-Neural Network vor kurzem ein Durchbruch erzielt. Als erstes künstliches System gelang es dem Netzwerk, welches an der University of South California entwickelt und zum Patent angemeldet wurde, die Geräuscherkennungsfähigkeit von Menschen zu übertreffen. Das neuronale Netzwerk ist in der Lage, Wörter aus weißem Rauschen von der 1000fachen Amplitude des gesprochenen und bei der 560fachen Lautstärke des Ziellautes zu isolieren und zu erkennen. Damit übertrifft es den beim Menschen bekannten Cocktail-Party-Effekt zumindest hinsichtlich der Lauterkennungsleistung.

Das System konnte so erstellt werden, indem Theodore W. Berger (professor of biomedical engineering in the USC School of Engineering) und Jim-Shih Liaw (director of the Laboratory for Neural Dynamics and a research assistant professor of biomedical engineering at the USC School of Engineering) sich am Verhalten biologischer neuronaler Netzwerke orientierten. Mit nur 11 Neuronen und 30 Verbindungen benutzten sie ein sehr kleines Netzwerk. Im Gegensatz zu herkömmlichen künstlichen neuronalen Netzwerken, deren Neuronen alle identische, wie herkömmliche Computer mit konstanter Signaldauer getaktet sind, ist das Liaw-Berger-Netzwerk mit zufällig veränderten individuellen Taktfrequenzen für jedes

Neuron ausgestattet. Die Lernregel, auf deren Basis das Netzwerk dann trainiert wurde, war darauf abgestimmt, die Signaldauer der einzelnen Neuronen wie auch die Werte der Verbindungen zu verändern.

Weitere Methoden der Spracherkennung werden etwa durch die Möglichkeit des Lippenlesens durch den Computer erforscht. Insbesondere in Anwendungsgebieten, die durch starken Lärm oder mehrere Sprecher die Anwendung von Spracherkennungsprogrammen erschweren, können zur Unterstützung Systeme eingesetzt werden, wie sie beispielsweise am Rockwell Science Center in der Human Computer Interaction Gruppe untersucht werden.

Zentrale Probleme des natürlichsprachlichen Interfaces liegen aber vielmehr im Sprachverstehen als in der Spracherkennung. In der Praxis der KI-Forschung<sup>39</sup> hat sich das Sprachverstehen als eines der bisher unlösbaren Probleme herausgestellt, und sowohl empirische als auch prinzipielle Gründe scheinen dafür zu sprechen, dass Computer eben nicht in der Lage sind, Sprachverhalten ausreichend zu interpretieren bzw. simulieren. Daher ist ein natürlichsprachliches Interface immer auf reduzierte Methoden der Sprachanalyse und Sprachsynthese festgelegt. Diese können allerdings mit wachsender Speicher- und Rechnerkapazität soweit ausgedehnt werden, dass sie dem Benutzer kaum unangenehm auffallen.

### CSCW

Einen weiteren Forschungsschwerpunkt stellt CSCW dar. CSCW steht für Computer Supported Cooperative Work, eine Anwendungsrichtung, deren Fundament schon 1968 durch Engelbarts NLS (oNLine System) gelegt wurde. Dieser Bereich stellt nicht nur für die Psychologie der Mensch-Maschine-Interaktion neue Aufgaben, sondern auch im Designprozess selbst. Die psychologische Forschung muss ihren Schwerpunkt der individuellen kognitiven Psychologie auf die von Gruppenprozessen ausdehnen, während im Designprozess darauf geachtet werden muss, inwieweit unterschiedliche Bedürfnisse und Arbeitsstile unterschiedlicher Gruppen zusätzliche Probleme aufwerfen.

---

<sup>39</sup> Siehe *Entwicklung der Mensch-Maschine-Interaktion*.

CSCW oder Groupware muss für Gruppenarbeit geeignet sein, die sich entlang zweier Dimensionen aufspannen lässt. Die erste Dimension ist die zeitliche, die den Arbeitsprozess zwischen vollkommener Synchronität des direkten Gesprächs und der Asynchronität von gemeinsam genutzten Computern und E-Mail betrachtet, die zweite die räumliche, die zwischen demselben Raum und Interaktion über den halben Erdball hinweg oder gar mit Astronauten vermittelt. Diese Dimensionen stellen beide kontinuierliche Übergänge und keine absoluten Einteilungen dar. Anhand der Diskrepanzen wird deutlich, welche Reichweite von Aufgaben CSCW Systeme vereinen müssen. Die Systeme, die zu Groupware gehören, sind daher extrem divers. E-Mail und Newsgroup gehören ebenso dazu wie Workflow Systeme, Gruppenkalender, Video- oder Chat- Kommunikation, Shared Whiteboards oder Multi-User Domains und Games.

Ebenso problematisch ist die Konsistenz der Repräsentation von Handlungen insbesondere bei synchronen Anwendungen. Gleichzeitige Befehle müssen so dargestellt werden, dass alle Benutzer den Systemzustand verfolgen können. Dafür muss allen Benutzern die Möglichkeit eingeräumt werden, die Anwesenheit anderer Benutzer festzustellen und auf deren Handlungen zu reagieren. Damit entsteht aber das Problem der Privatsphäre und des Datenschutzes. Nicht immer ist es wünschenswert, dass alle Benutzer über die Aktionen der anderen Bescheid wissen, noch sind alle Daten für den Austausch gedacht. Dementsprechend müssen bestimmte Rechte und Zugangskontrollen eingeräumt werden, die den Schutz privater Daten garantieren und Missbrauch verhindern.

### *Agenten*

Software-Agenten sollen wie menschliche Agenten für den Benutzer in der Umgebung des Netzes oder Computers agieren. Einfache Beispiele sind E-Mail Agenten, die Mails nach Wichtigkeit sortieren, Web-Crawler, die gezielt Informationen in Netzwerken suchen aber auch die Assistenten, die Benutzern die zusätzlichen Möglichkeiten von Anwendungen nahelegen.

Agenten können in unterschiedlicher Weise mit dem Benutzer kommunizieren. Dabei ist zu unterscheiden zwischen direkt präsenten (embodied)

Agenten und verborgenen Agenten. Direkt präsente Agenten werden oft mit einem natürlichsprachlichen oder aber möglichst der natürlichen Sprache ähnlichen Menü-Interface ausgestattet, während verborgene Agenten eher auf normale Menüstrukturen zurückgreifen. Verborgene Agenten, wie der Mail-Filter oder die Summen (∑) Funktion bei Microsoft Excel<sup>40</sup>, bedürfen nur sehr geringer Intelligenz. Direkt präsente Agenten werden eher mit KI Techniken versehen, um Benutzerverhalten vorherzusagen, und einen möglichst verständlichen Dialog mit dem Benutzer zu ermöglichen. Die üblichen Office-Assistenten sind beispielsweise darauf programmiert, mögliche Formatierungswünsche des Benutzers vorherzusehen, oder aber bei häufigen Wiederholungen eines Arbeitsganges, Automatisierung zu ermöglichen.

Das Persona-Projekt bei Microsoft Research entwickelt beispielsweise Interface Agenten, die auf anthropomorphen Charakteren basieren und mit dem Benutzer in einem natürlichsprachlichen Dialog interagieren. Diese Systeme sollen auf Spracherkennung und Synthese, interaktive 3D Graphik und Soundeffekte zurückgreifen.

Eine Studie an der Boston University zeigt, dass Computer beim Einsatz von Interface Agenten stärker gemäß sozialen Interaktionsschemata behandelt werden, ihnen Versprechen gegeben oder Kooperationsangebote gemacht werden. Dieses Verhalten hängt scheinbar stark von der Qualität und der Erscheinung des Agenten ab, legt aber in jedem Falle nahe, dass Mensch-Maschine-Interaktion im Falle von Agenten verstärkt in Rahmen von Interaktionsmechanismen analysiert werden können, die normalerweise allein der Mensch-Mensch-Interaktion vorbehalten sind.

### *Programming by Demonstration (Computerlearning)*

Ein Interface insbesondere für das Design von Software stellt das Programming by Demonstration dar. Es reagiert darauf, dass textbasierte Programmiersprachen aufgrund ihrer hohen Komplexität nicht allen potentiellen Software Autoren zugänglich sind. Programming by Demonstration ist der Versuch, den Programmieraufwand für interaktive<sup>41</sup> Software zu

<sup>40</sup> Parise, S./ Kiesler, S./ Sproull, L. and Waters, K. 1999.

<sup>41</sup> Vgl. Eckmiller 1999, Maar / Pöppel und Christaller 1996.

reduzieren. Es basiert auf induktiven Lernvorgängen, die es dem Computer erlauben sollen, Software aufgrund von Beispielen zu erstellen. Dazu zeichnet der Autor die angestrebten Interface Komponenten und demonstriert ihr Verhalten bei unterschiedlichen Benutzeraktionen. Das Programming by Demonstration System analysiert diese Aktionen und konvertiert sie selbständig in ein Programm.

### **Nicht-Klassische Schnittstellen**

An den nicht-klassischen Interface-Technologien wird insbesondere in Anwendungsfällen zur Linderung von Behinderungen geforscht. Die in der Bundesrepublik Deutschland seit 1983 durch das Bundesforschungsministerium geförderte Neurotechnologie zielt darauf ab, durch signalübertragende Prothesen Funktionsstörungen des Nervensystems auszugleichen. Dabei ist insbesondere an Prothesen zur teilweisen Wiederherstellung von Sinnesorganen (Cochlea- und Retina Implantate<sup>42</sup>) und motorische Prothesen (wie Greif- oder Gehprothesen für Lähmungen) sowie craniale Neuroprothesen<sup>43</sup> zu denken.

Visionen von Erweiterungen menschlicher Fähigkeiten durch implantierte Geräte, wie sie von einigen Designern im HCI Bereich wie Donald A. Norman angestrebt werden, sind bisher noch kaum in die Forschung und Entwicklung eingegangen.

Vom Dobelle Institut in Zürich wurde in Zusammenarbeit mit dem Dobelle Institute Inc. at Columbia Presbyterian Medical Center in New York im Januar 2000 das Dobelle Auge vorgestellt. Es handelt sich um eine Kombination von Kamera, Computer und einem auf den visuellen Cortex implantiertes Elektrodenfeld. Der Computer setzt die durch die in eine Brille eingesetzte Kamera empfangenen Signale in Reizschemata für den visuellen Cortex um und stimuliert diesen durch das Implantat. Das flexible Interface des Computers erlaubt es, statt der Kamera direkt andere visuelle Informationsquellen einzuspeisen, so etwa Computerbilder oder Fernsehen. Nach einer längeren Übungszeit war er dem Probanden unter anderem möglich, Texte in großem Druck zu lesen.

---

<sup>42</sup> Vgl. Eckmiller 1999.

<sup>43</sup> Vgl. Dobelle 2000.

Ein ähnliches Projekt verfolgt das EPI-RET Konsortium (bestehend aus 14 Teampartnern), das von Prof. Eckmiller am Institut für Informatik VI – Neuroinformatik der Universität Bonn und Prof. B. Hosticka am Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme Duisburg koordiniert wird, in Zusammenarbeit mit der Firma Intelligent Implants GmbH (Bonn). Dieses Projekt, das vom Bundesforschungsministerium im Rahmen des angewandten Forschungsfeldes NEUROTECHNOLOGIE unterstützt wird, arbeitet mit einem Retinaimplantat statt einem Implantat auf dem visuellen Cortex.

Bereits weitgehend erprobt sind Cochlea-Implantate, die einen Hörverlust bei noch intaktem Hörnerv auszugleichen vermögen. Neuere Forschungen beispielsweise des Huntington Medical Research Institute in Pasadena und des House Ear Institute in Los Angeles bemühen sich nun auch darum, akustische Signale bei defektem Hörnerv direkt dem Gehirn weiterzuleiten.

Am VDI/VDE Technologiezentrum wird in Zusammenarbeit mit der Hytron GmbH (Ober-Rammstein) und der IC-Haus GmbH (Bodenheim) Mikro-Sensor-Aktorsysteme zur Muskelstimulation der Harnblasenfunktionssteuerung entwickelt. Das System zielt darauf ab, die Entwicklung von Inkontinenz bei Querschnittsgelähmten zu verhindern.

Die schiere Zahl der gegenwärtigen Bemühungen sowohl um die klassische, wie auch um die nicht-klassische Schnittstelle erlaubt nur einen kurzen Überblick, da es nicht möglich erscheint, alle Forschungsprogramme oder auch nur Forschungsrichtungen angemessen zu repräsentieren. Die vorgestellten Bemühungen sind daher nur einige von unzähligen Beispielen, diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

## Zusammenfassung

Die Entwicklung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bedurfte zwar eines langen Anlaufes von der Formulierung der zugrundeliegenden Konzepte in Sutherlands 'Sketchpad' 1963 bis zu ersten Vermarktungen in den frühen 1980er Jahren. Von diesem Zeitpunkt an aber verlief die Entwicklung so schnell, dass das Wachstum der Computerbranche schon fast sprichwörtlich ist. In Kooperation von militärischen und privatwirtschaftlichen Organisationen hat sich die Schnittstelle zwischen Menschen und Maschinen immer weitere Bereiche sowohl des menschlichen Sinnes- und Bewegungsapparates wie auch des gesellschaftlichen Raumes erschlossen. In der Form von Robotik und Steuerelementen übernehmen maschinelle Systeme immer größere Aufgabengebiete, die bisher durch Menschen abgedeckt wurden. Einige dieser Aufgabengebiete sind dergestalt, dass sich bereits öffentlicher Protest bemerkbar macht und von einer Entmenschlichung der Umwelt gesprochen wird. Exemplarisch dafür sind die Krankenpflege, Kinderbetreuung und weitere Bereiche insbesondere des Dienstleistungssektors.

Die Beunruhigung über diese Entwicklung entspringt nicht zuletzt auch der Struktur der Interaktion zwischen Mensch und Maschine. Aufgrund der langjährigen, ausschließlichen Konzentration auf reine Funktionalität ist die Schnittstelle vieler Systeme für die gestellten Aufgaben nahezu ungeeignet. Die Komplexität der Bedienung und der hohe Aufwand bei Einführung von automatisierten Systemen verhindert so wirkungsvoll eine breitere Akzeptanz.

Einige Lösungsmöglichkeiten für diese Probleme bieten die diskutierten Neuerungen der Interface-Technik. Sie allein sind aber nicht in der Lage, gegen die juristischen und ökonomischen Rahmenbedingungen Veränderungen zu etablieren. Insbesondere die Strukturen des Produktdesign in der Informationstechnologie, aber auch die juristische Reaktion auf monopolartige Verengungen des Angebots auf diesem Sektor tragen Verantwortung dafür, dass ein breites Forschungsinteresse und Angebot möglich sind.

## Literatur

- Baecker, Ronald M. / Buxton, William A. S. 1987: Readings in Human-Computer Interaction, Los Altos
- Biocca, Frank / Levy, Mark R. (Eds.) 1995: Communication in the Age of Virtual Reality, Hilldale / Hove.
- Brenner, Walter / Zarnekow, Rüdiger / Wittow, Hartmut 1998: Intelligente Softwareagenten. Grundlagen und Anwendungen. Berlin, Heidelberg, New York.
- Bücker, A. / Feldhoff, K. / Kothe, W. 1994: Vom Arbeitsschutz zur Arbeitsumwelt, Berlin.
- Card, Stuart K. / Moran, Thomas P. / Newell, Allan 1983: The Psychology of Human-Computer Interaction, Hillsdale London.
- Conger, Sue 1994: The New Software Engineering, Belmont.
- Decker, Michael 1997: Perspektiven der Robotik. Überlegungen zur Ersetzbarkeit des Menschen, Bad Neuenahr-Ahrweiler.
- Decker, Michael 1999: Robotik. Einführung in eine interdisziplinäre Diskussion, Bad Neuenahr-Ahrweiler.
- Dix, Alan / Finaly, Janet / Abowd, Gregory / Beale, Russel 1998: Human-Computer Interaction, Hemel Hempstead.
- Dobelle, Wm. H. 2000: Artificial Vision for the Blind by Connecting a Television Camera to the Visual Cortex. In: ASAIO Journal 2000; 46:3-9.
- Eberleh, Edmund 1994: Industrielle Gestaltungsrichtlinien für graphische Benutzungsoberflächen. In: Eberleh (Hg.).
- Eberleh, Edmund / Oberquelle, Horst / Oppermann, Reinhard (Hg.) 1994: Einführung in die Software-Ergonomie. Gestaltung graphisch-interaktiver Systeme: Prinzipien, Werkzeuge, Lösungen. Berlin, New York.
- Eckmiller, Rolf 1999: Neurotechnologie. Auf dem Weg zu lernfähigen Neuroprothesen mit sensorischen und motorischen Implantaten. In: Decker (Hg.) 1999.

Gardiner, M.M. /Christie, B (eds.) 1987: Applying Cognitive Psychology to User-Interface Design, Chichester.

GNU General Public Licence

Gorayska, Barbara / Mey, Jakob 1996: Cognitive Technology. A New Deal in Human Computer Interaction. In: AI & Society 10, 219-225.

Grote, Gundela 1999: Arbeitsqualität durch Komplementarität von Mensch und Technik. In: Decker (Hg) 1999.

Hammer, M. 1984: The OA Mirage. In: Datamation Februar 84 S. 36-46. [Cahners Publishing]

ter Hofte, Henri G. 1998: Working Apart Together, Enschede.

Johnson, Chris 1998: Representing the Impact of time on human error and systems failure. In: Interacting with Computers 11, 1998 S. 53-86.

Johnson, P. 1992: Human Computer Interaction, London.

Maar, Christa / Pöppel, Ernst / Christaller, Thomas (Hgg.) 1996: Die Technik auf dem Weg zur Seele, Reinbek bei Hamburg.

Maaß, S. 1993: Software-Ergonomie. Benutzer- und aufgabenorientierte Systemgestaltung. In: Informatik Spektrum 16, 191-205.

Martin, James 1973: Design of Man-Computer Dialogues, Englewood Cliffs

Mills, Stella / Noyes, Jan 1999: Editorial Virtual Reality: an Overview of User-related Design Issues. In: Interacting with Computers 11 1999.

Myers, Brad A. 1998: A Brief History of Human Computer Interaction Technology. In: ACM interactions, Vol. 5, no. 2, 44-54.

Norman, Donald A. 1999: The Invisible Computer, Cambridge London.

Oppermann, Reinhard 1994: Individualisierung von Benutzungsschnittstellen. In: Eberleh (Hg.).

Oppermann, Reinhard / Reiterer Harald 1994: Software-ergonomische Evaluation. In: Eberleh (Hg.).

Parise, S./ Kiesler, S./ Sproull, L. and Waters, K. 1999: Cooperating with life-like interface agents. In: Computers and Behaviour 15, 1999, S. 123-142.

- Raubenheimer 1994: Begriff, Ausdrucksform und Schutzvoraussetzungen des Computerprogramms. In: Computer und Recht 10, 1994, S. 70-77.
- Sackman, Harold 1970: Man-Computer Problem Solving, Princeton
- Sanderson, P. / Pipingas, A. / Danieli, F. and Sibley R. 1999: Neural imaging and dynamic display design: what can we learn? in: Proceedings of the 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society. Houston, Tx. 27. September – 1 October.
- Scholz, Hans-Eckart (Hg.) 1982: Erfolg durch bessere Methode, Berlin / München.
- Shneiderman, Ben 1987: Designing the User Interface, New York.
- Shneiderman, Ben 1990: Protecting rights in user interface designs, in ACM SIGCHI Bulletin.
- Shneiderman, Ben / Badre, Albert 1982: Directions in Human/Computer Interaction, Norwood.
- Solso, Robert L. 1995: Cognitive Psychology, Boston.
- Taeger 1996: Produkt- und Produzentenhaftung bei Schäden durch fehlerhafte Computerprogramme. In: Computer und Recht 5, 1996, S. 257-271.
- Vanderhaegen, F. 1999: Toward a model of unreliability to study error prevention supports. In: Interacting with Computers 11, 1999, S. 575-595.
- Virvou, Maria 1999: Automatic reasoning and help about human errors in using an operating system. In: Interacting with Computers 11, 1999, S. 545-573
- Weinberg, Harold 1971: The Psychology of Computer Programming, New York
- Wessel, Ivo 1998: GUI-Design. Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen. München, Wien.

# **Natürliche Intelligenz: Konzepte, Entwicklung und Messung**

*Dr. Bernd Otto Hütter*

(Neurochirurgische Klinik des Universitätsklinikums  
der RWTH Aachen)

## **1. Einleitung**

Die Grundlagen der wissenschaftlichen Erforschung der menschlichen Intelligenz entstammen überwiegend pragmatischen diagnostischen Anforderungen. Bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts ergab sich aus psychiatrisch-neurologischer Sicht die Notwendigkeit, aus Hirnschädigungen resultierende Intelligenzdefekte differenziert zu beschreiben (Rieger, 1888). Eine andere Wurzel der modernen Intelligenzforschung besteht aus frühen Ansätzen, geistig behinderte Kinder rechtzeitig zu erkennen und ihnen eine besondere Förderung zukommen zu lassen (Binet und Simon, 1905). In der Folge nahm die Intelligenzdiagnostik eine sehr rasche, zunächst atheoretische Entwicklung, die sich weitgehend auf der Grundlage konkreter differentialdiagnostischer Fragestellungen abspielte.

Erst später kamen mit dem Zweifaktorenmodell von Spearman (1904) und dem Strukturmodell der Intelligenz von Thurstone (1938) erste theoretische Überlegungen auf. Im Rahmen der enormen Ausbreitung der Intelligenzdiagnostik bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts entstand mit der Psychometrie eine bis in die Gegenwart tragende Säule der psychologischen Wissenschaft. Zur Absicherung der methodischen Gültigkeit psychologischer Tests entwickelte sich ein System von Kriterien, das sich im Wesentlichen auf Objektivität, Reliabilität und Validität einer psychologischen Messung bezieht.

Trotz einer mehr als hundertjährigen intensiven Forschung ist der Intelligenzbegriff weit davon entfernt, sich als ein klar definiertes, einheitliches Konzept darzustellen. Diese Unbestimmtheit steht in deutlichem Widerspruch zu der Selbstverständlichkeit, mit der der Begriff der Intelligenz nicht nur im Alltagsleben, sondern auch in der wissenschaftlichen Psy-

chologie gebraucht wird. Noch vor wenigen Jahrzehnten wurde, dem damaligen Stand des Wissens entsprechend, von begrifflich voneinander unterscheidbaren, unabhängigen psychischen Funktionen wie Wahrnehmung, Gedächtnis, Denken und Intelligenz ausgegangen (Rohracher, 1953). In der psychologischen Forschung bestand zu diesem Zeitpunkt eine Tradition der Wahrnehmungs-, der Gedächtnis-, der Lern- und der Denkpsychologie, die sich als isolierte (Teil-) Disziplinen unabhängig voneinander entwickelt hatten und die nur marginale Beziehungen untereinander aufwiesen.

Die weitere Entwicklung führte zwar zu einer Ausdehnung und Differenzierung des Intelligenzbegriffs, aber vor dem Hintergrund des Aufkommens der kognitiven Psychologie und den damit verbundenen Modellen der menschlichen Informationsverarbeitung wurde gerade dieser Begriff zunehmend obsolet. Die Aufhebung der Grenzen zwischen den vormals streng getrennten psychologischen Teildisziplinen hatte ein weiteres Verschwimmen des Intelligenzbegriffs zur Folge. Bezeichnend für diese Situation waren die Worte Dockrells (1970, S. 9) anlässlich der Eröffnung eines Symposions über Fragen der Intelligenzforschung, der sagte: „*Die Verschiedenheit der Intelligenzbegriffe, die von den Teilnehmern dieses Symposions vertreten werden, reduziert die Gefahr, dass einer der Standpunkte als richtig anerkannt wird, auf ein Minimum*“. Diesem Kommentar Dockrells fühlt sich auch der Autor des vorliegenden Aufsatzes verpflichtet, der davon ausgeht, dass neben dem vertretenen Standpunkt auch andere Ansichten möglich sind und die Auswahl von Fakten und Konzepten aus der Vielzahl der vorhandenen immer willkürlich bleiben muss.

Trotz eines immer noch irreführenden Sprachgebrauchs, in dem allgemein von „*der Intelligenz*“ die Rede ist, muss zunächst einmal festgehalten werden, dass dem Begriff der Intelligenz keine einheitliche Struktur entspricht. Intelligenz ist kein direkt beobachtbares Merkmal wie Körpergröße, sondern muss aus einer Vielzahl von Indikatoren indirekt erschlossen werden. Insofern ist Intelligenz ein hypothetisches Konstrukt, das so heterogen wie seine Indikatoren ist. Der im Alltagsgebrauch üblichen Reifikation von Intelligenz steht die Tatsache entgegen, dass es sich hier um keine direkt messbare Entität, sondern um eine gedankliche Hilfskon-

struktion handelt, die ein komplexes Universum an Verhaltensweisen erklären soll.

Um zu Beginn eine festere Grundlage zu schaffen, seien den folgenden Erörterungen gleich einige Aporien zur Intelligenz vorangestellt, die Roth (1998, S.17-18) sehr klar formuliert hat:

1. Intelligenz ist kein real existierendes, direkt beobachtbares Phänomen, sondern ein hypothetisches Konstrukt, dessen Reifikation weitgehend unterbleiben sollte;
2. Verhalten, welches sich als mehr oder weniger intelligent bezeichnen lässt, wird vom Zentralnervensystem (ZNS) vermittelt;
3. Die Bedingungen intelligenten Verhaltens werden nicht zureichend durch intraindividuelle Merkmale erfasst, sondern nur durch eine Interaktion dieser Merkmale mit der Umwelt;
4. Intelligenz ist keine Funktionseinheit, sondern eine Menge unterscheidbarer, mehr oder minder zusammenhängender Einzelfunktionen; und
5. Der Intelligenzbegriff ist nicht eindeutig abgrenzbar von Begriffen des Lernens, des Gedächtnisses, der Wahrnehmung und des Denkens.

## **2. Die historische Entwicklung der Intelligenzforschung**

Im Auftrag des französischen Unterrichtsministeriums hatten Binet und Simon den Stufentest für Intelligenz entwickelt, um lernbehinderte Kinder zuverlässig von normalen unterscheiden zu können (Binet u. Simon, 1905). Diese unmittelbar anwendungsbezogene Aufgabenstellung kann als der Beginn der systematischen Intelligenzforschung angesehen werden. Es folgte eine enorme Expansion dieses neuen Forschungsfeldes, das auch dazu beitrug, die Psychologie außerhalb akademischer Kreise populär zu machen und zumindest in den angelsächsischen Ländern deren allgemeine Akzeptanz zu fördern. Psychologen, die Theorien über Intelligenz entwickelten, hatten ursprünglich Anwendungsmodelle entworfen und in Messverfahren erprobt. Diese pragmatische Entstehungsgeschich-

te haben viele Intelligenztests gemeinsam (Guilford und Hoepfner, 1971; Horn, 1983; Spearman, 1938; Thurstone, 1938).

Die erste, auf empirischen Befunden beruhende Theorie der Intelligenz stammt von Spearman (1904), der beobachtete, dass die Leistungen von Versuchspersonen in verschiedenen Testreihen miteinander korreliert waren. Hieraus ergab sich die Annahme, dass diesen Leistungen eine gemeinsame Bedingung zugrunde liegt, die von Spearman (1904) „Generalfaktor“ genannt wurde. Andererseits waren diese Korrelationen aber auch nicht maximal, sodass der Schluss nahelag, dass eine Testleistung auch durch zusätzliche spezifische Faktoren beeinflusst wird. Nach Spearman (1927) setzt sich die natürliche Intelligenz daher aus zwei Komponenten zusammen. Die erste Komponente besteht aus einem allgemeinen Faktor, der in jeder Intelligenzleistung wirksam wird und der als der sogenannte general factor, kurz „g“-Faktor bezeichnet wird. Die zweite Komponente im „Zweifaktorenmodell“ von Spearman (1927) besteht aus mehreren speziellen Faktoren, die zusammen mit „g“ bei einzelnen kognitiven Anforderungen wirksam werden, sogenannten „s“-Faktoren. Auf dieses „Zweifaktorenmodell“ der Intelligenz gehen alle späteren „hierarchischen“ Intelligenztheorien zurück.

Basierend auf den Fortschritten bei der Entwicklung des mathematischen Verfahrens der Faktorenanalyse postulierte Thurstone (1938) seine „Mehrfaktorentheorie“ der natürlichen Intelligenz. Bei einer Faktorenanalyse wird aus einer Matrix aller Korrelationen zwischen den in einer Untersuchung erhobenen Messreihen auf eine dieser Matrix zugrunde liegende Anzahl an gemeinsamen Dimensionen geschlossen. Thurstone (1938) formulierte in seinem sehr einflussreichen „Gruppenfaktorenmodell“ der Intelligenz anstelle eines „Generalfaktors“ mehrere gleichberechtigte Faktoren, die bei der Lösung unterschiedlicher Anforderungen beteiligt sind. Aufgrund von Faktorenanalysen kam Thurstone (1938) zu dem Ergebnis, dass sich natürliche Intelligenz in sieben voneinander unabhängige Faktoren gliedert. Diese wurden von Thurstone (1938) Primärfaktoren genannt (Tabelle 1).

Darüber hinaus fand Thurstone (1938) noch zwei weitere, nicht genau interpretierbare Faktoren, „R“ als die Fähigkeit, logische Probleme zu lösen, und

*Tabelle 1 Die Primärfaktoren der Intelligenz aus dem Gruppenfaktorenmodell von Thurstone (1938)*

| Primärfaktor | Geistige Funktion                 |
|--------------|-----------------------------------|
| v:           | passiver Wortschatz               |
| w:           | aktiver Wortschatz                |
| n:           | rechnerisches Denken              |
| s:           | räumliches Vorstellungsvermögen   |
| p:           | Wahrnehmungstempo                 |
| r/i:         | deduktives oder induktives Denken |
| m:           | Merkfähigkeit                     |

„D“ als unklaren Faktor deduktiver Natur. Obwohl nur auf einem methodisch problematischen, rein mathematischen Verfahren beruhend, wurden die Ansichten von Thurstone für eine ganze Generation von Psychologen so selbstverständlich, dass lange Zeit eine Reifikation dieses mathematischen Konstrukts kritiklos übernommen und weiter tradiert wurde.

Aus dem Gruppenfaktorenmodell von Thurstone (1938) folgt, dass es keine Gesamtintelligenz geben kann, sondern nur voneinander unabhängige Einzelkomponenten. Aus dieser Implikation des Modells von Thurstone ergibt sich ein klarer Bezug zu prozessorientierten Ansätzen, nach denen es ebenfalls kein einheitliches Konstrukt der Intelligenz gibt, sondern nur einzelne kognitive Funktionen mit einer gegebenen Leistungsfähigkeit. Der Schweizer Psychologe Meili (1946) modifizierte das Modell von Thurstone. Meili (1946) nahm Änderungen an dem mathematischen Verfahren der Faktorenanalyse vor. Er gewichtete die psychologische Bedeutung der resultierenden Strukturen höher und legte großen Wert darauf, voneinander unabhängige Faktoren zu gewinnen. Auf dieser Grundlage postulierte Meili (1964; 1946) die folgenden vier unabhängigen Grundfaktoren der menschlichen Intelligenz:

1. Komplexität;
2. Plastizität;
3. Ganzheit des Denkens als die Fähigkeit, sinnvolle Beziehungen herstellen zu können; und
4. Flüssigkeit des Denkens als logische Flexibilität.

Ausgehend von konkurrierenden Theorien der Intelligenz versuchten Horn und Cattell (1966) mittels faktorenanalytischer Auswertungen einen grundlegenden allgemeinen Intelligenzfaktor mit primären, voneinander unabhängigen spezifischen intellektuellen Fähigkeiten zu isolieren. Diese Absicht der Autoren misslang vollständig, denn die erhobenen Daten schlossen gerade ein derartiges Modell weitgehend aus. Um ihre Befunde erklären und in einen systematischen Zusammenhang bringen zu können, wurde die von Cattell (1963) erstmals eingeführte Differenzierung zwischen „kristallinen“ und „fluiden“ kognitiven Funktionen in ein komplexes, hierarchisches Geflecht zwischen verschiedenen Intelligenzfaktoren integriert (Horn und Cattell, 1966). Kristalline Intelligenz wurde definiert durch sprachliches Verständnis, Einsicht in semantische Beziehungen sowie die Bewertung von Erfahrungen (Horn und Cattell, 1966). Die Fluide Intelligenz wurde wiederum als Induktion, Deduktion, figurale Relation und Gedächtnisleistung konzipiert (Horn und Cattell, 1996).

Nachdem im weiteren Verlauf der Forschung immer mehr Intelligenzfaktoren postuliert worden waren, was zu einer unübersehbaren Vielfalt an häufig willkürlich erscheinenden artifiziellen Faktoren geführt hatte, wurde von Guilford (1967) ein Modell vorgestellt, nach dem Intelligenzleistungen aus Linearkombinationen drei verschiedener Dimensionen resultieren. Diese sind nach Guilford (1967) im Einzelnen: 1. Operationen; 2. Inhalte und 3. Produkte. Die erste Dimension besteht aus Prozessen oder Operationen der Intelligenzleistung, die wiederum in fünf verschiedene Klassen unterteilt werden können. Als zweite Dimension werden von Guilford die in sie eingehenden Materialien oder Inhalte angeführt, die wiederum in vier Verarbeitungsmöglichkeiten unterteilt werden können. Die dritte Dimension „Produkte“ besteht in Guilford's Modell aus den durch Operationen an Inhalten hervorgegangenen Produkten kognitiver Aktivität wie z.B. Einheiten, Klassen, Relationen oder Implikationen (Guilford, 1967). Aus Linearkombinationen dieser fünf Operationen, vier Inhaltsgruppen und der sechs Produktarten ergeben sich die 120 Zellen des sogenannten „Guilford'schen Würfels“, die je einem Intelligenzfaktor entsprechen.

Von Jäger (1967) wurde das ursprüngliche Gruppenfaktorenmodell von Thurstone durch Einführung einer hierarchischen Ordnung der Primär-

faktoren modifiziert. Die Primärfaktoren wurden von Jäger (1967) wie folgt umbenannt (Tabelle 2).

*Tabelle 2 Die von Jäger (1967) umbenannten Primärfaktoren der Intelligenz*

| Primärfaktoren nach Jäger (1967)               |
|--|
| 1. Anschauungsgebundenes Denken                |
| 2. Einfallsreichtum und Produktivität          |
| 3. Konzentrationskraft und Tempomotivation     |
| 4. Formallogisches Denken und Urteilsfähigkeit |
| 5. Zahlengebundenes Denken                     |
| 6. Sprachgebundenes Denken                     |

Nach Ansicht von Jäger (1967) sind Messungen der allgemeinen Intelligenz, des „g“-Faktors und Messungen der Fähigkeitsstruktur keine einander ausschließenden Alternativen. Vielmehr besteht ein hierarchisches Fähigkeitsmodell, das auf den Generalitätsgraden der Fähigkeiten mit „g“ an der Spitze aufbaut (Jäger und Althoff, 1984).

Der Ansatz von Spearman wurde vor allem von Burt (1954) und Vernon (1971) systematisch weiterentwickelt. Zwar wurde die Annahme einer Allgemeinen Intelligenz und spezieller Intelligenzfaktoren beibehalten, aber der ursprüngliche Ansatz fand durch die Einführung von Gruppenfaktoren unterschiedlichen Allgemeinheitsgrades eine wesentliche Erweiterung. Die hierarchische Ordnung impliziert, dass die speziellen Faktoren von den allgemeinen abhängig sind. Dies impliziert aber auch, dass die allgemeinen Faktoren die spezifischen voraussetzen. Hieraus folgen erhebliche Konsequenzen für das Verständnis der menschlichen Informationsverarbeitung und ihrer neurophysiologischen Grundlagen. In den modernen Theorien von der menschlichen Intelligenz als Informationsverarbeitung wird dieser Ansatz daher wieder aufgegriffen (Sternberg, 1977).

### **3. Moderne Konzeptionen von natürlicher Intelligenz**

#### *3.1. Soziale Intelligenz*

Der Begriff der Sozialen Intelligenz geht auf eine Äußerung Thorndike's (1920) zurück, der forderte, dass man von der abstrakten Intelligenz eine

praktische und eine soziale unterscheiden müsste. Die in den letzten Jahren festzustellende Betonung der Sozialen Intelligenz ist auch als eine Gegenbewegung zu der Überbetonung von schulischen oder akademischen Fähigkeiten zu sehen, an denen sich viele Aufgaben in IQ-Tests orientieren. Wenn bereits der Begriff der Allgemeinen Intelligenz schlecht definiert ist, so ist das Problem im Zusammenhang mit der Definition der Sozialen Intelligenz noch weitaus größer. Bis heute gibt es keine allgemein akzeptierte, oder wenigstens von einer größeren Gruppe von Wissenschaftlern anerkannte Konzeptualisierung (Kaiser, 1998). Am aussagekräftigsten sind noch die Ergebnisse einer faktorenanalytischen Untersuchung von Ford und Tisak (1983), die fanden, dass sich das Konstrukt der Sozialen Intelligenz aus den vier Hauptkomponenten 1. Prosoziale Fähigkeiten; 2. Sozial-instrumentelle Fähigkeiten; 3. Soziale Anpassungsfähigkeit und 4. Selbstwirksamkeit zusammensetzt. Demzufolge enthält Soziale Intelligenz kognitive, emotionale und motorische Komponenten, wobei die emotionale Intelligenz ein herausgehobener und sich von der akademischen Intelligenz stark unterscheidender Bestandteil der Sozialen Intelligenz ist.

Ein noch größeres Problem als die vage Konzeptualisierung stellt jedoch die Messung der Sozialen Intelligenz dar. Dies ist insofern auch nicht verwunderlich, da eine zuverlässige Messbarkeit ein klar definiertes Konstrukt voraussetzt. Trotz einer kaum überschaubaren Vielzahl an Verfahren, die zur Messung der Sozialen Intelligenz entwickelt wurden, bleibt die Situation unbefriedigend (Kaiser, 1998). So analysierten Holz-Ebeling und Steinmetz (1995) vier gängige Fragebogenverfahren zur Messung des mit der Sozialen Intelligenz eng verknüpften Konstrukts der Empathie mit einem ernüchternden Ergebnis. Bereits die Konzeption der Fragebögen sowie die Iteminhalte führten zu grundsätzlichen Zweifeln an der Validität der Verfahren (Holz-Ebeling und Steinmetz, 1995). Einen gewissen Fortschritt stellt das California Personality Inventory (CPI) dar, in dem die beiden Subskalen „Soziale Ausgeglichenheit, Selbstsicherheit und zwischenmenschliche Kompetenz“ sowie „Führungsstil, Führungspotenzial und Arbeitstechnik“ zwei wichtige Bereiche der Sozialen Intelligenz zuverlässig messen (Gough und Weinert, 1996).

### 3.2. *Intelligenz als Fähigkeit zum Problemlösen*

Nach Ansicht von kognitionspsychologisch orientierten Intelligenzforschern ist eine intelligente Person dadurch gekennzeichnet, dass sie über eine hohe Kompetenz zur Lösung intellektuell anspruchsvoller Probleme verfügt. Es stellt sich also die Frage, inwieweit und auf welche Weise Problemlösekompetenz und Testintelligenz zusammenhängen. Ein Problem lässt sich hierbei definieren als eine Diskrepanz zwischen einem Ist-Zustand und einem Ziel-Zustand (Sollwert), bei dem der Lösungsweg nicht von vorneherein bekannt ist (Hütter, 1994; Dörner, 1976). Insofern unterscheidet sich ein Problem wesentlich von einer Aufgabe, wo der Lösungsweg bekannt ist und lediglich realisiert werden muss (Dörner, 1976).

Im Rahmen des Informationsverarbeitungsansatzes lässt sich Problemlösen nach Klix (1971) und Newell und Simon (1972) als Suche in einem Problemraum beschreiben. Der Problemraum enthält den Ausgangszustand, den Zielzustand, mögliche Zwischenzustände, Operatoren (Mittel zur Zielerreichung) und deren Anwendungsbedingungen (Restriktionen) sowie das allgemeine Welt-Wissen, auf das der Problemlöser zurückgreifen kann. Der erste Schritt in der Problembearbeitung besteht in dem Aufbau des Problemraumes, der aus der subjektiven Repräsentation des Problems, also aus einer Rekonstruktion besteht. Im zweiten Schritt wird versucht, durch die Anwendung von Operatoren zum Zielzustand zu gelangen. Diese Suche im Problemraum kann auch darin bestehen, den Problemraum zu erweitern oder neu zu definieren. Die sukzessive Annäherung an den Zielzustand geschieht hierbei durch die Bildung von Teilzielen und rekursiver Ziel-Mittel-Analysen. Diese Konzeptualisierung von kognitiven Problemlöseprozessen bietet sich für eine Formalisierung regelrecht an. Daher wurden entsprechende logisch-mathematische Modelle und Computersimulationen entwickelt, die zum einen menschliche Problemlöseprozesse erklären und vorhersagen sollen, die andererseits aber auch zur Lösung von Problemen in der Informatik geeignet sind, wie z.B. die Softwaresysteme ACT (Anderson, 1993), CAPS (Just und Carpenter, 1987) oder GPS (Newell und Simon, 1972). Ein weiterer Effekt der Entwicklung und Anwendung derartiger Rechen-

modelle besteht darin, dass sich hieraus eine Präzisierung der kognitiven Operatoren ergibt, die als Produktionen aufzufassen sind (Anderson, Kushmerick und Lebiere, 1993). Produktionen setzen sich wiederum aus einer Bedingungs- und einer Aktionskomponente zusammen.

Aus dieser Forschungsrichtung gingen in den letzten Jahren, zunächst unabhängig von der „klassischen“ Intelligenzforschung, wesentliche Beiträge zur Aufklärung der kognitiven Verarbeitungsprozesse im Zusammenhang mit Vorgängen der Problemlösung hervor. Zu ersten Überschneidungen mit der Intelligenzforschung kam es in solchen Untersuchungen, in denen die Beziehungen zwischen Intelligenztestleistungen und Problemlöseprozessen untersucht wurden. Zunächst bestand das Forschungsinteresse primär nur darin, auf diese Weise die Prozesse zu erforschen, die der Bearbeitung von Intelligenztests zugrunde liegen (Rowe, 1985).

Für Interpolationsprobleme ergaben sich in einer Studie von Klix und Lander (1967) zwischen Indikatoren der Problemlösefähigkeit und verschiedenen Intelligenztestwerten recht hohe Korrelationen zwischen  $r = .50$  und  $r = .80$ . Auch in Studien von Gavurin (1967) und Malhotra und Hasija (1990) fanden sich deutliche Zusammenhänge zwischen der Problemlöseleistung und Intelligenztestwerten. Auf der anderen Seite gibt es zahlreiche Berichte über Untersuchungen, in denen keine Korrelation zwischen Problemlösefähigkeit und Intelligenztestwerten gefunden werden konnte (Novick und Holyoak, 1991; Dörner und Kreuzig, 1983; Burke und Maier, 1965). Auch bei komplexen Problemen konnte in mehreren Untersuchungen gezeigt werden, dass sich testintelligente von weniger testintelligenten Personen nicht in ihrem Problemlöseverhalten bzw. -erfolg unterscheiden (Andresen und Schmid, 1993; Dörner et al., 1983; Putz-Osterloh, 1981). Ein erster Ansatzpunkt zur Auflösung dieser Widersprüche ergab sich aus Befunden, die zeigten, dass bestimmte Eigenschaften komplexer Probleme eine Moderatorfunktion für den Zusammenhang zwischen Komponenten der Testintelligenz und dem Problemlöseerfolg aufweisen (Putz-Osterloh und Lür, 1981). Auf dieser Grundlage reifte die Erkenntnis, dass die Vorhersagekraft der Allgemeinen Intelligenz unzureichend bleiben muss, da für die Vorhersage von Problemlöseleistungen relevante spezifische kognitive Funktionen als spezifische Teilaspekte der Intelligenz erforderlich sind.

Unter Berücksichtigung der operativen Intelligenz, die durch die Steuerungsfähigkeit kognitiver Operationen und die Verfügbarkeit von effektiven Heuristiken, eine hohe Verarbeitungskapazität und inhaltsgebundene Komponenten wie die Verarbeitungsmodalität gekennzeichnet ist, ergaben sich jedoch klare Ergebnisse zu dem Zusammenhang zwischen Testintelligenz und Problemlösekompetenz. Hierbei war auch die Entwicklung des Berliner Intelligenzstrukturtests hilfreich, der auf der Ebene unterschiedlicher Denkopoperationen entwickelt wurde (Jäger, 1984). So wird die Problemlöseleistung in transparenten Systemen vor allem durch Aspekte der Bearbeitungsgeschwindigkeit, die auch als eine basale kognitive Funktion angesehen werden kann, vorhergesagt (Hörmann und Thomas, 1989). Unter der Voraussetzung dieser differenzierten Betrachtungsweise fanden sich systematische stabile Beziehungen zwischen der Problemlöseleistung und Aspekten der kognitiven Verarbeitungskapazität sowie des induktiven und deduktiven Denkens (Süß, Oberauer und Kersting, 1993). Daher führte die weitere Forschung zur Identifikation und Bestimmung konkreter kognitiver Operationen, die in den Problemlöseprozess eingehen und definierte Beziehungen zu Aspekten der Intelligenztestleistung aufweisen.

### *3.3. Intelligenz als Informationsverarbeitung*

Information ist auf einfache Weise definierbar als Reduktion von Unsicherheit. Der strukturelle Informationsbegriff impliziert wiederum, dass sich Information wesentlich durch Strukturbildung konstituiert. Eine Struktur besteht mindestens aus zwei Elementen und einer Relation zwischen diesen. Für psychologische Untersuchungen besonders bedeutsam ist der semantische Aspekt des Informationsbegriffs, der die Bedeutung von Elementen umfasst. Insofern bezieht sich dieser Informationsbegriff unmittelbar auf Prozesse der Wahrnehmung von Objekten, da diese auf der Identifikation (Extraktion) von Bedeutung aus physikalischen Reizgegebenheiten bzw. deren sensorischer Repräsentation beruhen.

Darüber hinaus machen die von Shannon und Weaver (1949) postulierten drei grundlegenden Eigenschaften von Information 1. Kodierbarkeit, 2. Übertragbarkeit und 3. Speicherbarkeit den Informationsbegriff für die

Analyse und Beschreibung psychologischer Prozesse besonders interessant. Im Zuge der „kognitiven Wende“ in der Psychologie ergab sich erstmals eine einheitliche Betrachtungsweise psychischer Phänomene durch bisher voneinander unabhängige psychologische Teildisziplinen, die durch die Einführung des Informationsverarbeitungsansatzes wesentlich gefördert worden war (Neisser, 1976). Infolge dieses Paradigmenwechsels wurden psychische Prozesse als Ausdruck von Vorgängen der Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung, Reproduktion und Produktion von Informationen angesehen. Auf der Grundlage des Informationsverarbeitungsansatzes hat sich auch die Forschung zur künstlichen Intelligenz entwickelt sowie das Bestreben, anhand der beim Menschen identifizierten Prozesse künstliche Systeme zu entwickeln, die menschliche kognitive Verarbeitungen wie z.B. Mustererkennung realisieren.

Alle Ansätze zur Erforschung der menschlichen Informationsverarbeitung beruhen darauf, dass sämtliche Versuche, natürliche Intelligenz zu messen und aus den gemessenen Leistungen theoretische Modelle abzuleiten, von bereits erbrachten Leistungen ausgehen. Über die kognitiven Prozesse, die zu diesen Leistungen führen, wird aber keine empirische Aussage gemacht. Modelle der Informationsverarbeitung können dagegen Intelligenz charakterisieren, da die bei der Lösung von Intelligenztestaufgaben wirksamen einzelnen kognitiven Prozesse gezielt untersucht werden. Im Gegensatz zum traditionellen psychometrischen Ansatz, der auf die Identifikation von allgemeinen Dimensionen menschlicher Fähigkeiten wie z.B. Dimensionen der Intelligenz abzielt, werden vom Informationsverarbeitungsansatz gerade die Prozesse thematisiert, die den Leistungen in Intelligenztests zugrunde liegen. Für die Transformation von Wissenszuständen werden Prozeduren eingesetzt, die aus wenigen allgemeinen Informationsverarbeitungsprozessen bestehen (Posner und McLeod, 1982) und die selbst unabhängig von spezifischen Wissens-elementen sowie inhaltsleer sind (Ericsson und Simon, 1993).

Es hat eine ganze Weile gedauert, bis der Widerspruch zwischen dem diffusen Intelligenzbegriff und der konzeptuellen Präzision kognitionspsychologischer Termini der menschlichen Informationsverarbeitung überwunden werden konnte. Ausgangspunkt dieser Entwicklung waren neben

gedächtnispsychologischen Studien Untersuchungen zum kognitiven Tempo. Die Geschwindigkeit, mit der kognitive Prozesse ablaufen, ist ein Teilaspekt der menschlichen Intelligenz. Jedoch blieben entsprechende Studien zum Zusammenhang zwischen Reaktionszeit und natürlicher Intelligenz solange erfolglos, wie nur die einfache Reaktionszeit untersucht wurde. Erst als man Wahlreaktionen näher untersuchte, veränderte sich die Situation. Als Hick (1952) zeigen konnte, dass mit der Anzahl der Alternativen, auf die die Versuchspersonen reagieren müssen, auch die Reaktionszeit anstieg, konnte durch Transformation der Wahlmöglichkeiten in ein bit aus der Reaktionszeitmessung ein Mass für die Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung werden (Roth, 1964). Auf dieser Grundlage hat sich der Kognitive-Komponenten-Ansatz entwickelt, in dem Psychometrie und die Psychologie der menschlichen Informationsverarbeitung erstmals miteinander verbunden wurden (Sternberg, 1977). Jensen (1993) stellte ein Modell über die Komponenten und die Zusammensetzung des Geschwindigkeitsfaktors vor. Als erste Prozessphase wurde von Jensen (1993) die Enkodierungsgeschwindigkeit postuliert, während die zweite Kennzahl der Informationsverarbeitung die Zerfallsgeschwindigkeit des jeweils etablierten Codes beinhaltet. Ein anderer Aspekt wird von Schweizer (1995) betont, der auf die Geschwindigkeit der Informationsaufnahme und auf die Suchzeiten im Gedächtnis abhebt.

Hierbei ermöglichen es mittlerweile hochgradig ausgefeilte Techniken der Experimentellen Psychologie einzelne Verarbeitungsstadien oder Prozesskomponenten zu isolieren und ihre strukturellen Merkmale zu identifizieren. Sternberg (1977) unterschied fünf basale Komponenten der kognitiven Informationsverarbeitung:

1. Enkodierung;
2. Identifikation der Relationen;
3. Abbildung der Relationen;
4. Anwendung der Relationen; und
5. Antwortvorbereitung und -ausführung.

In experimentellen Untersuchungen fanden sich besonders hohe Zusammenhänge zwischen der Leistung in Intelligenztests und Prozessen der

Antwortvorbereitung sowie der Realisierung der Antwort. Hierdurch werden individuelle Intelligenzunterschiede auf Unterschiede in definierten Komponenten des Informationsverarbeitungsprozesses zurückgeführt (Mayer, 1992). Aufgrund seiner Forschungsergebnisse formulierte Sternberg (1988) seine triarchische Theorie der Intelligenz, in der drei Komponenten der kognitiven Verarbeitung unterschieden werden:

1. Metakomponenten zur Planung, Überwachung und Bewertung von kognitiven Aktionen;
2. Leistungskomponenten (Enkodierungs-, Kombinations-, Vergleichs-, sowie Antwortkomponenten); und
3. Wissenserwerbskomponenten, die für den Aufbau der Problemrepräsentation und des allgemeinen Wissens verantwortlich sein sollen.

Bereits 1885 konnte Merkel zeigen, dass die Identifizierungszeit von Reizen mit der Anzahl der Reize wie der Antwortalternativen zunimmt (Merkel, 1885). Später fand Scharbeth (1964), dass die Verkürzung der Erkennungszeit proportional zum Redundanzgrad zunimmt. Dies bedeutet, dass der Informationsgehalt der Reize und nicht die absolute Anzahl der zu erkennenden Reize für die Erkennungsgeschwindigkeit relevant ist. Neben der Informationsverarbeitungskapazität, die sich in Aspekten der Aufmerksamkeitskapazität und der selektiven Aufmerksamkeit niederschlägt, sind für eine hohe Leistung in Intelligenztests sowie allgemein eine große geistige Leistungsfähigkeit ein umfangreiches, komplex organisiertes sowie rasch und präzise abrufbares Wissen erforderlich, zwischen dessen Repräsentationsmodalitäten auf unterschiedlichen Ebenen rasch gewechselt werden kann. Wissen ist nicht nur ereignisbestimmt im Langzeitspeicher repräsentiert, sondern kann auch anforderungsabhängig durch kognitive Prozesse erzeugt werden. Dabei kommen nach Klix (1992) die folgenden Operationen zum Einsatz, die verfügbares Wissen kombinieren oder transformieren (Tabelle 3).

Die neuere Gedächtnisforschung geht davon aus, dass drei unterschiedliche Repräsentationsformen von Information im Langzeitgedächtnis existieren: 1. anschauliche Vorstellungen; 2. Zeitstrings als Kodierung der zeitlichen Abfolge von Ereignissen in Gestalt linearer Ordnungen und 3.

*Tabelle 3 Kognitive Operationen zur Neukonstruktion  
von Wissen*

|                   |
|-------------------|
| 1. Vergleich      |
| 2. Verkettung     |
| 3. Verdichtung    |
| 4. Verkürzung     |
| 5. Transformation |
| 6. Abbildung      |
| 7. Inversion      |

*nach Klix (1992)*

Propositionen als Kodierung der Bedeutung von Sachverhalten, die von sensorischen Repräsentationsmodalitäten unabhängig sind. Insofern verwundert es nicht, wenn bedeutsame Zusammenhänge zwischen der allgemeinen intellektuellen Kapazität und der Fähigkeit, rasch zwischen verschiedenen Abstraktionsebenen der Repräsentation im Langzeitspeicher zu wechseln, gefunden werden konnten (Mayer, 1992).

#### *4. Neuronale Grundlagen der natürlichen Intelligenz*

Die intellektuelle Leistungsfähigkeit eines Individuums hängt wesentlich von der Leistungsfähigkeit seines Gehirns ab. Trotzdem die 90er Jahre zur „Dekade des Gehirns“ erklärt wurden, sind jedoch auch gegenwärtig viele Zusammenhänge zwischen Gehirnfunktion und intellektueller Leistungsfähigkeit immer noch unbekannt. Ein Grund hierfür liegt sicher in der enormen Komplexität des menschlichen Zentralnervensystems (ZNS) und der nicht minder großen Komplexität menschlicher kognitiver Prozesse und intellektueller Leistungen. Darüber hinaus erfordert die Integration beider Seiten ein hoch-komplexes Relativ, das neben anderen Eigenschaften auch eine Unterscheidung zwischen strukturellen und funktionellen Aspekten enthalten muss.

Obwohl auf einer sehr allgemeinen Ebene angesiedelt, wird bis in die Gegenwart ein Zusammenhang zwischen natürlicher Intelligenz und der Geschwindigkeit neuronaler Leitungsprozesse postuliert (Neubauer und Pfurtscheller, 1995; Vernon, 1993). Die lineare Gleichsetzung von natürlicher Intelligenz, Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit und Ner-

venleitgeschwindigkeit ist jedoch problematisch und in dieser einfachen Form sicher nicht haltbar. Bereits seit längerer Zeit ist bekannt, dass ein schwacher, aber signifikanter positiver Zusammenhang zwischen Kopfumfang und Intelligenztestleistung besteht (Susanne, 1979). Hinsichtlich des Gehirnvolumens und der Intelligenz ist der Zusammenhang noch etwas stärker. Jedoch sind die früheren Arbeiten zu dieser Fragestellung aufgrund methodischer Mängel in ihrer Aussagekraft noch stark eingeschränkt. Anhand von Magnet-Resonanz-Tomografien (MRT) wurde in einer der ersten aussagekräftigen volumetrischen Studien von Willermann et al. (1991) unter Berücksichtigung von Körpergröße und Körpergewicht ein adjustierter Zusammenhang zwischen Gehirnvolumen und Intelligenzquotienten in einer Grössenordnung von  $r = .51$  gefunden. Dies bedeutet, dass 25% der Varianz der Intelligenztestleistung durch das Gehirnvolumen erklärt werden können. Auf der anderen Seite müssen aber 75% der Varianz der Intelligenztestleistung andere Ursachen haben. In einer Reihe von weiteren Studien, in denen ebenfalls mittels der MRT-Volumetrie gearbeitet wurde, zeigten sich vergleichbare Ergebnisse (Bigler et al., 1995; Harvey et al., 1994; Wickett, Vernon und Lee, 1994). Hinweise dafür, dass ein Zusammenhang insbesondere zwischen der grauen Substanz und der Testintelligenz besteht, erbrachte die Untersuchung von Andreasen et al. (1993), die fanden, dass nur der Volumenanteil der grauen Substanz, nicht aber das gesamte Hirnvolumen einen signifikanten Zusammenhang mit der Leistung in Intelligenztests aufwies.

Bereits 1971 konnte Surwillo (1971) zeigen, dass die Alpha-Frequenz als dynamischer elektrophysiologischer Parameter ebenfalls einen Indikator für die geistige Leistungsfähigkeit bildet. So fand sich ein klarer Zusammenhang zwischen der Alpha-Frequenz und der Reaktionszeit, der umso ausgeprägter wurde, je mehr der Schwierigkeitsgrad der Reaktionsaufgabe auf dem Kontinuum zwischen einfacher Reaktionszeit und komplexer Wahlreaktionszeit anstieg (Surwillo, 1971). Der Alpha-Rythmus im EEG ist aber nicht nur durch seine Frequenz, sondern auch durch seine Amplitudenstärke gekennzeichnet. Bei geistiger Beanspruchung kommt es zu einer Alpha-Desynchronisation, die sich in einer Abnahme der Amplitude äußert. Neubauer und Pfurtscheller (1995) fanden, dass intelligente Versuchspersonen eine stärker räumlich umschriebene Alpha-Desynchroni-

sation zeigten als weniger intelligente Probanden. Diese Ergebnisse unterstützen die Hypothese der „selektiven Aktivierung“, die besagt, dass eine höhere Intelligenz durch eine höhere funktionelle Differenzierung zwischen den Hirnarealen und durch eine höhere Selektivität der Aktivierung gekennzeichnet ist (Ibatoullina, Vardaris und Thompson, 1994). So konnte von Vardaris, Bolger und Ibatoullina (1995) gezeigt werden, dass die Stärke evozierter Potentiale (P300 und N400) bei intelligenten Personen über verschiedene topografische Regionen wesentlich geringer untereinander korreliert ist als bei weniger intelligenten Versuchspersonen.

Mittels der Positronenemissionstomografie (PET) ist es unter anderem möglich, den Glukosestoffwechsel in einzelnen Hirnregionen zu untersuchen. Bereits in den ersten Studien zum Zusammenhang zwischen Hirndurchblutung und Intelligenz konnte keine lokalisatorisch begrenzte Aktivierung gefunden werden (Boivin et al., 1992; Parks et al., 1988). So kommt es während der Durchführung des Raven-Progressive-Matrizen Intelligenztests zu einer diffusen Aktivierung, die keine klar nach Regionen differenzierte spezifische Aktivierung erkennen lässt (Haier et al., 1988). Intelligentere Versuchspersonen zeigten in einigen Studien eine signifikant geringere metabolische Aktivierung bei geistiger Aktivität im Vergleich zu weniger intelligenten Probanden (Charlot et al., 1992; Boivin et al., 1992). Zwar können diese Ergebnisse als Beleg für die Hypothese von der „selektiven Aktivierung“ angesehen werden, aber andererseits ist auch die Interpretation möglich, dass sich weniger intelligente Probanden einfach nur mehr anstrengen müssen als intelligentere. So fanden Larson et al. (1995), dass es zwischen intelligenten und weniger intelligenten Probanden keinen Unterschied in der Aktivierungssteigerung gab, wenn beide Gruppen objektiv unterschiedlich schwere, aber subjektiv als gleich schwierig eingeschätzte Aufgaben bearbeiteten.

## **5. Die Entwicklung der natürlichen Intelligenz**

### *5.1. Veränderungen der natürlichen Intelligenz im Verlauf der Lebensspanne*

Die Beschäftigung mit den lebenslang andauernden Prozessen der Veränderung der Intelligenz macht den Hinweis erforderlich, dass es einerseits

allgemeine Prinzipien gibt, die dazu führen, dass jeder Mensch sein individuelles Niveau der Intelligenz entwickelt, aber andererseits gleichzeitig Prozesse wirksam werden, die dazu führen, dass jede Entwicklung des intellektuellen Leistungsvermögens einzigartig verläuft. Bis vor wenigen Jahren war das sogenannte „Defizitmodell“ der Intelligenzentwicklung noch vorherrschend, demzufolge die intellektuelle Leistungsfähigkeit im frühen Erwachsenenalter ihren Höhepunkt erreicht, um dann im Zuge des allgemeinen Altersabbaus einem kontinuierlichen Abfall zu unterliegen. Der Intelligenzverlust soll mit 60 Jahren im Vergleich zum Leistungsmaximum ca. eine Standardabweichung und im Alter von 70 Jahren bereits 1,5 Standardabweichungen betragen. Bereits 1972 hat Ursula Lehr dieser Ansicht entschieden widersprochen und dies zunächst mit methodischen Argumenten belegt (Lehr, 1972). In der Tat ist die Untersuchung des Verlaufs der Intelligenzentwicklung mit zahlreichen außerordentlich komplexen und schwierigen methodischen Problemen behaftet (Wohlwill, 1973). Abgesehen von dem Problem, dass sich mittels des „alten“ Intelligenzquotienten als dem Quotienten aus Intelligenz- und Lebensalter überhaupt keine sinnvolle Diagnostik von Entwicklungsverläufen anstellen lässt, können aus methodischen Gründen Entwicklungsdaten nur auf Kohortensequenzen und nicht auf „echten“ Längsschnittverläufen bestehen (Wohlwill, 1973).

Aufgrund erheblicher Forschungsanstrengungen kann mittlerweile davon ausgegangen werden, dass die Hypothese von der progredienten Verschlechterung der Allgemeinen Intelligenz nach Erreichen eines Höhepunkts Resultat eines methodischen Artefakts ist. Vielmehr sind schulische Ausbildung und allgemeine Anregungsbedingungen mit jeder Alterskohorte besser geworden, sodass der durchschnittliche IQ mit dem Alter jeder Kohorte systematisch abnahm. Methodisch besser geplante Studien ergeben daher übereinstimmend, dass bis in das hohe Alter von 85 bis 90 Jahren ein intellektueller Abbau, der für alle kognitiven Funktionen und für alle Personen gilt, nicht gesichert werden kann (Schaie, 1991).

Auf der anderen Seite sind einige Aspekte der Intelligenzleistung durchaus altersabhängig. Bereits 1936 stellte Lorge fest, dass Aufgaben in Intelligenztests, die stark geschwindigkeitsabhängig sind, stärker vom Alter

abhängen als solche Aufgaben, bei denen überlernte Kulturtechniken und allgemeines Wissen im Vordergrund stehen (vgl. Siegfried, 1995). Auch Thurstone und Thurstone (1941) fanden altersbedingte Verschlechterungen beim „Räumlichen Vorstellungsvermögen“ und beim „Schlussfolgernden Denken“, während die Leistungen in den Bereichen „Rechenfähigkeit“, „Verbales Verständnis“ und „Wortflüssigkeit“ nur geringe Veränderungen mit dem Alter aufwiesen. Die methodisch außerordentlich sorgfältige Studie von Schaie (1991) belegte eindeutig, dass bis in das Alter von 85 bis 90 Jahren ein für alle Personen gleichermaßen gültiger intellektueller Abbau nicht besteht. Jedoch fand Schaie (1991) einen einheitlichen altersabhängigen Rückgang in den Funktionen „Wortflüssigkeit“, „Auffassungsgeschwindigkeit“ und „Räumliches Vorstellungsvermögen“. Das Maximum der Leistungsfähigkeit in diesen Funktionen konnte zwischen dem 30. und 40. Lebensjahr lokalisiert werden. Ab dem 60. Lebensjahr werden Alterseffekte bei dem Rückgang der genannten intellektuellen Funktionen immer deutlicher. Auf der anderen Seite bleiben insbesondere Dimensionen der „kristallinen“ Intelligenz wie z.B. das allgemeine Wissen auch weit jenseits des 7. Lebensjahrzehnts stabil, während die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Alter 1,5 bis zweimal langsamer ist als bei jungen Erwachsenen (Oswald und Fleischmann, 1995).

Funktionen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit sind nur in geringem Umfang milieu- und bildungsabhängig und zeigen ein hohes Mass an genetischer Determinierung (Oswald, 1983). Daher ist dieser Parameter ein guter Indikator für kognitives Altern. Darüber hinaus ist nach Birren, Woods und Williams (1979) die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit auch ein Ausdruck der funktionellen Integrität des Zentralnervensystems. Sowohl von Oswald und Roth (1978) wie auch von Salthouse (1985) konnte gezeigt werden, dass bei älteren Probanden die Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit bis zu 50% der Leistungsvarianz in Intelligenztests erklärt. Das bis zum mittleren Lebensalter erreichte intellektuelle Leistungsniveau bleibt aber bis ins hohe Alter weitgehend stabil. Bereits 1964 konnte Bloom nachweisen, dass der individuelle Intelligenzquotient ab dem 9. Lebensjahr weitgehend über den Verlauf

des Erwachsenenlebens und des Alters konstant bleibt. Schaie (1991) berichtet von Ergebnissen der Seattle-Längsschnittsstudie, in der sich messfehlerbereinigte Stabilitätskoeffizienten zwischen .85 und .96 für Altersgruppen zwischen 25 und 67 Jahren fanden. Der intraindividuellen Stabilität der Intelligenzentwicklung steht andererseits eine große interindividuelle Variabilität gegenüber. Diese gilt auch für intraindividuelle Verläufe der Intelligenzentwicklung. So fand Schaie (1991) in allen Alterskohorten große Gruppen von Personen, die sich in ihrer intellektuellen Leistungsfähigkeit verbesserten, verschlechterten oder konstante Leistungen aufwiesen. Es besteht also eine enorme Vielfalt und Spannweite des intellektuellen Leistungsniveaus und ihrer Veränderung in jede Richtung.

Die intellektuelle Leistungsfähigkeit ist bis ins hohe Alter veränderbar und kann durch gezielte Interventionen signifikant gesteigert werden (Oswald et al., 1996). Gezielte Trainingsprogramme führen auch bei Personen im hohen Alter zu bedeutsamen und anhaltenden Verbesserungen des intellektuellen Leistungsniveaus (Rott, 1994; Schaie, 1991).

Neben normalen Veränderungen können im Alter jedoch auch gehäuft pathologische Intelligenzentwicklungen auftreten. Eine typische Alterserkrankung ist der dementielle intellektuelle Abbau. Demenz ist hierbei definiert als ein allgemeiner geistiger Abbau, der sich in Gedächtnisstörungen, Beeinträchtigungen der Abstraktions- und Urteilsfähigkeit, Störungen höherer kortikaler Funktionen wie z.B. Aphasien und Persönlichkeitsveränderungen niederschlägt. Vor allem die „fluiden“ Intelligenzleistungen werden bei dementiellen Erkrankungen betroffen, während „kristalline“ Funktionen relativ lange erhalten bleiben, aber in fortgeschrittenen Spätstadien ebenfalls massiv betroffen sind. Daher kommt es bei dementiellen Erkrankungen sehr früh zu Beeinträchtigungen der Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit. Zu den häufigsten Demenzformen gehören der Morbus Alzheimer, die senile Demenz vom Alzheimerstyp (SDAT) und die Multi-Infarkt-Demenz (MID), die durch viele kleine Gefäßverschlüsse im Gehirn ausgelöst wird. Während bei unter 70jährigen nur mit ca. 0,5% dementiellen Erkrankungen gerechnet werden muss, liegt die Prävalenz bei 80-90jährigen bereits bei 20%-25% und bei über 90jährigen bei mehr als 30%.

## 5.2. Bedingungen und Unterschiede der Intelligenzentwicklung

Zweifelsohne beeinflussen genetische wie Umweltfaktoren gemeinsam die Ausprägung der individuellen Intelligenz. Der Streit um die jeweiligen Anteile beider Faktorengruppen ist noch nicht beendet, aber inzwischen werden Aussagen wie die von Eysenck und Eysenck (1985), Zweidrittel der Intelligenz wären genetisch determiniert, während ein Drittel auf Umwelteinflüsse zurückzuführen sei, als irreführend erkannt. Eine solche Aussage resultiert aus dem statistischen Interpretationsfehler, beide Determinanten würden unabhängig voneinander das Merkmal „Intelligenz“ determinieren (Hassenstein, 1987). Die Frage, ob Umwelt oder Vererbung die interindividuellen Differenzen der intellektuellen Leistungsfähigkeit bestimmen, ist insofern falsch gestellt, da Vererbungs- und Umweltfaktoren gemeinsam auf komplexe Art miteinander interagieren und ein jedes phänotypisches Merkmal aus einer doppelten Wechselwirkung zwischen inneren und äußeren Determinanten und den Vorstufen dieses Merkmals als Ergebnis zeitlich vorhergehender Wechselwirkungen resultiert. Nach einer Literaturübersicht und einer Re-Analyse der Daten von Studien zu der Intelligenz von eineiigen Zwillingen, die getrennt aufgezogen worden waren, betrug die gewichtete Korrelation der Intelligenztestwerte der Zwillingspaare über alle Studien hinweg  $r = .75$  (Bouchard et al., 1990). Darüber hinaus wurde in mehreren Studien bei Individuen, die biologisch nicht miteinander verwandt waren, aber zusammen aufwuchsen, nur Korrelationen der jeweiligen Intelligenzquotienten zwischen  $r = -.09$  und  $r = .05$  gefunden (Loehlin, Horn und Willermann, 1989; Teasdale und Owen, 1984). Jedoch kann sich die Zwillingforschung nicht der grundsätzlichen Kritik entziehen, dass in den entsprechenden Studien der Einfluss der Umwelt sowie eine mögliche Umwelt-Genotypus Interaktion gar nicht oder zuwenig berücksichtigt wurde. Auch wurden in der einflussreichen Arbeit von Bouchard et al. (1990) mögliche Effekte von Unterschieden bzw. Gemeinsamkeiten des Niveaus der Schulbildung und der Binet-Intelligenzquotienten nicht genügend beachtet (Dudley, 1991).

Ein lang andauernder und bis heute ungeklärter Streit dreht sich darum, wie wichtig die frühe Kindheitsentwicklung für die intellektuelle Ent-

wicklung ist. Trotz einer sehr widersprüchlichen Befundlage lässt sich gegenwärtig festhalten, dass vom vierten Lebensjahr an das künftige Intelligenzniveau mit größerer Sicherheit vorhergesagt werden kann. In der Längsschnittstudie von Sontag, Baker und Nelson (1958) ergaben sich erhebliche Schwankungen in den erreichten IQ-Werten mit deutlichen Leistungsrückgängen bzw. Leistungsverbesserungen. Honzik, McFarlane und Allen (1948) fanden in einer Längsschnittstudie, dass der im Alter von vier Jahren erreichte IQ nur zu 18% zu der Vorhersage des IQ im Alter von 18 Jahren beitrug. Auf der anderen Seite fand Bloom (1964) in seiner vieldiskutierten Studie, dass im Alter von vier Jahren bereits 50% der später erreichten maximalen IQ-Testleistung und mit acht Jahren sogar schon 80% determiniert sein sollen. Es lässt sich daher zusammenfassend festhalten, dass das intellektuelle Leistungsniveau bis zu einem Alter von 5 bis 6 Jahren einerseits durch gezielte Förder- und Trainingsmaßnahmen erheblich steigerbar ist, aber andererseits auch durch ungünstige Umstände erheblich in seiner Entwicklung beeinträchtigt werden kann (Winnicott, 1965). Die Erkenntnis, dass eine intensive Mutter-Kind-Beziehung eine entscheidende Bedeutung für die intellektuelle Entwicklung hat, ist den Arbeiten von Spitz (1945) zu verdanken.

Abgesehen von dem Anlage-Umwelt Streit zeigte sich, dass auch die Stellung in der Geschwisterreihe anscheinend Einfluss auf Richtung und Ausmaß der intellektuellen Entwicklung hat (Lichtenwallner und Maxwell, 1969). Als hinreichend belegt kann der negative Einfluss einer relativ reizarmen Umgebung auf die Intelligenztestleistung von Kindern angesehen werden (Höhn, 1974). Moss und Kagan (1958) stellten in Längsschnittuntersuchungen bedeutsame Korrelationen zwischen dem IQ von drei- bis sechsjährigen Kindern und der Art und dem Niveau des Erziehungsstiles der Mütter fest. Der Zusammenhang zwischen sozialer Schicht, Schulnoten und Intelligenz ist seit langem Gegenstand intensiver Forschung. Wiener, Rider und Opper (1963) fanden zwischen dem absoluten IQ wie auch dem IQ-Zugewinn und der sozialen Schicht der Eltern substantielle Zusammenhänge. Es kann als empirisch gesichert angesehen werden, dass ein hoher sozioökonomischer Status der Eltern mit einer hohen Intelligenz der Kinder kovariiert und ca. 40% der Varianz der Intelligenzentwicklung erklärt.

Emotionale Störungen wiederum wirken sich erheblich beeinträchtigend auf die intellektuelle Leistungsfähigkeit von Kindern aus (Davis, 1958). Nach den Ergebnissen einer Untersuchung von Skeels (1966) ist die intellektuelle Entwicklung soziokulturell benachteiligter Kinder wesentlich nur im frühesten Lebensalter beeinflussbar. Spätere Förderprogramme erwiesen sich als weit weniger wirksam (Skeels, 1966). Allgemein akzeptiert ist die Tatsache, dass zwischen der Schulleistung und der Allgemeinen Intelligenz nur ein mäßiger Zusammenhang zwischen  $r = .35$  und  $r = .45$  besteht (Sauer und Gattringer, 1985). Es herrscht zudem mittlerweile Übereinstimmung darüber, dass das Leistungsniveau eines Kindes relativ früh festgelegt wird und sich mit großer Konstanz ohne Unterbrechungen über die gesamte Schullaufbahn fortsetzt (Sauer und Gamsjäger, 1996). Neben Befunden, dass die Intelligenz der Kinder wesentlich vom sozioökonomischen Niveau der Eltern mitbestimmt wird (Blau und Duncan, 1967), gibt es auch Befunde, die zeigen, dass Lernumweltvariablen für die Intelligenzentwicklung bedeutsamer sind als rein sozioökonomische Variablen (Schneider und Bös, 1985; Brandstätter, 1976). Auf der anderen Seite steht es aber auch außer Zweifel, dass bei Intelligenztests ein soziokultureller Testbias vorliegt, der umso stärker ausgeprägt ist, je mehr die Testitems verbal vermittelt sind. Vor allem ältere Intelligenztests beruhen auf Itemstichproben, die für das Denk- und Sprachverhalten einer bestimmten soziokulturellen Schicht repräsentativ sind, wie z.B. die HAWIE Untertests „Allgemeines Wissen“ oder „Gemeinsamkeitenfinden“.

Zu möglichen Geschlechtsunterschieden hinsichtlich der Intelligenz gibt es eine kaum noch überschaubare Literatur. In faktorenanalytischen Untersuchungen konnten keine Geschlechtsunterschiede in der Faktorenstruktur der Intelligenz gefunden werden (Hertzog und Carter, 1982; Wilson et al., 1975). Auch hinsichtlich des Intelligenzquotienten fand sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied zwischen Männern und Frauen (Hofstädter, 1977). Während demnach im globalen Gesamt-IQ keine Geschlechtsunterschiede zu bestehen scheinen, gibt es jedoch nach den Ergebnissen von Neisser et al. (1996), Kimura (1992) und Cattell (1987) einige Bereiche mit systematischen Geschlechtsunterschieden. Insgesamt

sind hiernach Männer bei räumlichen und quantitativen Anforderungen überlegen, während von Frauen semantisch orientierte Problemstellungen besser gelöst werden können. Einige Bereiche mit systematischen Geschlechtsunterschieden sind in Tabelle 4 aufgeführt.

*Tabelle 4 Geschlechtsunterschiede in einzelnen Faktoren der Intelligenz*

| Frauen überlegen                                   | Männer überlegen       |
|--|------------------------|
| 1. Klassifikation von Zahlen und Buchstaben        | 1. Gestalten erkennen  |
| 2. Wort-Analogien                                  | 2. Blöcke Zählen       |
| 3. Gemeinsamkeiten-Finden                          | 3. Mosaik Test         |
| 4. Gedächtnis für Figuren                          | 4. Labyrinth Test      |
| 5. Zahlensymboltest                                | 5. Konstruktionen      |
| 6. Gedächtnis für Wörter                           | 6. Gottschaldt-Figuren |
| 7. Wortflüssigkeit                                 | 7. Räumliches Denken   |
| 8. Gedankenflüssigkeit                             |                        |
| 9. Sätze bilden bei vorgegebenen Anfangsbuchstaben |                        |
| 10. Vergleich von Zahlen und Eigennamen            |                        |

Zur Erklärung der Geschlechtsunterschiede vorwiegend in sprachlichen und räumlichen Testleistungen gibt es mittlerweile vermehrt Hinweise, dass diese durch Geschlechtshormone und deren zyklisch schwankende aktuelle Konzentration wesentlich beeinflusst werden (Neisser et al., 1996; Kimura, 1992).

Intelligenztests prüfen konvergentes Denken und damit die Wahrscheinlichkeit, mit der festgelegte, eindeutig bestimmte Lösungen gefunden werden. Divergentes, kreatives Denken dagegen ist nicht auf eine einzelne Lösung hin ausgerichtet, sondern auf offene, unbestimmte Situationen. Getzels und Jackson (1962) fanden in etwa gleich hohe Beziehungen zwischen Intelligenz, Kreativität und Schulleistungen. Mc Nemar (1964) schätzte die multiple Korrelation zwischen Intelligenz und Kreativität auf  $R = .40$ . Wallach und Hogan (1965) fanden wiederum eine weitgehende Unabhängigkeit von Intelligenz und Kreativität. Jedenfalls korreliert Kreativität deutlich stärker mit der fluiden als mit der kristallinen Intelligenzdimension (Macioszek, 1982).

## 5. Grundlagen der Intelligenzmessung

Aus einer wissenschaftshistorischen Perspektive betrachtet, gehört die Psychometrie als die Wissenschaft von der psychologischen Diagnostik, die sich zwangsläufig aus den Notwendigkeiten der breiten Praxis der Intelligenzdiagnostik entwickeln musste, zu dem wichtigsten Beitrag der Intelligenzforschung zum Fortschritt der Psychologie insgesamt. In der Psychometrie entwickelte sich eine allgemeine Testtheorie, die heute als „klassisch“ bezeichnet wird (Lienert, 1969), mittels derer eine Reihe von Kriterien postuliert und formal ausgearbeitet wurden, die die Zuverlässigkeit und Aussagekraft der mittels psychologischer Tests erhobenen Daten gewährleisten sollen. Die Grundannahme der „klassischen“ Testtheorie postuliert additiv miteinander verknüpfte, prinzipiell voneinander isolierbare und in ihrer quantitativen Größenordnung bestimmbare Determinanten komplexen Verhaltens, in die ein ebenfalls isolierbarer und quantitativ bestimmbarer, zufällig verteilter Messfehler mit eingeht. Dieses Modell wurde mittlerweile durch eine Reihe anderer Konzeptionen erweitert, zu denen der strukturalistische (Coombs, 1964), der konstruktivistische (Groeben und Scheele, 1977), der probabilistische (Fischer, 1974) und der klinimetrische (Feinstein, 1987) Ansatz gehören. Abgesehen von Problemen der konkreten Erfüllbarkeit einschlägiger methodischer Forderungen und der Unbestimmtheit ihrer jeweiligen Kriterien beziehen sich die wichtigsten psychometrischen Gütekriterien auf Validität, Reliabilität, Objektivität und Fairness eines Intelligenztests. Hierbei beinhaltet Validität die in diesem Zusammenhang besonders problematische Forderung, dass der jeweilige Test das misst, was er zu messen beansprucht; in diesem Fall also das undefinierbare Konstrukt der Intelligenz. Die Reliabilität bezieht sich auf die Messgenauigkeit eines Verfahrens, die von der klassischen Testtheorie nach angreifbaren, aber allgemein akzeptierten Kriterien definiert wird. Die Forderung nach Objektivität eines Intelligenztests bedeutet, dass die Testleistung eines Individuums vom Auswerter bzw. vom Testleiter unabhängig ist, während das Kriterium der Fairness für einen Intelligenztest fordert, dass die Testkonstruktion für alle relevanten Subpopulationen zu gleichen Ergebnissen führt, also keine systematische Bevorzugung bzw. Benachteiligung bestimmter

Personengruppen stattfindet. Die Tabelle 5 gibt einen Überblick über die methodischen Gütekriterien für Intelligenztests.

*Tabelle 5 Methodische Gütekriterien für Intelligenztests*

| Methodische Gütekriterien |  |
|---------------------------|--|
| 1.                        | Durchführungs- und Auswertungsobjektivität |
| 2.                        | Zuverlässigkeit                            |
| 3.                        | Validität                                  |
| 4.                        | Normierung                                 |
| 5.                        | Bandbreite                                 |
| 6.                        | Informationsausschöpfung                   |
| 7.                        | Ökonomie                                   |
| 8.                        | Fairness                                   |

Die Intelligenz einer Person wird üblicherweise mittels einer Kennzahl angegeben, die allgemein als Intelligenzquotient (IQ) bezeichnet wird. Diese Terminologie ist mittlerweile missverständlich, da die ursprüngliche Methode zur Ermittlung eines Intelligenzquotienten als Indikator des „Intelligenzalters“ der jeweiligen Person heute nicht mehr angewendet wird.

Die Grundlagen der Ermittlung eines IQ-Wertes bei der Intelligenzmessung sind vor allem statistischer Natur. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: Eine Reihe von Probanden bearbeitet eine Aufgabe. Zunächst wird für jeden Probanden die Anzahl der richtigen Lösungen in ein Diagramm eingetragen. Hierbei wird angegeben, welcher Prozentsatz der Probanden 0, 1, 2,...n Aufgaben richtig gelöst hat. Anhand dieser Grafik lässt sich nun entnehmen, wieviele Probanden in der Stichprobe ein gegebener Proband A mit x-richtigen Lösungen übertrifft. Für Untergruppen in dieser Stichprobe z.B. zwischen Männern und Frauen können jedoch auf diese Weise keine Vergleiche angestellt werden, da die Interpretierbarkeit eines individuellen Messwertes von der Verteilung sämtlicher anderer Messwerte in der Stichprobe abhängt. So müssen 10 richtige Lösungen bei den männlichen Probanden nicht dasselbe bedeuten wie 10 richtige Lösungen bei den weiblichen Probanden. Die Messwerte, die aus verschiedenen Untergruppen kommen, müssen also erst einmal vergleichbar

gemacht werden. Dies kann dadurch geschehen, indem die Position der Person A mit  $x$ -richtigen Lösungen zum Mittelwert ( $M$ ) der gesamten Stichprobe in Beziehung gesetzt wird ( $x - M$ ).

Zwar ist jetzt klar, ob die Person A mehr oder weniger richtige Lösungen fand als der Durchschnitt, jedoch fehlt noch eine Berücksichtigung der Verteilung der übrigen Messwerte. Dies geschieht dadurch, dass die Distanz des individuellen Messwertes zum Gruppendurchschnitt noch zu einem Index ( $s$ ) des Ausmaßes an Variabilität der Daten in Beziehung gesetzt wird. Dieser Index ( $s$ ) wird Varianz bzw. Standardabweichung genannt. Setzt man nun die Abweichungen einer Testperson vom Mittelwert zum Durchschnitt sämtlicher Abweichungen vom Gruppenmittelwert in Beziehung, dann erhält man einen Abweichungsquotienten. Durch Anwendung dieser Regel auf alle Daten der Stichprobe werden diese Messwerte in eine standardisierte und somit vergleichbare Form gebracht ( $z$ -Werte). Nicht die Messwerte selbst, sondern ihre relative Position in der Verteilung der übrigen Messwerte der Stichprobe werden hierdurch miteinander verglichen. Wenn diese  $z$ -Werte auf eine Skala mit einem Mittelwert von  $M=100$  und einer Standardabweichung von  $s=15$  projiziert werden, resultiert daraus das Maß des Intelligenzquotienten (IQ), welches  $IQ = 100+15z$  lautet. In einem Intervall von  $+1s$  bis  $-1s$ , also zwischen einem IQ von 85 und einem IQ von 115 sind aufgrund der Normalverteilungsannahme 68% aller Fälle zu beobachten.

## **6. Diagnostik der Intelligenz**

Das Wort „Diagnostik“ geht auf ein griechisches Verb zurück, das unterschiedliche Aspekte eines kognitiven Vorganges bezeichnet, der vom Erkennen bis zur Entscheidung reicht. Genau genommen bedeutet das griechische Verb (1) genau kennenlernen, (2) entscheiden und (3) beschließen (Kaegi, 1904, S. 184). Diese komplexe Bedeutung hat sich im Rahmen der medizinischen Fachsprache darauf verengt, dass Diagnose und Diagnostik die Lehre und die Fertigkeiten umfasst, eine Krankheit und ihre Ursachen zu erkennen. In der Psychologie bezeichnet Diagnostik die Lehre von den Methoden und Verfahren der sachgemäßen Durchführung einer Diagnose. Eine Diagnose bedeutet hier, dass Aussagen dar-

über gemacht werden, welche Sachverhalte für ein Verhalten verantwortlich sind (Dorsch, 1994, S. 156).

Intelligenztests haben nicht nur eine deskriptiv-messende Funktion, sondern sie wirken auch in dem Sinne präskriptiv, als dass sie operationale Definitionen von Intelligenz sind und damit festschreiben, was unter intelligentem Verhalten zu verstehen ist. Intelligenztests gehören zu der großen Gruppe der Leistungstests, die alle miteinander gemeinsam haben, die Realisierung einer bestimmten Performanz, eines bestimmten Verhaltens, zu verlangen. Unter den allgemeinen Leistungstests werden jedoch aus historischen Gründen die Intelligenztests zu einer eigenen Kategorie zusammengefasst und der Klasse der Leistungstests gegenübergestellt. Für diese Einteilung gibt es jedoch keine sachlichen Gründe. Vielmehr ist sie Ausdruck der besonderen Bedeutung, welche die Gesellschaft der Intelligenz und ihrer Messung beimisst. Rückt man den Begriff der Intelligenz von dem der allgemeinen geistigen Leistungsfähigkeit ab, so kann man unter Intelligenz im traditionellen Sinne die Fähigkeit zur Lösung neuartiger Probleme (konvergentes Denken) verstehen. Aufgaben in Intelligenztests sind daher stets auch Problemlösungsaufgaben. Die geforderte Antwort oder Lösung in einem Intelligenztest resultiert aus einer zielorientierten Analyse und Strukturierung der vorgelegten Information, der Erschließung dieser Informationen und einem logischen Inbeziehungsetzen der Prämissen.

### *6.1. Die wichtigsten in Deutschland gebräuchlichen Verfahren zur Messung der Allgemeinen Intelligenz*

Wechsler (1964a, S. 13) definierte Intelligenz ganz pragmatisch als die zusammengesetzte oder globale Fähigkeit des Individuums, zweckvoll zu handeln, vernünftig zu denken und sich mit seiner Umwelt wirkungsvoll auseinanderzusetzen. Aufgrund dieser einfachen Annahmen entwickelte Wechsler den Wechsler-Bellevue-Intelligenztest. Dessen modifizierte Form wird als Wechsler Adult Intelligence Survey (WAIS) und die deutsche Version als Hamburg-Wechsler-Intelligenztest (HAWIE) bezeichnet (Wechsler, 1964b). Trotz erheblicher methodischer Probleme gehören beide immer noch zu den Standardverfahren der Intelligenzmessung,

auch wenn die Anwendung stetig zurückgeht. Ursprünglich hatte Wechsler angenommen, dass der WAIS über das allgemeine Leistungsniveau hinaus spezifische Fähigkeiten erfasst, sodass auch differentielle Leistungsanalysen vor allem für die neuropsychologische Diagnostik durchgeführt werden können. In späteren Untersuchungen sind diese Annahmen jedoch nicht bestätigt worden (Demuth, 1980; Frank, Corrie und Fogel, 1955; Birren, 1952; Cohen, 1952; Goldfarb, 1941).

Darüber hinaus weist der WAIS schwerwiegende methodische Mängel auf. Bereits zur Annahme faktorieller Unterschiede zwischen dem Verbal- und dem Handlungsteil liegen widersprüchliche Ergebnisse vor, wobei die einzelnen Untertests auf allen Faktoren eher gleich hoch laden (Mesner, 1970; Riegel, 1960; Davis, 1956). Untersuchungen zur Retest-Reliabilität haben übereinstimmend gezeigt, dass konsistent nicht mehr als fünf der zehn Untertests die geforderte Mindestgrösse von  $r = .70$  zeigen (Butler, 1954; Derner, Aborn und Canter, 1950; Steisel, 1950). Auch die Analysen zur internen Konsistenz fielen ähnlich unbefriedigend aus (Priester und Kerekjarto, 1960). Bei der Überprüfung der Auswertungsfehlervarianz ging ein hoher Anteil der Gesamtfehlervarianz der Testwerte einiger Untertests allein auf Unterschiede in der Auswertung zurück (Michel, 1965; Cohen, 1950). Daher sind es im Wesentlichen die Komponenten der Fehlervarianz, die Profilschwankungen im Wechsler-Test verursachen, aber nicht unterschiedlich ausgeprägte Fähigkeiten oder klinisch interpretierbare Leistungsstörungen. So haben denn auch Statusvalidierungen bei Patienten mit neuropsychologischen Auffälligkeiten nur negative Resultate erbracht (Dahl, 1968). Ein Beispiel ist die methodisch aufwendige Newcastle-Upon-Tyne-Untersuchung, die zeigte, dass mittels des WAIS nur ein Drittel bis maximal die Hälfte der hirnganisch Kranken korrekt identifiziert werden konnte, während gleichzeitig bis zu einem Drittel Gesunde oder psychiatrische Patienten fälschlicherweise als hirnganisch krank eingestuft wurden (Savage et al., 1973). Zusammenfassend lässt sich demnach festhalten, dass die Bestimmung einer globalen intellektuellen Leistungsbefähigung mittels des Wechsler-Tests gerade noch vertretbar ist. Auf der anderen Seite ist die Interpretation von Untertestschwankungen im Sinne einer Profilanalyse sowie die Berechnung von

Indizes aus methodischen Gründen nicht haltbar. Nur für eine globale IQ-Bestimmung ist der Wechsler-Test jedoch zu umfangreich und daher unökonomisch.

Im reduzierten Wechsler-Intelligenztest (WIP) von Dahl (1986) als alternativer Kurzform des HAWIE dienen die gewichteten, summierten und transformierten Untertestergebnisse zur Schätzung des HAWIE-IQ. Der WIP setzt sich aus den vier HAWIE Untertests „Allgemeines Wissen“ (AW), „Gemeinsamkeitenfinden“ (GF), „Bilderergänzen“ (BE) und „Mosaiktest“ (MT) zusammen, die hoch miteinander korrelieren. Diese Viererkombination ist mittels der Methode der statistischen Untertestselektion als eine optimale Batterie ermittelt worden. Der WIP-IQ korreliert mit  $r = .88$  mit dem HAWIE Gesamt-IQ (Dahl, 1986).

Die revidierte Version des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene (HAWIE-R) stammt von Tewes (1991). Beim HAWIE-R handelt es sich um die Neubearbeitung des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests in Anlehnung an den Revised Wechsler Adult Intelligence Survey (WAIS-R). Er misst in enger Orientierung an das faktorenanalytische Modell von Spearman den „g“-Faktor, der als Allgemeine Intelligenz nach Wechsler das Verhalten des Individuums als Ganzes bestimmen soll. Im Sinne dieses Intelligenzmodells werden auch praktische Fähigkeiten geprüft. Der HAWIE-R besteht aus 11 Untertests, die jeweils einem Verbal- und einem Handlungsteil zugeordnet werden. Die sprachliche Intelligenz wird über die Untertests „Allgemeines Wissen“, „Zahlennachsprechen“, „Wortschatz-Test“, „Rechnerisches Denken“, „Allgemeines Verständnis“ und „Gemeinsamkeitenfinden“ geprüft, während die praktische Intelligenz über die Untertests „Bilderergänzen“, „Bilderordnen“, „Mosaik-Test“, „Figurenlegen“ und „Zahlen-Symbol-Test“ erfasst wird. Neben der Erhebung eines Gesamt-IQs ermöglicht der HAWIE-R auch eine Profilanalyse über alle Untertests. Die internen Konsistenzen (Cronbach's Alpha) liegen für die Untertests zwischen .71 und .96 sowie für den Gesamttest bei .96. Die Normierung ist gegenwärtig die aktuellste bevölkerungsrepräsentative von allen IQ-Testverfahren in Deutschland. Die Testnormen stammen von einer hinsichtlich der Schulbildung, des Alters und der Geschlechtsverteilung für die Bundesrepublik Deutschland des

Jahres 1986 repräsentativen Stichprobe (N=2000). Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Validierung des HAWIE-R bleiben jedoch unbefriedigend, da nur wenige aussagekräftige Analysen durchgeführt wurden. Auch in der revidierten Fassung des HAWIE (HAWIE-R) sind zahlreiche Items kritisiert worden (Fay, 1993). Die unglückliche zeitliche Überschneidung mit der deutschen Wiedervereinigung dokumentiert die Abhängigkeit der Intelligenztests von politischen, kulturellen und epochalen Entwicklungen. Daher sind leider die kurz zuvor erhobenen Normen sowie einige Items obsolet geworden (Fay, 1993). Darüber hinaus sind trotz aller Rekonstruktionsversuche auch beim HAWIE-R viele Items weiterhin stark schicht- und bildungsabhängig (Fay, 1993).

Der „Figures Reasoning Test“ (FRT) verwendet sprachliche Aufgaben, in deren Aufbau Gesetzmäßigkeiten erkannt werden sollen. Erfasst werden soll die Allgemeine Intelligenz, also der sogenannte „g“-Faktor (Daniels, 1962). In den „Standard Progressive Matrices“ (SPM) von Raven (1971) werden drei Serien (A, B, C) sprachfreier Aufgaben verwendet. Die SPM sollen der Erfassung der Fähigkeit zum logischen Denken, zentriert auf den Generalfaktor „g“ dienen (Raven, 1971). Die Aufgaben bestehen aus Figuren oder Mustern, die aus jeweils sechs dargebotenen Antwortalternativen ergänzt werden sollen. Die interne Konsistenz (Cronbach's Alpha) schwankt zwischen .75 und .98. Die Retest-Reliabilität liegt bei Intervallen von drei Monaten und einem Jahr zwischen  $r = .54$  und  $r = .90$ . Das Leistungsprüfsystem (LPS) von Horn (1983) ist ein Test, der sich an dem Intelligenzmodell von Thurstone (1938) orientiert. Das LPS besteht aus 14 Untertests, von denen jeweils zwei mit mindestens 40 Aufgaben die Primärfaktoren erfassen sollen. Jedoch bestehen hinsichtlich des Bezugs aller Testaufgaben zu der Theorie von Thurstone (1938) noch zahlreiche Mängel, die auch durch eine Revision bei der zweiten erweiterten und verbesserten Auflage (Horn, 1983) noch nicht behoben sind. Die Retest-Reliabilität liegt bei  $r = .95$ . Die Halbierungs-Reliabilität der Untertests schwankt zwischen  $r = .90$  und  $r = .99$ . Zwischen dem LPS und dem Intelligenz-Struktur-Test (IST) besteht eine Korrelation von  $r = .74$ .

Der Wilde-Intelligenz-Test (WIT) ist ein Strukturdiagnostikum zur differenzierten Erfassung der geistigen Leistungsfähigkeit, der auf dem hier-

archischen Strukturmodell der Intelligenz von Jäger (1967) und dem Strukturmodell der Intelligenz von Thurstone basiert. Die 15 Untertests des WIT lassen sich zu Primärfaktoren zusammenfassen und bilden hierdurch die Grundlage für eine Schätzung des generellen Faktors „g“ der Allgemeinen Intelligenz (Jäger und Althoff, 1984; S. 5). Die Untertests ermöglichen die Diagnostik der Fähigkeitsstruktur des sprachlichen, zahlengebundenen und logischen Denkens, des räumlichen Vorstellungsvermögens, der Wortflüssigkeit, der Wahrnehmungsgeschwindigkeit sowie der Merkfähigkeit. Die üblichen methodischen Gütekriterien werden vom WIT in hervorragender Weise erfüllt. So beträgt die Split-Half-Reliabilität für die Kurzform  $r = .97$  und für die Langform  $r = .98$ . Die Retest-Reliabilität nach einem Jahr beträgt für die Kurzform  $r = .93$  und für die Langform  $r = .92$ . Der WIT wurde umfassend validiert, wobei am intensivsten die Kriteriums- bzw. prognostische Validität bei eignungsdiagnostischen Fragestellungen untersucht werden. Es stehen bevölkerungsrepräsentative Altersnormen (Standardwerte) sowie Normen für verschiedene Bildungsgruppen zur Verfügung, sodass der WIT als hervorragend normiert angesehen werden kann.

Der Grundintelligenztest Skala 3 (CFT 3) von Cattell und Weiß (1971) basiert auf dem von Cattell postulierten Konzept der General Fluid Ability und der General Crystallized Ability. Hierbei sind die CFT-Subtests wesentlich am Fluid Ability Faktor beteiligt, der weitgehend dem zentralen Faktor der Verarbeitungsfähigkeit von Jäger (1967) entspricht. Der CFT 3 trägt vor allem bei Personengruppen mit schlechten Sprachkenntnissen und mangelhaften Kulturtechniken zu einer gerechteren Intelligenzdiagnose bei. Die Halbierungszuverlässigkeit für den gesamten Test liegt bei  $r = .95$  (Spearman-Brown). Der CFT 3 korreliert mit dem IST in einer Größenordnung von  $r = .74$ . Leider liegen nur relativ alte Normen von 16-19jährigen Schülern sowie von Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen vor. Eine Neunormierung des Verfahrens befindet sich jedoch derzeit in Vorbereitung. Der Berliner Intelligenzstrukturtest (BIS-Test) von Jäger, Süß und Beauducel (1997) ist ein völlig neu entwickeltes Intelligenzdiagnostikum. Der BIS-Test enthält 45 sehr verschiedene, repräsentativ ausgewählte Aufgabentypen und erfasst damit eine ungewöhnliche

Vielfalt und Bandbreite von Intelligenzleistungen. Mit diesem Verfahren werden die Fähigkeiten erfasst, die im bimodalen und hierarchischen Berliner Intelligenzstrukturmodell (BIS) differenziert werden. Zu der Gruppe der operativen Fähigkeiten gehören: 1. Verarbeitungskapazität (K); 2. Einfallsreichtum (E); 3. Bearbeitungsgeschwindigkeit (B) und 4. Merkfähigkeit (M). Der Gruppe der inhaltsgebundenen Fähigkeiten wurden folgende Subtests zugeordnet: 1. Sprachgebundenes Denken (V); 2. Zahlengebundenes Denken (N); 3. Figural-bildhaftes Denken (F) und als deren Integral 4. die Allgemeine Intelligenz (AI). Als Fähigkeitsindikatoren können wahlweise die Skalenleistungen oder die Faktorwerte benutzt werden. Die interne Konsistenz der Subskalen (Cronbach's Alpha) liegt zwischen .75 und .95. Die Retest-Reliabilität schwankt je nach Subskala zwischen  $r = .65$  und  $r = .90$ . Faktorenanalysen zeigen eine gute Übereinstimmung der Struktur der Testleistungen mit der Struktur des zugrundeliegenden theoretischen Modells. Studien zur Kriteriumsvalidität zeigen Korrelationen von bis  $r = .55$  mit Schulnoten in naturwissenschaftlichen Fächern und von bis  $r = .59$  mit Schulnoten in geisteswissenschaftlichen Fächern. Leider liegen bisher nur Normen für 16-19jährige Schüler vor.

Der Intelligenz-Struktur-Test 2000 (IST 2000) von Amthauer, Brocke und Liepmann (1998) ist die revidierte, neu normierte und erweiterte Fassung des IST 70 von Amthauer (1970). In der revidierten Fassung blieben sechs der ursprünglich neun Subskalen erhalten (Satzergänzung; Analogien; Gemeinsamkeiten; Zahlenreihen; Figurenauswahl und Würfelaufgaben). Die Subskalen „Rechenaufgaben“ und „Merkaufgaben“ wurden stark verändert. Zusätzlich wurden mit „Matrizenaufgaben“, „Vorzeichenaufgaben“ und „Wissen“ drei neue Subskalen eingeführt. Eine weitere Neuerung besteht in dem modularen Aufbau des Tests, sodass bestimmte Komponenten des Verfahrens je nach den inhaltlichen oder ökonomischen Anforderungen hinzugenommen oder weggelassen werden können. Durch das neue, theoretisch fundierte und empirisch begründete Strukturkonzept werden mit dem IST 2000 die folgenden Intelligenzfähigkeiten erfasst: 1. verbale Fähigkeiten; 2. figural-räumliche Fähigkeiten; 3. rechnerische Fähigkeiten; 4. Merkfähigkeit; 5. schlussfolgerndes Denken (Fluide Intelligenz); 6. wissensbezogene Intelligenz (Kristallisierte Intel-

lignenz) und 7. Allgemeine Intelligenz (Gesamtwert). Leider liegen für den IST 2000 nur Standardwerte-Normen für Personen im Alter von 15 bis 25 Jahren vor, die allerdings auf einer Normierungsstichprobe von  $N=1000$  beruhen.

Der Mannheimer Intelligenztest (MIT) von Conrad et al. (1986) dient zur Erfassung der intellektuellen Leistungsfähigkeit von Jugendlichen und Erwachsenen im Alter von 12 bis 45 Jahren. Der MIT ermittelt die Allgemeine Intelligenz und setzt sich aus 10 sprachfreien und sprachgebundenen Untertests zusammen. Die interne Konsistenz (Cronbach's Alpha) beträgt .97, die Paralleltest-Reliabilität  $r = .89$  und die Retest-Reliabilität bei Wiederholung innerhalb einer Woche  $r = .80$ . Die Korrelation mit dem IST 70 beträgt  $r = .78$ . Basierend auf dem Ansatz, Reaktionszeiten als Indikatoren der Verarbeitungskapazität und der Allgemeinen Intelligenz anzusehen, wurde der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT) von Oswald und Roth (1978) ursprünglich als Intelligenztest entwickelt. Der ZVT misst die basale kognitive Leistungsgeschwindigkeit. Diese korrespondiert mit der in der Literatur häufig zitierten „Flüssigen Intelligenz“, die oft auch als perceptual speed oder Bearbeitungsgeschwindigkeit bezeichnet wird. Der ZVT wird heute aber vor allem im klinischen Bereich einschließlich der neuropsychologischen Diagnostik angewendet, wo sich der ZVT bewährt hat (Lezak, 1983). Die Paralleltest-Reliabilität des ZVT beträgt  $r = .98$  und die Retest-Reliabilität liegt bei  $r = .97$ . Die Korrelationen mit verschiedenen Intelligenztestverfahren (HAWIE, IST 70, RAVEN, CFT 3) schwanken zwischen  $r = .40$  und  $r = .83$  (Oswald und Roth, 1978). Der ZVT weist einen breiten klinischen Anwendungsbereich auf und verfügt über gut fundierte, sehr differenzierte Normen.

## **7. Zusammenfassung und Ausblick**

Trotz einer intensiven Forschung steht eine klare Definition und inhaltliche Bestimmung des Intelligenzbegriffs immer noch aus und ist auf absehbare Zeit nicht zu erwarten. Anhand der vorausgegangenen Diskussion einschlägiger Forschungsergebnisse sollte deutlich geworden sein, dass es einen einheitlichen Intelligenzbegriff auch gar nicht geben kann. Mittlerweile liegen aufgrund intensiver Forschungsbemühungen einige

Verfahren vor, mit denen unterschiedliche Aspekte der Intelligenz zuverlässig gemessen werden können. Jedoch steht Intelligenz nicht für ein real existierendes, direkt beobachtbares Phänomen, sondern für ein nur indirekt aus beobachtbarem Verhalten zu erschließendes hypothetisches Konstrukt. Die unter dem Intelligenzkonstrukt zusammengefassten psychologischen Prozesse bilden keine Funktionseinheit, sondern bestehen aus einer Menge unterscheidbarer, miteinander verknüpfter Informationsverarbeitungsprozesse. Diese basalen informationsverarbeitenden Prozesse sind wiederum Gegenstand der modernen Kognitiven Psychologie.

Neben der Ermittlung differenzierter und aussagekräftiger Testnormen für bereits eingeführte und bewährte Intelligenztests wird die zukünftige Forschung noch stärker als bisher auf die Ebene konkreter kognitiver Operationen abzielen. Im Rahmen dieser Bemühungen sind die bei der Bearbeitung eines Intelligenztests ablaufenden Informationsverarbeitungsprozesse weiter zu erhellen. Obwohl der Intelligenzbegriff von Prozessen des Lernens, des Gedächtnisses und des Denkens nicht eindeutig abgrenzbar ist, können diese auch nicht mit Intelligenz gleichgesetzt werden. Vielmehr sollte in Zukunft die Erhellung der komplexen Wechselwirkungen und Relationen zwischen diesen Prozesskomponenten zum zentralen Gegenstand wissenschaftlicher Aktivitäten werden.

## Literatur

- Amthauer R, Brocke B, Liepmann D (1998) Der Intelligenz-Struktur-Test 2000 (I-S-T 2000). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Amthauer R (1970) Der Intelligenz-Struktur-Test. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Anderson JR (1993) Rules of the mind. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Anderson JR, Kushmerick N, Lebiere C (1993) The Tower of Hanoi and goal structures. In: Anderson JR (ed.) Rules of the mind. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, S. 121-142
- Andresen N, Schmidt U (1993) Zur Invarianz von Problemlösestilen über verschiedene Bereiche. Zeitschr Exp Angewandt Psychol 15: 1-17
- Andreasen NC, Flaum M, Swayze V, O'Leary DS, Alliger R, Cohen G, Ehrhardt J, Yuh WTC (1993) Intelligence and brain structure in normal individuals. Am J Psychiat 150: 130-134
- Bigler ED, Johnson SC, Jackson C, Blatter DD (1995) Aging, brain size, and IQ. Intelligence 21: 109-119
- Binet A, Simon T (1905) Application des methodes nouvelles au diagnostic du niveau intellectuel chez des enfants normaux et anormaux d'hospice et d'ecole primaire. Annee Psychol 11: 245-336
- Birren JE, Woods AM, Williams MV (1979) Speed of behavior as an indicator of age changes and the integrity of the nervous system. In: Hoffmeister F, Müller C (eds.) Brain function in old age. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, S. 10-44
- Birren JE (1952) A factorial analysis of the Wechsler Bellevue Scale given to an elderly population. J Consult Psychol 16: 399-405
- Blau P, Duncan OD (1967) The American occupational structure. New York: John Wiley
- Bloom BS (1964) Stability and change in human characteristics. New York: John Wiley

- Boivin MJ, Giordani B, Berent S, Amato DA, Lehtinen S, Koeppe RA, Buchtel HA, Foster NL, Kuhl DE (1992) Verbal fluency and positron emission tomographic mapping of regional glucose metabolism. *Cortex* 28: 231-239
- Bouchard TJ, Lykken TD, McGue M, Segal NL, Tellegen A (1990) Sources of human psychological differences: the Minnesota study of twins reared apart. *Science* 250: 223-228
- Brandstätter J (1976) Soziale Schicht, Umwelt und Intelligenz: eine Pfadanalyse der Befunde von Majoribanks. *Psychol Beitr* 18: 35-53
- Burt C (1954) The differentiation of mental ability. *Brit J Educ Psychol* 19: 100-111; 176-199
- Burke RJ, Maier NRF (1965) Attempts to predict success on an insight problem. *Psychol Rep* 17: 303-310
- Butler A (1954) Test-retest and split-half-reliabilities of the Wechsler Bellevue Scales and subtests with mental defectives. *Am J Ment Defic* 59: 80-84
- Cattell RB (1987) *Intelligence: its structure, growth and action*. Amsterdam: North-Holland
- Cattell RB, Weiß RH (1971) *Grundintelligenztest Skala 2 (CFT 2)*. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Cattell RB (1963) Theory of fluid and crystallized intelligence: a critical experiment. *J Ed Psychol* 54: 1-22
- Charlot V, Tzourio N, Zilbovicius M, Mazoyer B, Denis M (1992) Different mental imagery abilities result in different regional cerebral blood flow activation patterns during cognitive tasks. *Neuropsychologia* 30: 565-580
- Cohen E (1950) Is there examiner bias on the Wechsler Bellevue ? *Proc Okla Acad Sci* 31: 150-153
- Cohen J (1952) Factors underlying the Wechsler Bellevue performance on three neuropsychiatric groups. *J Abnorm Soc Psychol* 47: 359-365

- Conrad W, Büscher P, Hornke L, Jäger RS, Schweizer H, von Stützer W, Wienke W (1986) Mannheimer Intelligenztest (MIT). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Coombs CH (1964) A theory of data. New York: Wiley
- Dahl G (1986) WIP: Handbuch zum Reduzierten Wechsler-Intelligenztest. 2. Auflage. Königstein: Hain Verlag
- Dahl G (1968) Der Bender-Gestalt-Test und seine Beziehung zur Intelligenz. *Diagnostica* 14: 174-178
- Daniels JC (1962) Figure Reasoning Test (F-R-T). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Davis A (1958) Intelligence in childhood schizophrenics, other emotionally disturbed children, and their mothers. *J Consult Psychol* 22: 159-163
- Davis PC (1956) A factor analysis of the Wechsler Bellevue Scale. *Educ Psychol Measmt* 16: 127-146
- Demuth W (1980) Wie läßt sich die klinische Brauchbarkeit des HAWIE-Allgemeinwissens für neuropsychiatrische Patienten verbessern? Versuch einer Neuvalidierung. *Fort Neurol Neurochir Psychiat* 48: 401-407
- Derner GF, Aborn M, Canter AH (1950) The reliability of the Wechsler Bellevue subtests and scales. *J Consult Psychol* 14: 172-179
- Dockrell WB (1970) On intelligence. Toronto: The Toronto Symposium on Intelligence
- Dörner D, Kreuzig HW (1983) Problemlösefähigkeit und Intelligenz. *Psychologische Rundschau* 34: 185-192
- Dörner D, Kreuzig HW, Reither F, Stäudel T (1983) Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Dörner D (1976) Problemlösen als Informationsverarbeitung. Stuttgart: Kohlhammer Verlag

- Dorsch F (1994) Psychologisches Wörterbuch. 12. Auflage. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Dudley RM (1991) Commentary: IQ and heredity. *Science* 252: 191
- Ericsson KA, Simon HA (1993) Protocol analysis: verbal reports as data. 2nd ed. Cambridge MA: Bradford Books/MIT Press
- Eysenck HJ, Eysenck MW (1985) Personality structure and individual differences. A natural science approach. 2nd ed. London: Plenum Press
- Fay (1993) HAWIE-R. Hamburg -Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene. Revision 1991. *Diagnostika* 39: 271-279
- Feinstein AR (1987) Clinimetrics. New Haven, CT: Yale University Press
- Fischer G (1974) Einführung in die Theorie psychologischer Tests. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Ford ME, Tisak MS (1983) A further search for social intelligence. *J Ed Psychol* 75: 196-206
- Frank GH, Corrie CC, Fogel J (1955) An empirical critique of research with the Wechsler Bellevue in differential psychodiagnosis. *J Clin Psychol* 11: 291-293
- Gavurin EI (1967) The relationship of mental ability to anagram solving. *J Psychol* 66: 227-230
- Getzels JW, Jackson PW (1962) Creativity and intelligence: explorations with gifted students. London, New York: Wiley
- Goldfarb W (1941) An investigation of reaction time in older adults. New York: Contributions to Education, No 831
- Gough HG, Weinert AB (1996) Deutscher CPI. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Groeben N, Scheele B (1977) Argumente für eine Psychologie des reflexiven Subjekts. Darmstadt: Steinkopff Verlag
- Guilford JP, Hoepfner R (1971) The analysis of intelligence. New York: McGraw-Hill

- Guilford JP (1967) The nature of human intelligence. New York: Wiley
- Haier RJ, Siegel BV, Nuechterlein KH, Hazlett E, Wu JC, Paek J, Browning HL,
- Buchsbaum MS (1988) Cortical glucose metabolic rate correlates of abstract reasoning and attention studied with positron emission tomography. *Intelligence* 12: 199-217
- Harvey I, Persaud R, Ron MA, Baker G, Murray RM (1994) Volumetric MRI measurements in bipolars compared with schizophrenics and healthy controls. *Psychological Medicine* 24: 689-699
- Hassenstein B (1987) *Verhaltensbiologie des Kindes*. München: Piper Verlag
- Hertzog M, Carter L (1982) Sex differences in the structure of intelligence: a confirmatory factor analysis. *Intelligence* 6: 287-303
- Hick WE (1952) On the rate of gain of information. *Quarterly J Exp Psychol* 4: 11-26
- Hofstätter P (1977) *Persönlichkeitsforschung*. Stuttgart: Kröner Verlag
- Höhn E (1974) Schifferkinder. Eine Untersuchung über die Wirkung eingeschränkter Umwelterfahrungen in früher Kindheit. *Psychol Beitr* 18: 254-276
- Holz-Ebeling F, Steinmetz M (1995) Wie brauchbar sind die vorliegenden Fragebogen zur Messung von Empathie? Kritische Analysen unter Berücksichtigung der Iteminhalte. *Z Diff Diagnost Psychol* 16: 11-32
- Honzik MP, MacFarlane JW, Allen L (1948) The stability of mental test performance between two and eighteen years. *J Exp Edu* 17: 309-324
- Hörmann HJ, Thomas M (1989) Zum Zusammenhang zwischen Intelligenz und komplexem Problemlösen. *Sprache und Kognition* 8: 23-31
- Horn (1983) *Leistungsprüfsystem (LPS)*. 2. Auflage. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Horn JL, Cattell RB (1966) Refinement and test of the theory of fluid and crystallized general intelligence. *J Ed Psychol* 57: 253-270

- Hütter BO (1994) Wahrnehmung, Belastungswirkung und Bewältigung von invasiven Eingriffen in Kardiologie und Herzchirurgie. Weinheim: Deutscher Studienverlag
- Ibatoullina AA, Vardaris RM, Thompson L (1994) Genetic and environmental influences on the coherence of background and orienting response EEG in children. *Intelligence* 19: 65-78
- Jäger AO, Süß HM, Beauducel A (1997) Der Berliner-Intelligenzstruktur-Test (BIS-Test). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Jäger AO (1984) Intelligenzstrukturforschung: konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven. *Psychologische Rundschau* 35: 21-35
- Jäger AO, Althoff K (1984) Der Wilde-Intelligenz-Test (WIT). Ein Strukturdiagnostikum. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Jäger AO (1967) Dimensionen der Intelligenz. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Jensen AR (1993) Why is reaction time correlated with psychometric g? *Current Directions in Psychological Science* 2: 53-56
- Just MA, Carpenter PA (1987) The psychology of reading and language comprehension. Newton, MA: Allyn and Bacon
- Kaegi A (1904) Benselers Griechisch-Deutsches Schulwörterbuch. 12. Auflage. Leipzig: Teubner
- Kaiser HJ (1998) Soziale Intelligenz. In: Roth E (Hrsg.) *Intelligenz: Grundlagen und neuere Forschung*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer Verlag, S. 216-244
- Kimura D (1992) Weibliches und männliches Gehirn. *Spektrum der Wissenschaft* 11: 104-113
- Klix F (1992) Die Natur des Verstandes. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Klix F (1971) Information und Verhalten. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag

- Klix F, Lander HJ (1967) Die Strukturanalyse von Denkprozessen als Mittel der Intelligenzdiagnostik. In: Klix F, Gutjahr W, Mehl J (Hrsg.) Intelligenzdiagnostik. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften, S. 245-271
- Larson GE, Hayer FM, Casse D Hazen S (1995) Right-left hemispheric asymmetry of cerebral glucose metabolism as seen on PET scan as a function of intelligence and task complexity. *Intelligence* 19: 129-143
- Lehr U (1972) Psychologie des Alterns. Heidelberg: Quelle und Meyer
- Lezak MD (1983) Neuropsychological assessment. 2nd ed. New York, Oxford: Oxford University Press
- Lichtenwalner JS, Maxwell JW (1969) The relationship of birth order and socioeconomic status to the creativity of preschool children. *Child Development* 40:1241-1247
- Lienert GA (1969) Testaufbau und Testanalyse. Weinheim: Beltz Verlag
- Loehlin JC, Horn JM, Willermann L (1989) Modelling IQ change: evidence from the Texas Adoption Project. *Child Development* 60: 993-1004
- Lorge I (1936) The influence of the test upon the nature of mental decline as a function of age. *J Ed Psychol* 27: 11-110
- Macioszek G (1982) Multivariate Untersuchung zur Beziehung zwischen Intelligenz, Kreativität und Persönlichkeit. In: Pawlik K (Hrsg.) Multivariate Persönlichkeitsforschung. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag, S. 174-200
- Malhotra D, Hasija S (1990) Effect of intelligence and induced stress on problem solving in males and females. *Studia Psychologica* 32: 157-162
- Mayer RE (1992) Thinking, problem solving, cognition. 2nd ed. San Francisco: WH Freeman
- Mc Nemar Q (1964) Lost: our intelligence? Why? *American Psychologist* 19: 871-882

- Meili R (1946) L'analyse de l'intelligence. Arch Psychol 31: 121-135
- Meili R (1964) Die faktorenanalytische Interpretation der Intelligenz. Schweizer Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen 23: 135-155
- Merkel J (1885) Die zeitlichen Verhältnisse der Willensfähigkeit. Philosophische Studien 2: 73-127
- Messner K (1970) Zur Schätzung der Intelligenz in einer psychosomatischen Klinik. Vergleich zweier Testbatterien. Psychologie und Praxis 14: 112-125
- Michel L (1965) Zur Bestimmung der Auswertungsobjektivität von psychologischen Tests. Diagnostica 11: 158-172
- Moss HA, Kagan J (1958) Maternal influences on early IQ scores. Psychol Rep 4: 655-661
- Neisser U, Boodoo G, Bouchard TJ, Boykin AW, Brody N, Ceci S, Halpern D, Loehlin J, Perloff R, Sternberg RJ, Urbina S (1996) Intelligence: knowns and unknowns. American Psychologist 51: 77-101
- Neisser U (1976) Cognition and reality. Principles and implications of cognitive psychology. San Francisco: WH Freeman
- Neubauer A, Pfurtscheller G (1995) Intelligence and spatiotemporal patterns of event-related desynchronisation (ERD). Intelligence 20: 249-266
- Newell A, Simon HA (1972) Human problem solving. Englewood Cliffs, NY: Prentice Hall
- Novick LR, Holyoak KJ (1991) Mathematical problem solving by analogy. J Exp Psychol: Learning, Memory and Cognition 17: 398-415
- Oswald WD, Rupperecht R, Hagen B, Fleischmann UM, Lang E, Baumann H, Steinwachs KC, Stosberg M, Gunzelmann T (1996) Bedingungen der Erhaltung und Förderung von Selbständigkeit im höheren Lebens-Alter (SIMA) – Teil IV: Ergebnisse nach der einjährigen Interventionsphase. Zeitschr Gerontopsychol Psychiat 9: 201-256

- Oswald WD, Fleischmann UM (1995) Nürnberger-Alters-Inventar (NAI). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Oswald WD (1983) Neuere Ansätze in der Intelligenzforschung. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 30: 90-97
- Oswald WD, Roth E (1978) Der Zahlen-Verbindungs-Test (ZVT). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Parks RW, Loewenstein DA, Dodrill KL, Barker WW, Yoshii F, Chang JY, Emran A, Apiella A, Sheramata WA, Duara R (1988) Cerebral metabolic effects of a verbal fluency test: a PET scan study. *J Clin Exp Neuropsychol* 10: 565-575
- Posner MI, McLeod P (1982) Information processing models: in search of elementary operations. *Ann Rev Psychol* 33: 477-514
- Priester HJ, von Kerekjarto M (1960) Weitere Forschungsergebnisse zum HAWIE und HAWIK. *Diagnostica* 6: 86-94
- Putz-Osterloh W (1981) Problemlöseprozesse und Intelligenztestleistung. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Putz-Osterloh W, Lüer G (1981) Über die Vorhersagbarkeit komplexer Problemlöseleistungen durch Ergebnisse in einem Intelligenztest. *Z Exp Angew Psychol* 28: 309-334
- Raven JC (1971) *Standard Progressive Matrices*. 12th ed. London: Lewis
- Rieger C (1888) Beschreibung der Intelligenzstruktur in Folge einer Hirnverletzung nebst einem Entwurf zu einer allgemein anwendbaren Methode der Intelligenzprüfung. Würzburg.
- Riegel R (1960) Faktorenanalysen des Hamburg-Wechsler-Intelligenztests für Erwachsene (HAWIE) für die Altersstufen 20-34, 35-49, 50-64 und 65 Jahre und älter. *Diagnostica* 6: 41-66
- Rohracher H (1953) Die Arbeitsweise des Gehirns und die psychischen Vorgänge. München: Deutsche Verlagsanstalt
- Roth E (1998) *Intelligenz: Grundlagen und neuere Forschung*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer Verlag

- Roth E (1964) Die Geschwindigkeit der Verarbeitung von Information und ihr Zusammenhang mit Intelligenz. *Z Exp Angew Psychol* 11: 616-622
- Rott C (1994) Intelligenz im Alter. In: Olbrich E, Sames K, Schramm A (Hrsg.)  
 Kompendium der Gerontologie. Landsberg/Lech: Ecomed, S. 1-22
- Rowe HAH (1985) Problem solving and intelligence. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Salthouse T (1985) A theory of cognitive aging. Amsterdam: Elsevier
- Sauer J, Gamsjäger E (1996) Ist Schulerfolg vorhersagbar? Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Sauer J, Gattringer H (1985) Soziale, familiale, kognitive und motivationale Determinanten der Schulleistung. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 37: 288-309
- Savage RD, Britton PG, Bolton N, Hall EH (1973) Intellectual functioning in the aged. London: Ruthledge
- Schaie KW (1991) Intelligenz. In: Oswald WD, Herrmann W, Kanowski S, Lehr U, Thomae H (Hrsg.) *Gerontologie. Medizinische, psychologische und sozialwissenschaftliche Grundbegriffe*. Stuttgart, Berlin, Köln: Kohlhammer Verlag, S. 269-283
- Scharbeth K (1964) Die Wirkung der Darbietung von Signalserien unterschiedlicher Redundanz auf die Wahlreaktionszeit. Berlin: Humboldt Universität. Unveröffentlichte Diplom-Arbeit
- Schneider W, Bös K (1985) Exploratorische Analysen zu Komponenten des Schulerfolgs. *Zeitschr Entwickl-Psychol Päd Psychol* 17: 325-340
- Schweizer K (1995) Kognitive Korrelate der Intelligenz. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag
- Shannon CE, Weaver W (1949) The mathematical theory of communication. Urbana, Il: University of Illinois Press

- Siegfried K (1995) Veränderungen kognitiver Leistungen im höheren Lebensalter. In: Deusinger IM (Hrsg.) Gerontologie. Medizinpsychologische und psychopathometrische Aspekte. Ebersberg: Vless Verlag, S.101-134
- Spearman C (1904) General intelligence, objectively determined and measured. *Am J Psychol* 15: 201-293
- Spearman C (1927) *The abilities of man*. London: Macmillan
- Spearman C (1938) Measurement of intelligence. *Scientica* 64: 75-82
- Spitz RA (1945) Hospitalism: an inquiry into the genesis of psychiatric conditions in early childhood. *Psychoanalytics in childhood* 1: 53-74
- Skeels HM (1966) Adult status of children with contrasting early life experiences. *Monographs of the Society of Research in Child Development*
- Sontag LW, Baker CT, Nelson VL (1958) Mental growth and personality development: a longitudinal study. *Monographs of the Society of Research in Child Development*
- Steisel IM (1950) The relation between test and retest scores on the W-B Scale I for selected college students. *J Genet Psychol* 78: 155-162
- Sternberg RA (1988) *The triarchic mind: a new theory of human intelligence*. New York: Viking
- Sternberg RA (1977) *Intelligence, information processing, and analogical reasoning: a componential analysis of human abilities*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Surwillo W (1971) Frequency of the EEG during acquisition in short-term memory. *Psychophysiology* 8: 588-593
- Susanne C (1979) On the relationship between psychometric and anthropometric traits. *Am J Phys Anthropol* 51: 421-424
- Süß HM, Oberauer K, Kersting M (1993) Intellektuelle Fähigkeiten und die Steuerung komplexer Systeme. *Sprache und Kognition* 12: 83-97

- Teasdale TW, Owen DR (1984) Heredity and familial environments in intelligence and educational level - a sibling study. *Nature* 309: 620-622
- Tewes U (1991) Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene. Revidierte Fassung. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Thorndike EL (1920) Intelligence and its uses. *Harper's Magazine* 40: 227-235
- Thurstone LL, Thurstone TG (1941) Factorial studies of intelligence. Chicago: University of Chicago Press
- Thurstone LL (1938) Primary mental abilities. Chicago: *Psychometrical Monographs*, No I.
- Vardaris RM, Bolger RS, Ibatoullina AA (1995) Selective activation of brain areas as a function of intelligence. *Intelligence* 20: 106-118
- Vernon PE (1971) The structure of human abilities. London: Methuen
- Vernon PA (1993) Intelligence and neural efficiency. In: Detterman DK (ed.) *Current topics in human intelligence*. Vol 3. Norwood, NJ: Ablex, S.171-181
- Wallach MA, Hogan N (1965) Modes of thinking in young children. New York: Holt, Rinehart and Winston
- Wechsler D (1964a) Die Messung der Intelligenz Erwachsener. 3. Auflage. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Wechsler D (1964b) Hamburg-Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene (HAWIE). 3. Auflage. Deutsche Bearbeitung: A Hardesty, H Lauber. Herausgegeben von C Bondy. Bern, Stuttgart, Wien: Hans Huber Verlag
- Wickett JC, Vernon PA, Lee DH (1994) In vivo brain size, head perimeter, and intelligence in a sample of healthy adult females. *Personality and Individual Differences* 16: 831-838
- Wiener G, Rider RV, Opperl W (1963) Some correlations of IQ-changes in children. *Child Development* 43: 61-67

- Willerman L, Schultz R, Rutledge JN, Bigler ED (1991) In vivo brain size and intelligence. *Intelligence* 15: 223-228
- Wilson JR, DeFries JC, McClearn GE, Vandenberg SG, Johnson RC, Ras-had M (1975) Cognitive abilities: use of family data as a control to assess sex and age differences in two ethnic groups. *Int J Aging Hum Develop* 6: 216-226
- Winnicott DW (1965) *The family and individual development*. London: Tavistock Publications
- Wohlwill JF (1973) *The study of behavioral development*. New York: Academic Press

# **Zurechnung von Roboterhandlungen im Bereich der privatrechtlichen Haftung unter Berücksichtigung des deutschen, österreichischen, schweizerischen, englischen und französischen Rechts – eine Modellanalyse**

*Ao.Univ.-Prof. Dr. Helmut Ofner LL.M.*

(Institut für Rechtsvergleichung der Universität Wien)

## **I. Problemstellung**

Mit der fortschreitenden Technisierung werden zunehmend menschliche Arbeitsleistungen durch Roboter ersetzt. Das weite Anwendungsfeld von Robotern zieht nicht nur soziale und gesellschaftspolitische Wirkungen nach sich, sondern wirft auch interessante rechtswissenschaftliche Fragen auf. Eine der zentralen Fragen ist in diesem Zusammenhang, wem Fehlverhalten des Roboters zuzurechnen ist und wer gegebenenfalls für entstandene Schäden haftet.

Betrachtet man die in der Praxis in Verwendung stehenden Roboter nach ihrem jeweiligen Anwendungsbereich, so ist zwischen den sogenannten Industrierobotern und den Dienstleistungsrobotern zu unterscheiden.

Industrieroboter sind rechnergesteuerte Arbeitsgeräte, die mit einer Anzahl von Bewegungsmöglichkeiten ausgestattet sind. Dienstleistungsroboter sind darauf gerichtet bestimmte Dienste für oder auch am Menschen zu erbringen. Im Vergleich zu den Industrierobotern verfügen sie in der Regel über deutlich größere Bewegungsmöglichkeiten.

Im Bereich der Industrieroboter ist der Verwender des Roboters angesichts der nur eingeschränkten Bewegungsmöglichkeit in der Lage das Gerät umfassend zu kontrollieren. Das Fehlverhalten des Roboters ist zweifelsfrei dem jeweiligen „Halter“ zuzuordnen, der den Schaden zu tragen hat.

Viel schwieriger gestaltet sich die Beurteilung, in welcher Form der Einsatz von Dienstleistungsrobotern dem Verwender zurechenbar ist. Verglichen mit dem Industrieroboter ist im Falle des Dienstleistungsroboters aufgrund seiner deutlich weiteren Palette an Einsatzmöglichkeiten und

selbständigen Funktionen eine umfassende Kontrolle nicht möglich. Die Zurechnung von Roboter-Fehlverhalten ist daher nicht ohne weiterführende Erwägungen möglich.

Untersucht man die Frage, wer als Haftungssubjekt heranzuziehen ist, so erscheinen bei oberflächlicher Betrachtung zwei unterschiedliche Lösungen denkbar. Einerseits könnte der Roboter selbst verantwortlich gemacht werden, andererseits könnte das Fehlverhalten einem verantwortlichen Menschen zugeordnet werden.

Bejaht man eine Verantwortlichkeit des Roboters selbst, so würde dies voraussetzen, dass dieser als selbstverantwortliche Rechtsperson anzusehen wäre. In den in dieser Studie verglichenen Rechtsordnungen sind lediglich Personen „rechtsfähig“. Dabei wird zwischen natürlichen Personen und juristischen Personen unterschieden. Eine Erweiterung des Kataloges der Rechtspersonen erscheint derzeit nicht erforderlich, da es zur Zeit noch keinen Roboter gibt, der nicht bedingungslos den Anweisungen von Menschen folgt und ihrer Kontrolle unterliegt. Roboter sind beim derzeitigen Stand der Technik vorprogrammierte Maschinen, deren Verhalten vorherbestimmbar und daher einfach zurechenbar ist.

Aus der Natur des Roboters als vorprogrammierte Maschine ergibt sich weiters, dass der Roboter mangels entsprechenden eigenen Willens weder eigene Willenserklärungen abzugeben vermag, noch sorgfaltswidrig zu handeln in der Lage ist. Bedient man sich des Roboters, Willenserklärungen abzugeben, so ist unzweifelhaft, dass nicht der Roboter, sondern sein Verwender durch Programmieren der Maschine die automatisierte Erklärung abgibt. Auch komplizierteste Datenverarbeitungssysteme können letztlich keine autonomen Entscheidungen treffen, sondern nur logische Operationen nach einem vorgegebenen Programm durchführen. In der Literatur wird dieser Fall mit einer Blanketterklärung verglichen, die von einem Gehilfen nach bestimmten Anweisungen vervollständigt wird. Eine solche wird ohne weiteres dem Geschäftsherrn als eigene zugerechnet. Dieser Lösungsansatz ist nach oberflächlicher Prüfung auch bei autonomen Systemen zu bejahen. Entsprechen Willenserklärungen des Roboters nicht dem Willen des Geschäftsherrn (z.B. Übermittlungsfehler), so muss sich dieser die Erklärung so zurechnen lassen, wie sie ein redlicher

Erklärungsempfänger verstanden hätte. Dies gilt nur dann nicht, wenn der tatsächliche Adressat der Erklärung den wahren Erklärungsinhalt kannte und daher nicht auf den objektivierten Inhalt vertraute.

## II. Rechtsvergleichender Ansatz

Da die Untersuchung rechtsvergleichend angelegt ist, muss zunächst darauf eingegangen werden, was man unter Rechtsvergleichung versteht, welcher Methoden man sich dabei bedient und welchen Zwecken die Rechtsvergleichung dient.

Grundsätzlich versteht man unter Rechtsvergleichung das Bemühen, durch empirischen Vergleich verschiedener Rechtsordnungen Unterschiede und Gemeinsamkeiten zu ermitteln und diese auf ihre Begründung hin zu untersuchen.

Grundlage und Ausgangspunkt der Betrachtung ist dabei die Annahme, dass Recht nicht ein von der gesellschaftlichen Entwicklung völlig unabhängiges Phänomen darstellt, sondern lediglich „Mittel der sozialen Organisation und Steuerung“ ist. Recht ist somit lediglich ein Instrument zur Lösung und Regelung sozialer Bedürfnisse. Aus dieser grundlegenden Zweckrichtung des Rechts erklärt sich auch der funktionale Aufbau jedes Rechtssystems<sup>1</sup>. Basis jeder Rechtsordnung sind somit die ihr zugrunde liegenden sozialen Gegebenheiten, deren Bedürfnis an Organisation und Steuerung durch ein System an Rechtsnormen befriedigt werden soll<sup>2</sup>. Es darf daher nicht verwundern, dass entsprechend den sehr unterschiedlichen sozialen Verhältnissen auch in Umfang, Inhalt und Regelungsstruktur sehr unterschiedliche Rechtsordnungen entstanden sind. Allen Rechtsordnungen gemein ist aber diese funktionale Bindung an die sozialen Bedürfnisse des Gemeinwesens. Die funktionale Bindung zwischen Recht und sozialen Gegebenheiten beziehungsweise deren Konkretisierung in Form von allgemeinen Rechtsgrundsätzen und der *ratio legis* dient

<sup>1</sup> So grundsätzlich schon *Rabel* (Aufgabe und Notwendigkeit der Rechtsvergleichung, 4 f; *ders.*, Die Fachgebiete des Kaiser-Wilhelm-Instituts, 198 ff; 208 ff; im Ansatz auch *Kübler* (JZ 1974, 118), der Abweichungen in zu vergleichenden Rechtsordnungen über deren Sonderentwicklung erklärt: „Das Recht der USA präsentiert sich nicht länger als bloßer Appendix .. der englischen Rechtsordnung, sondern als exemplarisches Beispiel für die Wachstumstendenzen und Differenzierungsmöglichkeiten moderner Rechtsordnungen“.

<sup>2</sup> Fa *Rheinstein*, Einführung in die Rechtsvergleichung, 25; *Junker*, JZ 1994, 922.

auch den jeweiligen nationalen Rechtsordnungen als Erkenntnisquelle. So bedient sich die österreichische Rechtsordnung dieser funktionalen Ordnung zur Auslegung von Rechtsnormen und zur Lückenfüllung<sup>3</sup>.

Vergegenwärtigt man sich diesen Mittel-Zweck-Zusammenhang zwischen Rechtsordnung und sozialen Bedürfnissen, so wird deutlich, dass nicht eine konkrete Norm, sondern grundsätzlich nur ein bestimmter sozialer Regelungsbedarf und dessen rechtliche Lösung als Vergleichsobjekte herangezogen werden können. Bezogen auf das vorliegende Thema bedeutet dies, dass am Beginn der rechtsvergleichenden Untersuchung die Frage zu stellen ist, welche rechtlichen Maßnahmen zu treffen sind, um die mit der Nutzung von Robotern verbundenen Risiken haftungsrechtlich auszugleichen. Ausgangspunkt ist somit ein in eine Frage gekleideter sozialer Regelungsbedarf. Das solcherart aufgeworfene Rechtsproblem ist sodann im Rahmen der gewählten Vergleichsrechtsordnungen zu lösen und die ermittelten Lösungen sind vergleichend gegenüberzustellen<sup>4</sup>.

Stellen sich beim Vergleich solcherart funktional gleichgerichteter Regelungen verschiedener Rechtsordnungen Abweichungen heraus, so müssen diese auf Unterschiede in den die Regelung begründenden „sozialen Bedürfnissen“ oder auf unterschiedliche „rechtspolitische Zielsetzungen“ zurückgehen<sup>5</sup>.

Die aus einem Rechtsvergleich erschlossenen Erkenntnisse können in verschiedenen Bereichen und zu verschiedenen Zwecken verwertet werden. Zu nennen ist dabei insbesondere die Nutzung als Hilfsmittel bei der legislatischen Arbeit. Diese wohl wichtigste praktische Anwendung für die Ergebnisse rechtsvergleichender Forschung hat sich bereits im achtzehnten Jahrhundert herausgebildet und ist mittlerweile in vielen Staaten zu einem unentbehrlichen Arbeitsinstrument für einen qualitätsbewussten Gesetzgeber geworden<sup>6</sup>. In diesem Zusammenhang ist darauf zu verweisen, dass insbesondere der deutsche und der österreichische Gesetzgeber

<sup>3</sup> Fa *Bydlinski*, Juristische Methodenlehre und Rechtsbegriff\_ (1991) 428 ff; *ders.*, in Rummel\_, Großkommentar zum Bürgerlichen Recht zu §§ 6, 7 ABGB.

<sup>4</sup> *Ofner*, Mietzinsanpassung in den neuen Bundesländern der BRD ein Vorbild ? JRP 1998, 304 f.

<sup>5</sup> *Ofner*, JRP 1998, 304 f.

<sup>6</sup> *Zweigert/Kötz*, Einführung in die Rechtsvergleichung (1998) 14 ff.

regelmäßig bei größeren Gesetzgebungsvorhaben ausländische Rechtsordnungen als Anschauungsmaterial heranzieht. Je nach den Vorgaben der Rechtspolitik werden rechtsvergleichende Ergebnisse unterschiedlicher Qualität und Aussagekraft als Hilfsmittel herangezogen.

Lautet die gestellte Aufgabe beispielsweise Lösungsalternativen anderer Rechtsordnungen vorzustellen, so kann bereits ein simpler Vergleich der in den Vergleichsrechtsordnungen bestehenden Problemlösungen das angestrebte Ergebnis erbringen. Soll die Rechtsvergleichung darüberhinaus einen Überblick über die in anderen Rechtsordnungen als lösungsrelevant erkannten rechtspolitischen Ziele bieten, um den Betrachtungshorizont des nationalen Gesetzgebers in dieser Hinsicht zu erweitern, so ist aus den der Lösung zugrundeliegenden ausländischen Rechtsnormen durch Induktion der Regelungszweck zu ermitteln. Ist der Gesetzgeber aber daran interessiert, nicht nur die Lösungen oder deren zugrundeliegende Regelungszwecke kennenzulernen, sondern auch eine zweckorientierte Vorauswahl der Lösungen vorzunehmen, so erfordert dies einen Rechtsvergleich sowohl der sozialen Bedürfnisse, als auch der rechtlichen Problemlösung, um das angestrebte Vergleichsziel erreichen zu können<sup>7</sup>.

Alle drei Anforderungsvarianten sind in der rechtspolitischen Praxis tatsächlich zu beobachten. Soll beispielsweise eine als unbillig oder unzeitgemäß empfundene Regelung geändert werden, ohne dass konkrete Vorstellungen über das neue rechtspolitische Ziel bestehen, so ist der Gesetzgeber zunächst an einer Darstellung der in anderen Staaten normierten funktionalen Lösungen interessiert. Bestehen hingegen schon Überlegungen hinsichtlich des Regelungszweckes, ist man aber nicht davon überzeugt, alle für die Lösung relevanten Bedürfnisse und daraus entstehenden Zwecke gefunden zu haben, so ist ein die Regelungszwecke der ausländischen Regelungen einschließendes Vergleichsergebnis vonnöten. Im Regelfall ist aber zu unterstellen, dass für den nationalen Gesetzgeber zumindest hinsichtlich der Hauptzwecke bereits konkrete Vorgaben bestehen, die sich aus konkreten sozialen Regelungsbedürfnissen ergeben. In diesem Fall ist der Gesetzgeber nicht an einer undifferen-

---

<sup>7</sup> *Ofner*, JRP 1998, 304 f.

zierten Darstellung von ausländischen Lösungen interessiert, sondern will lediglich die seinen rechtspolitischen Zielen entsprechenden Lösungen der Vergleichsrechtsordnungen ermitteln.

Zur Frage der haftungsrechtlichen Zurechnung von Roboterfehlern erscheint es angesichts eines noch nicht näher konkretisierten gesetzgeberischen Willens zunächst wichtig, die in den Vergleichsrechtsordnungen bestehenden funktionalen Lösungen darzustellen, um den nationalen Gesetzgebern Anschauungsmaterial für mögliche Lösungen zu liefern.

### **III. Haftung für Roboterfehler**

#### **1. Haftung durch eigenes Fehlverhalten des Halters oder Benutzers**

Überblickshaft kann für alle Vergleichsrechtsordnungen festgehalten werden, dass der Halter beziehungsweise Benutzer eines Roboters haftet, wenn der durch den Roboter verursachte Schaden auf ein eigenes Fehlverhalten des Halters beziehungsweise Nutzers zurückgeht.

Das haftungsbegründende Fehlverhalten kann beispielsweise darin liegen, dass die Organisation mangelhaft ist. Dies gilt insbesondere dann, wenn keine geeigneten Kontrolleinrichtungen geschaffen wurden<sup>8</sup>. Ein eigenes Fehlverhalten kann auch dann vorliegen, wenn eine unzulängliche Software eingesetzt wurde, beziehungsweise Bedienungs- oder Wartungsfehler unterlaufen<sup>9</sup>.

Die Rechtswidrigkeit kann sich sowohl aus Vertragsverletzung als auch aus unerlaubter Handlung ergeben. Die Haftung für eigenes Fehlverhalten setzt grundsätzlich Verschulden des Halters beziehungsweise Benutzers des Roboters voraus. Unter Verschulden versteht man die persönliche Vorwerfbarkeit des rechtswidrigen Verhaltens. Schuldhaft handelt somit jener, der ein Verhalten setzt, das er hätte vermeiden sollen und auch hätte vermeiden können.

<sup>8</sup> Fa Köhler, Problematik automatisierter Rechtsvorgänge, S 158 f.

<sup>9</sup> Fa Koziol, Die Haftung der Banken bei Versagen technischer Hilfsmittel, ÖBA 1987, 3 ff.

Im Hinblick auf die hier aufgeworfene Frage der Haftung für Roboterfehler erscheint insbesondere die Frage nach dem Sorgfaltsmaßstab interessant. Als Leitlinie wird man dabei –entsprechend der Gefährlichkeit des jeweiligen Roboters – auf die bereits bestehende Rechtsprechung zu ähnlich gefährlichen Sachen verweisen können. Bei der Diskussion über das Ausmaß an Sorgfalt ist aber auch zu berücksichtigen, dass die Umstellung von menschlichen Hilfskräften auf Roboter aus ökonomischen Gründen erfolgt. Führt die Festlegung eines sehr hohen Sorgfaltsmaßstabes (Kontrollpflichten) zum Ergebnis, dass damit der eigentliche ökonomische Zweck verfehlt würde, so muss dies notwendig über das Element der Wirtschaftlichkeit und Zumutbarkeit zu einer Begrenzung der Wartungs- und Kontrollpflichten führen<sup>10</sup>.

Ergibt sich der Schaden hingegen nicht aus einem eigenen Fehlverhalten des Halters beziehungsweise Benutzers des Roboters, so stellt sich die Frage, ob zusätzlich zur Verschuldenshaftung auch eine verschuldensunabhängige „Haftung für Sachen“ bestehen soll.

## **2. „Haftung für andere Personen und Sachen“**

### *2.1. Allgemeines*

Ergänzend zur Haftung für eigenes Fehlverhalten bestehen in den Vergleichsrechtsordnungen in verschieden starker Ausprägung auch eine „Haftung für andere Personen“ und eine „Haftung für Sachen“ beziehungsweise für die Verwirklichung von Sachgefahren.

Die Haftung für das Verhalten anderer Personen bezieht sich im Wesentlichen auf drei Fallgruppen. Diese sind:

- Haftung der Eltern beziehungsweise Vormünder für ihre Kinder,
- Haftung der Arbeitgeber für ihr Personal (Gehilfen), sowie
- Haftung der Ausbilder für Delikte, der ihnen zur Ausbildung anvertrauten Personen.

---

<sup>10</sup> Als Ausgleich sollte aber das damit in Kauf genommene Risiko im Wege einer verschuldensunabhängigen Haftung für Roboter ausgeglichen werden (vgl. Österreich-Teil).

Die „Haftung für Sachen“ beziehungsweise für die Verwirklichung von Sachgefahren erfasst ein ungleich weiteres Feld, das sich im Vergleich zu Haftung für andere Personen in den letzten Jahrzehnten sehr dynamisch entwickelt hat. Zu dieser Gruppe zählen etwa die Haftung für Tiere, für Gebäude, für das Inverkehrsetzen von Produkten, für gefährliche Energiegewinnung und gefährliche Transportmittel. In vielen Fällen ist das Einstehenmüssen für andere Personen und Sachen mit einer Haftung für eigenes Fehlverhalten verbunden. Als Beispiel kann hier der Fall zitiert werden, bei dem ein durch ein Kraftfahrzeug verursachter Schaden auf einer Sorgfaltswidrigkeit des Halter beruht. Diesfalls ist sowohl eine Haftung aus eigenem Fehlverhalten, als auch eine Haftung als Nutznießer einer Gefahrenquelle zu bejahen. Im Folgenden sollen die Vergleichsrechtsordnungen insbesondere auf Tatbestände zur „Haftung für Sachen“ untersucht werden, die auch für eine Zurechnung von Roboterhandlungen tauglich erscheinen. Aufgrund der Fülle des Materials ist lediglich eine zusammenfassende Darstellung der jeweiligen Regelungsstruktur möglich. Die aufgrund einer Richtlinie der Europäischen Gemeinschaften in allen Vergleichsrechtsordnungen vereinheitlichte Produzentenhaftung wird in einem eigenen Kapitel behandelt.

### *2.1. Österreichisches Recht*

Grundsätzlich sieht das österreichische Recht Schadenersatzansprüche nur für eigenes Fehlverhalten vor. In einigen wenigen ausdrücklich im Gesetz normierten Fällen wird aber zusätzlich auch eine Haftung für andere Personen oder Sachen bejaht.

So bestimmen die §§ 1313a und 1315 ABGB, dass der Geschäftsherr unter bestimmten Voraussetzungen für das Verhalten seiner Gehilfen einzustehen hat. Bei der Ausgestaltung der Haftung des Geschäftsherrn ist zu unterscheiden, ob die schädigende Person Erfüllungs- oder Besorgungsgelhilfe ist. Eine Erfüllungsgehilfenstellung besteht dann, wenn sich der Geschäftsherr des Gehilfen zur Erfüllung eines bestehenden Schuldverhältnisses bedient und der Schaden beim Vertragspartner des Geschäftsherrn eintritt. In diesem Fall haftet der Geschäftsherr für das Verschulden des Gehilfen wie für sein eigenes. Besorgungsgelhilfe ist eine Person,

deren sich der Geschäftsherr zur Besorgung irgendwelcher anderer Tätigkeiten bedient. In diesem Fall ist die Verantwortlichkeit des Geschäftsherrn nicht so weitgehend. Er haftet nur, wenn er sich einer untüchtigen oder wissentlich einer gefährlichen Person als Gehilfen bedient. Ebenso wie der Geschäftsherr für seine Gehilfen haften auch die Rechtsträger der öffentlichen Hand gemäß AHG für jene Schäden, die ihre Organe in Vollziehung der Gesetze verursacht und verschuldet haben. Eine Haftung für andere Personen trifft gemäß § 1318 ABGB auch den Wohnungsinhaber, der für jeden Schaden verantwortlich ist, der durch Herabfallen gefährlich aufgehängter oder aufgestellter Sachen oder durch hinausgeworfene Sachen oder hinausgossene Flüssigkeiten verursacht wird.

Neben der Gehilfenhaftung sind auch einige Fälle von Haftungen für gefährliche Sachen normiert. Zu nennen ist dabei etwa die Haftung für Bauwerke gemäß § 1319 ABGB und die Tierhalterhaftung gemäß § 1320 ABGB. In beiden Fällen kann sich der Besitzer beziehungsweise Halter von der Haftung befreien, wenn er beweist, dass er alle notwendigen Vorkehrungen getroffen hat. Im Verhältnis zur normalen Haftung nach § 1295 ff ABGB bedeutet dies eine Haftungsverschärfung durch Beweislastumkehr zugunsten des Geschädigten. Weitere Fälle von „Haftungen für Sachen“ ergeben sich aus Sondergesetzen zum ABGB. In diesem Sinne besteht eine verschuldensunabhängige Haftung z.B. für durch Luftfahrzeuge (Luftverkehrsg 1936), Kernanlagen und Kernmaterialien (AtomHG), Anlagen zur Fortleitung oder Abgabe von Elektrizität oder Gas, Rohrleitungen (Rohrleitungsg 1975) oder Bergbautätigkeiten (BergG 1975) verursachte Schäden. Für Schäden durch Radionukleide ist ebenfalls eine Gefährdungshaftung vorgesehen, die aber im Unterschied zu den zuletzt genannten Fällen verschuldensabhängig gestaltet ist und lediglich eine Beweislastumkehr vorsieht (RHG). Der wichtigste Anwendungsfall einer Gefährdungshaftung in der Praxis ist die Haftung für Eisenbahnen und Kraftfahrzeuge gemäß EKHG. Auch in diesem Fall kann der Halter die Haftung ausschließen, wenn er nachweist, dass er jede nach den Umständen gebotene Sorgfalt beachtet hat.

In einer dritten Gruppe hat der österreichische Gesetzgeber in sehr engem Rahmen eine Haftung für technische Hilfsmittel normiert, die auch für

nicht gefährliche Objekte Anwendung findet. Gemäß § 27 GUG und § 37 FBG haftet der Bund für die durch den Einsatz der automationsunterstützten Datenverarbeitung verursachten Schäden bei Fehlern in der Grundbuchs- und Firmenbuchführung. Die Haftung ist ausgeschlossen, wenn der Schaden durch ein unabwendbares Ereignis verursacht wird, das weder auf einem Fehler in der Beschaffenheit, noch auf einem Versagen der Mittel der automationsunterstützten Datenverarbeitung beruht<sup>11</sup>. Weiters ist auch für Schäden aus Fehlern bei der Durchführung des automationsunterstützten Mahnverfahrens gemäß § 453a Z 6 ZPO eine gleichlautende Haftung normiert.

Ausgehend von den im Gesetz genannten Fällen erscheint es zweifelhaft, ob nach österreichischem Recht auch eine „Haftung für Roboter“ in Betracht kommt. Zu dieser Rechtsfrage liegen bislang weder Judikate noch rechtswissenschaftliche Arbeiten vor. Zieht man hilfsweise die ebenfalls spärliche Literatur zur verwandten Haftung für Computerfehler heran, so ergibt sich folgendes Bild. Eine insbesondere in der deutschen Literatur empfohlene Analogie zur Gehilfenhaftung des § 1313a ABGB wird mit dem Argument verneint, dass es sich dabei nicht um die Haftung für das Verhalten einer Person, sondern um das Einstehenmüssen für die Risiken einer Sache handelt<sup>12</sup>. Auch eine Analogie zu den Fällen der Gefährdungshaftung wird verneint. Zwar wird in Österreich herrschend vertreten, dass eine analoge Anwendung der Gefährdungshaftungsregeln grundsätzlich zulässig ist<sup>13</sup>; die analoge Anwendung der vorhandenen Gefährdungshaftungsnormen ist allerdings nur dann möglich, wenn eine Gefahrenquelle vorliegt, die den gesetzlich geregelten entspricht. Eine solche Gefahrenquelle wird jedoch nur dann angenommen, wenn gewaltige Elementarkräfte entfesselt werden, schwere Massen mit ungeheurer

<sup>11</sup> *Hofmeister*, Rechtliche Aspekte der Grundbuchsumstellung in FS *Kralik* (1982) S 32 ff, der allerdings auf die Neuartigkeit der hier angeordneten Haftung nicht näher eingeht.

<sup>12</sup> *Koziol*, ÖBA 1987, 3 ff.

<sup>13</sup> *Ehrenzweig*, System des österreichischen allgemeinen Privatrechts II/1, 652, 690; *Holeschofsky*, Richterliche Rechtsfortbildung im Bereich der Gefährdungshaftung, ZfVR 1985, 1; *Koziol*, Österreichisches Haftpflichtrecht<sup>2</sup> II (1984) 575 ff; *ders*, Umfassende Gefährdungshaftung durch Analogie in FS-Wilburg (1975) 173; *Posch*, Zum Stand der Reform der Gefährdungshaftung in Wertungen und Interessenausgleich im Recht (1975) 165; *Reischauer in Rummel* Rz 2 zu § 1306 ABGB; OGH z.B. in JBl 1971, 367 = EvBl 1971/135; SZ 44/182 = JBl 1972, 539; SZ 46/36 = JBl 1974, 199 = EvBl 1973/175; JBl 1981, 371; EvBl 1982/129; JBl 1985, 556 = RdW 1985, 41; vgl auch EvBl 1986/75 = ZVR 1986/59.

Geschwindigkeit dahingleiten, Zündstoffe erzeugt oder verwendet werden, der feste Boden untergraben oder der Luftraum unsicher gemacht wird<sup>14</sup>. Zur Frage der Haftung für Computerfehler wurde zutreffend festgestellt, dass sie den von den Gefährdungshaftungsgesetzen erfassten gefährlichen Sachen sicherlich nicht gleichgehalten werden können. Gegen eine analoge Anwendung spricht weiters, dass Computer typischerweise nur zu einer Gefährdung des Vertragspartners und nicht zu einer Gefährdung Dritter führen, wie dies bei den Fällen der Gefährdungshaftung gegeben ist. Auch eine analoge Anwendung der speziellen Normen für eine Haftung technischer Hilfemittel stößt auf Schwierigkeiten. Aus den Materialien geht nämlich unzweifelhaft hervor, dass der Gesetzgeber irrigerweise die in Verwendung stehenden Datenverarbeitungsanlagen als „gefährlich“ eingestuft hat und eine reine Gefährdungshaftung begründen wollte. Die Gefährlichkeit wird aber von der Literatur zu Recht verneint. Unter Berücksichtigung der Materialien kann daher dem Gesetzgeber nicht unterstellt werden, dass er mit Normierung dieser Bestimmungen eine neue Gruppe von Haftungsgründen schaffen wollte. Trotz dieser Anwendungsschwierigkeiten wird von *Koziol*<sup>15</sup> dennoch eine „Haftung für Computer“ bejaht. Er argumentiert, dass der Einsatz von Computern von der Rechtsordnung gebilligt, aber mit gewissen Risiken verbunden sei, die durch die normalen Sorgfaltsanforderungen auch nicht mehr ausgeschaltet werden können<sup>16</sup>. So wie im Bereich der Produkthaftung kann auch aus ökonomischen Gründen nicht das technisch mögliche Maximum an Sicherheitsvorkehrungen und Kontrollen eingehalten werden. Durch diese aufwandbedingte Einschränkung der Kontrollpflichten würde aber nur jenem Kunden, dem die fehlerhafte Leistung erbracht wird, die Tragung dieses Nachteils auferlegt, während alle anderen Kunden Nutznießer wären, da die Leistung insgesamt zu niedrigeren Preisen angeboten werden kann. Zur Vermeidung dieses nicht sachgerechten Ergebnisses schlägt *Koziol* vor, dass derjenige, der den Computer einsetzt, zunächst den Schaden zu tragen hat und das damit einhergehende Risiko

---

<sup>14</sup> SZ 44/182 = JBl 1972, 539; SZ 46/36; *Koziol*, ÖBA 1987, 3 ff.

<sup>15</sup> *Koziol*, ÖBA 1987, 3 ff.

<sup>16</sup> *Koziol*, ÖBA 1987, 3 ff; *Koziol*, Grundfragen der Produkthaftung (1980) 57 f; *Posch*, Produkthaftung, 281.

über das Entgelt auf die Abnehmer überwälzt<sup>17</sup>. Ein weiteres Argument für die analoge Anwendung liegt im Vertrauensschutz begründet. Die Kunden vertrauen auf die Fehlerlosigkeit des Computers und setzen deshalb ihre Sphäre den Einwirkungen der dann doch mangelhaften Leistung aus.

Überträgt man die Argumentation auf die Frage der „Haftung für Roboter“, so ist festzuhalten, dass insbesondere das letztgenannte Argument auch hier tragfähig erscheint. Je nach Art und Aufgabengebiet des Roboters wird man zusätzlich zu prüfen haben, ob es sich dabei nicht ohnedies um eine gefährliche Sache iSd anderen Gefährdungshaftungstatbestände handelt.

## 2.2. *Deutsches Recht*

Auch das deutsche Recht sieht grundsätzlich nur Schadenersatzansprüche für eigenes Fehlverhalten vor. In einem sehr engen Bereich ist aber auch eine Haftung für andere Personen oder Sachen normiert.

Für den Bereich der Haftung für andere Personen statuiert § 831 BGB eine Haftung des Geschäftsherrn für seinen Verrichtungsgehilfen. Als solche kommen nur jene Personen in Frage, die von den Weisungen des Geschäftsherrn abhängig sind und seiner Aufsicht und Kontrolle unterstehen<sup>18</sup>. Die Geschäftsherrnhaftung setzt weiters voraus, dass der Gehilfe in Ausübung der ihm übertragenen Verrichtung den Schaden herbeigeführt haben muss. Der Geschäftsherr kann seine Haftung verhindern, wenn er nachweisen kann, dass er bei der Auswahl beziehungsweise Anleitung und Überwachung des Gehilfen die im Verkehr erforderliche Sorgfalt beobachtet hat. Ob der Gehilfe schuldhaft gehandelt hat, ist nach dem Wortlaut des § 831 BGB hingegen ohne Bedeutung. Wird der Schaden dem Vertragspartner des Geschäftsherrn verursacht, so ist dem Geschäftsherrn der Entlastungsbeweis nach § 831 BGB abgeschnitten und er muss für das Verschulden seiner Leute unbedingt einstehen (§ 278 BGB).

<sup>17</sup> *Koziol*, Produktheftung, 59; *Koziol*, ÖBA 1987, 3 ff; ablehnend gegenüber dem Gedanken der Risikogemeinschaft aber *Posch*, Produzentenhaftung, 204 f.

<sup>18</sup> Vgl auch die Amtshaftung gem Art 34 GG iVm § 839 BGB.

Eine Haftung für gefährliche Sachen wird im deutschen Recht nur in wenigen ausdrücklich im Gesetz genannten Fällen bejaht. Zu diesen zählen: § 833 BGB (Luxustierhaltung), § 302 Abs 4, § 600 Abs 2, § 717 Abs 2, § 945 ZPO, §§ 1 ff HaftPflG, § 7 StVG, § 33 LuftVG, §§ 1 14 ff BBergG, §§ 25 AtomG, § 84 AMG, §§ 32, 3 Nr 9 GenTG, § 1 UmweltHG, § 84 ArzneimittelG und § 22 WHG. Als Begründung für die Gefährdungshaftung wird angeführt, dass unvermeidliche „Unglücksschäden“ derjenige tragen sollte, in dessen Bereich die Gefahrenquelle liegt und der in erster Linie den Nutzen aus der gefährlichen Aktivität zieht. Wirtschaftspolitisch führt die Gefährdungshaftung zu einer Verteilung des damit verbundenen Risikos auf alle Abnehmer, da sich der Unternehmer gegen das Schadensrisiko versichert und die Versicherungsbeiträge in die Preisgestaltung einkalkuliert wird<sup>19</sup>. Eine analoge Ausdehnung der Gefährdungstatbestände wird in Literatur und Rechtsprechung mehrheitlich abgelehnt<sup>20</sup>. Die Rechtsprechung versucht aber durch die Kombination von scharfen Sorgfaltsanforderungen mit einer für den Schädiger ungünstigen Beweislastverteilung ähnliche Ergebnisse zu erreichen wie bei der Gefährdungshaftung. Es kann daher festgehalten werden, dass heute zwischen der Gefährdungshaftung und der Haftung für Verkehrspflichtverletzungen im Bereich zuverlässig beherrschbarer Gefahren kaum noch ein Unterschied besteht.

Eine eigene von der Gefährlichkeit unabhängige Haftung für technische Hilfsmittel besteht in Deutschland hingegen nicht.

Nach neuerer Meinung sollte der derzeit bestehende grundsätzliche Verzicht auf die analoge Anwendung von Gefährdungshaftungstatbeständen neu überdacht werden. Insbesondere wird dies für Fälle vertreten in denen es durch die fortschreitende Technisierung zu einer Ersetzung menschlicher Hilfskräfte durch Maschinen kommt. Gerade bei diesen Fallkonstellationen käme es sonst zu einer Erleichterung des unternehmerischen Haf-

<sup>19</sup> AK-BGB-Joerges vor §§ 823 ff Rz 15 ff; *Deutsch*, Allgemeines Haftungsrecht, Rz 636; vgl dazu auch die zu Österreich zitierte Literatur.

<sup>20</sup> So unterfallen von der gesetzlichen Gefährdungshaftung nicht erfasste Anlagen oder Verkehrsmittel nicht der verschuldensunabhängigen Haftung, mögen sie auch ebenso gefährlich oder noch gefährlicher sein als diejenigen, für die eine Gefährdungshaftung gesetzlich angeordnet worden ist (BGHZ 54, 332,336 = NJW 1971,32; BGHZ 55, 229, 234 = NJW 1971, 607; BGH VersR 72, 1047; *Heinrich* in *Palandt*<sup>59</sup> § 276 BGB Rz 136.

tungsrisikos gegenüber der durch die Schuldhaftung intendierten Risiko-  
verteilung, die mit dem Mittel der Kombination von scharfer Sorgfalts-  
pflicht und Beweislastumkehr nicht rückgängig gemacht werden könnte.  
Konkret wird diese Analogie zur Gefährdungshaftung daher für den  
Bereich des Maschinen-, insbesondere des Computerversagens vertreten,  
die auch bei Anwendung großer Sorgfalt nicht verhinderbar sind<sup>21</sup>. Recht-  
sprechung oder Literatur zu der hier vorliegenden Frage der Haftung für  
Roboter gibt es soweit ersichtlich nicht. Die Palette der vertretenen Mei-  
nungen kann aber anhand der bereits diskutierten Frage der Haftung für  
Computerfehler überblickshaft dargestellt werden. In dieser Frage wird  
beispielsweise von *R. Schmidt*<sup>22</sup> vertreten, dass aufgrund des Unterwor-  
fenseins des Kontrahenten des Computer-Halters, und wegen seiner gene-  
rellen objektiven Unfähigkeit, nachzuprüfen und nachzurechnen, eine  
Haftung ohne Verschulden für den Kreis der potentiellen Benutzer erfor-  
derlich sei. *Fallscheer – Schlegel*<sup>23</sup> tritt für den speziellen Fall des Ein-  
ziehungsermächtigungsverfahrens im Lastschriftverkehr für eine Gefähr-  
dungshaftung ein. Als Begründung wird einerseits auf den Rechtsgedan-  
ken der Verteilung des Betriebsrisikos und andererseits auf eine Analogie  
zu § 231 BGB, § 302 Abs 4, § 600 Abs 2, § 717 Abs 2 und § 945 ZPO, in  
denen eine Gefährdungshaftung normiert ist, verwiesen. *Lieser*<sup>24</sup> stützt  
eine verschuldensunabhängige Einstandspflicht der Banken auf den  
Grundsatz von Treu und Glauben gemäß § 242 BGB. Von den meisten  
Autoren wird eine analoge Anwendung des § 278 BGB befürwortet<sup>25</sup>.  
Als Begründung wird dabei angeführt, dass der Einsatz von Computern  
dem Einsatz von Hilfspersonen entspreche und durch die technische Ent-

<sup>21</sup> *Fa Mertens* vor § 823 – 853 BGB, Rz 24; dagegen aber *U. H. Schneider* (Das Recht des elektro-  
nischen Zahlungsverkehrs (1982) 83), der unter Hinweis auf den Vergleichsfall „Produktions-  
bereich“ eine Überwälzung des Risikos des Versagens der Anlage auf den Betreiber verneint, so  
auch *Köhler* (Problematik automatisierter Rechtsvorgänge 158, 167 ff), der feststellt, dass sich  
aus dem geltenden Recht keine verschuldensunabhängige Haftung bei automatisierten  
Rechtsvorgängen ableiten lasse.

<sup>22</sup> *R. Schmidt*, Rationalisierung und Privatrecht, AcP 166, 1, 22 ff.

<sup>23</sup> *Fallscheer – Schlegel*, Das Lastschriftverfahren (1977) 51 ff.

<sup>24</sup> *Lieser*, Die zivilrechtliche Haftung im atomationsunterstützten Rechtsverkehr, JZ 1971, 761, 762  
ff; *Schönle*, Bankrecht\_ (1976) 57 f.

<sup>25</sup> *Canaris*, Bankvertragsrecht\_, Rz 367; *Loewenheim*, Vertragsprobleme bei Benutzung betriebs-  
fremder elektronischer Datenverarbeitung, BB 1967 597; *Möschel*, Dogmatische Strukturen des  
bargeldlosen Zahlungsverkehrs, AcP 186, 187, 197 ff; *Spiro*, Die Haftung für Erfüllungshelfen  
(1984) 209 ff.

wicklung eine Gesetzeslücke entstanden sei, die durch Analogie gefüllt werden könne. *Canaris*<sup>26</sup> präzisiert diese Begründung mit dem Hinweis, dass eine Analogie zu § 278 BGB naheliege, da diese Vorschrift die Risiken der Arbeitsteilung dem Geschäftsherrn zuordne und es sich beim Einsatz von Computern um ein eng verwandtes, erst durch die technische Entwicklung entstandenes und daher zu einer Gesetzeslücke führendes Problem handle.

Die zur Haftung für Computer referierten Meinungen sind nach ihrer Begründung auch für Roboterhandlungen anwendbar. Die genannten Argumente für eine analoge Anwendung der Gefährdungshaftung werden im Falle einer objektiven Gefährlichkeit des Roboters sogar noch verstärkt.

### 2.3. *Schweizerisches Recht*

Ebenso wie das deutsche und österreichische Recht geht auch die schweizerische Rechtsordnung grundsätzlich von einer Verschuldenshaftung für eigenes Fehlverhalten aus. Durchbrochen wird dieser Grundsatz durch eine ausdrücklich bestimmte Haftung für andere Personen und eine sehr eingeschränkte Haftung für Sachen.

Gemäß Art 55 OR haftet der Geschäftsherr für den Schaden, den seine Arbeitnehmer oder andere Hilfspersonen in Ausübung ihrer dienstlichen oder geschäftlichen Verrichtungen verursacht haben. Der Geschäftsherr kann die Haftung abwenden, wenn er nachweist, dass er alle nach den Umständen gebotene Sorgfalt angewendet hat, um einen Schaden dieser Art zu verhüten, oder dass der Schaden auch bei Anwendung dieser Sorgfalt eingetreten wäre. Selbst im Falle einer Sorgfaltswidrigkeit entfällt die Haftung somit, wenn die durch den Geschäftsherrn nicht verhütete objektive Mangelhaftigkeit für die Entstehung des Schadens irrelevant ist. Besteht zwischen Geschäftsherrn und Geschädigtem ein Schuldverhältnis, so muss der Geschäftsherr gemäß Art 101 Abs 1 OR für jenen Schaden haften, den seine Hilfspersonen, Hausgenossen oder Arbeitnehmer verur-

---

<sup>26</sup> *Canaris*, Bankvertragsrecht\_, Rz 367.

sacht haben, soweit er sich dieser Personen zur Erfüllung einer Verpflichtung bedient hat. Inwieweit in diesem Fall ein Verschulden von Gehilfen oder Geschäftsherrn erforderlich ist, ist umstritten<sup>27</sup>.

In einem sehr engen Rahmen sieht auch das schweizerische Recht eine verschuldensunabhängige Haftung (sogenannte Kausalhaftung) vor. Die Haftung wird in diesen Fällen durch eine besondere Beziehung des Haftpflichtigen zum Tatbestand begründet. Zu nennen sind z.B. das Halterverhältnis bei Tieren und Motor- und Luftfahrzeugen, die Stellung als Inhaber eines Betriebes oder die Stellung als Werkeigentümer<sup>28</sup>.

In einem Vorentwurf zur Revision des Haftpflichtrechts ist die Einführung einer verschuldensunabhängigen allgemeinen Gefährdungshaftung vorgesehen. Verwirklicht sich das charakteristische Risiko einer besonders gefährlichen Tätigkeit, so soll dafür die Person, die diese betreibt haften, selbst wenn es sich um eine von der Rechtsordnung geduldete Tätigkeit handelt. Diese Generalklausel soll als allgemeine Auffangbestimmung der Haftung aus Gefahr dienen und mögliche Haftungslücken ausschließen<sup>29</sup>. Im Obligationenrecht selbst werden ebenfalls zwei Fälle der Haftung für „Sachen“ geregelt. Gemäß Art 56 OR haftet der Halter eines Tieres für den von diesem angerichteten Schaden. Die Haftung kann abgewendet werden, wenn der Tierhalter nachweist, dass er alle nach den Umständen gebotene Sorgfalt in der Verwahrung und Beaufsichtigung angewendet hat, oder dass der Schaden auch bei Anwendung dieser Sorgfalt eingetreten wäre<sup>30</sup>. Ein weiterer Anwendungsfall findet sich in Art 58 OR, nach dem der Eigentümer eines Gebäudes oder eines andern Werkes jenen Schaden zu ersetzen hat, den diese infolge von fehlerhafter Anlage der Herstellung oder von mangelhafter Unterhaltung verursachen. Unter einem Werk iSd Art 58 versteht man stabile, mit der Erde direkt oder indirekt verbundene, künstlich hergestellte oder angeordnete Gegenstände<sup>31</sup>. So sind etwa ein Dampfkessel, eine Telephonstange und eine Wasserleitung als Werk iSd Art 58 OR anzusehen. Im Unterschied zu Art 55 und 56

<sup>27</sup> OR-*Wiegand* Art 101 OR Rz 11.

<sup>28</sup> OR-*Schnyder* Art 41 OR Rz 53; *Keller/Syz*, Haftpflichtrecht (1990) 65 f.

<sup>29</sup> Bericht Studienkommission, 61.

<sup>30</sup> Vgl dazu die idente Regelung bei der Gehilfenhaftung des Art 55 OR.

<sup>31</sup> BK-*Brehm* Art 58 N 26 ff; OR-*Schnyder* Art 58 OR Rz 12.

steht dem Werkeigentümer nicht der Entlastungsnachweis offen, er habe die nötige Sorgfalt im Zusammenhang mit der Werkerstellung und Werkunterhaltung aufgewendet<sup>32</sup>. Die Haftung entfällt jedoch, wenn nach den allgemeinen Grundsätzen der Kausalzusammenhang unterbrochen ist<sup>33</sup>.

Fraglich ist, inwieweit die oben genannten Tatbestände auch auf Roboter zumindest analog zur Anwendung gebracht werden können. Nach hM wird eine analoge Anwendung des Art 101 OR auf Maschinen und Apparate abgelehnt<sup>34</sup>. Demgegenüber vertritt *Spiro*<sup>35</sup> eine analoge Anwendung des Art 101 OR auf jene Fälle, in denen der Gläubiger Schäden erleidet, weil Maschinen oder Apparate des Schuldners ihre Aufgabe nicht richtig erfüllen. Die Haftung soll immer dann eintreten, wenn der Schaden auf eine Störung des Apparates zurückgeht, Abnützungserscheinungen oder Unvollkommenheiten der Maschine bestehen, die auch mit aller Sorgfalt weder zu entdecken noch zu vermeiden waren, oder die zu verhindern oder zu beseitigen ganz unsinnige Kosten gefordert hätte und deretwegen auf ihren Gebrauch zu verzichten unvernünftig und darum unzumutbar wäre. Fehlleistungen dieser Art sind nach *Spiro* durchaus dem unerwarteten menschlichen Versagen vergleichbar.

Eine analoge Anwendung der Kausalhaftung wird im Rahmen des derzeit geltenden Rechtes abgelehnt. In diesem Zusammenhang kann auf das im Deutschland- und Österreich-Teil referierte Schrifttum verwiesen werden.

#### 2.4. *Französisches Recht*

Neben der Haftung für eigenes Fehlverhalten sieht der französische Code civil auch eine Haftung für andere Personen und eine sehr weite Haftung für Sachen vor.

In diesem Sinne bestimmt der französische Code civil in Art 1384 Abs 1, dass man zum Ersatz des Schadens verpflichtet ist »qui est cause par le

<sup>32</sup> BGE 91 II 212.

<sup>33</sup> BGE 108 II 54; 116 II 427; *Merz*, ZBJV 1992, 206 f.

<sup>34</sup> *Gauch/Schluemp*, Schweizerisches Obligationenrecht, Allg Teil<sup>6</sup> Nr 2900; OR-*Wiegand* Art 101 OR Rz 9.

<sup>35</sup> *Spiro*, Erfüllungsgehilfen, 209 ff.

fait des personnes dont on doit repondre«. Für welche Personen man einzustehen hat, wird in den folgenden Absätzen des Art 1384 beschrieben. Unter anderem ist auch die Haftung des Geschäftsherrn für seinen Verrichtungsgehilfe (prepose) normiert. Eine Haftung des Geschäftsherrn wird gemäß Art 1384 Abs 5 statuiert, wenn der Verrichtungsgehilfe in Ausübung der ihm übertragenen Funktionen einen Dritten geschädigt hat. Haftungsvoraussetzung für den Geschäftsherrn ist lediglich, dass der Schädiger sein Gehilfe ist, dass er den Schaden in Ausübung seiner Verrichtung verursacht hat und dass auch der Gehilfe dem Geschädigten wegen einer unerlaubten Handlung gemäß Art 1382 ff CC ersatzpflichtig wäre. Die letztgenannte Tatbestandsvoraussetzung ist nicht erforderlich, wenn der Geschäftsherr selbst die Deliktsunfähigkeit bei der Anstellung oder Überwachung des Gehilfen erkannt hat oder hätte erkennen müssen<sup>36</sup>. Den Beweis für das Verschulden des Gehilfen hat der Geschädigte zu erbringen. Eine Entlastung durch Nachweis der Tatsache, dass er den Gehilfen sorgfältig ausgewählt und überwacht habe, ist nach Art 1384 CC nicht vorgesehen. Eigene Haftungstatbestände bestehen für die Haftung der Eltern für ihre minderjährigen Kinder und der Lehrer und Lehrherren für die ihnen zur Ausbildung anvertrauten Personen, soweit sie nicht den Nachweis ihrer Sorgfältigkeit erbringen können. Aus Art 1384 Abs 1 CC wurde darüber hinaus entsprechend der Haftung für Sachen auch eine allgemeine Haftung für Personen entwickelt<sup>37 38</sup>.

Im Bereich der Haftung für Sachen geht die französische Rechtsordnung im Unterschied zu den Rechtsordnungen des germanischen Rechtskreises von einer rein verschuldensunabhängigen Haftung aus<sup>39</sup>. Weiters ist zu bemerken, dass diese französische Haftung für Sachen (Gardien) einen sehr weiten Anwendungsbereich hat und als Generalklausel verstanden

<sup>36</sup> Civ. 15. 3. 1956, J.C.R 1956. II.9297.

<sup>37</sup> So etwa die Haftung eines Pflegeheims für geistig Behinderte, dessen Zögling einen Wald in Brand gesetzt hatte, ohne dass eine Nachlässigkeit der Heimleitung oder ihres Aufsichtspersonals festgestellt werden musste (*Ferrand*, ZEuP 1993, 132).

<sup>38</sup> *Jourdain*, Rev.trim.dr.civ. 90 (1991) 39, 541-544; *Ferrand*, ZEuP 1993, 132-140. Dies führt jedoch zu schwierigen Wertungskonflikte. So wird wie oben angedeutet eine Anstalt für ihre Heiminsassen objektiv haftbar, während z.B. Eltern für die von ihren Kindern begangenen Delikte nur aus widerleglich vermutetem Aufsichtsversagen eintreten müssen.

<sup>39</sup> Selbst Kleinkinder können nach französischem Recht unter diesem Konzept haftbar gemacht werden (*Gabillet*, Cass.Ass.ple´n. 9. 5. 1984, D 1984 Jur 529 (3e`me espe`ce)

wird. Ausgangspunkt dieser allgemeinen Sachhaftung ist Art 1384 Abs 1 CC, der ursprünglich überhaupt keinen Anspruchsgrundlagencharakter hatte. Die Verfasser des Code civil wollten mit Art 1384 Abs 1 lediglich einen Übergang zwischen der Haftung für eigenes Fehlverhalten (Art 1382 und 1383 CC) und der in den weiteren Absätzen des Art 1384 beziehungsweise in den Art. 1385 und 1386 CC geregelten Haftung für Personen und Sachen schaffen. Erst die Rechtsprechung hat durch eine Kette von gleichgelagerten Entscheidungen<sup>40</sup> den Charakter des Art 1384 Abs 1 CC als Tatbestand einer allgemeinen Sachhaftung herausgebildet. Gestützt auf diese Entscheidungen sieht das französische Recht somit eine allgemeine Haftung des „Halters“ einer Sache vor, die weder durch den Nachweis fehlenden Verschuldens noch dadurch entfällt, dass die eigentliche Schadensursache unaufgeklärt bleibt. Die Haftung wird nur in jenen Fällen verneint, in denen der Nachweis höherer Gewalt, Zufall oder eines sonstigen, den Zurechnungszusammenhang unterbrechenden Umstandes gelingt. Unter Zufall oder höherer Gewalt versteht die Rechtsprechung ein Ereignis, das seine Ursache außerhalb der schadenstiftenden Sache hat, sowie unvorhersehbar ist und die damit verbundenen Folgen unabwendbar sind<sup>41</sup>. Dies bedeutet, dass ein verborgener Mangel der Sache – etwa ein Material- oder Konstruktionsfehler – auch dann nicht zur Haftungsbefreiung führt, wenn nachgewiesen wird, dass die Entdeckung und Beseitigung des Mangels dem Sachhalter objektiv unmöglich war.

Prüft man die Haftungsvoraussetzungen des Art 1384 genauer, so ist zunächst erforderlich, dass der Schaden durch eine Sache verursacht ist. Darunter ist jeder körperliche Gegenstand zu verstehen. Der Aggregatzustand ist nicht erheblich. In diesem Sinne kommen als Sachen auch flüssige, gasförmige und radioaktive Stoffe in Betracht, die einen Schaden verursachen. Nicht erforderlich für die Begründung der Haftung ist es auch, ob die Sache infolge einer Bewegung den Schaden verursacht hat. Die französische Rechtsprechung hat daher nicht nur Kraftfahrzeuge, Eisenbahnen, Schiffe und Fahrstühle, sondern z.B. auch einen aus einem

<sup>40</sup> Cass.civ.16. 6. 1896, D. P 1897, 1, 433; Cass.civ. 3. 3. 1936, D 1936 Jur 81 und Cass.ch.re´unies 2.12. 1941, DC 1942, 25.

<sup>41</sup> Civ 2. 7. 1946, D. 1946, 392.

Brett hervorstehenden Nagel oder eine offengelassene Falltür als Sachen iSd Art 1384 Abs 1 CC angesehen<sup>42</sup>. Weiters ist für die Haftung auch nicht erforderlich, dass die Sache auf Grund ihrer Beschaffenheit besonders gefährlich ist oder gefährlich werden kann. Die Haftung nach Art 1384 Abs 1 CC ist jedoch in der Weise eingeschränkt, als Sachen die sich an ihrem ordnungsmäßigen Platz oder in ordnungsmäßigem Zustand befinden nicht zu einer Haftung führen können, da der Schaden durch ein „Verhalten“ der Sache verursacht sein muss. Mit dieser Einschränkung hat die französische Rechtsprechung im Falle eines Straßenverkehrsunfalles die Haftung für ein ordnungsgemäß geparktes KFZ verneint. Entsprechend dieser Rechtsprechung wurde auch eine Haftung verneint, wenn die Sache für die Schadensentstehung nur eine rein passive Rolle gespielt hat<sup>43</sup>. Die Haftung aus Art 1384 Abs 1 ist auch dann ausgeschlossen beziehungsweise wird gemindert, wenn das Schadensereignis auf einem schuldhaften Verhalten des Geschädigten beruht.

Diese allgemeine Sachhaftung ist vom jeweiligen Halter der Sache zu tragen. Als Halter gilt derjenige, der nach den Umständen des Falles Gebrauch, Leitung und Aufsicht, somit die Verfügungsgewalt über die Sache hat.

In Art 1386 CC ist ein Spezialtatbestand für Gebäude normiert, der eine Haftung nur dann vorsieht, wenn dem Gebäudeeigentümer nachgewiesen wird, dass der Schaden infolge eines bei der Konstruktion oder der Instandhaltung des Gebäudes unterlaufenen objektiven Fehlers eingetreten ist. Aus der Tatsache, dass die Gebäudehaftung, somit verschuldensabhängig, die Generalklausel des Art 1384 Abs 1 hingegen als verschuldensunabhängig verstanden wird, führt zu dem wertungswidrigen Phänomen, dass die Gebäudehaftung heute wesentlich schwächer ausgebildet ist als die Mobilienhaftung aus Art 1384 Abs 1 CC. Eine bereinigende Anpassung des allgemeinen Haftungstatbestandes schiene dringend erforderlich. Besondere Bestimmungen bestehen auch für den Inhaber einer

<sup>42</sup> Civ 14. 5. 1956, J.C.R 1956. 11. 9446.

<sup>43</sup> Zum Beispiel, wenn ein Ohnmächtiger sich durch Sturz auf einen Heizkörper, eine Treppe, oder einen Marmorfußboden verletzt (Civ. 19. 2. 1941, S. 1941. 1. 49; Civ. 18. 7. 1939, Gaz.Pal. 1940. 1. 54; Req. 28. 7. 1941, S. 1941. 1. 206).

Drahtseilbahn (seit 1941), für den Halter eines Luftfahrzeugs hinsichtlich der auf der Erdoberfläche angerichteten Schäden (seit 1955) und für den Unternehmer einer Kernenergieanlage. Zusätzlich ist in Art 1385 CC auch eine verschuldensunabhängige Tierhalterhaftung normiert. Ein besonderes Kuriosum besteht im Falle von Feuerschäden. Diesfalls wurde durch sondergesetzliche Bestimmungen die reine Verschuldenshaftung wieder eingeführt. Der Geschädigte muss beweisen, dass das auf dem Grundstück entstandene Feuer auf Verschulden des Beklagten zurückzuführen ist.

Bezogen auf die hier interessierende Haftung für Roboter kann für das französische Recht somit festgehalten werden, dass der Halter des Roboters für jeden durch den Roboter verursachten Schaden verschuldensunabhängig einzustehen hat, soweit dieser nicht bloß passiv am schadensstiftenden Geschehen beteiligt war.

## 2.5. *Englisches Recht*

Auch im englischen Recht ist neben der Verschuldenshaftung für eigenes Fehlverhalten eine Haftung für andere Personen und Sachen vorgesehen.

Die Haftung für andere Personen ist nach dem englischen Recht an die folgenden Voraussetzungen gebunden. Die andere Person muss ein Gehilfe (servant) des Geschäftsherrn sein. Der Schaden muss durch eine unerlaubte Handlung des Gehilfen herbeigeführt werden<sup>44</sup>, und der Schaden muss in Ausübung der diesem übertragenen Verrichtung (in the course of his employment) entstehen. Dabei ist wie nach deutschem Recht erforderlich, dass ein innerer Zusammenhang zwischen der dem servant übertragenen Verrichtung und der schadenstiftenden Handlung besteht. Ein Verschulden des Geschäftsherrn (master) ist wie im französischen Recht nicht erforderlich. Für selbständige Unternehmer ist eine Haftung an den Auftraggeber im Prinzip nicht vorgesehen, soweit dieser nicht seine Kontrollpflichten verletzt hat. Eine Ausnahme besteht nur in jenen Fällen, in denen der Unternehmer zur Erfüllung einer schuldvertraglichen Ver-

<sup>44</sup> Liability for the *torts* of his servant.

pflichtung gegen den Geschädigten tätig geworden ist<sup>45</sup>. Diesfalls muss sich der Auftraggeber das Verschulden des Unternehmers zurechnen lassen.

Im Gegensatz zum französischen Recht kennt das englische Recht nur in sehr wenigen Fällen eine verschuldensunabhängige Haftung für Sachen. Umfasst sind etwa die durch gesetzliche Bestimmungen eingeführte Haftung des Luftfahrzeughalters für die auf der Erdoberfläche verursachten Schäden (Civil Aviation Act 1949), des Herstellers oder Verwenders von Atomenergie (Nuclear Installations Act 1965), sowie des Tierhalters (Animals Act 1971). Alle drei genannten Haftungstatbestände führen zu einer verschuldensunabhängigen Haftung. Auffällig ist, dass es keine Haftungs-sonderbestimmungen für von Kraftfahrzeugen verursachte Schäden gibt. In Ermangelung einer allgemeinen Sachhaftungsregel haftet man bei Verkehrsunfällen somit nur im Rahmen der normalen Verschuldenshaftung. Die englischen Gerichte sind aber bemüht, ähnliche Ergebnisse wie bei der Gefährdungshaftung zu erzielen, indem man die Sorgfaltsanforderungen sehr hoch ansetzt<sup>46</sup>. Ergänzend wurde im Jahre 1930 eine gesetzliche Haftpflichtversicherung eingeführt. Zusätzlich zu den in Sondergesetzen normierten Haftungstatbeständen hat die Rechtsprechung eine eigene Haftung für bestimmte Sachen herausgebildet. Ausgangspunkt war die Entscheidung *Rylands v. Fletcher*<sup>47</sup>, nach der ein durch Entweichen von Wasser verursachter Schaden auch ohne Verschulden zu ersetzen ist. Darauf aufbauend wurde auch eine Haftung für Entweichen von Gas oder Elektrizität in großen Mengen sowie für das bei Rohrleitungsbrüchen austretende Wasser oder Gas<sup>48</sup> bejaht. Ebenso wurden Schäden, die durch Sprengungen in einem Steinbruch oder durch die Explosion in einer Sprengstoff-Fabrik<sup>49</sup> entstehen, einer Haftung unterworfen. Fasst man die in den genannten Entscheidungen angeführten

<sup>45</sup> Eine weitere Ausnahme betrifft Aushubarbeiten auf Grundstücken sowie andere gefährliche Tätigkeiten, die man durch selbständige Unternehmer vornehmen lässt (*Honeywill and Stein Ltd. v. Larkin Brothers Ltd.* [1934] 1 K.B. 191, Restatement of the Law of Torts 2d (1965) §§ 416, 427).

<sup>46</sup> So wurde jemand als fahrlässig angesehen, weil ihm ein für nicht Nichtspezialisten unentdeckbarer Materialfehler in der Bremsanlage seines Fahrzeuges verborgen geblieben war (*Henderson v. JenEins & Sons* [1970] A.C. 282).

<sup>47</sup> *Rylands v. Fletcher* (1868) L.R. 3 H.L. 330

<sup>48</sup> *Northwestern Utilities, Ltd. v. London Guarantee and Accident Co.* [1936] A.C. 108.

<sup>49</sup> *Rainham Chemical Works, Ltd. v. Belvedere Fish Guano Co.* [1921] 2 A.C. 465.

Argumente zusammen, so ist eine Ersatzpflicht nur dann gegeben, wenn das Verbringen der schadenstiftenden Sache auf das Grundstück des Schädigers als eine nicht-natürliche Nutzung des Grundstücks (non-natural use of the land) anzusehen ist. Die Haftung besteht somit nicht, wenn z.B. Wasser oder Gas aus einer gewöhnlichen Haushaltsleitung entweicht oder wenn durch einen Defekt in den elektrischen Leitungen eines Wohn- und Geschäftshauses ein Schaden verursacht wird. Weiters ist es für diese Haftung erforderlich, dass der Schaden durch ein Entweichen (escape) der Sache verursacht sein muss. Der Schaden muss daher außerhalb des Grundstücks auf dem die Sache gelagert war, entstehen<sup>50</sup>. Die aus *Rylands v. Fletcher* entwickelte Haftung für Sachen ist an die weitere Voraussetzung gebunden, dass der Beklagte vorhergesehen hat oder vernünftigerweise hätte vorhersehen können, dass die auf seinem Grundstück befindlichen Sachen bei Entweichen Schäden hervorrufen könnten, wie sie der Kläger tatsächlich erlitten hat<sup>51</sup>.

Eine zur Revision des Haftungsrechts eingesetzte Royal Commission hat vorgeschlagen, für gefährliche Sachen sowie für Sachen, die zwar normalerweise sicher sind, aber in seltenen Fällen zu ungewöhnlich schweren und ausgedehnten Schäden führen, eine neue verschuldensunabhängige Haftung zu etablieren. Mit einer Umsetzung dieser Reformvorschläge ist jedoch in nächster Zeit nicht zu rechnen.

Für die gegenständliche Frage der Haftung für Roboter bedeutet dies, dass lediglich eine Verschuldenshaftung für eigene Fehlleistung in Betracht kommt.

### **3. Produkthaftung**

Die Produkthaftung ist in allen Vergleichsrechtsordnungen annähernd einheitlich geregelt. Sie beruht auf einer Richtlinie der Europäischen Gemeinschaften, die von den einzelnen Mitgliedstaaten umgesetzt wurde.

---

<sup>50</sup> Der Schaden eines Arbeitnehmers, der durch eine Explosion am Werksgelände einer Munitionsfabrik eintritt, ist somit von der Haftung nicht umfasst (*Read v.J Lyons & Co.Ltd.* [1947] A.C.156).

<sup>51</sup> *Cambridge Water Co.Ltd. v. Eastern Counties Leather Plc* [1994] 1 All E R.53.

Unter Produkthaftung versteht man die schadenersatzrechtliche Verantwortlichkeit des Herstellers<sup>52</sup> für sein Erzeugnis. Unter einem Produkt ist der Produkthaftungsrichtlinie versteht man jede bewegliche körperliche Sache, auch wenn sie Teil einer anderen beweglichen Sache oder mit einer unbeweglichen Sache verbunden ist<sup>53</sup>.

Die Produkthaftung ist verschuldensunabhängig gestaltet und kann sowohl vom Abnehmer des Produktes als auch von Dritten in Anspruch genommen werden<sup>54</sup>. Voraussetzung für die Geltendmachung der Produkthaftung ist es, dass die Schäden durch Fehler verursacht werden, die das Produkt bereits im Zeitpunkt des Inverkehrbringens durch den Erzeuger hatte. Ein Produkt gilt als fehlerhaft, wenn es nicht jene Sicherheit bietet, die man unter Berücksichtigung aller Umstände zu erwarten berechtigt ist. Die für die Beurteilung maßgeblichen Erwartungen orientieren sich primär an der Darbietung der Sache und dem Gebrauch, mit dem billigerweise gerechnet werden kann. Umfasst sind somit z.B. Konstruktionsfehler, Produktionsfehler und Instruktionsfehler. Umstritten ist in der Literatur<sup>55</sup>, ob auch für die Unwirksamkeit eines Erzeugnisses Produkthaftung zu gewähren ist. Die Produkthaftung ist auch insoweit eingeschränkt, als Schäden von Unternehmern nicht nach der Produkthaftung zu ersetzen sind, wenn die in Verkehr gebrachte Sache überwiegend im Unternehmen verwendet wird. Die Produkthaftung kann durch den Nachweis ausgeschlossen werden, dass die Eigenschaften des Produktes nach dem Stand der Wissenschaft und Technik zur Zeit des Inverkehrbringens nicht als Fehler erkannt werden konnten<sup>56</sup>.

Die Haftung wird durch das Inverkehrbringen der Sache ausgelöst. Ein Produkt ist in den Verkehr gebracht, sobald es der Unternehmer, gleich

---

<sup>52</sup> An die Stelle der Haftung des Produzenten oder Importeurs kann allerdings eine Schadenersatzpflicht des Händlers (Lieferanten) treten, wenn der Hersteller oder Importeur nicht feststellbar ist und er die „Benennungspflicht“ verletzt.

<sup>53</sup> Nicht umfasst sind land- und forstwirtschaftliche Naturprodukte und Wild, soweit dies nicht verarbeitet oder gentechnisch verändert wurde.

<sup>54</sup> *Kötz*, Ist die Produkthaftung eine vom Verschulden unabhängige Haftung? In *Lorenz-FS* (1991) 109.

<sup>55</sup> *Welser*, PHG, Rz 20 zu § 5, *Taschner*, Produkthaftung Rz 29 f zu Art 6; *Sack*, Probleme des Produkthaftungsgesetzes unter Berücksichtigung der Produkthaftungs-Richtlinie der EG, JBI 1989, 615; *P. Bydlinski*, ZVR 1989, 34.

<sup>56</sup> Es besteht somit keine Haftung für das „Entwicklungsrisiko“ (*Taschner*, Produkthaftung, Rz 36ff zu Art 7; *Sack*, Probleme des Produkthaftungsgesetzes unter Berücksichtigung der Produkthaftungs-Richtlinie der EG, JBI 1989, 695).

auf Grund welchen Titels, einer anderen Person in dessen Verfügungsmacht oder zu dessen Gebrauch übergeben hat<sup>57</sup>.

Die Produkthaftung deckt Personen- und Sachschäden. Letztere werden aber nur soweit ersetzt, als sie an vom Produkt verschiedenen körperlichen Sachen eintreten. Sie umfasst somit nicht den Schaden der Mangelhaftigkeit selbst, sondern lediglich die Haftung für sogenannte „Folgeschäden“ an sonstigen Rechtsgütern wie Leben, Gesundheit und Eigentum. Der Ersatz von Vermögensschäden ist jedenfalls ausgeschlossen. Umstritten ist, ob auch aus der Beschädigung körperlicher Sachen resultierende weitere Schäden des Sacheigentümers zu ersetzen sind. Im Falle der Sachschäden besteht ein Selbstbehalt pro Schadensfall. Der Selbstbehalt kann aber durch Geltendmachung konkurrierender Ansprüche hereingebracht werden.

Zur gegenständlichen Frage, ob die Produkthaftung auch auf Roboter Anwendung findet, liegt noch keine einschlägige Rechtsprechung vor. Es erscheint daher ratsam, zunächst die vergleichbaren Fälle im Computerbereich als Grundlage heranzuziehen. Ähnlich wie bei den PCs ist auch die Funktion des Roboters von der Installierung eines Programmes abhängig. Es stellt sich daher die grundsätzliche Frage, ob Hard- und Software als „Produkt“ iSd der Richtlinie anzusehen sind. Dabei erscheint insbesondere die Subsumtion der Software unter die gesetzliche Definition „bewegliche körperliche Sache“ als problematisch, während sich die Hardware ohne Schwierigkeiten als „Produkt“ identifizieren lässt. Nach heute hM<sup>58</sup> ist neben der Hardware auch die Standard-Software als Produkt anzusehen, soweit sie in Hardware „integriert“ ist oder die in der Software gespeicherten Informationen direkt zu Zerstörungen oder Beschädigungen von geschützten Gütern führen. Führt der Funktionsausfall oder die Funktionsbeeinträchtigung zur Beschädigung einer vom Produkt verschiedenen körperlichen Sache oder zu Personenschäden, so kann dieser Schaden im Wege der Produkthaftung geltend gemacht werden,

<sup>57</sup> Werktorprinzip.

<sup>58</sup> Für Österreich: *Andreewitch*, Zur Anwendbarkeit des Produkthaftungsgesetzes für Softwarefehler, EDVuR 1990, 50; *Welser*, PHG, Rz 4 zu § 4; *Schwimann/Posch*, ABGB\_ VIII, § 4 PHG Rz 10; *Welser/Vcelouch*, ecolx 1998, 829 ff; aA *Gruber*, Computerviren und Schadenersatz, EDV&Recht 1990, 122.

soweit der Fehler bereits im Zeitpunkt des Inverkehrbringens bestand. Für Fehler, die aufgrund mangelhafter Wartung entstehen, ist die Produkthaftung somit nicht heranzuziehen. Dieses Ergebnis muss aufgrund identer Voraussetzungen auch für Roboter gelten.

Versteht man die Standardsoftware als Teil einer die Hardware miteinschließenden „Gesamtsache“, so kann in der Zerstörung von Dateien auf dem fraglichen Rechner keine Beschädigung an einer anderen körperlichen Sache gesehen werden.

#### **IV. Modellvergleich**

Betrachtet man die funktionalen Ergebnisse in den verschiedenen Rechtsordnungen, so ist zunächst festzustellen, dass jede der verglichenen Rechtsordnungen eine Haftung für andere Personen kennt. Unterschiede bestehen jedoch sowohl in den Haftungsvoraussetzungen als auch im Differenzierungsgrad der Haftungstatbestände. So kann sich beispielsweise bei der Gehilfenhaftung der Geschäftsherr im deutschen und schweizerischen Recht durch Nachweis seiner Sorgfalt entlasten, während dies im französischen und englischen Recht nicht möglich ist. Das deutsche, österreichische und schweizerische Recht lehnt eine Entlastung des Geschäftsherrn jedoch ab, wenn der Gehilfe in Erfüllung einer Verbindlichkeit gegenüber dem Geschädigten eingesetzt wurde. Obgleich das englische Recht eine Entlastung des Geschäftsherrn generell ablehnt, findet sich die genannte Differenzierung dennoch auch im englischen Recht. Sie gilt als Haftungsvoraussetzung, dass der Geschäftsherr auch für selbständige Unternehmer als Gehilfen einzustehen hat.

Im Bereich der Haftung für Sachen bestehen noch gravierendere Abweichungen zwischen den Vergleichsrechtsordnungen. So reduziert sich die Haftung für Sachen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und in England auf bestimmte Fälle der Gefährdungshaftung, während in Frankreich auch eine von der Gefährlichkeit abstrahierte Haftung für Sachen besteht. Völlig uneinheitlich und auch in den einzelnen Rechtsordnungen unsystematisch erlauben die einzelnen Tatbestände der Gefährdungshaftung eine Entlastung des Sachhalters oder nicht. So steht einem Gebäudehalter nach österreichischem, deutschem, französischem und englischem

Recht eine Entlastung durch Nachweis seiner Sorgfalt zu, während gerade das bei der Haftung für Sachen kritische schweizerische Recht diesen Entlastungsbeweis nicht zulässt.

Lässt man die rechtssystematische Unterscheidung zwischen Gefährdungshaftung und reiner Haftung für die Sache bei Seite, so wird erkennbar, dass die einzelnen Vergleichsrechtsordnungen zumindest bei gefährlichen Sachen trotz unterschiedlichen Instrumentariums funktional zu beinahe identen Ergebnissen gelangen. So wird die Wirkung der im französischen Recht vertretenen allgemeinen Haftung für Sachen in Deutschland, Österreich und England entweder durch eine Gefährdungshaftung oder durch eine Anhebung des Sorgfaltsmaßstabes in Verbindung mit einer Beweislastumkehr annähernd erreicht. Aus dem Blickwinkel des Rechtssystems wird somit die französische Sachhaftung durch eine Gefährdungshaftung beziehungsweise eine verschärfte Verschuldenshaftung für eigene Fehlleistungen substituiert. Gerade dieses Beispiel veranschaulicht sehr schön, dass ein auf identen sozialen Gegebenheiten beruhender Regelungsbedarf durch sehr unterschiedliche Regelungsmechanismen im Rechtssystem befriedigt werden kann. Die unterschiedlichen Lösungsvarianten legen die wirtschaftlichen Hintergründe offen. Schützt man den potentiell Gefährdeten nicht durch eine vom Verschulden losgelöste Sachhaftung, so muss der Schutz durch erhöhte Sorgfaltsanforderungen erreicht werden. Eine deutliche Anhebung der Kontroll- und Wartungspflichten könnte aber dazu führen, dass die Umstellung von menschlichen Hilfskräften auf Roboter nicht mehr wirtschaftlich wäre. Im Interesse an einer möglichst billigen Produktion und Nutzung, an der sowohl der Unternehmer beziehungsweise Nutzer als auch die Abnehmer beziehungsweise Gefährdeten (durch eine Preisreduktion) profitieren, erscheint das Modell der Sachhaftung überlegen, da diesfalls keine übersteigerten Schutzpflichten unterstellt werden müssen, die zu einer Verteuerung der Produktion führen. Dennoch wird der potentiell Gefährdete im Falle eines Schadens ausreichend geschützt.

Konkret zur Frage der verschuldensunabhängigen Haftung für Roboter hat die Untersuchung ergeben, dass diese lediglich im französischen Recht gegeben ist. Ernsthaftige Ansätze zu einer vergleichbaren Haftung

sind auch dem deutschen, schweizerischen und österreichischen Schrifttum zu entnehmen, wobei die dabei ins Treffen geführten Argumente (insbesondere die Analogie zur Gehilfenhaftung) gleichermaßen auch in England verwendbar wären.