

Einführung in Mensch-Computer-Interaktion

Prof. Dr. Gabriele Peters

Lehrgebiet Mensch-Computer-Interaktion

FernUniversität in Hagen

Sommersemester 2021

Vorwort

Es freut uns, Sie als Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Kurses *01697 - Einführung in Mensch-Computer-Interaktion* begrüßen zu dürfen. Dieser Kurs wird Ihnen die grundlegenden Konzepte und Techniken des Gebietes Mensch-Computer-Interaktion (MCI) vermitteln.

Kurseinheit 1 liefert Ihnen zunächst eine Übersicht über die historische Entwicklung dieses Teilgebiets der Informatik. Im Anschluss daran wird die MCI in den heutigen Kontext eingeordnet, und es werden die wesentlichen Grundbegriffe des Gebietes definiert. Anhand einer ersten, beispielhaft durchgeführten Analyse eines einfachen, interaktiven Systems werden weitergehende, zentrale Ideen der MCI entwickelt und aufgezeigt. Die Kurseinheit schließt mit einer Betrachtung, auf welche Weise und auf welchen Ebenen die Gestaltung eines interaktiven Systems stattfindet. Diese Betrachtung liefert den Rahmen für die nachfolgenden Kurseinheiten, die sich den verschiedenen Gestaltungsebenen im Detail zuwenden.

Kurseinheit 2 widmet sich ausführlich den verschiedenen, physischen Schnittstellen zwischen Mensch und Computer und geht auf ihre jeweiligen Limitationen und Fähigkeiten ein. Im Zuge dessen werden darüber hinaus die bereits in Kurseinheit 1 vermittelten Konzepte weiter vertieft und anhand weiterer Beispiele illustriert. Zum Abschluss der Kurseinheit wird die Problematik der Auswahl von Schnittstellen für ein interaktives System untersucht.

Die nächsten beiden Kurseinheiten befassen sich mit der Wahrnehmung, Darstellung und Gestaltung von Information im Kontext der Interaktion. Als Basis für das Verständnis und den Einsatz der entsprechenden Gestaltungsmittel werden die Grundlagen der Wahrnehmung und die Verarbeitung von Sinnesindrücken am Beispiel des Sehsinns in Kurseinheit 3 ausführlich behandelt. Anschließend werden in Kurseinheit 4 detailliert eine große Zahl an nützlichen und wichtigen wahrnehmungspsychologischen Phänomenen vorgestellt und im Kontext der Gestaltung interaktiver Systeme betrachtet.

Während sich die Kurseinheiten 2 bis 4 mit verschiedenen, jeweils separat betrachteten Elementen eines interaktiven Systems beschäftigen, wenden sich die abschließenden drei Kurseinheiten schließlich der Komposition vollständiger interaktiver Systeme zu. Kurseinheit 5 behandelt den Entwurfsprozess für interaktive Systeme. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erstellung der Anforderungsanalyse und den hierfür notwendigen Datenerfassungsmethoden. Darüber hinaus wird die Verwendung von Prototypen im Kontext der Anforderungsanalyse vorgestellt. Die Kurseinheit schließt mit einer Übersicht über verschiedene Techniken für die (formale) Konzeption interaktiver Systeme.

Kurseinheit 6 behandelt die Implementierung interaktiver Systeme. Beginnend mit einer kurzen Vorstellung des Pflichtenheftes als Hilfsmittel für den innerbetrieblichen Entwicklungsprozess konzentriert sich die Kurseinheit auf die Elemente einer GUI und deren Konzepte. Dabei wird eine Vielzahl unterschiedlicher Gestaltungselemente einer GUI vorgestellt und verschiedene Mechanismen der Kommunikation zwischen einer Anwendung und den Elementen der GUI eingeführt. Die Kurseinheit endet mit einer Einführung in deklarative Sprachen, die die Entwicklung interaktiver Systeme durch die Trennung von grafischer Gestaltung und Implementierung unterstützen.

Kurseinheit 7 behandelt schließlich die Evaluation interaktiver Systeme. Ausgehend von einer Begriffsklärung werden zunächst die Ziele der Evaluation interaktiver Systeme vorgestellt und die statistischen Grundlagen gelegt, die für die Durchführung einer Evaluation benötigt werden. Im Anschluss wird eine Vielzahl verschiedener Evaluationsmethoden für die Evaluation vorgestellt. Die Kurseinheit endet mit einer Reflektion darüber, wie die vorgestellten Methoden eingeordnet und in Relation zueinander gesetzt werden können, um die Auswahl einer geeigneten Methode für ein konkretes Projekt zu erleichtern.

Sollten Sie nach der Bearbeitung dieses Kurses nicht nur das Gefühl haben, Kenntnisse im Rahmen Ihres Informatikstudiums erworben zu haben, sondern auch eine Idee von der Faszination erhalten haben, die dieses noch relativ junge Teilgebiet der Informatik auf uns ausübt, so liegt dies durchaus in unserer Absicht. Vielleicht ermöglicht die interdisziplinäre Herangehensweise an das Thema Mensch-Computer-Interaktion, die Gebiete wie Psychologie, Physiologie oder Designwissenschaft berührt, sogar bei Leserinnen und Lesern benachbarter Grundlagen- und Anwendungsbereiche Interesse an Themen der Informatik zu wecken. Sollte uns dies gelungen sein, würden wir uns freuen.

Hagen im Dezember 2020

Patrick Gelhausen, Martin Kluger, Gabriele Peters

Noch ein Hinweis zum Sprachgebrauch. Da wissenschaftliche Texte und Lehrtexte möglichst objektiv formuliert sein sollten, und da es sich bei der Annahme, die Verwendung des einen Geschlechts schließe das andere automatisch ein, um einen Irrtum handelt, ist der vorliegende Text weder in ausschließlich femininer noch in ausschließlich maskuliner Form verfasst. Vielmehr verwenden wir im Wechsel mal die männliche, mal die weibliche Form und orientieren uns im Übrigen an den Empfehlungen zur „Gleichbehandlung im Sprachgebrauch“ der Gesellschaft für Informatik e.V. von 1999 und an den „Richtlinien für einen nicht-sexistischen Sprachgebrauch“ der UNESCO von 1993.

Einführung in Mensch-Computer-Interaktion

Kurseinheit 1

Grundlagen der Interaktion

Jochen Kerdels, Gabriele Peters



Kurseinheit 1

Grundlagen der Interaktion

Inhaltsübersicht

1.1	Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion . . .	14
1.1.1	1950er Jahre	20
1.1.2	1960er Jahre	25
1.1.3	1970er Jahre	35
1.1.4	1980er Jahre	45
1.1.5	1990er Jahre	52
1.1.6	2000er Jahre	61
1.2	Einordnung der Mensch-Computer-Interaktion . . .	70
1.2.1	Internationale Standards	71
1.2.2	Kritische Einordnung von Standards	74
1.2.3	Interaktionsbegriff	77
1.2.4	Intuitive Bedienbarkeit	78
1.3	Interaktion im Detail	81
1.3.1	Beispiel einer Interaktionsanalyse	83
1.4	Gestaltung von Information	87
1.5	Selbsttestaufgaben	91
1.6	Lösungen der Selbsttestaufgaben	95

Lernziele:

Diese Kurseinheit vermittelt Ihnen zunächst einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion (MCI). Im Anschluss erfahren Sie, in welchem Umfeld die MCI heutzutage einzuordnen ist. Ausgehend von dieser Einordnung erlernen Sie zentrale Kernideen und Begriffe, die das Fundament der MCI bilden. Eine beispielhafte und detailreiche Analyse einer einfachen Benutzungsschnittstelle vermittelt Ihnen schließlich ein Gefühl für die Anwendung dieser zentralen Ideen im Rahmen der Analyse und Gestaltung interaktiver Systeme. Den Abschluss dieser Kurseinheit bildet eine grundsätzliche Betrachtung, auf welchen Ebenen die Gestaltung eines interaktiven Systems stattfindet.

1.1 Eine kleine Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion

Lernziele:

Dieser Abschnitt vermittelt Ihnen einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion. Hierbei erhalten Sie nicht nur eine Übersicht über die technische Entwicklung, sondern Sie erfahren auch, wer durch Ideen und Überlegungen die Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion vorangetrieben hat.

die ersten
automatisierten
Webstühle

Die Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion beginnt im Grunde noch vor dem Erscheinen von Computern im heutigen Sinne. Im Laufe des 18. Jahrhunderts wurden die ersten mechanischen Webstühle gebaut, die durch Lochkarten aus Holz gesteuert wurden. Die ersten Webstühle dieser Art finden sich um 1728 im Raum Lyon. Diese noch einfachen Webstühle wurden schließlich von Jacques de Vaucanson zum ersten vollautomatischen Webstuhl weiterentwickelt (1745). Dieser enthielt anstelle einer Lochkartensteuerung jedoch nur eine Nockenwalze. Zu erklären ist dieser Rückschritt (aus heutiger Sicht) damit, dass sich Vaucanson zuvor intensiv mit der Konstruktion von (Unterhaltungs-)Automaten beschäftigte und für die Steuerung dieser mechanische Stiftwalzen einsetzte. So baute er beispielsweise schon 1737 einen mechanischen Flötenspieler, der durch eine mechanische Stiftwalze gesteuert wurde. 1785 erfand Edmond Cartwright den ersten durch eine Kraftmaschine angetriebenen Webstuhl. Joseph-Marie Jacquard gelang 1805 schließlich eine entscheidende Weiterentwicklung dieser verschiedenen Webstühle, indem er die Steuerungstechnik aus Vaucansons Webstuhl mit Cartwrights Maschinen kombinierte und die Nockenwalze durch eine Lochkartensteuerung ersetzte. Abbildung 1.1 zeigt diese Lochkartensteuerung. Hierbei bestimmen die Löcher, ob

Lochkarten-
steuerung



Abbildung 1.1: Die Lochkartensteuerung der Jacquard-Maschine.

(Bild: Markus Schweiß, CC)

der Faden an der entsprechenden Stelle abgesenkt oder angehoben werden soll. Über diese einfache Methode war es möglich, großflächige Muster in die Maschine *einzuprogrammieren*. Damit war dieser Webstuhl die erste programmierbare vollautomatische Maschine und ein wesentlicher Beitrag für die aufkommende Automatisierung.

Schon etwa 100 Jahre vor den ersten Webstühlen (1620er) wurden die ersten rechnenden Maschinen entwickelt. So berichtete Wilhelm Schickard 1623 in einem Brief an Johannes Kepler, dass er eine solche Maschine entwickelt und gebaut habe. Die Maschine von Schickard konnte Addieren und Subtrahieren, sowie Multiplikation und Division mit Hilfe Napierscher Rechenstäbchen. Es folgten Maschinen von Blaise Pascal (1645) und Gottfried Wilhelm Leibniz (1673). Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurde das erste Konzept für eine Differenzmaschine zum Lösen polynomialer Funktionen von Johann Helfrich von Müller vorgestellt, jedoch nie gebaut. 1822 griff Charles Babbage das Konzept auf und stellte 1832 einen Prototyp vor, der quadratische Funktionen berechnen konnte. Im Jahr 1837 stellte Charles Babbage schließlich seinen ersten Entwurf für die *Analytical Engine* vor – der ersten Rechenmaschine für allgemeine Anwendungen. Auch wenn die Analytical Engine aus finanziellen und technischen Gründen nie gebaut wurde, so ist heute klar, dass der Entwurf korrekt war und die Maschine prinzipiell funktioniert hätte. Als Schnittstelle für die Eingabe von Daten und Programmen waren Lochkarten vorgesehen, wie sie zu dieser Zeit schon von den Webstühlen bekannt waren.

die ersten
Rechenmaschinen

Ada Lovelace (s. Abbildung 1.2) kommt schließlich das Verdienst zu, 1843 das erste Computerprogramm der Welt geschrieben zu haben, nämlich einen

Ada Lovelace



Abbildung 1.2: Ada Lovelace, die erste Softwareentwicklerin der Welt.

(Bild: Das Original dieses Gemäldes (1836) von Margaret Carpenter (1793-1872) hängt in 10 Downing Street, London; Abbildung gemeinfrei)

Algorithmus für die Berechnung der Bernoulli-Zahlen mithilfe eben jener Analytical Engine. Daher gilt Ada Lovelace als erste Softwareentwicklerin (noch vor dem ersten männlichen Entwickler) und die Programmiersprache Ada wurde nach ihr benannt. Die Programmiersprache der Analytical Engine kannte Schleifen und bedingte Verzweigungen. Die Analytical Engine war die erste Turing-vollständige¹ Rechenmaschine der Welt. Erst über 100 Jahre später im Jahr 1941 wurde mit der Zuse Z3 der erste funktionsfähige Turing-vollständige Computer auch gebaut. Die für die Analytical Engine geplante Genauigkeit von 50 Dezimalstellen wurde erst 1960 erreicht.

1888 installierte Herman Hollerith die erste auf Lochkarten basierende Datenverarbeitungsanlage im US-Kriegsministerium. Die Anlage bestand aus einer Tabelliermaschine, Lochkartensortierer, Lochkartenlocher und Lochkartenleser. Auch in diesem Fall wurde die Verwendung von Lochkarten von ihrem Einsatz bei Webmaschinen inspiriert. Die Idee, Lochkarten auch für die Lösung organisatorischer Problemstellungen zu nutzen, wurde von einer damals üblichen Praxis im Eisenbahnverkehr inspiriert. Mittels Löchern in den Fahr-

Lochkarten für
organisatorische
Problemstellungen

¹Turing-Vollständigkeit ist ein Begriff aus der theoretischen Informatik, dessen Name vom englischen Mathematiker Alan Turing abgeleitet ist. Dieser hatte 1936 das Modell der *universellen Turingmaschine* vorgestellt, welches eine Klasse von berechenbaren Funktionen repräsentiert. Maschinen, die alle Funktionen dieser Klasse berechnen können, werden als Turing-vollständig bezeichnet.

karten wurden die Fahrgäste nach Alter und Geschlecht klassifiziert. Im Jahr 1890 wurde der erste US-Zensus mit Hilfe der Tabelliermaschinen von Hollerith durchgeführt. Im Vergleich zum Zensus von 1880 konnten die Daten in nur einem Jahr anstelle der zuvor benötigten acht Jahre durchgerechnet werden. Im Jahr 1911 fusionierten vier Firmen, darunter die Firma von Hollerith, zur *Computing Tabulating Recording Corporation* (CTR). Im Jahr 1924 schließlich wurde CTR zur *International Business Machines Corporation* (IBM) umbenannt. Durch den weit verbreiteten Einsatz der Tabelliermaschinen etablierte sich die Lochkarte zum maßgeblichen Datenträger und Eingabemedium, welches bis in die 1960er Jahre auch bei Computern Verwendung fand.

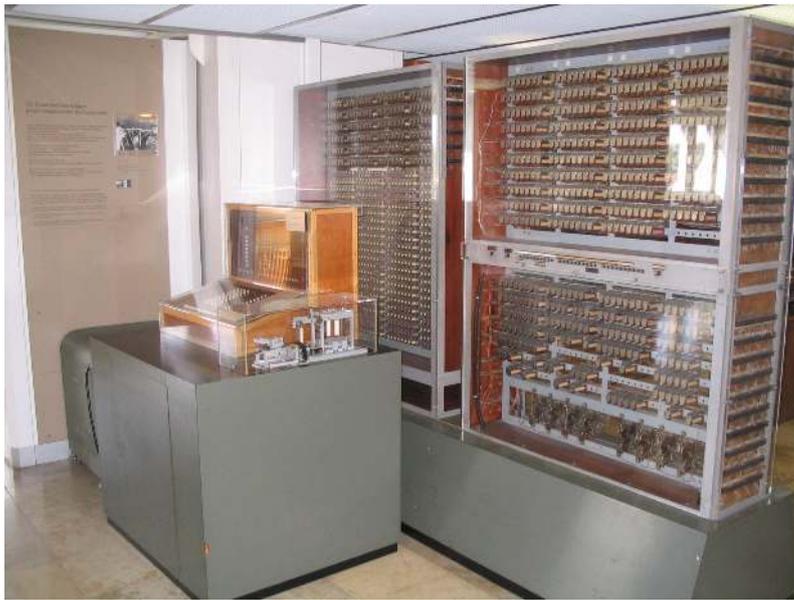


Abbildung 1.3: Die Z3 im Deutschen Museum in München.

(Bild: Wikipedia:Venusianer, CC)

Im Jahr 1941 wurde von Konrad Zuse in Zusammenarbeit mit Helmut Schreyer die Z3 (s. Abbildung 1.3) als erster Digitalrechner der Welt gebaut. Als Schnittstellen gab es einen Lochstreifenleser für Filmstreifen, die das Programm enthielten, sowie für die Ein- und Ausgabe der Daten eine Tastatur mit Lampenfeld. Die Funktionsweise der Ein- und Ausgabe wird in [diesem Video](#)² anschaulich demonstriert. Auch wenn die Z3 noch keine Röhren als Schaltelemente verwendete und somit zwar ein elektromechanischer, jedoch kein elektronischer³ Computer ist, so hatte die Z3 schon viele Architekturmerkmale moderner Computersysteme.⁴

Konrad Zuse
und die Z3

²<http://www.youtube.com/watch?v=J98KVfeC8fU>

³Der Unterschied zwischen einem elektromechanischen und einem elektronischen System besteht darin, dass bei einem elektromechanischen System die Schaltvorgänge auf mechanische Weise, im Falle der Z3 über Relais, durchgeführt werden. Bei einem elektronischen System geschieht dies auf nicht mechanische Weise, z. B. über Röhren oder Transistoren.

⁴Die Verwendung von Gleitkommazahlen ermöglicht das Arbeiten in einem größeren Zahlenbereich, ohne für jede Stelle einer Zahl eine dedizierte Hardwarelogik zur Verfügung stellen zu müssen. Mikroprogramme steuern die Umsetzung der Maschinenbefehle auf der Recheninheit eines Computers. Als *Pipelining* wird die effiziente, sequentielle (Teil-)ausführung von Instruktionen verstanden.

Architektur-
merkmale
der Z3

Architekturmerkmale der Z3:

- Verwendung des binären Zahlensystems
- Gleitkommazahlenberechnung
- Ein- und Ausgabegeräte
- Möglichkeit der Interaktion während des Rechengangs
- Mikroprogramme
- Pipelining von Instruktionsfolgen
- numerische Sonderwerte, z. B. „unendlich“
- parallele Ausführung von Operationen soweit wie möglich

Im Vergleich dazu benutzte der 1944 in den USA gebaute Computer *ENIAC* zwar schon Röhren und erzielte damit eine höhere Rechenleistung, jedoch verwendete er noch das Dezimalsystem und wurde durch eine direkte Verdrahtung von Modulen und das Einstellen der einzelnen Befehle über Drehschalter programmiert. Der ENIAC hatte somit keinen Befehlsspeicher wie die Z3 und musste für ein neues Programm jeweils neu verkabelt werden. Daten konnten über einen Lochkartenleser eingelesen werden. Die Datenausgabe des ENIAC erfolgte über einen Lochkartenlocher und 102 Glühlampen, die den Zustand des Akkumulators⁵ widerspiegelten.

Lochkarten
dominieren

Der überwiegende Teil der Computer dieser Zeit benutzte Lochkarten bzw. Lochstreifen für die Dateneingabe und Datenausgabe. Gegen Ende der 1940er Jahre kamen die ersten Computersysteme auf, die für die Ausgabe Teleprinter nutzten. 1949 zeigte der australische CSIRAC Computer die Ausgabe von Daten über eine Kathodenstrahlröhre. Diese waren zuvor nur in abgewandelter Form als Speichermedium und nicht als Ausgabegerät verwendet worden („Williamsröhre“).

Der Fokus in dieser Zeit lag klar auf der Konstruktion und Effektivität der Rechenmaschinen und nicht auf den Benutzungsschnittstellen. Zudem waren zu dieser Zeit in großer Zahl Tabelliermaschinen für die organisatorische Datenverarbeitung in Verwendung, die für die Dateneingabe und -ausgabe Lochkarten verwendeten. Ein großer Teil der damals verfügbaren „digitalisierten“ Information lag somit bereits auf Lochkarten vor.

Vannevar Bush –
„As We May
Think“

Ungeachtet der Limitationen der zu dieser Zeit verfügbaren Computer gingen die theoretischen Überlegungen für die zukünftige Verwendung von Computern weit über den damaligen Stand der Technik hinaus. Ein herausragender und visionärer Artikel dieser Zeit wurde 1945 von Vannevar Bush (s. Abbildung 1.4) unter dem Titel „As We May Think“ [Bus45] veröffentlicht. In ihm skizziert er einerseits das Problem des rasant wachsenden Wissens und die Schwierigkeit, auf dieses Wissen effizient zuzugreifen, sowie andererseits die Hoffnung,

⁵Der *Akkumulator* ist das Arbeitsregister des Rechenwerkes.



Abbildung 1.4: Vannevar Bush (Foto ca. 1940-1944).

(Bild: Library of Congress, ID: cph.3a37339, gemeinfrei)

die Informationsflut mit den aufkommenden Rechenmaschinen in den Griff zu bekommen:

There is a growing mountain of research. But there is increased evidence that we are being bogged down today as specialization extends. The investigator is staggered by the findings and conclusions of thousands of other workers—conclusions which he cannot find time to grasp, much less to remember, as they appear. Yet specialization becomes increasingly necessary for progress, and the effort to bridge between disciplines is correspondingly superficial. [..]

Wissensexplosion

The difficulty seems to be, not so much that we publish unduly in view of the extent and variety of present day interests, but rather that publication has been extended far beyond our present ability to make real use of the record. The summation of human experience is being expanded at a prodigious rate, and the means we use for threading through the consequent maze to the momentarily important item is the same as was used in the days of square-rigged ships.

But there are signs of a change as new and powerful instrumentalities come into use.

Im Anschluss skizziert Vannevar Bush den Stand der damaligen Technik und prognostiziert die weitere technische Entwicklung. Er erkennt, dass Computer sich nicht nur für die Lösung arithmetischer Probleme verwenden lassen, sondern auch für allgemeine, durch Logik definierte Probleme, und er erkennt, dass für diese Probleme neue Schnittstellen benötigt werden:

A new symbolism, probably positional, must apparently precede the reduction of mathematical transformations to machine processes. Then, on beyond the strict logic of the mathematician, lies the application of logic in everyday affairs. We may some day click off arguments on a machine with the same assurance that we now enter sales on a cash

erweiterte
Verwendung von
Computern

register. But the machine of logic will not look like a cash register, even of the streamlined model.

Im weiteren Verlauf wendet sich Bush wieder dem zentralen Thema seines Artikels zu: Wie kann man effizient auf die immer weiter anwachsende Flut an Informationen zugreifen? Er stellt fest, dass die bisherige Art des Zugriffs durch die Selektion über hierarchische Indizes (z. B. in Bibliotheken) nicht sehr effizient ist:

Auffinden von
Information

The real heart of the matter of selection, however, goes deeper than a lag in the adoption of mechanisms by libraries, or a lack of development of devices for their use. Our ineptitude in getting at the record is largely caused by the artificiality of systems of indexing. When data of any sort are placed in storage, they are filed alphabetically or numerically, and information is found (when it is) by tracing it down from subclass to subclass. It can be in only one place, unless duplicates are used; one has to have rules as to which path will locate it, and the rules are cumbersome. Having found one item, moreover, one has to emerge from the system and re-enter on a new path.

The human mind does not work that way. It operates by association. With one item in its grasp, it snaps instantly to the next that is suggested by the association of thoughts, in accordance with some intricate web of trails carried by the cells of the brain. It has other characteristics, of course; trails that are not frequently followed are prone to fade, items are not fully permanent, memory is transitory. Yet the speed of action, the intricacy of trails, the detail of mental pictures, is awe-inspiring beyond all else in nature.

Memex

Auf diesem Gedanken aufbauend konstruiert Bush im weiteren Verlauf seines Artikel die rein hypothetische *Memex* Maschine, die dem beschriebenen Ideal einer assoziativen Verknüpfung zwischen Informationen nahe kommen soll. Die Methode, die Bush hierfür skizziert, ist im Wesentlichen die erst viel später umgesetzte Idee des Hypertextes – der inhaltlichen Verkettung von Texten untereinander und dem Aufbau eines *Wissensnetzes*. Bis auf die direkte Vernetzung seiner Memex-Maschinen über Kommunikationsleitungen skizziert Vannevar Bush bereits 1945 das, was erst am 6. August 1991 als *World Wide Web* das Licht der Welt erblicken sollte.

1.1.1 1950er Jahre

Schnittstellen
rücken in den
Fokus

Mit der zunehmenden Zahl an Computersystemen im Laufe der 50er Jahre erweitern sich auch die technischen und wissenschaftlichen Fragestellungen in diesem Kontext. Während noch in den 40er Jahren fast ausschließlich die reine Konstruktion und Effektivität elektronisch arbeitender Computer im Mittelpunkt standen, rücken im Laufe der 50er Jahre zunehmend auch nachgeordnete Fragen, z. B. nach geeigneten Schnittstellen, in den Fokus. So arbeiteten

beispielsweise die Bell Telephone Labs seit den frühen 50er Jahren an einer Handschriftenerkennung. Wie Tom Dimond in dem 1957 veröffentlichten Aufsatz „*Devices for Reading Handwritten Characters*“ [Dim57] schreibt, lag die Motivation für die Entwicklung einer solchen Handschriftenerkennung vor allem darin, die großen Mengen handschriftlicher Daten, die zu dieser Zeit in den Geschäftsprozessen der Telefongesellschaft anfielen, digitalisieren zu können. So wurden z. B. zu jedem vermittelten Ferngespräch von einer Operatorin die Kerndaten dieses Gespräches zu Abrechnungszwecken auf einem Streifen Papier erfasst. Laut Dimond belief sich die Anzahl dieser Papierstreifen auf ca. 2 Milliarden pro Jahr. Eine nachträgliche Konvertierung dieser Daten auf Lochkarten hätte geschätzte 32 Millionen Dollar jährlich gekostet. Inwieweit die in diesem Aufsatz vorgestellten Lösungen innerhalb der Telefongesellschaft real eingesetzt wurden ist nicht bekannt. Jedoch zeigen spätere Projekte aus den 60er Jahren, z. B. das im nächsten Abschnitt beschriebene RAND-Tablet, eine funktionierende und zuverlässige Handschrifterkennung.

Im Jahr 1958 starteten IBM und der Fahrzeughersteller GM ein gemeinsames Projekt mit dem Namen *DAC-1* (Design Augmented by Computers). Ziel des Projektes war die Untersuchung, wie Computer den Designprozess in der Automobilindustrie unterstützen können. Das im Rahmen dieses Projektes entwickelte System gilt als das erste grafische Computersystem. Als Eingabegeräte kamen Lichtgriffel⁶, eine Form von fotografischem Scanner und joystick-artige Eingabegeräte zum Einsatz. Der für das DAC-System vorgesehene Arbeitsablauf sah vor, dass zunächst Skizzen auf klassische Weise mit Stift und Papier zu erstellen waren. Diese wurden dann über ein Lesegerät digitalisiert und konnten anschließend an einem Bildschirmterminal verändert werden. Eine Zusatzsoftware erlaubte sogar die Generierung dreidimensionaler Formen aus diesen Eingangsdaten. Die Ausgabe der Daten erfolgte entweder über einen Drucker oder es wurden direkt die Steuersequenzen für eine computergesteuerte Fräsmaschine generiert, um ein Modell der erstellten Formen zu fräsen. Auch wenn in diesem Arbeitsablauf die Arbeit am grafischen Terminal eine zentrale Rolle spielt, wurde während der Entwurfsphase des Systems dem Terminal selbst und seiner Bedienbarkeit nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Dies führte dazu, dass bei komplexeren Zeichnungen (ca. 1000 Vektoren) die Aktualisierungsgeschwindigkeit des Bildschirms so langsam und das Flackern so stark wurde, dass eine Bedienung des Systems kaum mehr möglich war⁷. Zudem stellte sich die Eingabe mit dem Lichtgriffel an den vertikal ausgerichteten Bildschirmen als sehr ermüdend heraus. Zu einem späteren Zeitpunkt besuchte das Entwicklungsteam von GM Douglas Engelbart in seinem Labor (s. Abschnitt 1.1.2) und sah dort die von Engelbart entwickelte Computermaus.

DAC-1,
das erste grafische
Computersystem

⁶Ein Lichtgriffel ist ein Stift, an dessen Spitze ein lichtempfindlicher Sensor angebracht ist. In Verbindung mit einem klassischen Röhrenmonitor kann über die Detektion des vorbeiziehenden Elektronenstrahls der Röhre die Position des Stiftes auf dem Bildschirm erkannt und für die Eingabe genutzt werden.

⁷Zu dieser Zeit wurden keine Rasterbildschirme verwendet, die das Bild pixelweise aufbauen, sondern Bildschirme, die vektorbasiert die Bildinhalte nacheinander zeichnen. Dadurch hatte die Komplexität der dargestellten Inhalte Einfluss auf die Aktualisierungsgeschwindigkeit.

Unter diesem Eindruck wurde der Lichtgriffel als Eingabeinstrument von GM verworfen und für zukünftige Projekte die Maus als Eingabegerät vorgesehen.

Morton Heilig

Jenseits dieser Forschungsprojekte im Bereich der Computersysteme formulierte Morton Heilig, ein amerikanischer Kameramann, Theoretiker und Erfinder, als erster die grundlegenden Konzepte und Ideen für das, was man heute *Viruelle Realität* bzw. *Telepräsenz* nennen würde. Fasziniert von der zu dieser Zeit aufkommenden 3D-Filmtechnik und sogenannter Cinerama-Projektion⁸ sah Heilig diese Technologien als logische Weiterentwicklung der Filmkunst. In seinem Essay „*The cinema of the future*“ [Hei02] schreibt er im Jahr 1955:

The really exciting thing is that these new devices have clearly and dramatically revealed to everyone what painting, photography and cinema have been semiconsciously trying to do all along – portray in its full glory the visual world of man as perceived by the human eye.

In seinen Überlegungen zur Zukunft des Kinos untersucht Heilig zunächst den Prozess der Aufmerksamkeitszuwendung in Alltagssituationen. Er beschreibt in diesem Zusammenhang, welchen Anteil bzw. welches Gewicht seiner Erkenntnis nach die einzelnen Sinne von Menschen an einem Erlebnis haben. Hierfür gibt er die folgende Aufteilung wieder:

Verteilung der
Aufmerksamkeit
nach Heilig

Verteilung der Aufmerksamkeit nach Heilig:

- 70 % Visuelle Wahrnehmung
- 20 % Auditive Wahrnehmung
- 5 % Olfaktorische Wahrnehmung (Geruchssinn)
- 4 % Taktile Wahrnehmung
- 1 % Gustatorische Wahrnehmung (Geschmackssinn)

die Idee der
Immersion in eine
virtuelle Umwelt

Ausgehend von dieser Analyse skizziert Heilig die Vision, dass zukünftige Kinos jeden dieser Sinne ansprechen sollten, um somit die Realität möglichst getreu nachzubilden. Die Projektion des Bildes sollte hierfür auch den Bereich des peripheren Sehens abdecken. Die Wiedergabe des Tons sollte von dutzenden, im Raum verteilten Lautsprechern erfolgen und Gerüche sollten über die Klimatisierung des Raumes zugeführt werden. Die Intensität der einzelnen Stimuli sollte dabei den oben angegebenen natürlichen Verhältnissen entsprechen und die Aufmerksamkeit des Betrachters sollte nicht durch cinematografische Tricks gesteuert werden, sondern durch die Nachahmung natürliche Aufmerksamkeitsmuster. Heilig war davon überzeugt, dass durch die Verbindung einer

⁸Bei einer Cinerama-Projektion wird eine extrem breite und gekrümmte Leinwand von drei synchronisierten Projektoren angestrahlt. Auf diese Weise wird ein extremes Seitenverhältnis von 1:2,685 erreicht. Das größte Cinerama-Kino der Welt befand sich in Berlin und hatte eine Leinwandgröße von 32m x 13m bei einer Krümmung von 120 Grad.

möglichst genauen Nachbildung der Realität mit den Methoden der Kunst eine neue Kunstform entstehen werde, die eine bislang ungekannte Ausdruckskraft besitze:

The cinema of the future will become the first art form to reveal the new scientific world to man in the full sensual vividness and dynamic vitality of his consciousness.

Morton Heilig war mit diesen Ideen für ein *immersives* Kino seiner Zeit weit voraus. Vielleicht auch aus diesem Grunde fand er niemanden, der zu dieser Zeit bereit war, seine Ideen zu finanzieren. Nachdem seine Suche nach Investoren erfolglos blieb, beschloss Heilig auf eigene Faust einen Prototypen zu bauen, der seine Ideen veranschaulichen und umsetzen sollte. Abbildung 1.5 zeigt das von Heilig *Sensorama* genannte System. Zu den *Erlebnissen*, die im Sensorama vorgeführt wurden, zählte unter anderem eine Motorradfahrt durch Brooklyn. Neben der visuellen Darstellung in 3D und mit einem großen Blickwinkel wurden auch die Vibrationen des Motors durch Vibrationen im Sitz nachgeahmt, der Duft frisch gebackener Pizza ausgegeben, der Fahrtwind durch mehrere Ventilatoren simuliert und die räumlichen Stimmen der Fußgänger auf dem Bürgersteig wiedergegeben. In seiner Patentschrift aus dem Jahr 1961 geht Heilig auch auf eine potentielle Verwendung einer derartigen Realitätssimulation für die Ausbildung ein. Er führt insbesondere die Ausbildung von Soldaten an, die an „komplizierten und potentiell gefährlichen Geräten“ ausgebildet werden sollen. Eine Verwendung von Simulatoren in der Ausbildung würde die Gefahr für Soldaten und potentielle Schäden an teurem Gerät minimieren, so Heilig.

Sensorama

Auch wenn das Sensorama kein kommerzieller Erfolg wurde, so stellen die Überlegungen von Heilig einen Meilenstein in der Geschichte der *Virtual Reality* dar. Noch bevor das Sensorama von Heilig patentiert wurde, patentierte er überdies die Idee für eines der ersten Head-Mounted-Displays, welches Benutzern den Blick auf eine *virtuelle* Welt gestatten sollte. Inzwischen wird Morton Heilig als Vater der *Virtual Reality* angesehen, obwohl seine Arbeiten zunächst in den 70er und 80er Jahren in Vergessenheit geraten waren und erst Anfang der 90er Jahre wiederentdeckt wurden, nachdem Scott Fisher (NASA Ames Research Center) sie in seinem Essay „*Virtual Environments, Personal Simulation & Telepresence*“ [Fis91] als Inspiration für die dortigen Arbeiten am Virtual Environment Workstation Project (VIEW) bezeichnete. Bevor Morton Heilig diese späte Anerkennung zuteil wurde, setzte er eine Vielzahl seiner Ideen in diversen Erlebnis-Kinos um, die er für die Freizeitparks des Disney Konzerns konzipierte.

Virtual Reality

Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass in den 50er Jahren auch das wahrscheinlich erste Videospiel entwickelt wurde. Abbildung 1.6 zeigt einen Screenshot des Spiels „*Tennis for two*“. Es wurde 1958 von dem amerikanischen Physiker William Higinbotham am Brookhaven National Laboratory (Kernforschungs-

Tennis for two



Abbildung 1.5: Das Sensorama-System von Morton Heilig. Es ist ein Beispiel für eine der ersten Ideen, eine Art virtuelle Realität bzw. Telepräsenz zu erzeugen.

(Bild: <http://www.telepresence.org/>)

zentrum) entwickelt und gebaut. Das Spiel wurde auf einem Analogcomputer⁹ implementiert und zeigt auf einer Kathodenstrahlröhre die Seitenansicht eines stilisierten Tennisplatzes. Die Flugbahn des Balls ist zum einen durch die Aktionen der Spieler, zum anderen durch eine simulierte Gravitation beeinflusst. Als Eingabegeräte dienten zwei Kästchen mit je einem Knopf zum Schlagen des Balles und einem Drehregler, um den Winkel des Schlags einzustellen. Vorgeführt wurde das Spiel am Tag der offenen Tür des Kernforschungszentrums. *Tennis for two* ist in gewisser Weise der Vorläufer des legendären Spiels *Pong*, welches 1972 mit der Spielekonsole *Magnavox Odyssey* erschien.

Während sich in den 50er Jahren nur allmählich der Fokus von der reinen Verwendung von Computersystemen für arithmetische Problemstellungen löste, kann im Laufe der im Folgenden beschriebenen 60er Jahre eine geradezu rasanten Entwicklung der verschiedensten Anwendungsfelder für Computersysteme beobachtet werden. Im Zuge dessen rückte auch die Entwicklung neuer

⁹Analogcomputer nutzen für die Lösung *geeigneter* Probleme die lineare Übertragbarkeit dieser Probleme auf natürliche Phänomene, die sich analog verhalten.

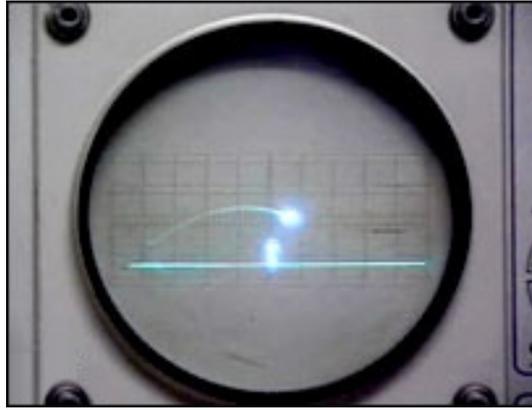


Abbildung 1.6: Tennis For Two, das vermutlich erste Videospiel. Es wurde 1958 von dem amerikanischen Physiker William Higinbotham am Brookhaven National Laboratory entwickelt und gebaut.

(Bild: Brookhaven National Laboratory, William Higinbotham, gemeinfrei)

Schnittstellen zwischen Mensch und Computer immer mehr in den Fokus der Forschung.

1.1.2 1960er Jahre

Einer der einflussreichsten Vordenker der 50er und 60er Jahre im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion und der vernetzten Computer war J.C.R. Licklider (s. Abbildung 1.7). In seinem im März 1960 veröffentlichten Artikel „*Man-Computer Symbiosis*“ [Lic60] beschreibt er unter anderem, wie durch den Einsatz interaktiver Computersysteme eine neue Klasse an Problemstellungen mit Hilfe von Computersystemen bearbeitet werden kann. Auch wenn Licklider noch die etwas seltsam anmutende Formulierung *Man-Computer Symbiosis* verwendet, so beschreibt er doch bereits 1960 im Kern das, was ein interaktives System ausmacht:

Grundzüge
interaktiver
Systeme

Present-day computers are designed primarily to solve preformulated problems or to process data according to predetermined procedures. The course of the computation may be conditional upon results obtained during the computation, but all the alternatives must be foreseen in advance. (If an unforeseen alternative arises, the whole process comes to a halt and awaits the necessary extension of the program.) The requirement for preformulation or predetermination is sometimes no great disadvantage. It is often said that programming for a computing machine forces one to think clearly, that it disciplines the thought process. If the user can think his problem through in advance, symbiotic association with a computing machine is not necessary.

However, many problems that *can*¹⁰ be thought through in advance are very difficult to think through in advance. They would be easier to solve, and they could be solved faster, through an intuitively

¹⁰Hervorhebung nachträglich hinzugefügt



Abbildung 1.7: J.C.R. Licklider.

(Bild: MIT Museum)

guided trial-and-error procedure in which the computer cooperated, turning up flaws in the reasoning or revealing unexpected turns in the solution. Other problems simply cannot be formulated without computing-machine aid. Poincare anticipated the frustration of an important group of would-be computer users when he said, „The question is not, 'What is the answer?' The question is, 'What is the question?'“ One of the main aims of man-computer symbiosis is to bring the computing machine effectively into the formulative parts of technical problems.

Um seine Idee der interaktiven Nutzung von Computersystemen zu illustrieren, berichtet Licklider von einem Selbstversuch, den er im Frühjahr und Sommer 1957 durchführte. In diesem Zeitraum notierte er möglichst akkurat, welche verschiedenen Tätigkeiten er während seiner Arbeitszeit als „*moderately technical person*“ durchführte. Mit einiger Überraschung musste er schließlich feststellen, dass rund 85% der Zeit, die er angeblich mit „Nachdenken“ verbrachte, in Wirklichkeit von ihm dafür genutzt wurde, um zunächst die nötigen Informationen zu finden und diese vor- und aufzubereiten:

Throughout the period I examined, in short, my „thinking“ time was devoted mainly to activities that were essentially clerical or mechanical: searching, calculating, plotting, transforming, determining the logical or dynamic consequences of a set of assumptions or hypotheses, preparing the way for a decision or an insight. Moreover, my choices of what to attempt and what not to attempt were determined to an embarrassingly great extent by considerations of clerical feasibility, not intellectual capability.

The main suggestion conveyed by the findings just described is that the operations that fill most of the time allegedly devoted to technical thinking are operations that can be performed more effectively by machines than by men.

Licklider folgert aus dieser Beobachtung, dass sich die Fähigkeiten von Menschen und Computern, wenn diese durch ein interaktives System erfolgreich miteinander kombiniert würden, sehr effektiv ergänzen könnten (daher auch der von ihm gewählte Begriff der „Symbiose“). Er skizziert die Arbeitsteilung eines solchen Systems zwischen Mensch und Computer wie folgt:

Arbeitsteilung

[..] In general, they (Anmerk.: die Benutzerinnen und Benutzer) will make approximate and fallible, but leading, contributions, and they will define criteria and serve as evaluators, judging the contributions of the equipment and guiding the general line of thought.

[..] Men will fill in the gaps, either in the problem solution or in the computer program, when the computer has no mode or routine that is applicable in a particular circumstance.

The information-processing equipment, for its part, will convert hypotheses into testable models and then test the models against data (which the human operator may designate roughly and identify as relevant when the computer presents them for his approval). The equipment will answer questions. It will simulate the mechanisms and models, carry out the procedures, and display the results to the operator. It will transform data, plot graphs („cutting the cake“ in whatever way the human operator specifies, or in several alternative ways if the human operator is not sure what he wants). The equipment will interpolate, extrapolate, and transform. It will convert static equations or logical statements into dynamic models so the human operator can examine their behavior. In general, it will carry out the routinizable, clerical operations that fill the intervals between decisions.

Für die Umsetzung eines derartigen interaktiven Systems sieht Licklider dabei u. a. folgende Aspekte als erforderlich an:

Voraussetzungen für die Umsetzung interaktiver Systeme:

- Einsatz von *Timesharing*^a, damit Großrechenanlagen gleichzeitig von vielen Benutzerinnen und Benutzer genutzt werden können.
- Entwicklung von günstigen Speichermedien, welche die wachsende Flut an Informationen zu vertretbaren Kosten aufnehmen können.
- Verwendung effizienter Suchstrukturen (z. B. hierarchische).

^aIm Zusammenhang des Timesharing skizziert Licklider bereits die wesentlichen Komponenten heutiger Server-Client-Netzwerkstrukturen.

Voraussetzungen für interaktive Systeme nach Licklider

Die größte Herausforderung für ein interaktives System ist nach Licklider jedoch die Kommunikation zwischen Mensch und Computer. Trotz der bereits in den 50er Jahren entwickelten ersten Hochsprachen sieht Licklider einen grundsätzlichen, qualitativen Unterschied in der Art der Kommunikation:

Kommunikation
zwischen Mensch
und Computer

For the purposes of real-time cooperation between men and computers, it will be necessary, however, to make use of an additional and rather different principle of communication and control. The idea may be highlighted by comparing instructions ordinarily addressed to intelligent human beings with instructions ordinarily used with computers. The latter specify precisely the individual steps to take and the sequence in which to take them. The former present or imply something about incentive or motivation, and they supply a criterion by which the human executor of the instructions will know when he has accomplished his task. In short: instructions directed to computers specify courses; instructions directed to human beings specify goals.

Men appear to think more naturally and easily in terms of goals than in terms of courses. True, they usually know something about directions in which to travel or lines along which to work, but few start out with precisely formulated itineraries.

Um auch auf dem Computer eine zielorientierte Arbeitsweise umsetzen zu können, gibt es laut Licklider zwei Möglichkeiten: Zum einen den Einsatz von Methoden der künstlichen Intelligenz (z. B. problem-solving, hill-climbing, self-organisation) oder zum anderen den Einsatz modularer Programmelemente, die durch die Benutzer in Echtzeit ausgewählt und zu beliebigen Ketten zusammengesetzt werden können. Auch wenn er die grundsätzliche Bedeutung und Tragweite der KI-Methoden anerkennt, so ist doch in seinen Augen der zweite Weg praktikabler und vielversprechender. Als zentrale Schnittstelle für ein solches System skizziert er ein interaktives „*Desk-Surface Display*“ über das der Bediener mittels Zeichnungen, Bildern, sowie handschriftlichen Notizen und Formeln mit dem Computer kommuniziert und dieser wiederum auf gleiche Weise seine Daten an die Benutzerin ausgibt. Licklider entwirft in nur einem Absatz die Vision einer interaktiven Schnittstelle, von der fast jeder einzelne Aspekt in den nachfolgenden Jahrzehnten umgesetzt werden sollte:

Interaktive
Schnittstellen

Desk-Surface Display and Control: Certainly, for effective man-computer interaction, it will be necessary for the man and the computer to draw graphs and pictures and to write notes and equations to each other on the same display surface. The man should be able to present a function to the computer, in a rough but rapid fashion, by drawing a graph. The computer should read the man's writing, perhaps on the condition that it be in clear block capitals, and it should immediately post, at the location of each hand-drawn symbol, the corresponding character as interpreted and put into precise type-face. With such an input-output device, the operator would quickly learn to write or print in a manner legible to the machine. He could compose instructions and subroutines, set them into proper format, and check them over before introducing them finally into the computer's main memory. He could even define new symbols, as Gilmore and Savell have done at the Lincoln Laboratory, and present them directly to the computer. He could sketch out the format of a table roughly and let the computer shape it up with precision. He could correct the computer's data, instruct

the machine via flow diagrams, and in general interact with it very much as he would with another engineer, except that the „other engineer“ would be a precise draftsman, a lightning calculator, a mnemonic wizard, and many other valuable partners all in one.

Im Jahr 1962 wurde Licklider der Leiter des *Information Processing Techniques Office* (IPTO) der ARPA¹¹. Aus dieser Position heraus förderte er viele Forschungsprojekte, die seine Vision vernetzter, interaktiver Computersysteme weiter verfolgten, darunter auch die Arbeiten von Douglas Engelbart (s.u.). Im Jahr 1963 wurde Licklider zum Direktor des *Behavioral Sciences Command & Control Research* der ARPA ernannt. In dieser Funktion formulierte er seine Ideen zu einem „*Intergalactic Computer Network*“, welche schließlich maßgeblich die Entwicklung des ARPANet anstießen und dieses inhaltlich stark beeinflussten. Im Jahr 1968 wurde er Leiter des MAC-Projektes am MIT. Aus diesem Projekt ging das erste Timesharing-System der Welt (CTSS¹²) mit dem Betriebssystem MULTICS¹³ hervor. In den Jahren nach Lickliders Artikel wurden viele der von ihm angedachten Konzepte in realen Forschungsprojekten entwickelt und umgesetzt.

IPTO, das
Information
Processing
Techniques Office

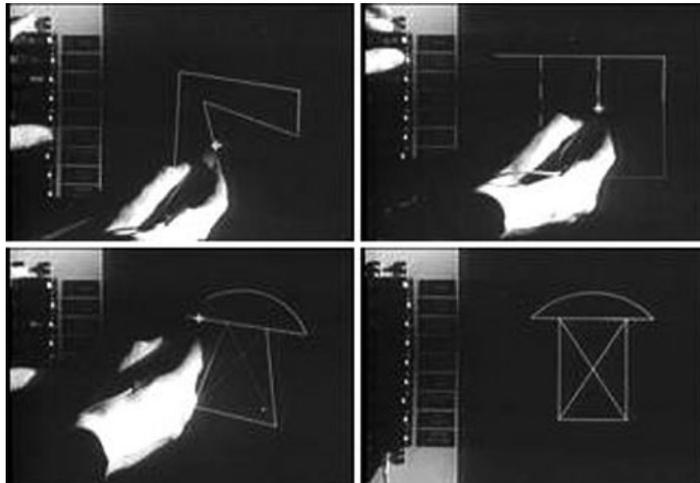


Abbildung 1.8: Ivan Sutherlands Sketchpad.

(Bild: <http://www.archive.org>)

Im Jahr 1963 entwickelte Ivan Sutherland im Rahmen seiner Doktorarbeit das interaktive Zeichenprogramm *Sketchpad* (s. Abbildung 1.8). Für die Eingabe verwendete Sutherland einen Lichtgriffel und ein Tastenfeld, für die Ausgabe eine Kathodenstrahlröhre. Sketchpad ermöglichte als eines der ersten Programme die direkte und interaktive Manipulation der Zeichenobjekte. Es verwendet hierfür einen grafischen „Mauszeiger“ in Kombination mit Tasten auf einem

Sketchpad

¹¹United States Department of Defense Advanced Research Projects Agency

¹²Computer Time-Sharing System

¹³Multiplexed Information and Computing Service

Tastenfeld. Die Zeichnung wird über ein *Betrachtungsfenster* dargestellt, welches nur einen Ausschnitt der virtuellen Zeichnung in einer frei wählbaren Skalierung zeigt. Zeichenobjekte können in Sketchpad instanziiert und zu komplexen Zeichnungen zusammengesetzt werden. Eine Änderung am Ursprungsobjekt wird automatisch auch zu den jeweiligen Instanzen propagiert. Die einzelnen Zeichenelemente stehen in Relation zueinander. Teilen sich beispielsweise mehrere Linien einen Endpunkt und wird dieser bewegt, so verändern sich auch alle mit diesem Endpunkt in Relation stehenden Linien. Darüber hinaus können Linien als orthogonal oder parallel zueinander registriert werden. Mit Hilfe dieser Relation kann ein Objekt zunächst ungenau und grob skizziert werden. Im Anschluss werden schließlich die vorgegebenen Relationen automatisch durch das Programm hergestellt und die Form des Objektes angepasst. Eine interessante zweiteilige Dokumentation über das Sketchpad ist unter [diesem](#)¹⁴ und [diesem](#)¹⁵ Link zu finden.

Ivan Sutherlands Sketchpad gilt aus heutiger Sicht als wichtiges und einflussreiches Programm, da viele der in diesem Programm demonstrierten Konzepte die weitere Entwicklung grafischer Benutzungsschnittstellen stark beeinflusst haben. Hierzu zählen:

Innovative
Konzepte des
Sketchpad

Innovative Konzepte des Sketchpad:

- die direkte Manipulation virtueller Objekte mit einem Zeigergerät
- die Verwendung eines frei bewegbaren und skalierbaren Darstellungsfensters
- die ersten Konzepte einer *objektorientierten* Programmierung
- die semantische Relation der dargestellten Objekte zueinander

erstes VR-System

Im Jahr 1964 übernahm Sutherland die Position des Leiters des *Information Processing Techniques Office* (IPTO) der ARPA von J.C.R. Licklider. Von 1965 bis 1968 arbeitete Ivan Sutherland als Privatdozent in Harvard. In dieser Zeit entwickelte er mit seinem Studenten Bob Sproull das erste *Virtual-Reality*-System (s. Abbildung 1.9). Das System verfügte über ein stereoskopisches Head-Mounted-Display und eine mechanische Vorrichtung zur Erfassung der Kopfposition. In einer späteren Version entwickelten Sutherland und Sproull auch ein auf Ultraschall basierendes Erfassungssystem für die Kopfposition. Die dargestellte Grafik bestand zwar nur aus einfachen Modellen in einer *Wireframe*-Darstellung, jedoch war die stereoskopische Darstellung durchaus beeindruckend für ihre Zeit. In [Sut68] schreibt Sutherland:

überzeugende
stereoskopische
Darstellung

The biggest surprise we have had to date is the favorable response of users to good stereo. The two-tube optical system presents independent images to each eye. A mechanical adjustment is available to accommodate to the different pupil separations of different users.

¹⁴<https://www.youtube.com/watch?v=hB3jQKGrJo0> (Teil 1/2)

¹⁵<https://www.youtube.com/watch?v=t3ZsiBMnGSg> (Teil 2/2)



(a)



(b)

Abbildung 1.9: Das Virtual-Reality System von Ivan Sutherland und Bob Sproull.

(Bild: [Sut68])

Software adjustments in our test programs also permit us to adjust the virtual eye separation used for the stereo computations. With these two adjustments it is quite easy to get very good stereo presentations. Observers capable of stereo vision uniformly remark on the realism of the resulting images.

In 1967 entwickelte Danny Cohen, ein weiterer Student von Ivan Sutherland, den ersten echtzeitfähigen, interaktiven Flugsimulator. Aus dieser Arbeit entstand der bekannte Clipping-Algorithmus von Cohen-Sutherland. Von 1968 bis 1974 war Sutherland Professor an der Universität von Utah, von 1974 bis 1978 war er Professor am Caltech¹⁶. Zu seinen Studierenden aus dieser Zeit zählten unter anderen Alan Kay (Erfinder von Smalltalk, GUI-Entwicklung¹⁷ bei Xerox PARC), Henri Gouraud (Gouraud shading), Frank Crow (bekannt für seine Arbeiten im Bereich des Antialiasing) und Edwin Catmull (Computergrafik, Mitbegründer von Pixar).

erster interaktiver
Flugsimulator

In 1968 gründete er die Firma *Evans and Sutherland*, die im Bereich der Echtzeitgrafik und 3D-Beschleunigung tätig war. Zu den ehemaligen Mitarbeitern dieser Firma zählten John Warnock, Gründer von Adobe (Photoshop, Acrobat Reader, Flash) und Jim Clark, Gründer von Silicon Graphics. Nach seiner Zeit am Caltech gründete Sutherland eine Beraterfirma, die später von Sun Microsystems aufgekauft wurde und den Grundstein für Suns Forschungseinrichtung *Sun Labs* bildete. 1988 erhielt Ivan Sutherland den Turing Award in

¹⁶California Institute of Technology

¹⁷GUI = Graphical User Interface (grafische Benutzungsschnittstelle)

Anerkennung seiner Arbeiten im Bereich der Computergrafik. Derzeit arbeitet er an der Portland State University an asynchronen Computersystemen.

NLS – das
oN-Line System

Demonstration
des NLS

Neben dem Programm *Sketchpad* gilt das im Laufe der 60er Jahre am Augmentation Research Center (ARC) des Stanford Research Institute (SRI) entwickelte NLS als ein weiterer bedeutender Meilenstein in der Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion. Das NLS war ein experimentelles Mehrbenutzersystem, das der Erforschung des Timesharing, der Vernetzung und neuartiger Benutzungskonzepte diente. Finanziert wurde das NLS unter anderem vom IPTO der ARPA unter Leitung von J.C.R. Licklider (s.o.). Leiter und Vordenker des ARC war Douglas Engelbart. Noch während des zweiten Weltkriegs hatte Douglas Engelbart Vannevar Bushs Artikel „As we may think“ gelesen und war von der Idee der dort beschriebenen MEMEX-Maschine fasziniert. Nach seinem Studium der Elektrotechnik verfolgte er fortan das Ziel, ein solches System zu bauen. Am 9. Dezember 1968 wurde das System einer breiten Öffentlichkeit während der Herbsttagung der Joint Computer Conference in San Francisco vorgestellt. Die aufwendige Demonstration des damals revolutionären Systems wird inzwischen als „Mother of all demos“ bezeichnet [Lev95]. Eine kurze Zusammenfassung dieser Demonstration kann [hier](#)¹⁸ heruntergeladen werden.



(a)



(b)

Abbildung 1.10: NLS-Demonstration 1968. **(a)** Foto der Eingabesysteme für das NLS: Akkordtastatur, reguläre Tastatur und Maus. **(b)** Ausschnitt aus der Live-Demonstration im Jahr 1968 (s. Video).

(Bild: **(a)** <http://dougengelbart.org> **(b)** Michael Heilemann, CC)

Akkordtastatur

Das vorgestellte System besaß als eines der ersten Systeme dieser Zeit einen Rasterbildschirm als Ausgabegerät. Die Eingabe erfolgte über eine Tastatur, eine Maus (welche ebenfalls gegen Mitte der 60er Jahre am ARC entwickelt wurde) und eine sogenannte *Akkordtastatur* (s. Abbildung 1.10a) mit 5 Tasten. Letztere ermöglicht die einhändige Eingabe von Buchstaben durch das gleichzeitige Drücken mehrerer Tasten (ähnlich der Akkorde beim Klavier). Die Akkordtastatur war als Ergänzung zur Maus gedacht, um möglichst selten die

¹⁸https://archive.org/details/XD300-23_68HighlightsAResearchCntAugHumanIntelect

Hand zwischen Maus und der großen Tastatur wechseln zu müssen. Wie auch beim Klavierspiel erfordert die Bedienung einer Akkordtastatur einige Übung, weshalb sich dieses Eingabekonzept letztendlich nicht durchgesetzt hat. Neben diesen Ein- und Ausgabegeräten war das System zusätzlich über mehrere Telefonleitungen mit einem Terminal im ca. 40 Meilen entfernten Labor in Menlo Park verbunden. Darüber hinaus bestand eine Videokonferenzschaltung, deren Bild direkt über den Ausgabebildschirm des Systems ausgegeben werden konnte (s. Abbildung 1.10b).

Die Software des Systems demonstrierte erstmals die Verwendung einer Maus als Zeigegerät einer breiten Öffentlichkeit und transferierte die Konzepte der *direkten Manipulation*, wie sie in Sketchpad gezeigt wurden, auf die Verwendung von in erster Linie textuellen Daten. Darüber hinaus demonstrierte das System eine konsequente Implementierung der Idee hierarchisch organisierter und untereinander *verlinkter* Dokumente, wie es Vannevar Bush 1945 als Vision skizziert hatte. Es handelt sich somit um eines der frühesten Hypertextsysteme überhaupt. Des Weiteren wurde die kooperative, gleichzeitige Arbeit an einem Dokument (inkl. zweier unabhängiger Mauszeiger) über die mit Telefonleitungen verbundenen Terminals demonstriert. Unterstützt wurde diese kooperative Arbeit durch eine gleichzeitig stattfindende (analoge) Video- und Audioverbindung.

Computermaus

simultane,
kooperative Arbeit

In vielen Aspekten war das NLS seiner Zeit weit voraus und hatte einen großen Einfluss auf die weitere Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion.

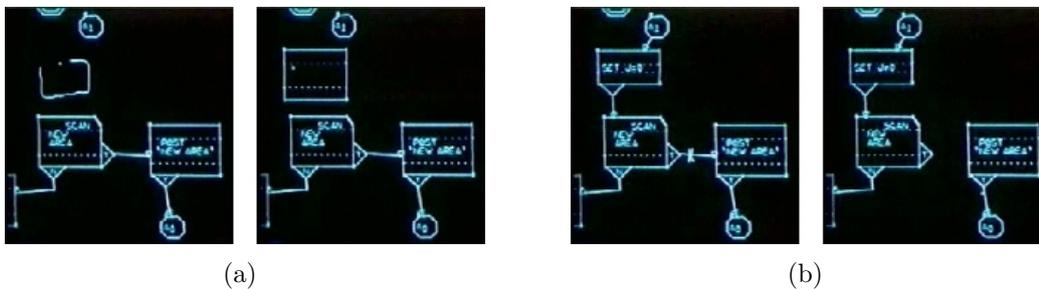


Abbildung 1.11: Screenshots des GRAIL-Systems. **(a)** Die Eingabe von neuen Elementen erfolgte über die grobe Skizzierung dieser Elemente. Die Skizzen wurden automatisch erkannt und in entsprechende Symbole umgewandelt. **(b)** Für das Löschen von Elementen wurden Gesten wie das „mehrfache Durchstreichen“ eingesetzt.

(Bild: <http://www.archive.org>)

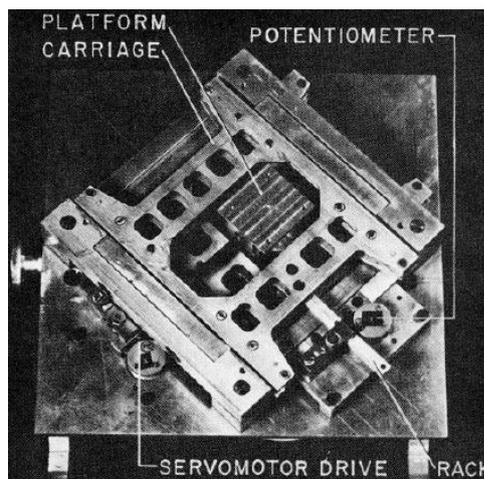
Ein weiteres, äußerst beeindruckendes System wurde 1969 von der RAND-Corporation entwickelt und eingesetzt. Das GRAIL-System ermöglichte die grafische Programmierung eines Computersystems über Flussdiagramme. Die RAND-Corporation ist ein amerikanischer *Thinktank*, der in den 60er Jahren eine große Zahl an Analysten beschäftigte, die sehr daran interessiert waren, ihre Analysemodelle auf Computern rechnen zu lassen, jedoch nicht die Fähigkeit besaßen, die Computer in Maschinensprache zu programmieren. Über

GRAIL –
Graphical Input
Language

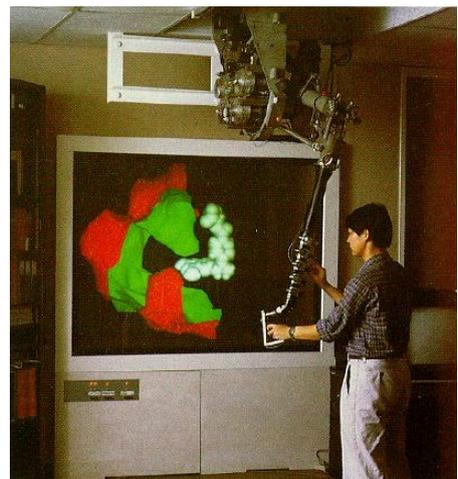
Grafiktablett

die grafische Programmierung mittels des GRAIL-Systems konnte auch diesem Anwenderkreis der Zugang zu Computersystemen ermöglicht werden. Als Eingabesystem diente das ebenfalls in den 60er Jahren von der RAND-Corporation entwickelte *RAND-Tablet*, welches als eines der ersten modernen Grafiktablets gilt. Die komplette Steuerung des GRAIL-Systems erfolgte ausschließlich über diese Stifteingabe. Neue Elemente innerhalb des Flussdiagramms wurden von der Benutzerin einfach grob skizziert und vom System automatisch erkannt und in sauber gezeichnete Symbole transformiert (s. Abbildung 1.11a). Die Beschriftung der Elemente erfolgte per Handschrifterkennung. Das Editieren von Elementen erfolgte über *Drag-And-Drop* Operationen und eine intuitive Gestenerkennung. So konnten beispielsweise Elemente über eine „mehrfach Durchstreichen“-Geste gelöscht werden (s. Abbildung 1.11b). Ein kurzer Film, der die Funktionsweise des GRAIL-Systems zeigt, kann [hier](#)¹⁹ heruntergeladen werden. Selbst heute, mehr als 40 Jahre später, verblüfft die einfache und intuitive Bedienung dieses Systems. Es sei noch einmal betont, dass es sich nicht „nur“ einfach um ein Zeichenprogramm handelt, sondern tatsächlich um eine grafische Programmiersprache, die lauffähige Programme erzeugen konnte.

grafische Programmiersprache



(a)



(b)

Abbildung 1.12: Haptische Schnittstellen des GROPE Projektes.

(a) GROPE1 (1971): Das erste 2D-Eingabegerät mit Krafrückkopplung.

(b) GROPE3 (1989): Vollständiges System mit Krafrückkopplung für 6-dimensionale Kraftfelder.

(Bild: [BOYBK90])

haptische Schnittstellen

Inspiziert durch die Ideen und Konzepte von Ivan Sutherland zu einer vollständig virtuellen Umgebung²⁰, die man nicht nur sehen und hören, son-

¹⁹<http://www.youtube.com/watch?v=QQhVQ1UG6aM>

²⁰Sutherland bezeichnete diese Vision selbst als „*The Ultimate Display*“. In einem kurzen konzeptuellen Artikel [Sut65] aus dem Jahr 1965 beschreibt er im letzten Absatz im Grunde das, was man in der Science Fiction Serie *Star Trek* als „Holodeck“ bezeichnen würde.

dern auch fühlen sollte, startete im Jahr 1967 das langjährige GROPE²¹ Projekt [BOYBK90]. Das langfristige Ziel des Projektes war die Entwicklung einer sowohl haptischen als auch visuellen Schnittstelle, um 6-dimensionale Kraftfelder von miteinander interagierenden Proteinmolekülen darstellen zu können. Der erste Prototyp eines 2D-Eingabesystems, das im Rahmen dieses Projektes entwickelt wurde, zeigt Abbildung 1.12a. Das System besteht aus einer in der Ebene verfahrbaren Plattform an der ein Anfasspunkt angebracht wurde. Über diesen ist es einer Benutzerin möglich, die Plattform frei in der Ebene zu bewegen. Hierbei wird die Position der Plattform in X- und Y-Richtung über Potentiometer erfasst. Die freie Bewegung der Plattform durch die Benutzerin kann schließlich über Servomotoren an den jeweiligen Achsen beeinflusst werden. Über ein virtuelles Kraftfeld werden die entsprechenden Gegenkräfte in X- und Y-Richtung berechnet und über die Motoren ausgegeben. Hierdurch entsteht eine einfache Form der Krafrückkopplung, die es der Benutzerin ermöglicht, eine virtuelle Struktur zu erspüren. Weitere drei Prototypen folgten: ein 3D-System mit einfacher Aufgabenstellung, ein 6D-System mit einfacher Aufgabenstellung und schließlich ein vollständiges 6D-System zum interaktiven Andocken von Proteinmolekülen (s. Abbildung 1.12b).

In den 60er Jahren wurden viele der grundlegenden Konzepte und Mechanismen für das interaktive Arbeiten mit Computern jenseits arithmetischer Problemstellungen entwickelt. Viele dieser Konzepte werden noch heute in dieser Form verwendet.

1.1.3 1970er Jahre

Im Jahr 1970 wurde im kalifornischen Ort Palo Alto das Xerox Palo Alto Research Center (PARC) auf Anregung des damaligen Xerox Chefwissenschaftlers Jack Goldman gegründet. Durch die fast 5000 km Distanz zwischen der Xerox Firmenleitung in New York und dem Xerox PARC in Palo Alto hatten die dort arbeitenden Wissenschaftler einen großen Freiraum. Hinzu kam die direkte Nachbarschaft zur Stanford Universität und zum SRI²² Augmentation Research Center (ARC), an dem in den 60er Jahren das oben beschriebene, wegweisende NLS entwickelt wurde. Da sich die Finanzierung des ARC durch DARPA²³, NASA und die Luftwaffe im Laufe der 70er Jahre verringerte, konnten viele Mitarbeiter des ARC für Xerox PARC gewonnen werden. Von 1970 bis 1977 war Bob Taylor Leiter des *Computer Science Laboratory* von Xerox PARC. Zuvor war dieser von 1965 bis 1969 als Nachfolger von Ivan Sutherland als Leiter des *Information Processing Techniques Office* (IPTO) der ARPA

Xerox PARC

²¹GROPE ist laut Prof. Brooks kein Akronym, auch wenn dies aufgrund der Schreibweise in Großbuchstaben so erscheinen mag. Das Projekt wurde vom GRIP-Team durchgeführt, welches sich mit der *GRaphical Interaction with Proteins* beschäftigte.

²²Stanford Research Institute

²³1972 wurde die ARPA (Advanced Research Projects Agency) in DARPA (D für Defense) umbenannt, 1993 wieder in ARPA zurück-umbenannt und schließlich in 1996 erneut in DARPA umbenannt

tätig. In dieser Funktion ermöglichte er unter anderem die Finanzierung der oben beschriebenen Präsentation des NLS im Jahr 1968 und der Entwicklung des ARPANet, dem technologischen Vorläufer des heutigen Internets.



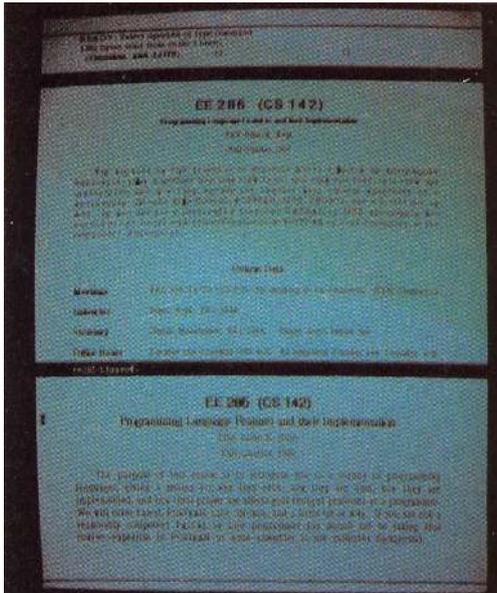
Abbildung 1.13: Xerox Alto. Im Jahr 1973 entwickelte Xerox PARC den Xerox Alto, einen der ersten *Personal Computer*.

(Bild: Mark Richards)

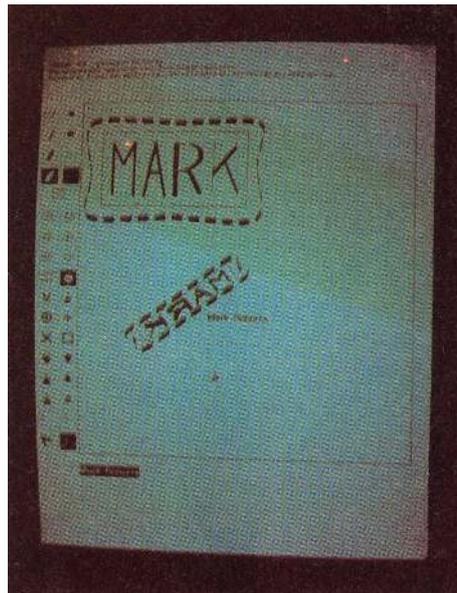
PC Im Jahr 1973 entwickelte Xerox PARC den Xerox Alto, einen der ersten *Personal computer* (s. Abbildung 1.13). Der Alto besaß als Ausgabegerät einen schwarz-weiß Rasterbildschirm im ungewöhnlichen Hochformat und als Eingabegeräte neben einer Tastatur und einer Maus auch eine Akkordtastatur. Die Eingabekonfiguration entsprach damit dem 1968 demonstrierten NLS. Während sich die Maus als Eingabegerät schnell großer Beliebtheit erfreute, konnte die Akkordtastatur nicht überzeugen. In späteren Versionen des Alto wurde sie nicht weiter verwendet. Das System verfügte je nach Variante zwischen 128 kb und 512 kb Arbeitsspeicher und einer magnetischen „Wechselfestplatte“ mit 2,5 MB Speicherkapazität.

WYSIWYG In den folgenden Jahren wurden für den Alto eine Reihe von Programmen entwickelt, die einen Großteil der heute üblichen, grafischen Interaktionsmechanismen zum ersten Mal einführten. Die Textverarbeitung *Bravo* gilt als erste sogenannte WYSIWYG²⁴-Anwendung (s. Abbildung 1.14a). Während Bravo noch ein sogenannter modaler Editor war, bei dem sowohl der Text als auch die Programmbefehle über die Tastatur eingegeben wurden, wurden die einzelnen Befehle beim Nachfolger *Gypsy* bereits durch die Maus ausgewählt. Dies führte dazu, dass selbst vollkommene Computer-Neulinge diese Textanwendung nach wenigen Stunden der Einarbeitung beherrschen konnten. Dieses neuartige Bedienkonzept, welches eine vollkommen neue und große Nutzergruppe (die klassischen „Anwenderinnen“) erschloss, führte in kürzester Zeit zu einer radikalen Veränderung der Art, in der Computer eingesetzt wurden. Die Benutzerinnen mussten nicht mehr langwierig die einzelnen Befehle eines Programms erlernen, sondern konnten diese mit Hilfe der Maus am Bildschirm

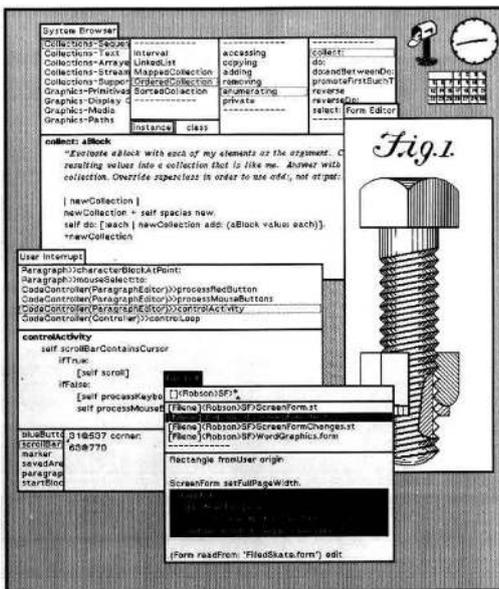
²⁴What You See Is What You Get



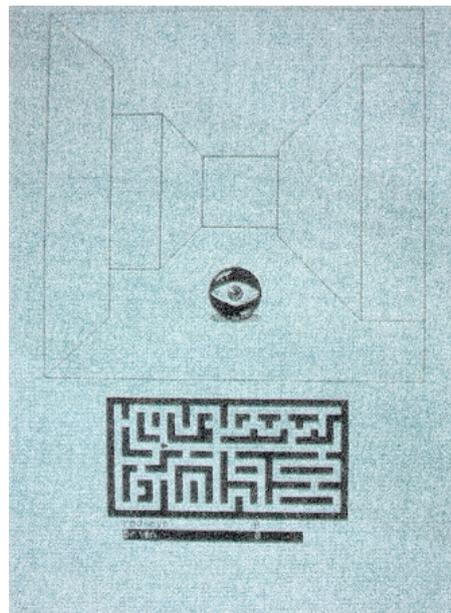
(a)



(b)



(c)



(d)

Abbildung 1.14: Software für den Xerox Alto. **(a)** Die erste WYSIWYG-Textverarbeitung der Welt namens *Bravo*. Der Text wurde bereits per Maus selektiert und die aktuelle Cursorposition gesetzt. Die Befehle wurden jedoch noch per Tastatur eingegeben. Der Nachfolger *Gypsy* führte schließlich die Auswahl von Befehlen über die Maus ein und veränderte mit diesem Bedienkonzept die Nutzung von Computersystemen grundlegend. **(b)** Das Malprogramm *Markup* auf dem Xerox Alto. Eine der ersten Verwendungen von kleinen Symbolgrafiken (Icons) als Repräsentanten für die einzelnen Befehle. **(c)** Die Smalltalk-Entwicklungsumgebung auf dem Xerox Alto. Sie zeigt als erstes Programm die Verwendung sich überlappender Fenster. **(d)** Mazewar - eines der ersten Netzwerk-Computerspiele.

(Bild: Digibarn Computer Museum, CC)

in kurzer Zeit *explorieren*. Ein weiteres Beispiel hierfür ist das Malprogramm *Markup* (s. Abbildung 1.14b). Es verwendet als eines der ersten Programme kleine Symbolgrafiken (*Icons*) als Repräsentanten für die einzelnen Befehle.

Smalltalk In den 70er Jahren wurde ebenfalls im Xerox PARC die objektorientierte Programmiersprache *Smalltalk* entwickelt. Abbildung 1.14c zeigt die Smalltalk-Entwicklungsumgebung auf dem Xerox Alto (ca. 1975). Sie zeigte als erstes Programm die Verwendung sich überlappender Fenster. Zu diesem Zweck wurde erstmals die BitBLT-Operation implementiert. BitBLT steht für Bit Block Transfer und bezeichnet die effiziente Kombination mehrerer Eingabebilder zu einem Ausgabebild mittels eines Raster-Operators. Die Entwicklung schneller BitBLT Methoden war eine entscheidende Entwicklung für den Übergang von zeichenbasierten Bildschirmen auf die Verwendung von grafischen Bildschirmen für jegliche Art von Inhalt.

Ethernet Da jeder Alto Computer mit einer Ethernet-Schnittstelle ausgestattet war, wurden auch eine Vielzahl an Netzwerkanwendungen auf dem Alto implementiert. Abbildung 1.14d zeigt eines der ersten Netzwerk-Computerspiele: *Maze War*. In diesem Spiel wurden die einzelnen Spielerinnen, die jeweils an einem Computer im Netzwerk saßen, in ein gemeinsames, dreidimensionales virtuelles Labyrinth gesetzt. Das Ziel des Spiels bestand darin, die anderen Spieler in diesem Labyrinth zu jagen²⁵. Viel interessanter als das eigentliche Spiel ist jedoch die diesem Spiel zugrunde liegende Idee, dass verschiedene Teilnehmerinnen eines Netzwerks sich gemeinsam in einer dreidimensionalen virtuellen Welt bewegen konnten.

Auch wenn der Alto nie offiziell verkauft wurde, so kamen doch innerhalb des Xerox Konzerns und in diversen Forschungseinrichtungen und Universitäten über 2000 Alto Computer zum Einsatz. Viele der gemachten Entwicklungen flossen in den Anfang der achtziger Jahre auf den Markt gebrachten Xerox Star Computer (s.u.) ein.

Responsive Environment Neben den anwendungsorientierten Entwicklungen der Mensch-Computer-Interaktion am Xerox PARC begannen in den 70er Jahren die ersten Künstler, die Möglichkeiten der Interaktion zwischen Mensch und Computer zu erforschen. Zu den visionärsten dieser Künstler zählt Myron W. Krueger. Bereits 1969 begann Krueger, die Idee der *physischen Teilhabe* in einer *grafischen Welt* zu erkunden [KGH85]. Hierzu entwickelte er das Paradigma des *Responsive Environment* – einer „reaktionsfähigen“ Umgebung. Abbildung 1.15 zeigt das Konzept seiner ersten interaktiven Installation namens *GLOWFLOW* (1969) in diesem Kontext. Sie besteht aus einem dunklen Raum, in dem vier Neonröhren so angebracht sind, dass sie den verzerrten Eindruck eines sich verengenden und abschüssigen Raumes erzeugen. An bestimmten Positionen auf dem Boden des Raumes befinden sich Drucksensoren. Tritt nun eine Besucherin auf einen dieser Sensoren, löst dies eine computergesteuerte Choreografie aus Licht und Ton aus.

²⁵Im Grunde war *Maze War* der erste *First-Person-Shooter* der Welt.

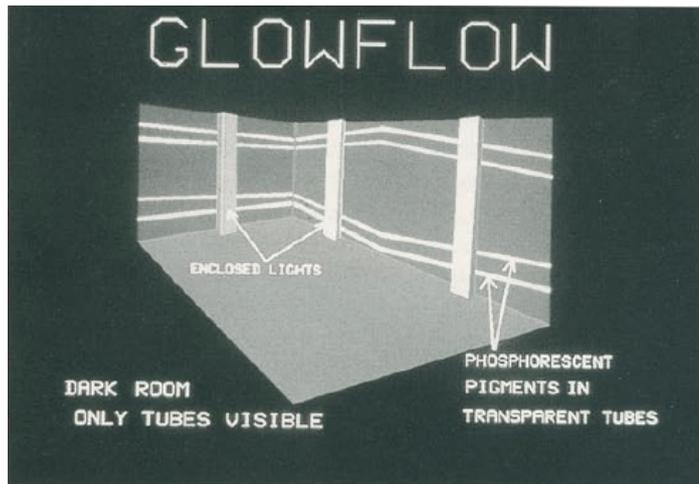


Abbildung 1.15: Erste interaktive Installation *GLOWFLOW*. Sie wurde im Jahr 1969 von Myron W. Krueger erstellt.

(Bild: <http://artelectronicmedia.com/artwork/glowflow,WalterJenner>)

Nur kurze Zeit später entdeckte Krueger die Projektion computergenerierter Grafik für seine Arbeit. 1971 kreierte er *PSYCHIC SPACE* (s. Abbildung 1.16). Bei dieser Installation wird die Position einer Person durch ein Raster von Drucksensoren im Boden erfasst. Die auf diese Weise erfasste Position wird daraufhin für die Steuerung der Interaktion mit einer von hinten auf eine Leinwand projizierten Grafik genutzt. Eine der *PSYCHIC SPACE* Interaktionen besteht etwa darin, dass eine Besucherin zunächst die Bewegung eines Symbols auf der Leinwand durch ihre eigene Bewegung im Raum steuert. Nach einer Weile wird ein weiteres, statisches Symbol eingeblendet, welches unweigerlich dazu auffordert, das „eigene“ Symbol in Kontakt zu diesem zweiten Symbol zu bringen. Just im Moment des Kontaktes verschwindet schließlich das zweite Symbol und ein Labyrinth mit dem Symbol der Besucherin am Start des Labyrinths erscheint. Während die Besucherin nun versucht, das Labyrinth zu durchschreiten, fällt ihr im Allgemeinen nach einer Weile auf, dass der Raum, in dem sie sich bewegt, ja gar keine physischen Barrieren besitzt. Eine Einladung ein wenig zu schummeln! Doch wenn die Besucherin nun versucht, eine der virtuellen Wände zu übersteigen, so reagiert das System damit, die entsprechende Wand einfach ein Stück zu verschieben. Auf ähnliche Weise reagiert das System auch auf andere Schummelversuche. Insgesamt 40 derartiger Labyrinth-Variationen wurden in *PSYCHIC SPACE* realisiert.

interaktive
Videoinstallation

Die Entwicklung immer komplexerer Interaktionsformen mündete Mitte der 70er Jahre schließlich in die Gründung eines *Artificial Reality* Labors an der Universität von Connecticut namens *VIDEOPLACE* (s. Abbildung 1.17). Die in diesem Labor aufgebaute interaktive Umgebung bestand aus Projektoren, Kameras und diverser, zum Teil selbst entwickelter Spezialhardware zur Videoverarbeitung. Wie schon bei der *PSYCHIC SPACE* Installation wurde die computergenerierte Grafik per Rückprojektion auf großen Leinwänden dargestellt. Neu war die Art, wie ein Benutzer in diese interaktive Umgebung eingebunden wurde. Vor einem gleichförmigen Hintergrund stehend wurde die Benutzerin von einer Kamera gefilmt und ihre Silhouette von einer speziellen

VIDEOPLACE

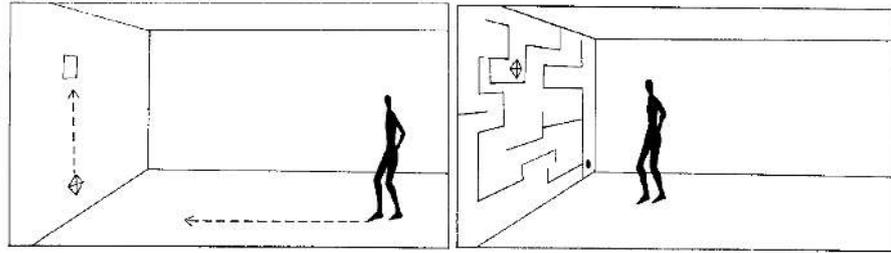


Abbildung 1.16: Die Installation *PSYCHIC SPACE*. Sie wurde im Jahr 1971 von Myron W. Krueger erstellt. In dieser benutzte er erstmals die Projektion computer-generierter Grafik, um direkt auf die Bewegungen einer Person im Raum reagieren zu können.

(Bild: [KGH85])

Videohardware extrahiert. Diese Silhouette konnte daraufhin beliebig transformiert in das computergenerierte, projizierte Bild eingebunden werden. Auf diese unter heutigen Gesichtspunkten einfache Weise wurde der Benutzer ein Teil der dargestellten, künstlichen Umgebung. Es konnten mehrere Benutzerinnen gleichzeitig (aufgenommen in verschiedenen Räumen) in eine gemeinsame künstliche Umgebung eingebunden werden. Das Gefühl der eigenen Präsenz in dieser künstlichen Umgebung war hierbei stark genug, die Benutzer zu veranlassen, die Überschneidung „ihrer“ Silhouetten instinktiv zu vermeiden.

Interaktion mit
einer virtuellen
Kreatur

Abbildung 1.17 zeigt eine Interaktionssequenz aus dem *VIDEOPLACE* Labor. Die dargestellte Interaktion namens *CRITTER* ermöglicht Benutzern die Interaktion mit einer kleinen, künstlichen „Lebensform“. Zu Beginn wird eine Benutzerin, bzw. ihre Silhouette, von dem kleinen Critter verfolgt. Bewegt sich die Benutzerin schnell auf das Wesen zu, so weicht es aus. Hält die Benutzerin dem Critter ihre Hand hin, so klettert dieser auf die Hand und weiter am Arm entlang Richtung Kopf. Oben angekommen vollführt das kleine Wesen eine triumphale Pose und analysiert schließlich die Körperhaltung der Benutzerin. Bietet ein Benutzer erneut seine Handfläche an, so springt der Critter mit einem Salto darauf. Zeigt der Arm mehr Richtung Boden, rollt der Critter an diesem entlang und lässt sich vom Finger des Benutzers baumeln. Mit einem Schütteln seiner Hand fällt das kleine Wesen herunter und landet am Boden. Jedes Mal, wenn der Critter erneut auf den Kopf steigt, hat er einen anderen Zustand und wird eine andere Folge von Aktionen ausführen.

Artificial Reality

Die Arbeiten im *VIDEOPLACE* bildeten die Basis für Kruegers 1983 erschienenes, vielzitiertes Buch *Artificial Reality* [Kru83]. Ende der 90er Jahre kombinierte Krueger sein *VIDEOPLACE* mit einem Echtzeit-3D-System zur Installation *Small Planet* auf der Mediartech '98. Mit diesem konnten die Besucher interaktiv über eine kleine 3D-Welt fliegen, in dem sie die Arme ausbreiteten und sich nach links oder rechts beugten, so wie es Kinder tun, wenn sie im Spiel „fliegen“.

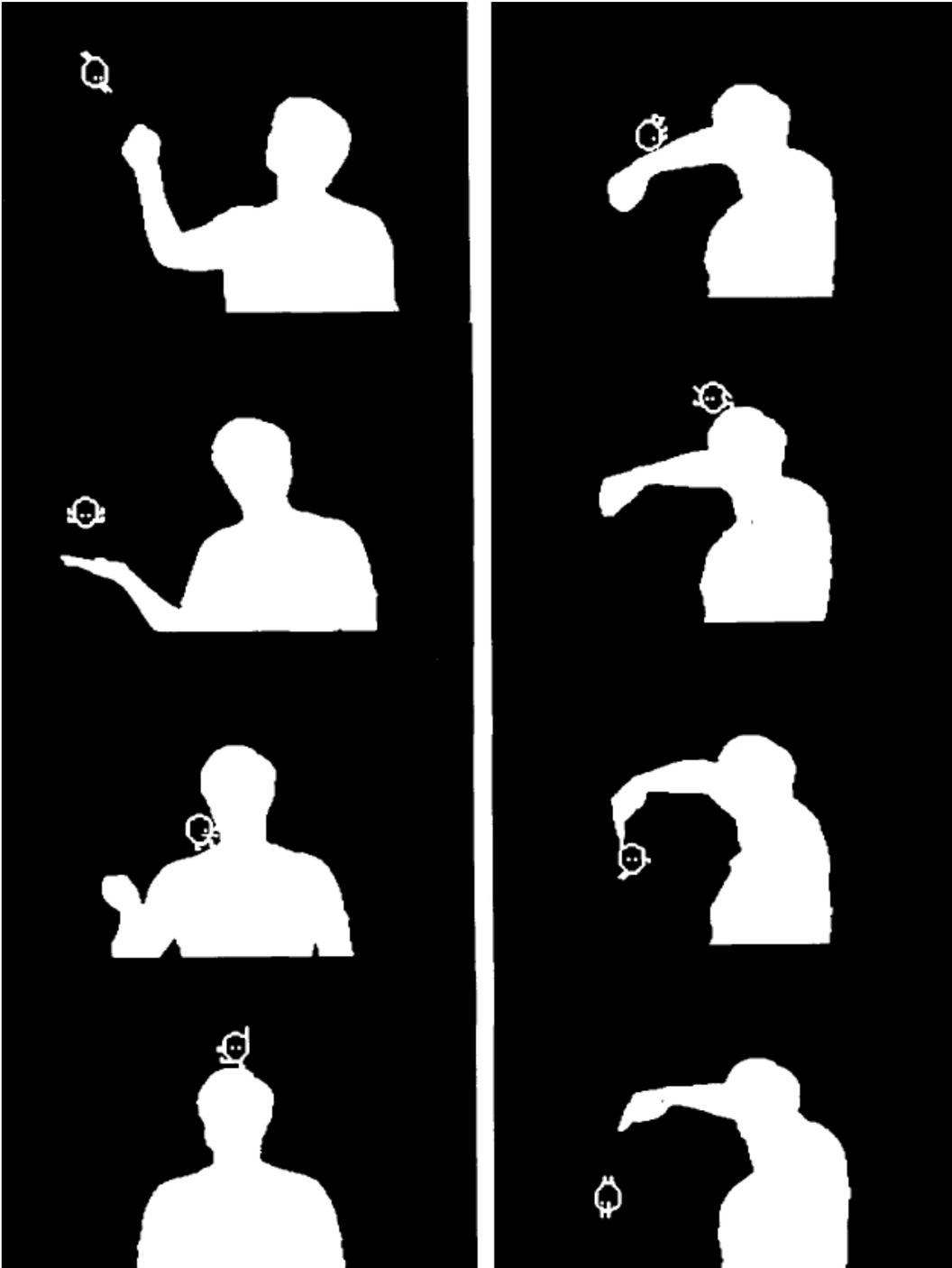


Abbildung 1.17: Eine Interaktionssequenz aus dem *VIDEOPLACE* Labor von Myron W. Krueger. Die dargestellte Interaktion namens *CRITTER* ermöglichte dem Benutzer die Interaktion mit einer kleinen, künstlichen „Lebensform“.

(Bild: [KGH85])

Ein kurzes Interview mit Myron Krueger, das auch einen Teil seiner Arbeiten in Aktion zeigt, kann [hier](#)²⁶ heruntergeladen werden.

An der oben beschriebenen Installation *GLOWFLOW* war auch Dan Sandin beteiligt. Dieser beschäftigte sich seit 1967 mit den Möglichkeiten der Visualisierung und Interaktion mittels Video. Von 1971 bis 1973 entwickelte er den *Sandin Image Processor*, einen analogen Video-Synthesizer. Der Synthesizer war modular aufgebaut. Er veränderte und kombinierte die eingegebenen Videosignale in Echtzeit auf Basis ihrer Grauwerte. Zusammen mit Tom DeFanti, welcher zu dieser Zeit die *GRASS*²⁷ Programmiersprache für die Erzeugung von Echtzeit-Computergrafik entwickelt hatte, nutzte Dan Sandin seinen Image Processor für die Aufführung *Visueller Konzerte*. 1973 gründeten Tom DeFanti und Dan Sandin das *Electronic Visualization Laboratory* (EVL) an der Universität von Illinois (Chicago) mit dem Ziel, die Studierenden der Kunstfakultät und der Informatikfakultät zusammenzubringen. 1991 konstruierte Carolina Cruz-Neira mit DeFanti und Sandin das erste CAVE-System (s. Abschnitt 1.1.5).

SIGGRAPH-Konferenz

Die Mitarbeiter des EVL, insbesondere Tom DeFanti und Maxine D. Brown, waren überdies sehr in die Entwicklung der bekannten, jährlich stattfindenden SIGGRAPH-Konferenz involviert. Von 1977 bis 1981 war DeFanti Sekretär und von 1981 bis 1985 Vorsitzender der SIGGRAPH-Organisation. Brown war von 1981 bis 1985 Sekretär und von 1985 bis 1987 Vize-Vorsitzender.

Datenhandschuh

Im Jahr 1977 konstruierten DeFanti und Sandin in Zusammenarbeit mit Rich Sayre den ersten Datenhandschuh der Welt, den *Sayre Glove*. Dieser benutzte lichtempfindliche Sensoren und biegsame Schläuche (keine Lichtleiter) mit einer Lampe am anderen Ende, um die Krümmung der einzelnen Finger zu messen [SZ94]. Je mehr ein Finger gekrümmt wurde, desto weniger Licht kam an den Sensoren an. Eine Lokalisierung der Handposition hatte dieses erste System nicht, so dass es in erster Linie als Alternative zum Einsatz von Schiebereglern verwendet wurde. Erst 1979 kam das von F.H. Raab et al. entwickelte, magnetische *Polhemus Tracking System* auf den Markt [RBSJ79], welches sich zu einem sehr populären Trackingsystem im Bereich der *Virtual Reality* entwickelte und auch heute noch in Kombination mit Datenhandschuhen Verwendung findet. Im Gebiet der Unterhaltungselektronik werden heutzutage jedoch meist kostengünstigere Alternativen, wie etwa ein kamerabasiertes Tracking, eingesetzt.

Hypermedia

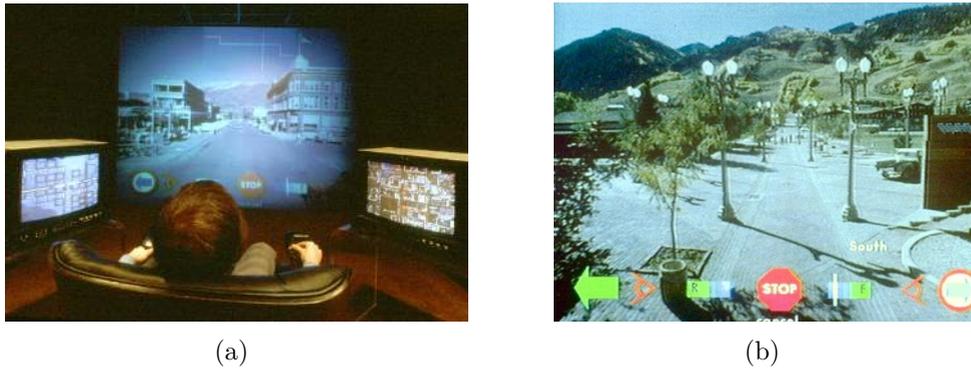
In den Jahren 1978 bis 1980 wurde am MIT²⁸ unter Leitung von Andrew Lippman das *Aspen Movie Map*-System entwickelt [Lip80] (s. Abbildung 1.18). Die *Aspen Movie Map* war eines der ersten Hypermedia²⁹-Systeme. Es ermöglichte

²⁶http://www.youtube.com/watch?v=A6ZYsX_dxzs

²⁷GRAphics Symbiosis System

²⁸Massachusetts Institute of Technology

²⁹Unter Hypermedia wird die logische Erweiterung von Hypertext mit multimedialen Inhalten verstanden. Die zentrale Eigenschaft im Vergleich zu reinen Multimedia-Inhalten



(a)

(b)

Abbildung 1.18: Das *Aspen Movie Map*-System. Es ist eine der ersten Hypermedia-Anwendungen und wurde zwischen 1978 und 1980 am MIT entwickelt. **(a)** „Wohnzimmer“-Konfiguration des Systems: Im Hintergrund die Straßenperspektive, links eine Kartendarstellung, rechts eine Luftaufnahme. **(b)** Die Steuerung erfolgte üblicherweise – abgesehen von der in (a) gezeigten Spezialkonfiguration abgesehen – über eine *Touchscreen*-Schnittstelle.

(Bild: Bob Mohl)

Benutzern, sich virtuell entlang der Straßen der Stadt Aspen (Colorado) zu bewegen. Über eine Touchscreen-Schnittstelle konnten Benutzer ihre virtuelle Route durch die Stadt frei bestimmen (s. Abbildung 1.18b). Die Bilddaten für diese virtuelle Tour waren auf zwei Laserdiscs³⁰ gespeichert, die alternierend die jeweils nächste Bildsequenz zur Verfügung stellten. Neben dieser Straßenperspektive bot das System die Möglichkeit einer Kartenansicht oder der Ansicht eines Luftbildes von oben (s. Abbildung 1.18a), in dem z. B. die bisherige Route angezeigt wurde, ein neuer Standort gewählt werden konnte, oder eine automatisch abzufahrende Route geplant werden konnte. Ebenfalls in das System integriert waren weitere Zusatzinformationen über einzelne Gebäude, die auch Bilder aus dem Inneren dieser Gebäude umfassten oder Videosequenzen von Interviews mit Personen, die zu diesen Gebäuden in Relation standen. Des Weiteren konnte auch auf eine 3D-Ansicht gewechselt werden, in der alle Gebäude der Stadt in einer einfachen 3D-Grafik dargestellt wurden, wobei einzeln Fotografien der Frontseiten der Gebäude als Textur verwendet wurden. Da die Videoaufnahmen der einzelnen Straßenzüge sowohl im Herbst wie im Winter aufgenommen wurden, konnten Benutzerinnen zwischen den Aufnahmen dieser beiden Jahreszeiten zu jedem Zeitpunkt hin- und herschalten. Da auch vereinzelt historische Aufnahmen zur Verfügung standen, konnte diese Funktionalität zum Teil auch für einen „früher/heute“ Vergleich verwendet werden.

virtuelle
Stadtbesichtigung

Im Grunde stellte das *Aspen Movie Map*-System eine Frühform dessen dar, was heute als *Google Streetview* oder *Microsoft Bing Maps* bekannt ist. Ein Video, welches das System in Aktion zeigt, kann [hier](http://www.youtube.com/watch?v=Hf6LkqgXPMU)³¹ heruntergeladen werden.

besteht in der hypertextartigen Verknüpfung der einzelnen Elemente untereinander, so dass die Benutzerin wahlfrei einen „Weg“ durch die zur Verfügung gestellten Inhalte wählen kann.

³⁰Die analoge Vorgängerin der DVD

³¹<http://www.youtube.com/watch?v=Hf6LkqgXPMU>

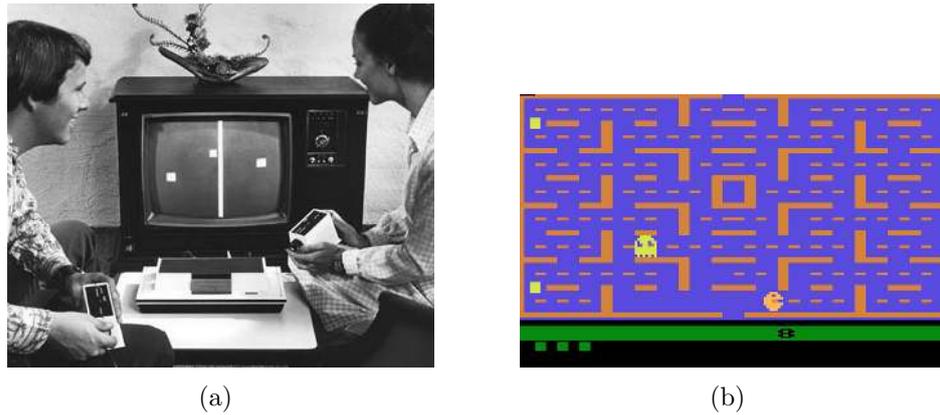


Abbildung 1.19: Erste kommerzielle Videospiele. **(a)** Das populäre Spiel PONG auf der Magnavox Odyssey (1972). **(b)** Das meistverkaufte Spiel für die Atari 2600 Spielekonsole (ca. 1981).

(Bild: **(a)** David Winter **(b)** Screenshot)

Im Jahr 1972 erschien mit der Magnavox Odyssey die erste kommerzielle Spielekonsole. Die sehr einfache Konsole hatte noch keinen eigenen Prozessor. Sie war intern aus kaum mehr als 40 Transistoren aufgebaut. Die verschiedenen Spiele wurden über Steckadapter konfiguriert, die über entsprechend angeordnete Drähte die interne Verschaltung der einzelnen Komponenten modifizierten. Als Schnittstelle dienten zwei Controller, die jeweils nur einen Drehregler besaßen, die die jeweilige Position des aktiven Spielelementes (meist ein Balken) auf dem Schirm kontrollierte. Das bekannteste Spiel für diese erste Konsole war *PONG* (s. Abbildung 1.19a).

Die erste kommerziell erfolgreiche Videospielekonsole mit auswechselbaren Spielen kam im Jahr 1977 mit dem Atari 2600 auf den Markt. Sie enthielt den populären 6507³² 8-Bit-Mikroprozessor von MOS-Technology und 128 Byte RAM. Obwohl die Konsole bereits Anfang der 80er Jahre insbesondere aufgrund des geringen Arbeitsspeichers und des reduzierten Adressbereichs von nur 8KB technologisch veraltet war, erfreute sie sich großer Beliebtheit. Erst 1992 wurde die Produktion eingestellt. Als Schnittstellen wurden nicht nur digitale Joysticks, sondern auch Trackballs, Lichtpistolen, Tastenblöcke sowie Lenkrad und Pedale angeboten. Mit 7 Millionen Kopien war das Spiel *Pac-Man* (s. Abbildung 1.19b) das erfolgreichste Spiel für den Atari 2600 [Ken01].

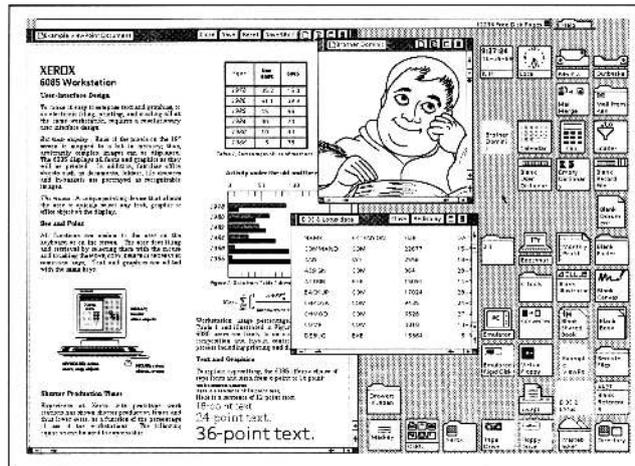
Insbesondere durch die Arbeit am Xerox PARC wurde in den 70er Jahren der Grundstein für die „PC-Revolution“ der 80er Jahre gelegt. Die Innovationen im Bereich der Benutzungsschnittstellen eröffneten plötzlich auch unerfahrenen Personen den Umgang mit Computern. Auf diese Weise vervielfachte sich der Kreis potenzieller Nutzerinnen und Nutzer, was die Voraussetzungen für den kommenden Massenmarkt der Personal Computer schuf.

³²eine kostengünstige Variante des 6502

1.1.4 1980er Jahre



(a)



(b)

Abbildung 1.20: Xerox Star. (a) Das Xerox 8010 Information System, oder auch kurz Xerox Star (1981). (b) Die Oberfläche des Xerox Star nutzte als erstes kommerzielles System die Desktop-Metapher.

(Bild: Digibarn Computer Museum, CC)

Im Jahr 1981 mündeten die zahlreichen Entwicklungen am Xerox PARC, die zuvor auf dem Xerox Alto demonstriert wurden, in einem ersten kommerziellen Computersystem: dem Xerox 8010 Information System, oder auch kurz Xerox Star³³ (s. Abbildung 1.20a). Das System verwendete als erstes System die sogenannte Desktop-Metapher³⁴, welche in ihren Grundzügen bis heute die übliche Form der grafischen Benutzungsschnittstelle eines PCs darstellt. Auf dem für damalige Verhältnisse großen 17-Zoll-Bildschirm³⁵ wurden die einzelnen Elemente des Systems über kleine Symbolgrafiken, die von einer Benutzerin frei positioniert werden konnten, repräsentiert (s. Abbildung 1.20b). Die Ordnung der Daten erfolgte bereits über Dateien und Ordner, sowie „Ordnerschränken“, welche die Dateiserver im Netzwerk symbolisierten. Weitere Symbole stellten unter anderem die verfügbaren Netzwerkdrucker, E-Mail-Ein- und Ausgang, oder Anwendungen dar. Als Eingabegeräte besaß das System eine Tastatur mit einem regulären Tastenfeld ergänzt durch drei zusätzliche Tastenfelder und eine Maus mit zwei Tasten. Als eine Variante zu der Kombination von Computer und Maus wurde auch eine Tastatur mit integriertem Touchpad angeboten.

Xerox Star

³³ „Star“ bezog sich eigentlich nur auf das installierte Softwarepaket mit diversen Büroanwendungen. Es wurden auch Systeme mit LISP- und SmallTalk-Entwicklungsumgebungen verkauft.

³⁴Die Desktop-Metapher bezeichnet die Analogie zwischen dem physischen Büroarbeitsplatz und der grafischen Oberfläche im Computer. Hierzu zählt, Dateien als Papierseiten zu symbolisieren, Verzeichnisse als Aktenordner darzustellen oder Systemoperationen über „natürliche“ Handlungen einer Büroumgebung darzubieten (z. B. das Löschen einer Datei über die Ablage im virtuellen Papierkorb).

³⁵Auflösung: 1024 x 809 Pixel

Bedienschema des Xerox Star

Im Vergleich zum heute gebräuchlichen Bedienschema eines PC wurden beim *Xerox Star* Maus und Tastatur noch auf eine etwas andere Art und Weise genutzt. Die übliche Vorgehensweise bestand darin, ein Element auf dem Bildschirm mit der Maus zu selektieren (z. B. das Icon einer Datei), um dann über eine Taste des linken zusätzlichen Tastenfeldes der Tastatur die gewünschte Operation, die auf das selektierte Element angewandt werden sollte, auszuwählen. Das Tastenfeld bot Tasten für die Operationen: „Löschen“, „Kopieren“, „Bewegen“, „Eigenschaften“, „Wiederholen“, „Finden“, „Angleichen/Übertragen“³⁶ und „Öffnen“. Diese grundlegenden Operationen konnten durchgehend für alle selektierbaren Objekte angewandt werden. Eine selektierte Datei konnte beispielsweise über die „Kopieren“-Taste von einem Speicherort zu einem anderen kopiert werden. Bei einem selektierten Text hingegen, konnte entsprechend der Text als Kopie an einer anderen Stelle oder in einem anderen Dokument eingefügt werden. Mittels der „Move“-Taste wurde auch auf diese Weise eine Art „Drag and Drop“ Funktionalität realisiert. Sollte beispielsweise ein Dokument gedruckt werden, so selektierte man es mit der Maus, betätigte die Move-Taste und klickte dann schließlich mit der Maus das Icon des Netzwerkdruckers an, um das Dokument auf den Drucker zu „schieben“. Eine direkte Form des „Drag and Drop“, realisiert über das heute übliche *Gedrücktthalten* der Maustaste, wurde erst mit dem Apple Lisa eingeführt.

Drag and Drop

Textverarbeitung

Die Hauptapplikation des Xerox Star bestand in der Textverarbeitung. Die Software war ihrer Zeit weit voraus. Sie unterstützte WYSIWYG zu einem Grad, dass die Darstellung eines Dokumentes am Bildschirm nahezu identisch mit dem Erscheinungsbild des ausgedruckten Dokumentes war. Die Textverarbeitung beherrschte die Verwendung verschiedener Schriftarten, Schriftstile und diverse Layoutvarianten. Darüber hinaus konnten bereits Grafiken und editierbare, mathematische Formeln in den Text eingebunden werden. Eine Tabellenkalkulation existierte erstaunlicherweise zunächst nicht für das Xerox Star System.

Eine zweiteilige Videodemonstration des Systems ist unter [diesem](#)³⁷ und [diesem](#)³⁸ Link zu finden. Diese Videos wirken insbesondere dann sehr beeindruckend, wenn man sich vor Augen hält, dass heutige Computersysteme im Vergleich eine ca. 100.000 fache größere Rechenleistung, einen ca. 5.000.000 fachen größeren Arbeitsspeicher und einen ca. 25.000 fachen größeren lokalen Festplattenspeicher besitzen³⁹.

Die Innovationen des *Xerox 8010 Information System* lassen sich wie folgt zusammenfassen:

³⁶engl. Tastenbezeichnung: *same*

³⁷<http://www.youtube.com/watch?v=Cn4vC80Pv6Q> (Teil 1/2)

³⁸<http://www.youtube.com/watch?v=0DZBL80JPqw> (Teil 2/2)

³⁹Annahme eines Intel Core 2,2 GB Arbeitsspeicher und 250 GB Festplatte

Innovationen des Xerox Star:

- Verwendung eines hochauflösenden Rasterbildschirms
- erste Verwendung der „Desktop Metapher“
- Organisation der Daten in Dateien, Ordner und Ordnerschränken
- Verwendung der Maus als Zeigegerät
- Transparente Einbindung von Netzwerkressourcen, z. B. Drucker- und Dateiserver per Ethernet
- Integration von E-Mail
- sehr weit entwickelte WYSIWYG-Textverarbeitung

Innovationen des
Xerox Star

Obwohl das Xerox Star System zu dieser Zeit sicherlich das fortschrittlichste System im Bereich der Büroanwendungen war, konnte es sich unter anderem aufgrund seines relativ hohen Preises nicht gegen die zwar weniger gut ausgestatteten, jedoch auch deutlich günstigeren IBM-PCs und Apple-Systeme durchsetzen. Insgesamt wurden nicht mehr als 25.000 Systeme verkauft. Unbestritten ist jedoch der große Einfluss des Star-Systems auf die weitere Entwicklung der grafischen Benutzungsschnittstelle von Anwendungscomputern.



(a)



(b)

Abbildung 1.21: Apple Computer aus den frühen 80er Jahren. **(a)** Lisa 2. **(b)** Macintosh.

(Bild: Apple Inc)

Im Jahr 1983 stellte Apple das Lisa-System⁴⁰ (s. Abbildung 1.21a) vor. Es bot wie das zwei Jahre zuvor vorgestellte Xerox-System eine vergleichbare grafische Benutzungsschnittstelle, welche auch die Desktop-Metapher einsetzte. Die Eingabe erfolgte ebenfalls über eine Kombination von Maus und Tastatur. Durch eine deutlich reduzierte Hardware-Ausstattung im Vergleich zum Xerox Star konnte das System deutlich günstiger als das Xerox-System angeboten werden. Somit wurde es auch für kleine und mittlere Unternehmen erschwinglich. Dennoch war auch das Lisa-System kein großer kommerzieller Erfolg. Es wurde in vergleichbar geringen Stückzahlen verkauft wie das Xerox-Star System.

Apple Lisa &
Macintosh

⁴⁰Local Integrated Software Architecture

Motorola 68000

Erst mit dem 1984 vorgestellten Apple Macintosh (s. Abbildung 1.21b) konnte durch eine weitere Reduzierung der Kosten ein System angeboten werden, das ebenfalls eine grafische Benutzungsschnittstelle mit Maus-Steuerung hatte und durch seinen vergleichsweise geringen Preis ein großer kommerzieller Erfolg wurde. Ein weiterer wichtiger Punkt für den Erfolg der Apple Systeme war die Verwendung des zu seiner Zeit sehr fortschrittlichen Motorola 68000 Prozessors⁴¹, der es erlaubte, spätere Modellversionen mit schnelleren Varianten des 68000er Prozessors auszurüsten. So lief bereits der Apple Macintosh bei seiner Einführung 1984 mit einem 8 Mhz Systemtakt, während das ein Jahr zuvor vorgestellte Lisa-System noch mit 5 Mhz Systemtakt auskommen musste.

dokumentzentriert
vs.
programmzentriert

Bezüglich vieler Interaktionskonzepte ähnelt die grafische Benutzungsschnittstelle dieser frühen Apple-Systeme der Benutzungsschnittstelle des Xerox Star. Beide Systeme verwenden intensiv die Maus als Eingabegerät und beide Systeme sind „dokumentzentriert“. Im Gegensatz zu vielen in der zweiten Hälfte der 80er Jahre vorgestellten „programmzentrierten“ grafischen Benutzungsschnittstellen (z. B. X-Window System, Windows etc.), repräsentieren die Fenster der Apple- und Xerox-GUIs Dokumente und nicht Programme. Die eigentlichen Programme für die Darstellung und Bearbeitung dieser Dokumente treten hierbei aus Sicht der Benutzerin eher in den Hintergrund. Während beim Xerox Star die Tastatur mit ihren Funktionsblöcken (s.o.) noch wesentlicher Bestandteil des Maus-Interaktionskonzeptes war, wurde erstmals beim Apple die Auswahl der gewünschten Funktionalität einheitlich über eine Menüleiste am oberen Bildrand gestaltet. Die häufig verwendete „Move“-Funktion des Xerox Star wurde beim Apple durch das „Drag and Drop“-Mausschema ersetzt.

Ein zweiteiliges Werbevideo für das Lisa-System, welches die wesentlichen Komponenten in Aktion zeigt, ist unter [diesem](#)⁴² und [diesem](#)⁴³ Link zu finden.

multi-touch-
Eingabe

Bereits im Jahr 1972 kamen die ersten sehr einfachen berührungsempfindlichen Bildschirme⁴⁴ im PLATO IV System des Computer-based Education Research Laboratory der Universität von Illinois zum Einsatz. Sie dienten hierbei jedoch lediglich dazu, bestimmte Elemente auf dem Bildschirm auszuwählen. Eine Erkennung der Stärke des Druckes, die Erkennung mehrerer Finger oder der Einsatz von Gesten wurden jedoch nicht durchgeführt. Eine erste Arbeit, die auch diese Parameter berücksichtigte, wurde 1982 veröffentlicht. Die Arbeit⁴⁵ von Nimish Mehta mit dem Titel „A Flexible Machine Interface“ gilt als eine der ersten Arbeiten zu einem *multi-touch*-Eingabegerät. Das von Mehta konstruierte System bestand aus einer satinierten Glasplatte und einer Kamera,

⁴¹Der erste 68000er wurde bereits 1979 vorgestellt und arbeitete zu dieser Zeit bereits intern mit 32-Bit!

⁴²<http://www.youtube.com/watch?v=W35vpsPIw1U> (Teil 1/2)

⁴³<http://www.youtube.com/watch?v=EtcTKunNEQ> (Teil 2/2)

⁴⁴Die Bildschirme verfügten über eine Reihe von „Lichtschranken“ im Rahmen des Monitors für die Detektion einer Berührung in 16 x 16 Sektoren.

⁴⁵Als Master-Arbeit an der Elektrotechnik-Fakultät der Universität Toronto

die auf die Rückseite der Glasplatte gerichtet war. Die optischen Eigenschaften des verwendeten Glases waren derart, dass an den Stellen, an denen eine Benutzerin die Glasplatte mit ihren Fingern berührte, dunkle Flecken auf der ansonsten weiß erscheinenden Rückseite zu erkennen waren. Darüber hinaus korrespondierte die Größe der Flecken mit dem Druck, den die Benutzerin auf die Glasplatte ausübte. Über eine einfache Bildverarbeitung konnten schließlich diese dunklen Flecken erkannt und als Eingabe für ein Computersystem verwendet werden, z. B. um ein Bild zu malen. Zwischenzeitlich wurden eine Reihe sogenannter *interaktiven Tische* am Markt angeboten, die ein ähnliches Verfahren verwenden. Auch hier wurden die Fingerpositionen über eine Kamera detektiert, die auf die Unterseite der gläsernen und matten Tischplatte des interaktiven Tisches gerichtet ist. Inzwischen wurde diese Technik jedoch weitestgehend von kapazitiven Messmethoden ersetzt.

Während es sich bei dem System von Nimish Mehta noch um ein eigenständiges Eingabegerät handelte, wurde 1984 von Bob Boie (Bell Labs) der erste *multi-touch*-Bildschirm vorgestellt. Dieser bestand aus einem transparenten, auf kapazitiver Basis arbeitenden Sensorfeld, welches vor einem Röhrenmonitor angebracht war. Laut Aussage von Bill Buxton⁴⁶, der das System zu dieser Zeit ausprobieren konnte, hatte das System eine exzellente Latenz und ermöglichte die intuitive Manipulation grafischer Objekte mit den Fingern.

multi-touch-
Bildschirm

Weitere Arbeiten im Bereich der *Multitouch*-Eingabesysteme fanden Mitte der 80er Jahre unter anderem an der Universität von Toronto [LBS85, BHR85] statt.

Im Verlauf der 80er Jahre formte sich zunehmend auch das Gebiet der *Virtual Reality*. Der Begriff der *Virtual Reality* selbst wurde 1989 durch Jaron Lanier formuliert. Zuvor hatten Jaron Lanier und Thomas Zimmermann⁴⁷ im Jahr 1984 die Firma VPL Research gegründet und 1985 für die NASA den ersten kommerziellen Datenhandschuh⁴⁸ entwickelt. Der Handschuh bestand aus Elasthan und auf der Rückseite jeden Fingers war eine speziell behandelte Glasfaser eingearbeitet. Über die Abschwächung der Intensität des durch diese Glasfasern gesendeten Lichtes konnte die Krümmung der Finger ermittelt werden. Das Prinzip dieser Messung entspricht dem des oben aufgeführten Sayre Handschuhs aus 1977. Der Unterschied besteht in der Verwendung von Glasfasern anstelle von Schläuchen. Die Position der Hand im Raum wurde über eine magnetische Positionsbestimmung ermittelt. Die Samplingrate betrug lediglich 30 Hz, sodass schnelle Bewegungen der Hand nicht genau erfasst werden konnten [SZ94]. Die NASA verwendete diesen Datenhandschuh unter anderem in Verbindung mit dem *Virtual Visual Environment Display* (VIVED) und später mit der *Virtual Environment Workstation* (VIEW) [Pie10].

Virtual Reality

Das VIVED-System (s. Abbildung 1.22a) bestand aus einem sogenannten *Head-Mounted-Display* (HMD) mit einem großen Blickwinkel und einer ste-

VIVED

⁴⁶Microsoft Research, <http://www.billbuxton.com/multitouchOverview.html>

⁴⁷Lanier und Zimmermann waren zu dieser Zeit Kollegen bei Atari.

⁴⁸Dieser wurde ab 1986 für etwa 9000 US Dollar verkauft.



Abbildung 1.22: Virtual Reality Systeme der NASA. **(a)** VIVED-System. **(b)** VIEW-System.

(Bild: NASA)

reoskopischen Darstellung der virtuellen Umgebung. Die Steuerung des Systems erfolgte über die Position, die Stimme und die Gesten des Operators. Die künstliche Umgebung wurde nicht nur dem Operator passiv präsentiert, sondern sie konnte auch von diesem über entsprechende Interaktionen manipuliert werden. Das VIVED-System war eine „Minimalkonfiguration“, die als erste demonstrierte, dass es möglich ist, kostengünstige, immersive Systeme zu realisieren.

VIEW Das VIEW-System (s. Abbildung 1.22b) baute auf das VIVED-System und den mit diesem System gemachten Erfahrungen auf. Es sollte mehr als nur die Minimalanforderungen an ein immersives System umsetzen. Das VIEW-System bestand aus einem HMD, Datenhandschuhen, Spracheingabe und Sprachausgabe, einer auditiven und visuellen Umweltmodellierung und Systemen zur Bewegungsverfolgung. Das System hatte die Erforschung von vornehmlich zwei Anwendungsfeldern zum Ziel. Zum einen sollten die Möglichkeiten der Teleoperation⁴⁹ von Systemen untersucht werden und zum anderen sollte die räumliche Datenvisualisierung erprobt werden. Diese Anwendungsfelder dienten in erster Linie dazu, verschiedene interaktive Szenarien bereit zu stellen, die sowohl die geeigneten Schwerpunkte während der Integration des Systems setzten als auch späteren Wissenschaftlerinnen die Möglichkeit boten, über eine einfache Rekonfiguration der bestehenden Software, diese für die eigenen Zwecke einzusetzen zu können.

Spracherkennung Obwohl bereits seit Anfang der 60er Jahre an Methoden zur Spracherkennung gearbeitet wurde, kam die Entwicklung einer stabilen Spracherkennung erst Mitte der 80er Jahre weiter voran. Die Entdeckung der sogenannten *Trigrammstatistiken* ermöglichte die zuverlässige Unterscheidung von ähnlich klingenden

⁴⁹Im Sinne von „Fernsteuerung“

Homophonen⁵⁰ durch die Hinzunahme des jeweiligen lokalen Kontextes. Das erste System, was diese Technologie einsetzte, wurde von IBM im Jahr 1984 vorgestellt. Es konnte etwa 5000 englischsprachige Worte erkennen, benötigte hierfür jedoch auch mehrere Minuten Rechenzeit pro Wort auf einem Großrechner. Im Laufe der späten 80er und während der 90er Jahre verbesserte sich die Erkennungsleistung deutlich, während gleichzeitig die hierfür benötigte Rechenleistung soweit sank, dass die Erkennungsprogramme auf normalen PCs in Echtzeit laufen konnten. Ein Beispiel für diese Entwicklung ist die von *Dragon Systems* im Jahr 1997 vorgestellte Software „*Naturally Speaking*“, welche normal gesprochene, flüssige Sprache verhältnismäßig gut erkennen konnte. Eine Bewertung der Spracherkennungsleistung von Systemen, die auf diesen Prinzipien basieren, liefert [FAG08]. Eine Übersicht über die Entwicklung der Spracherkennung von 1985 bis etwa 2009 liefert diese [Webseite](#)⁵¹ des NIST⁵². Mit dem Aufkommen der wesentlich leistungsfähigeren *Deep Learning*-Methoden (etwa ab dem Jahr 2010) wurden die Paradigmen aus den 80er und 90er Jahren praktisch abgelöst.

Im Jahr 1988 stellten Lawrence Farwell und Emanuel Donchin die erste auf EEG⁵³ basierende Gehirn-Computer-Schnittstelle (engl. BCI⁵⁴) vor [FD88]. Ihr System sollte es vollständig gelähmten Personen (z. B. mit Locked-in-Syndrom) ermöglichen, mit der Außenwelt zu kommunizieren. Zu diesem Zweck stellten sie die 26 Buchstaben des Alphabets in einem Raster dar und die Patienten mussten den gewünschten Buchstaben mit den Augen fixieren. Im Anschluss wurden die Zeilen und Spalten des Rasters wiederholt nacheinander hell markiert. Wenn der Buchstabe in einer der markierten Zeilen oder Spalten lag, löste dies ein sogenanntes ERP⁵⁵-Signal – das „P300“ (s. Abbildung 1.23) – aus. Auf diese Weise war es möglich, 12 Bit Information pro Minute zu übertragen. Dies entspricht etwa 2,3 Buchstaben pro Minute. Der klinische Nutzen derartiger Schnittstellen ist jedoch umstritten, da häufig andere Schnittstellen, z. B. mittels Eye-Tracker, eine deutlich höhere Übertragungsrate erlauben und weniger aufwendig in der Umsetzung sind. Es besteht jedoch die Hoffnung, dass diese Probleme der BCI-Schnittstellen in Zukunft reduziert werden können.

erste Gehirn-
Computer-
Schnittstelle
(BCI)

Die 80er Jahre waren geprägt durch die Erschließung des Massenmarktes für Personal Computer. Im Zuge dessen wurden viele der in den 60er und 70er Jahren entwickelten Ideen zur Marktreife entwickelt. Gleichzeitig wurden aber auch die Grundlagen für neue Interaktionskonzepte, z. B. der multi-touch-Eingaben, geschaffen, die erst in jüngster Zeit ihren Weg in den Massenmarkt

⁵⁰Als *Homophone* werden gleich oder ähnlich klingende Worte bezeichnet, die je nach Kontext eine unterschiedliche Bedeutung haben, z. B. Kälte und Kelte.

⁵¹<https://www.nist.gov/itl/iad/mig/rich-transcription-evaluation>

⁵²National Institute of Standards and Technology

⁵³Elektroenzephalografie

⁵⁴brain computer interface

⁵⁵event-related potential, auf deutsch: ein ereigniskorreliertes Potential

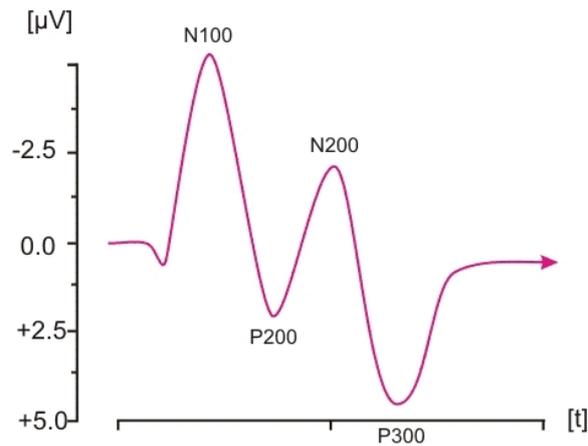


Abbildung 1.23: Schematische Darstellung verschiedener ERPs. Die horizontale Achse repräsentiert den Zeitverlauf und die vertikale Achse repräsentiert die an einer EEG-Elektrode gemessene Spannung in Mikrovolt (man beachte die Polarität der Achse!). Die Bezeichnung der ERPs setzt sich aus einem großen N für negative Ausschläge oder einem großen P für positive Ausschläge und der durchschnittlichen Verzögerung in Millisekunden bzgl. der Ursache des Ausschlages (dem sogen. Ereignis) zusammen – daher der Name „ereigniskorreliertes Potential“. Das im System von Farwell und Donchin genutzte Signal war das P300. Es tritt in Folge eines unerwarteten visuellen Reizes ca. 300ms später auf und hat einen positiven Spannungsausschlag.

(Bild: Wolfgang Lenhard, CC)

gefunden haben. Den Weg für die Umsetzung dieser neuen Interaktionskonzepte ebneten unter anderem die Miniaturisierung und Vernetzung der Computer im Laufe der 90er Jahre.

1.1.5 1990er Jahre

Im März 1989 schlug der am Kernforschungszentrum CERN⁵⁶ arbeitende Tim Berners-Lee die Entwicklung eines internetbasierten Hypertext-Systems vor, um die Zusammenarbeit der Wissenschaftler am CERN zu verbessern. Berners-Lee hatte bereits in den 80er Jahren ein ähnliches System namens *ENQUIRE* entwickelt, welches jedoch nur für die interne Verwendung am CERN und unter Einsatz einer zentralen Datenbank lief. Die mit diesem System gemachten Erfahrungen flossen als Verbesserungen in das neue, offene und dezentrale System ein. Zwischen November und Dezember 1990 implementierte Tim Berners-Lee zusammen mit Robert Cailliau und einem jungen Studenten am CERN den ersten HTTP-Server und den ersten HTTP-Client, die über das

⁵⁶Das CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) ist die Europäische Organisation für Kernforschung mit Sitz in Meyrin im Kanton Genf, Schweiz, und betreibt an diesem Standort eine Großforschungseinrichtung. Im Fokus der Öffentlichkeit steht hierbei meist der von dieser Einrichtung betriebene, große Teilchenbeschleuniger.

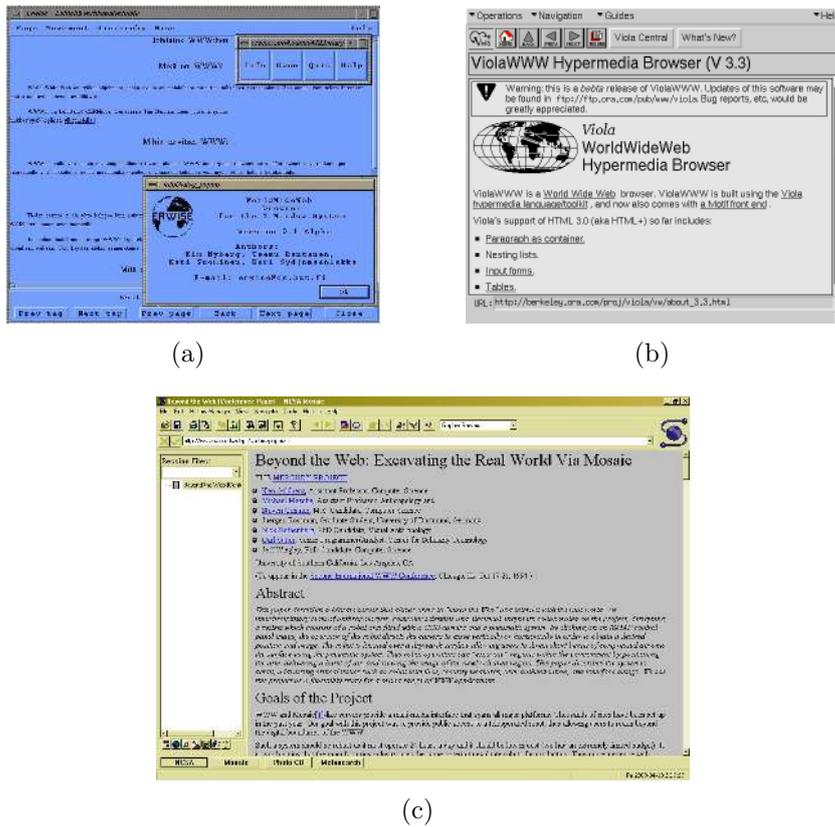


Abbildung 1.24: Die ersten Browser: (a) Erwise (b) ViolaWWW (c) Mosaic. (Bild: Wikipedia)

Internet miteinander kommunizierten. Sie taufte ihr System das *World Wide Web*. Unter der gleichen Bezeichnung firmierte auch der erste, ebenfalls von Berners-Lee programmierte Web-Browser. Dieser wurde später in *Nexus* umbenannt, um eine Verwechslung mit dem Netz selbst zu vermeiden. Der Nexus-Browser diente gleichzeitig auch als WYSIWYG-Editor für neue Webseiten. Er war jedoch nur für das wenig verbreitete NeXT-System verfügbar. Als Cross-Platform Browser, der jedoch keine Editierfähigkeiten besaß, folgte relativ schnell der *Line Mode Browser* und ermöglichte so den Zugang auch von anderen Betriebssystemen aus. Im Jahr 1992 folgten die ersten grafischen Browser namens „*Erwise*“ und „*ViolaWWW*“ (s. Abbildung 1.24a und 1.24b). Im Jahr 1993 erschien schließlich der aufgrund seiner einfachen Installation und seiner Portierung für Windows überaus populäre Browser „*Mosaic*“ (s. Abbildung 1.24c), welcher als Wegbereiter des Internet-Booms der 90er Jahre gilt. Die einfach zu bedienende, grafische Benutzeroberfläche ermöglichte erstmals einer großen Öffentlichkeit den Zugang zu den Diensten des Internets (neben *HTTP* auch *FTP*, *NNTP* und *gopher*).

WWW

Mosaic

Im Jahr 1992 wurde am EVL⁵⁷ (s. Abschnitt 1.1.3) das erste Rundumprojektionssystem, die sogenannte *CAVE* („Cave Automatic Virtual Environment“),

⁵⁷Electronic Visualization Laboratory



Abbildung 1.25: Aufnahme der CAVE des EVL (1992).

(Bild: Dave Pape)

von Carolina Cruz-Neira, Dan Sandin, and Tom DeFanti entwickelt. Dan Sandin hatte bereits in den 70er Jahren zusammen mit Myron Krueger an videobasierten Interaktionssystemen gearbeitet und 1973 zusammen mit Tom DeFanti das EVL gegründet.

CAVE Die CAVE ist ein Projektionssystem, das die Benutzerin inmitten einer virtuellen Welt platziert (s. Abbildung 1.25). Die Bilder der virtuellen Umgebung wurden beim ersten CAVE System des EVL auf drei Seitenwände und auf den Boden projiziert. Die Kopf- und die Handposition der Benutzerin wurden über ein magnetisches Trackingsystem verfolgt. Eine 3D-Shutterbrille⁵⁸ erzeugte einen dreidimensionalen Eindruck der virtuellen Umgebung. Über ein 3D-Eingabegerät, dem sogenannten „Wand“ (dt. *Zauberstab*), konnte die Benutzerin mit der virtuellen Umgebung interagieren. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Bestrebungen, die Immersion in eine virtuelle Realität über den Einsatz von HMDs zu erzeugen, erlaubt die Verwendung einer CAVE eine gleichzeitige, gemeinsame Benutzung der virtuellen Realität (VR) von mehreren Benutzern, ohne dass diese selbst in Form von Avataren in der VR repräsentiert werden müssen. Darüber hinaus müssen die Anwender – wenn überhaupt – nur sehr leichte und einfach zu handhabende Shutter- oder Polarisationsbrillen⁵⁹ tragen, um einen räumlichen Eindruck der Szenerie zu er-

⁵⁸Eine Shutterbrille verschließt im schnellen Wechsel jeweils ein Auge der Betrachterin. Über eine synchronisierte Projektion kann auf diese Weise jedem Auge eine leicht verschobene Ansicht der Szenerie präsentiert und somit ein stereoskopischer 3D-Effekt erzielt werden.

⁵⁹Polarisationsbrillen filtern das Licht derart, dass an die Augen jeweils nur komplementär polarisiertes Licht gelangt. Mit einer entsprechend polarisierten Stereoprojektion kann schließlich ein dreidimensionaler Eindruck entstehen.

langen. Ein kurzes Video, das den Aufbau, die Funktionsweise und mögliche Anwendungsfälle der EVL CAVE erläutert, kann [hier](#)⁶⁰ abgerufen werden.

Während der Forschungszweig der Virtuellen Realität darum bemüht ist, ein möglichst immersives Erlebnis für die Anwenderin mittels einer möglichst perfekten, synthetisch generierten Umwelt zu erschaffen, beschäftigt sich das Gebiet der *Augmented Reality*⁶¹ mit der Kombination von künstlich erzeugten Elementen und der realen Umgebung. Erstmals wurde dieser Begriff der erweiterten Realität im Jahr 1992 von Tom Caudell (Boing) formuliert. In einem Konferenzbeitrag [CM92] beschreibt Caudell ein System bestehend aus einem halbdurchlässigen HMD, einem Tracking-System und einer Umgebungserfassung, um die Montage von Kabelsträngen durch die passende Einblendung von Zeichnungen und Montageinformationen zu unterstützen.

Augmented Reality

Bereits im Jahr zuvor, 1991, stellte Pierre Wellner vom Xerox EuroPARC die erste Version seines „*Digital Desks*“ vor. Dieser „digitale Schreibtisch“ ist eines der ersten Augmented-Reality-Systeme, welches bereits eine Vielzahl an innovativen Interaktionsmechanismen [Wel93] aufzeigte. Das System bestand aus einem Schreibtisch, über dem sowohl ein Projektor, als auch eine Kamera angebracht waren. Über den Projektor konnten virtuelle Gegenstände und Darstellungen auf den Schreibtisch projiziert werden, z. B. ein Taschenrechner. Über die Kamera konnten reale Gegenstände aufgezeichnet und in den digitalen Bereich übertragen werden, z. B. der Text auf einem Blatt Papier. Zudem wurden die Hände der Benutzerin erfasst und für die Steuerung des Systems eingesetzt. Einige der heutzutage von Multitouch-Geräten wie dem iPhone bekannten Steuerungskonzepte, z. B. der sogenannte „*Pinch-Zoom*“⁶², wurden bereits damals auf dem *Digital Desk* Prototypen umgesetzt. Ein Video, das diese und andere Interaktionen mit dem *Digital Desk* demonstriert, kann [hier](#)⁶³ heruntergeladen werden.

Digital Desk

Im Jahr 1994 skizzierten Paul Milgram et al. schließlich das Konzept des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuums [MTUK94], in dem sie die verschiedenen Strömungen der virtuellen und erweiterten Realität zusammenfassten (s. Abbildung 1.26). Hierbei bilden die „unmodifizierte“ reale Umgebung und die vollkommen virtuelle Umgebung die beiden Extrema des Kontinuums. Dazwischen befinden sich die *Mixed Reality*-Systeme: Die erweiterte Realität (*Augmented Reality*), bei der die reale Umgebung durch virtuelle Elemente ergänzt wird,

Realitäts-
Virtualitäts-
Kontinuum

⁶⁰<http://www.youtube.com/watch?v=-Sf6bJjwSCE>

⁶¹zu deutsch:erweiterte Realität

⁶²Als *Pinch-Zoom* wird das Skalieren eines Inhalts über eine kontrahierende bzw. expandierende Bewegung zweier Finger, meist Daumen und Zeige- oder Ringfinger, relativ zueinander bezeichnet.

⁶³<http://www.youtube.com/watch?v=laApNiNpvnI>

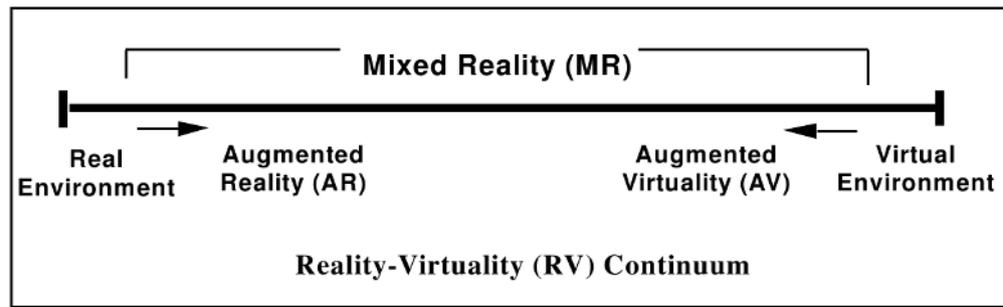


Abbildung 1.26: Das Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum von Paul Milgram et al.
(Bild: [MTUK94])

und die erweiterte Virtualität (Augmented Virtuality), bei der die virtuelle Umgebung durch reale Elemente ergänzt wird.

Viele der beschriebenen Entwicklungen der 70er und 80er Jahre haben ihre Wurzeln in den Ideen und Überlegungen der ersten Pionierinnen und Visionäre im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion, wie etwa Vannevar Bush, Morton Heilig, J.C.R. Licklider oder auch Myron Krueger. All diesen Ideen ist gemein, dass sie den Computer bzw. seine jeweilige Schnittstelle als eine identifizierbare Entität und als „Gegenüber“ des Menschen auffassen. Die Interaktion ist i.d.R. immer direkt und explizit. Dieses grundlegende Prinzip prägt bis heute den überwiegenden Teil der Interaktionen zwischen Mensch und Computer.

Eingebettete
Systeme

Durch die zunehmende Miniaturisierung und Leistungssteigerung auf dem Gebiet der Mikroelektronik vergrößerte sich nicht nur die Zahl der Personal-Computer rasant. Auch die Zahl der zu Steuerungs- und Messzwecken eingesetzten Computer – meist in Form einfacher Mikrocontroller – stieg stetig an. Heutzutage gibt es kaum ein elektrisches Gerät, das nicht auch einen kleinen Mikroprozessor enthält. Analog zu den Anfängen des Computers sind die Mikroprozessoren dieser Geräte meist mit festen Programmabläufen für die Steuerung und Regelung programmiert und besitzen als Schnittstellen nur die für diese Aufgabe notwendigen Schnittstellen, z. B. eine entsprechende Sensorik. Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit dieser *eingebetteten* Systeme wird es jedoch möglich, dass sie komplexere Schnittstellen erhalten und hierdurch eine viel weitergehende Interaktion mit ihrer Umgebung, und damit auch mit den Menschen, möglich wird. Der Charakter dieser Interaktion unterscheidet sich grundlegend von der bisher beschriebenen direkten und expliziten Interaktion, da die eingebetteten Systeme im Allgemeinen von Menschen unbemerkt und damit für diese unsichtbar bleiben.

Ubiquitous
Computing

Bereits Anfang der 90er Jahre erkannte Mark Weiser, Mitarbeiter von Xerox PARC, diese Entwicklung einer neuen Art von Interaktion zwischen Mensch und Computer. In seinem im Jahr 1991 erschienenen Aufsatz „The Computer for the 21st century“ definiert er den Begriff des *Ubiquitous Computing*, der

(wörtl.) „allgegenwärtigen Datenverarbeitung“ [Wei91]. Er charakterisiert die Art dieser neuen Interaktion wie folgt:

The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it.

Consider writing, perhaps the first information technology: The ability to capture a symbolic representation of spoken language for long-term storage freed information from the limits of individual memory. Today this technology is ubiquitous in industrialized countries. Not only do books, magazines and newspapers convey written information, but so do street signs, billboards, shop signs and even graffiti. Candy wrappers are covered in writing. The constant background presence of these products of „literacy technology“ does not require active attention, but the information to be conveyed is ready for use at a glance. It is difficult to imagine modern life otherwise.

Silicon-based information technology, in contrast, is far from having become part of the environment. More than 50 million personal computers have been sold, and nonetheless the computer remains largely in a world of its own. It is approachable only through complex jargon that has nothing to do with the tasks for which people actually use computers. The state of the art is perhaps analogous to the period when scribes had to know as much about making ink or baking clay as they did about writing.

Eine erste Klasse von Systemen, die eine Neugestaltung bzw. eine Anpassung der bestehenden Interaktionskonzepte erforderte und als Schritt in Richtung des *ubiquitous computing* verstanden werden kann, entstand im Laufe der 90er Jahre in Form der sogenannten „*Personal Digital Assistants*“ (PDAs). Zu den ersten Systemen dieser Art gehört der bereits in den frühen achtziger Jahren verkaufte *Psion Organiser* der gleichnamigen englischen Firma. Insbesondere die zweite Modellvariante, die ab 1986 verkauft wurde, wurde häufig für die mobile Datenerfassung eingesetzt⁶⁴. Als Benutzungsschnittstellen dienten je nach Modell eine zwei- bis vier-zeilige LCD-Text-Anzeige und ein Tastenfeld mit 36 Tasten (s. Abbildung 1.27).

PDA

Am Beispiel der Psion Geräte zeigt sich sehr schön, wie eine schrittweise Anpassung der zu diesem Zeitpunkt üblichen Ein- und Ausgabegeräte auf diese neue Systemklasse durchgeführt wurde. Das in Abbildung 1.27 gezeigte Modell aus dem Jahr 1986 hat Tastatur und Anzeige auf der Frontseite des Gerätes, vergleichbar mit einem Taschenrechner. Bei dieser Anordnung konkurrieren Anzeige und Tastatur um den verfügbaren Platz. Das Format der Tastatur wurde entsprechend angepasst und auf 6×6 Tasten reduziert. Es entspricht hiermit nicht mehr dem vom Personal-Computer gewohnten QWERTY-Layout und erfordert eine Umgewöhnung vom Benutzer. Das Display besitzt nur 2 Zeilen, die nur wenige Zeichen Text darstellen können. Damit ist es nicht möglich,

Schnittstellen für mobile Geräte

⁶⁴Insbesondere aufgrund der fast legendären Robustheit des Systems.



Abbildung 1.27: Organiser der Firma Psion. Links: Psion Organiser 2 (1986). Rechts: Psion Serie 3 (1991).

(Bild: <http://www.mobile-planet.org>, Wikipedia:Liftarn, CC)

eine selbsterklärende, grafische Benutzungsoberfläche darzustellen. Die Befehle des Systems müssen von den Benutzern auswendig gelernt werden. Ein kleines Gerät mit großem Bildschirm und großer Tastatur ist auf diese Weise nicht zu realisieren. Es müssen sowohl bei der Eingabe über das Tastenfeld als auch bei der Ausgabe über die Anzeige große Kompromisse gemacht werden, die zu einer wenig intuitiven bzw. wenig komfortablen Bedienung des Systems führen. Darüber hinaus muss für den Transport eine Schutzhülle über die Tastatur geschoben werden, um ein unbeabsichtigtes Drücken der Tasten zu verhindern. Möchte man das System bedienen, muss also immer erst ein Platz für die Schutzhülle gefunden werden.

Überarbeitung
bestehender
Schnittstellen-
konzepte

Das in Abbildung 1.27 gezeigte Nachfolgemodell aus dem Jahr 1991 zeigt eindrucksvoll, wie die oben beschriebenen Probleme durch ein neues Design gelöst wurden. Die verfügbare Fläche wurde durch einen Klappmechanismus faktisch verdoppelt. Entsprechend der mechanisch vorgegebenen Zweiteilung wird die eine Fläche durch die Anzeige belegt und die andere Fläche für die Tastatur verwendet. Diese besitzt nun 58 Tasten und hat ein Format, das dem Layout einer „normalen“ QWERTY-Tastatur ähnelt. Das Display hat nun eine brauchbare Größe und kann sowohl Text als auch Grafik darstellen. Dies ermöglicht die Verwendung einer selbsterklärenden grafischen Benutzungsschnittstelle. Zu guter Letzt ist im zusammengeklappten Zustand die Tastatur vor einer unbeabsichtigten Bedienung geschützt.

alternative
Schnittstellen für
mobile Geräte

Die zuvor beschriebenen Geräte sind ein Beispiel für die Anpassung von bestehenden, der Nutzerin vertrauten Schnittstellen auf eine neue Klasse von Systemen. Auch wenn das zuvor beschriebene „Klapp-Design“ sich als eine durchaus brauchbare Anpassung erwiesen hat, so ist vor allem die Bedienung der durch die Bauform bedingten, kleinen Tastatur wenig komfortabel. Seit Anfang der 90er Jahre wurden entsprechend einige alternative Eingabemethoden entwickelt und erprobt. Eines der ersten mobilen Geräte, welches nur einen berührungsempfindlichen Bildschirm und keine Tastatur besaß, war das von IBM und BellSouth 1992 entwickelte und 1993 auf den Markt gebrachte Telefon „Simon“ (s. Abbildung 1.28). Die Steuerung erfolgte hierbei wahlweise über die Verwendung der Finger, z. B. um eine Telefonnummer einzugeben, oder über einen passiven Eingabestift, um beispielsweise ein Fax zu zeichnen oder



Abbildung 1.28: Beispiele für alternative Schnittstellen von mobilen Geräten (v.l.n.r.): IBM/BellSouth Simon (1993), PARCTAB (1993) und Palm Pilot 1000 (1996).

(Bild: (v.l.n.r.) Wikipedia:Bcos47, Brian Tramontana, Palm Inc.)

ein Memo einzugeben. Die Eingabe von Text erfolgte über eine Bildschirmtastatur, wahlweise in Form eines bekannten QWERTY-Layouts oder über eine neuartige „vorhersehende“ Tastatur.

Zur gleichen Zeit arbeitete Mark Weiser (Xerox-PARC) mit seiner Forschungsgruppe am sogenannten „*PARCTAB*“ (s. Abbildung 1.28) [WSA⁺95]. Im Gegensatz zu praktisch allen anderen mobilen Endgeräten (bis heute) wurde das *PARCTAB* nicht als eigenständiges Gerät im Sinne eines „mobilen Computers“ entwickelt, sondern als mobiles, grafisches Terminal, das nur als Schnittstelle für im Netzwerk verfügbare Anwendungen diente. Jedes *PARCTAB* war dauerhaft über eine Infrarotschnittstelle mit dem Netzwerk im Xerox-PARC verbunden. Zu diesem Zweck wurden in jedem Raum entsprechende Empfangs- bzw. Sendestationen aufgestellt. Durch die begrenzte Reichweite der Infrarotsignale, bildete praktisch jeder Raum eine eigene „Funkzelle“. Über den Aufenthalt eines *PARCTAB* in einer Funkzelle wurde somit eine grobe Lokalisierung der Geräte möglich und die auf dem Gerät angebotenen Inhalte konnten dementsprechend angepasst werden. Die Eingabe erfolgte über einen passiven Stift auf dem berührungsempfindlichen Bildschirm. Zudem gab es drei ergonomisch platzierte Tasten, die von der das Gerät haltenden Hand bedient werden konnten und als Akkordtastatur verwendet wurden. Neben der Eingabe von Text über eine Bildschirmtastatur ermöglichte das *PARCTAB* die Eingabe von Zeichen über ein vereinfachtes Alphabet von einfachen Stiftgesten, „*Unistrokes*“ genannt, die ohne Absetzen des Stiftes gezeichnet werden konnten. Diese Art der Texteingabe wurde erfolgreich von der Firma Palm unter dem Namen „*Graffiti*“ (s. Abbildung 1.29) in ihren Geräten ab dem Jahr 1996 umgesetzt, z. B. mit dem „*Palm Pilot 1000*“ (s. Abbildung 1.28). Die Verwendung eines derartigen Gestenalphabetes, bei dem die Zeichen einzeln und übereinander auf einer separaten Eingabefläche eingegeben werden, hat sich als deutlich robuster erwiesen, als der Versuch, direkt die Handschrift der Benutzerin zu erkennen. Darüber hinaus ermöglicht die überlagerte Eingabe der einzelnen Zeichen im Vergleich zur direkten Handschrifterkennung die Eingabe von beliebig langen Worten, ohne dass hierbei die Eingabefläche „zu klein“ wird.

PARCTAB

Gestenalphabet

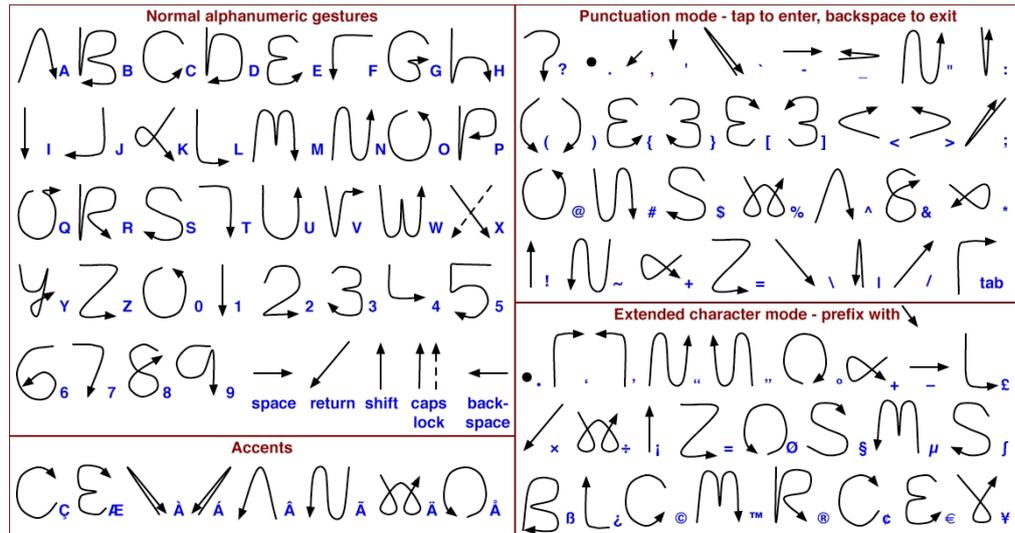


Abbildung 1.29: Das Gestenalphabet „Graffiti“ für die Zeicheneingabe auf mobilen Endgeräten.

(Bild: Wikipedia:IMeowbot, CC)

Studiopaint

Neben der Erforschung von Schnittstellen für mobile Systeme wurden in den 90er Jahren auch neue Möglichkeiten der Interaktion mit „klassischen“ Computersystemen erforscht und die bestehenden Schnittstellen weiter verfeinert. Ein Beispiel hierfür ist die Untersuchung beidhändiger Manipulation in einer Reihe von interessanten Forschungsprojekten, die im Zeitraum von 1994 bis 2002 von der Firma Alias|Wavefront und der Universität von Toronto durchgeführt wurden. So wurde im Projekt *StudioPaint* untersucht, wie durch die Verwendung beidhändiger Manipulation und den Einsatz von Stiftgesten die Arbeit mit Zeichenprogrammen verbessert werden könnte. Ein kurzes Video hierzu ist unter [diesem Link](#)⁶⁵ zu finden.

Boom Chameleon

Ein weiteres Projekt dieser Projektreihe aus dem Jahr 1999 namens *Boom Chameleon* nutzte ein präzise im Raum lokalisiertes und bewegliches Display, um eine Art Fenster in ein virtuelles Szenario zu gewähren (s. Abbildung 1.30). Mit Hilfe dieses Systems ist es einem Benutzer oder einer Benutzerin möglich, die Perspektive auf eine dreidimensionale Darstellung auf eine vollkommen intuitive Art und Weise steuern. In [diesem Video](#)⁶⁶ wird das System näher erläutert und demonstriert.

Tape Drawing

Ebenfalls im Rahmen dieser Projektreihe wurde eine Zeichentechnik aus dem Automobildesign, das sogenannte „*Tape Drawing*“, als eine mögliche Schnittstelle für das Zeichnen am Computer erprobt. *Tape Drawing* bezeichnet das Zeichnen von meist sanft gebogenen Konturen durch das Aufkleben eines Klebestreifens auf die Zeichenfläche. Die Zeichnerin hält hierbei das Klebeband in

⁶⁵<http://www.youtube.com/watch?v=sDFIiuyNqfM>

⁶⁶<http://www.youtube.com/watch?v=Ov8VbxyQ8Yc>



Abbildung 1.30: Boom Chameleon. Es ermöglicht die intuitive Steuerung der Perspektive auf eine dreidimensionale Darstellung.

(Bild: George Fitzmaurice)

beiden Händen, drückt es mit der linken Hand sukzessive auf die Zeichenfläche und steuert dabei mit der rechten Hand die Ausrichtung der entstehenden Kurve. Um diese Zeichentechnik auf den Computer zu übertragen, wurden zwei aktive Marker in den Händen der Zeichnerin vor einem großen Projektionsbildschirm verfolgt. Zwischen diesen beiden Positionen wurde durch den Computer ein virtuelles Klebeband projiziert. Durch Drücken einer Taste am Marker der linken Hand wurde schließlich das virtuelle Klebeband fixiert. Dies wird u. a. in [diesem Video](#)⁶⁷ präsentiert. Im Video wird dabei zunächst die klassische Zeichentechnik noch einmal erläutert und im Anschluss daran die digitale Version dieser Zeichentechnik vorgestellt.

Die Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion wurde im Laufe der 90er Jahre maßgeblich durch die stark voranschreitende Miniaturisierung und Leistungssteigerung der Mikroelektronik beeinflusst. Vernetzte und mobile Endgeräte erforderten die Überarbeitung bestehender, und die Erforschung neuer Benutzungsschnittstellen für diese Klasse von Endgeräten. Darüber hinaus ermöglichte die Leistungssteigerung der Systeme die Entwicklung neuartiger Interaktionskonzepte, die eine aufwendigere Verarbeitung von Ein- und Ausgabedaten erforderten.

1.1.6 2000er Jahre

Im Kontext des *ubiquitous computing* besteht eines der Interaktionskonzepte in der Interpretation der Körpersprache der Benutzerin durch das zu bedienende Computersystem. Insbesondere bei eingebetteten Systemen, die keine

Körpersprache

⁶⁷<http://www.youtube.com/watch?v=LvyzwN36PSw>

expliziten, „klassischen“ Schnittstellen, wie etwa ein Tastenfeld oder ein Zeigergerät besitzen, kann die Interpretation der Körpersprache (Gestik, Mimik, Bewegung im Raum) als Schnittstelle dienen. Hierfür sind zwei grundlegende Herausforderungen zu bewältigen: Zum einen gilt es, die jeweilige Pose der Benutzerin zuverlässig und robust zu erfassen, zum anderen muss diese Pose vom System interpretiert und in eine entsprechende Aktion umgewandelt werden. Für die Erfassung wurde seit Ende der 90er Jahre verstärkt die Verwendung von Methoden der digitalen Bildverarbeitung zum Zwecke der Erkennung von Bewegungen, Gesten und Gesichtsausdrücken erforscht. Eine Übersicht zu diesem Thema bietet ein Artikel von Jessica JunLin Wang und Sameer Singh [WS03].

EyeToy Eine der ersten kommerziellen Anwendungen dieser Forschung bestand in Form des *EyeToy* für die Spielekonsole *Playstation 2* (Sony). Das im Jahr 2003 auf den Markt gebrachte System ermöglicht die Steuerung von einfachen Bewegungsspielen. Hierbei findet keine aufwendige Rekonstruktion der Pose oder der Gesten der Spielerin statt. Anstelle dessen wird das Kamerabild der Spielerin angezeigt und mit den grafischen Elementen des jeweiligen Spieles kombiniert. Durch dieses unmittelbare Feedback können Spieler mit den grafischen Elementen des Spiels interagieren, indem sie z. B. mit der Bewegung ihrer Hände eine detektierbare Veränderung im Kamerabild an der Position des jeweiligen grafischen Elementes verursachen. Im Jahr 2007 wurde ein Nachfolger dieses Kamerasystems für die Spielekonsole *Playstation 3* auf den Markt gebracht, die aufgrund der höheren Rechenleistung der Spielekonsole auch die Verwendung aufwendigerer Bildverarbeitungsalgorithmen erlaubt. So wird beispielsweise das sogenannte „*Glyph-Tracking*“ verwendet, bei dem die Position und Ausrichtung realer Spielkarten, welche mit einem eindeutigen Muster bedruckt sind, im Kamerabild detektiert werden (s. Abbildung 1.31). Diese Informationen können anschließend dazu genutzt werden, virtuelle Objekte „passgenau“ in das Kamerabild einzublenden⁶⁸.

Wii-Remote Aufgrund der relativ begrenzten Möglichkeiten dieser ersten, rein kamerabasierten Systeme, konnte sich die Steuerung von Spielen mittels Gesten zunächst nicht durchsetzen. Dies änderte sich mit der Einführung der *Wii-Remote* (Nintendo) im Jahr 2005. Das Eingabesystem erfasst die Gesten einer Spielerin über einen Beschleunigungssensor, der in einem fernbedienungsartigen Eingabegerät untergebracht ist. Zudem bestimmt eine Infrarotkamera im Kopf des Eingabegerätes die relative Position im Raum bzgl. einer sogenannten „*Sensorbar*“, die im Wesentlichen aus zwei, in einem definierten Abstand zueinander positionierten Infrarot-LEDs besteht. Mit diesem System ist es möglich, auch komplexere Bewegungen einer Spielerin zu erfassen und z. B. für die Bewegungssteuerung einer Spielfigur zu verwenden. Der große Erfolg der Nintendo *Wii-Remote* veranlasste die Konkurrenten Microsoft und Sony, ebenfalls mit verbesserten Eingabesystemen zur Gestensteuerung von Spielen auf den Markt zu kommen (Microsoft „*Kinect*“ und Sony „*Playstation Move*“). Während die *Playstation Move* im Wesentlichen das grundlegende Konzept der *Wii-Remote* kopiert, ist das *Kinect*-System technologisch deutlich anspruchsvoller. Es erfasst mit-

⁶⁸Allgemein wird dies auch als „*Augmented Reality*“ bezeichnet.

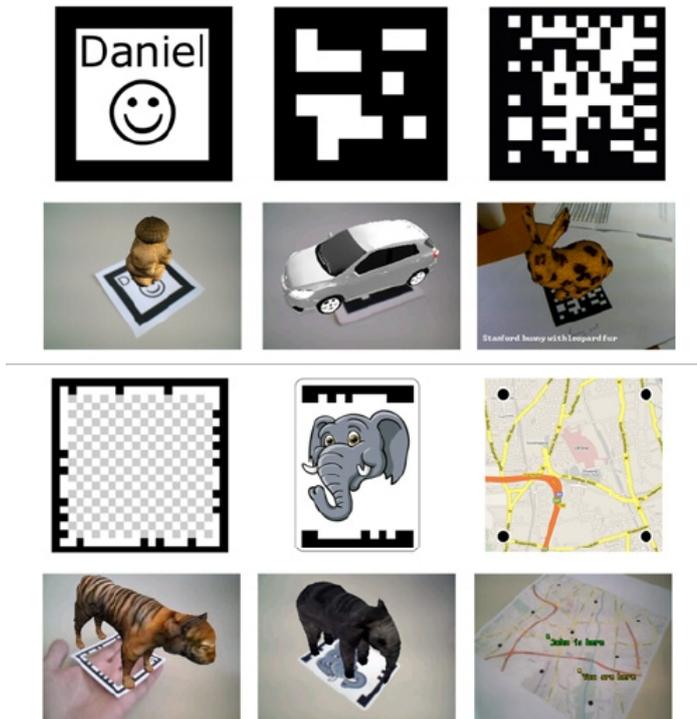


Abbildung 1.31: Beispiele für verschiedene Muster, die beim Glyph Tracking eingesetzt werden.

(Bild: [SW08])

tels einer „3D-Kamera“ seine Umgebung vollständig und extrahiert aus diesen Daten die Körperpose von bis zu zwei Spielern (s. auch Abschnitt 2.1.2).

Im Jahr 2006 stellte Jeff Han von der New York University ein günstiges und leistungsfähiges *multi-touch*-Projektionssystem vor, einen sogenannten „*multi-touch-Tisch*“. Hierbei setzte er die bereits aus den 80er und 90er Jahren bekannten Konzepte für die mehrhändige Bedienung einer grafischen Oberfläche um und ergänzte diese um weitere, eigene Konzepte. Bereits ein Jahr später wurde ein erster kommerzieller *multi-touch-Tisch* von Microsoft unter dem Namen „*Microsoft Surface*“ am Markt angeboten. Es folgten verbesserte kommerzielle Versionen des *multi-touch-Tisches* in den Jahren 2008 („*SecondLight*“) und 2011 („*Surface 2*“). Eine interessante Demonstration des Systems findet sich in [diesem Video](https://www.ted.com/talks/jeff_han_demos_his_breakthrough_touchscreen)⁶⁹ eines TED-Talks von Jeff Han aus dem Jahr 2006.

multi-touch-Tisch

Einen hohen Verbreitungsgrad für die *multi-touch*-Steuerung von Geräten bewirkte jedoch nicht der zuvor genannte *multi-touch-Tisch*, sondern das im Jahr 2007 von Apple eingeführte *iPhone* (s. Abbildung 1.32). Das *iPhone* war das erste sogenannte *Smartphone* mit einer konsequent umgesetzten, stiftlosen *multi-touch*-Bedienung. Ausgehend vom Erfolg des *iPhone*s ist die stiftlose *multi-touch*-Bedienung zum Quasi-Standard bei modernen Smartphones ge-

iPhone

⁶⁹https://www.ted.com/talks/jeff_han_demos_his_breakthrough_touchscreen



Abbildung 1.32: Das iPhone (hier Version 4G) war das erste sogenannte *Smartphone* mit einer konsequent umgesetzten, stiftlosen Multitouch-Bedienung.

(Bild: Daniel Zanetti, CC)

worden. Im Jahr 2010 folgte schließlich das *iPad* von Apple. Hierbei handelt es sich um einen sogenannten *Tablet-PC*, der eine dem iPhone sehr ähnliche multi-touch-Bedienung aufweist, jedoch ein etwa vier mal so großes Display besitzt. Insbesondere für den reinen Konsum elektronischer Medien, z. B. Webseiten, elektronische Bücher, Filme und Spiele, eignen sich diese Art von mobilen Computern. Durch den inzwischen hohen Verbreitungsgrad der multi-touch-Bedienung und die entsprechende Unterstützung in allen modernen Betriebssystemen, hat diese Form der Bedienung nun auch ihren Weg „zurück“ auf den klassischen Laptop und Arbeitsplatzrechner gefunden und ergänzt dort die weiterhin vorhandenen, klassischen Bedienkonzepte.

Sprachsteuerung

Virtuelle
Assistenten

Natural Language
User Interface

Durch das iPhone wurde auch eine andere Form der intuitiven Steuerung einer breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht: die *Sprachsteuerung*. Nachdem Apple im Jahr 2010 die Firma Siri Inc. (eine kommerzielle Ausgliederung des Stanford Research Institute, später SRI International) gekauft hatte, wurde ein Jahr später die erste Version eines sprachgesteuerten virtuellen Assistenten namens *Siri* präsentiert.⁷⁰ Neben der Spracherkennung an sich war das Besondere an Siri, dass sie einer Reihe von Kommandos in natürlicher Sprachform verarbeiten konnte. Durch die feste Integration im Betriebssystem war es möglich, Aktionen in unterschiedlichen Applikationen auszulösen und recht einfach Zugriff auf Daten ausgewählter externer Dienste zu bekommen (z. B. Empfehlungen für Restaurants in der Nähe). Die Kommandos können dabei variiert werden und das System ist teilweise in der Lage, den Kontext aus früheren Interaktionen zu berücksichtigen. Diese Bedienungsform wird als *natural language user interface* (kurz NLUI oder LUI) bezeichnet. Aus technischer Sicht wurde fast die gesamte Verarbeitung der Spracheingabe aus dem Mobiltelefon

⁷⁰Die Demonstration einer Beta-Version aus dem Jahr 2011 kann in diesem Video abgerufen werden <https://www.youtube.com/watch?v=agzItTz35QQ>

ausgelagert. Ein gesprochenes Kommando wurde erst nach einem Knopfdruck⁷¹ zum Aktivieren des Systems lokal am Telefon aufgenommen und von einem im Internet ausgelagerten Spracherkennungsdienst zu Text umgewandelt. Aus diesem Text wurde dann versucht, die eigentliche Intention des Kommandos abzuleiten. Anschließend wurde das Ergebnis wieder an das Telefon zurückgeschickt, wo die eigentliche Aktion ausgeführt wurde. Darüber hinaus wurde die Rückmeldung des Systems als Sprachausgabe generiert und verstärkte so den (falschen) Eindruck, dass sich Benutzerinnen und Benutzer mit einer echten Person unterhalten würden. Ein paar Jahre später stellten Amazon (*Alexa*), Google (*Google Now*, später *Google Assistant*), Microsoft (*Cortana*) und Samsung (*Bixby*) vergleichbare Systeme für Mobiltelefone bzw. Desktopsysteme vor, die kontinuierlich verbessert wurden.

Eine dieser Verbesserungen wurde im Bereich der Sprachsynthese unter dem Namen *WaveNet* von DeepMind vorgestellt [ODZ⁺16]. Die Firma präsentierte im Jahr 2016 ein auf *Deep Learning* basierendes Verfahren, mit dem die Wellenform eines Audiosignals sequentiell generiert werden kann. Im Vergleich zu dem bei Siri verwendeten Ansatz, bei dem die Sprachausgabe durch Verkettung und Überblendung von kurzen, vorab aufgezeichneten Sprachfragmenten generiert wurde, war das Ergebnis von WaveNet überzeugender. Da das ursprüngliche WaveNet-Verfahren jedoch sehr rechenintensiv ist, wurde diese Art der Sprachsynthese erst nach weiteren Verbesserungen kommerzialisiert. Zusammen mit der verbesserten Sprachsynthese präsentierte Google im Jahr 2018 mit *Google Duplex* eine weitere Ergänzung für ihren Assistenten. Das Besondere bei Google Duplex war die vor allem bei der *autonomen Ausführung* der Aufgabe überzeugende Interaktion mittels Sprache, die einer natürlichen Reaktion eines Menschen bedeutend näher kam als vorherige Systeme. So kaschiert das System eine längere Verarbeitung beispielsweise durch den realistischen Einsatz von Verzögerungs- und Verlegenheitslauten wie „ähm“ oder „mhh“. Ebenso werden in einigen Situationen künstliche Pausen generiert, etwa vor der Antwort auf einen sprachlich komplizierten Satz, um so die Latenzzeiten eines natürlichen (und somit realistischeren) Gesprächsverlaufs zu simulieren. Auf der Projekt-Webseite⁷² finden sich hierzu weitere Erläuterungen sowie verschiedene Beispiele, in denen der Assistent *eigenständig* Gespräche führt, um z. B. einen Friseurtermin an einem bestimmten Tag zu buchen. Auch wenn die präsentierten Beispiele recht stark auf bestimmte Bereiche eingeschränkt sind, so muss berücksichtigt werden, dass eine natürliche Kommunikation mit einem Menschen, der sich nicht bewusst ist, mit einem technischen System zu kommunizieren, keinem festen Protokoll folgt.

Generative
Sprachsynthese

Google Duplex

Die zunehmende Verfügbarkeit von Smartphones, die über eine Digitalkamera, ein relativ großes Display und bereits über weitere Sensoren zur Standort- und Lagebestimmung verfügten, ebnete auch den Weg für mobile Augmented-

⁷¹Diese Restriktion wurde später aufgehoben. Neuere Versionen von Siri (oder auch anderen Sprachassistenten) können mittlerweile durch sogenannte *wake words* – spezielle Sprachkommandos wie „Hey Siri“ – aufgeweckt werden.

⁷²<https://ai.googleblog.com/2018/05/duplex-ai-system-for-natural-conversation.html>

Das im Fließtext genannte (Audio-)beispiel kann separat unter diesem Link angehört werden: <https://www.gstatic.com/b-g/DMS03IIQXU3TY2FD6DLPL0MBBJ2CH188143148.mp3>



Abbildung 1.33: Word Lens. Beispiel einer Übersetzung von Textfragmenten. Links: Das Originalbild, das von der Kamera erfasst wird (noch ohne Übersetzung). Rechts: Die Übersetzung wird per Augmented Reality direkt in der Kamera angezeigt, als handle es sich um ein Hinweisschild in der ausgewählten Sprache.

(Bild: Wikipedia:ZTebaykina, CC)

- Mobiles AR
Word Lens
- Reality-Anwendungen. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Anwendung von Augmented Reality ist die im Jahr 2010 veröffentlichte App *Word Lens* der Firma Quest Visual. Über die App war es möglich, Textfragmente über eine Smartphone-Kamera in Echtzeit und ohne Internetverbindung zu übersetzen (s. Abbildung 1.33). Die Anwendung wurde vor allem als Hilfe für Touristen angeboten, die fremdsprachige Hinweise und Beschilderungen nicht eigenständig übersetzen können. Ein anderes Beispiel für den erfolgreichen Einsatz von AR-Elementen ist das im Jahr 2016 von der Firma Niantic⁷³ veröffentlichte mobile Spiel *Pokémon GO*, bei dem zusätzlich positionsabhängige Daten eine zentrale Rolle spielen. Im Spiel können virtuelle Kreaturen gesucht und gefangen werden. Dazu müssen sich die Spielerinnen und Spieler mit ihrem Smartphone an bestimmte Orte in der realen Welt begeben. Erkennt das Spiel anhand der aktuellen Standortinformation die „Nähe“ zu einer virtuellen Kreatur, wird diese im AR-Modus in das echte Kamerabild eingeblendet und kann „gefangen“ werden. Durch die große Beliebtheit des Spiels wurde Augmented Reality so einer entsprechend großen Anzahl von Anwendern bekannt gemacht.
- Pokémon GO
- Parallel zu den Versuchen, AR-Anwendungen auf Mobilgeräten zu kommerzialisieren, gab es auch Bestrebungen, die gesteigerte Rechenleistung von Smartphone-Prozessoren für Virtual-Reality-Anwendungen zu nutzen. Um einen einfachen Einstieg zu ermöglichen, wurden zunächst einfache Kopfhaltungen mit zwei Linsen als Erweiterung für Smartphones angeboten (vgl. Google Cardboard, Abbildung 1.34).⁷⁴ Dabei sollten zusätzlich zur Verfügung gestellte Software-Bibliotheken die Erstellung von VR-Anwendungen erleichtern.
- Mobile
VR-Headsets

⁷³Niantic hatte bereits im Jahr 2013 mit dem Spiel *Ingress* Erfahrungen mit einer ähnlichen Form eines standortbasierten AR-Spiels gesammelt.

⁷⁴Die Idee, Smartphones in einem Gehäuse als HMD zu nutzen, war zu diesem Zeitpunkt keinesfalls neu. Im Jahr 2013 gab es sogar bereits 3D-Druck-Projekte und Selbstbauanlei-



Abbildung 1.34: Smartphone Technologie in mobilen VR Headsets (v. l. n. r.): Google Cardboard (2014), Google Daydream View (2016), Oculus Quest (2019). Die ersten beiden Beispiele benötigten noch ein separates Smartphone, welches in eine Halterung vor die Linsen gesteckt wurde. Das Headset der Oculus Quest war bereits eine autarke Variante mit integrierter Smartphone-Technologie.

(Bild: (v. l. n. r.) Wikipedia:Evan-Amos, Google, Oculus)

Einer der Nachteile gegenüber vollwertigen VR-Lösungen ist hier jedoch die Einschränkung der Bewegungsverfolgung auf nur drei Freiheitsgrade, bei der nur die Rotation des Kopfes erfasst werden konnte. Eine Positionsänderung konnte mit den integrierten Sensoren eines handelsüblichen Smartphones nicht oder nicht robust genug erfasst werden. Erst Fortschritte bei der effizienten Verarbeitung von Sensordaten sowie ein Umstieg auf dedizierte Hardware, welche die weitverbreiteten und damit preiswerten Mobilprozessoren und Sensoren von Smartphones verwendete, ermöglichten eine adäquate Lösung dieses Problems. Im Jahr 2019 präsentierte die Firma Oculus mit der *Oculus Quest* (s. Abbildung 1.34) das erste mobile VR-Headset mit sechs Freiheitsgraden.

Neben der zuvor beschriebenen Umsetzung vieler Interaktionskonzepte aus den 80er und 90er Jahren in reale Produkte mit einer hohen Verbreitung, arbeitet die Forschung an weiteren, neuen Interaktionskonzepten. Durch die rasant gestiegene Verbreitung von Computersystemen und deren Ausbreitung in fast alle Lebensbereiche, hat sich auch das Forschungsgebiet der Mensch-Computer-Interaktion thematisch in vergleichbarer Weise erweitert. Ohne den zeitlichen Abstand eines bzw. mehrerer Jahrzehnte fällt es entsprechend schwierig, eine umfassende und zugleich kompakte Zusammenfassung des derzeitigen Forschungsstandes der Mensch-Computer-Interaktion an dieser Stelle wiederzugeben. Anstelle dessen sollen im Folgenden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, einige Forschungsprojekte herausgegriffen werden, die bestimmte neue Aspekte der MCI illustrieren.

So wurde etwa in der Forschungsgruppe Fluid Interfaces des M.I.T. Media Lab unter der Leitung von Pattie Maes das Projekt *sixth sense* entwickelt. Es beschäftigt sich mit der Frage, wie ein mobiler und intuitiver Zugriff auf

Sixth Sense

tungen wie z. B. das OpenDive-Projekt von Stefan Welker: <https://www.durovis.com/de/opendive.html>

Steuerung mittels Handgesten

Informationen ermöglicht werden kann, die uns durch neue Kommunikationsmittel potentiell zugänglich sind. Als experimentelle Plattform dient dem Projekt ein System aus mobilem Projektor für die Datenausgabe, eine Kamera für die Erfassung von Gesten der Benutzerin und die Erfassung von Objekten der näheren Umgebung, sowie ein Mobiltelefon, das die lokale Datenverarbeitung übernimmt. Kamera und Projektor sind an einem Band befestigt und werden um den Hals hängend ähnlich einem Brustbeutel auf dem Oberkörper der Benutzerin getragen. Die Bedienung des Systems erfolgt mittels intuitiver Gesten, die mit den Daumen und Zeigefingern beider Hände der nach vorne gerichteten Kamera präsentiert werden. Die Ausgabe des Systems erfolgt über den Projektor auf die jeweils verfügbaren Flächen der lokalen Umgebung vor der Benutzerin.

Pattie Maes ist Gründerin der Fluid Interfaces-Arbeitsgruppe des M.I.T. Media Lab und wurde mit zahlreichen Preisen ausgezeichnet. So erhielt sie etwa für ihre Arbeiten im Bereich der Entwicklung interaktiver Systeme den "Lifetime Achievement Award" vom Massachusetts Interactive Media Council. *TIME Digital*, die Online-Ausgabe des TIME Magazine, nahm sie in die Liste der *50 technological pioneers of the high-tech world* auf. Ihr TED-Talk über die wesentlichen Konzepte und interessante Anwendungsfälle des Sixth Sense-Projektes von 2009 gehört zu den meist gesehenen seiner Zeit und kann [hier](#)⁷⁵ abgerufen werden.



Abbildung 1.35: Skinput. In der Konzeptstudie „*Skinput*“ wird die Haut als Interaktionsmedium genutzt. Hierbei wird ein Menü über einen mobilen Projektor auf die Haut projiziert und die Eingabe des Fingers über ein Feld von Vibrationsensoren am Oberarm detektiert.

(Bild: Chris Harrison, CC)

Das Projekt „*skinput*“ der Carnegie Mellon University und Microsoft arbeitet mit einem ähnlichen Szenario. Das Projekt untersucht, inwieweit der menschliche Körper selbst als Ein- und Ausgabeschnittstelle dienen kann. Für die Ausgabe wird, wie auch beim *sixth-sense* Projekt, ein kleiner Projektor eingesetzt. Dieser projiziert die Ausgabe des Systems, z. B. ein Auswahlmenü,

⁷⁵https://www.ted.com/talks/pattie_maes_demos_the_sixth_sense

auf den Arm der Benutzerin (s. Abbildung 1.35). Für die Eingabe wird der Arm der Benutzerin selbst verwendet. Ein Sensor bestehend aus einer Reihe von Vibrationssensoren auf Piezo-Basis wird hierfür am Oberarm befestigt. Tippt nun die Benutzerin auf eine Stelle an ihrem Arm, so erzeugt dieses Tippen eine Vielzahl verschiedener Schwingungen, die vom Sensor am Oberarm erfasst werden. Aufgrund der inhomogenen physischen Struktur des Armes erzeugt jede Stelle eine eigene, charakteristische Menge an Schwingungen. Diese charakteristische Menge wird schließlich als *akustische* Signatur verwendet, um verschiedene Stellen des Armes zu identifizieren. In [diesem Video](#)⁷⁶ wird die Funktionsweise von *Skinput* noch einmal anschaulich demonstriert.

Skinput

Einen deutlichen Schritt weiter in der direkten Nutzung des Körpers als Schnittstelle zu einem Computersystem bewegt sich das bereits früher erwähnte Forschungsgebiet der Gehirn-Computer-Schnittstellen. Ein beeindruckendes und nicht unumstrittenes Projekt aus diesem Gebiet wird an der Universität von Pittsburgh durchgeführt. Hier ist es Wissenschaftlern gelungen, bei einem Affen eine direkte Schnittstelle zum Gehirn herzustellen. Mit dieser Schnittstelle ist es dem Affen möglich, nur mit Hilfe seiner Gedanken einen Roboterarm zu steuern. Bemerkenswert ist hierbei insbesondere, dass nach einer anfänglichen Lernphase das Gehirn des Affen den zusätzlichen, künstlichen Roboterarm als eigenständige Extremität integriert. Die beiden natürlichen Arme des Affen bleiben voll funktionsfähig und alle „drei“ Arme können unabhängig voneinander und gleichzeitig vom Affen kontrolliert werden. [Dieses Video](#)⁷⁷ zeigt, wie der Affe einen Roboterarm nur mittels einer implantierten BCI-Schnittstelle steuert. Hierbei besteht die zu lösende Aufgabe darin, mit dem Roboterarm einen immer wieder anders positionierten, schwarzen Zylinder anzufassen.

Gehirn-Computer-Schnittstelle

Das langfristige Ziel dieser Forschung ist es, Prothesen für Menschen mit fehlenden Gliedmaßen zu entwickeln, die diese vollkommen natürlich verwenden und kontrollieren können. Während der Einsatz von BCIs für die Steuerung von Systemen bereits erstaunlich gut funktioniert, so ist die Frage, wie sensorische Informationen dem Gehirn vermittelt werden könnten im Grunde noch vollkommen ungelöst. Eine öffentliche Debatte, welche gesellschaftlichen Implikationen eine derart direkte Kopplung des Gehirns an Informationssysteme hat, blieb bislang aus.

Die bisherigen Abschnitte haben Ihnen einen Überblick über die historische Entwicklung der Mensch-Computer-Interaktion im Speziellen und ihrer Bedeutung für die Entwicklung und Verbreitung von Computern im Allgemeinen verschafft. Die nächsten Abschnitte werden sich nun um eine Einordnung der MCI in die heutige Zeit bemühen und Ihnen die zentralen Kernideen und grundlegenden Definitionen und Begriffe der MCI vermitteln.

⁷⁶<http://www.youtube.com/watch?v=g3XPudW9Ryg>

⁷⁷<http://www.youtube.com/watch?v=cZn4617uEKg>

1.2 Einordnung der Mensch-Computer-Interaktion

Lernziele:

In diesem Abschnitt erhalten Sie zunächst einen Überblick über das Umfeld, in dem heutzutage die Mensch-Computer-Interaktion einzuordnen ist, und in welchen offiziellen Normen die MCI bereits Berücksichtigung findet. Im Anschluss daran erlernen Sie die zentralen Kernideen und grundlegenden Definitionen, die das Fundament der MCI bilden.

MCI als Teilgebiet der Mensch-Maschine-Interaktion

Der vorherige Abschnitt skizzierte die Geschichte der Mensch-Computer-Interaktion aus der Perspektive der Informatik. Die MCI ist jedoch nicht nur ein Teilgebiet der Informatik, sondern auch ein Teilgebiet der weiter gefassten *Mensch-Maschine-Interaktion*. Diese hat ihre Ursprünge in der *Ergonomie*, welche sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte und sich mit der Gesetzmäßigkeit menschlicher Arbeit⁷⁸ beschäftigt. Die Ergonomie hat zum Ziel, Arbeitsaufgaben, -umgebungen und -werkzeuge so zu gestalten, dass sie auf die Fähigkeiten und Limitationen der Menschen zugeschnitten sind. Neben der menschengerechten Gestaltung des Arbeitsraumes bildet die *Mensch-Maschine-Interaktion* einen Schwerpunkt innerhalb der Ergonomie. Der zunehmende Einsatz von computergesteuerten Arbeitsmitteln seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts führte schließlich zur Ausprägung des Teilgebietes der *Mensch-Computer-Interaktion* innerhalb der *Mensch-Maschine-Interaktion*. Im Kontext dieser eher industriellen Perspektive auf die MCI sind auch die im nächsten Abschnitt beschriebenen nationalen und internationalen Standards zu verstehen.

Mit dem Aufkommen des Personal Computers Anfang der 1980er Jahre erhöhte sich die Zahl der Anwender sowie der Anwendungen von Computersystemen rasant. Mit einer vergleichbaren Dynamik hat sich seit dieser Zeit auch das Gebiet der Mensch-Computer-Interaktion weiterentwickelt und fasst nun seinerseits eine große Zahl an unterschiedlichen Forschungsrichtungen zusammen, die zum Teil weit über das klassisch industrielle Ziel der Optimierung der *Arbeitsumgebung* von Menschen hinausgehen. Ein Beispiel hierfür ist der Bereich der Unterhaltungselektronik. Entsprechend weit gefasst ist die aktuelle Arbeitsdefinition der Mensch-Computer-Interaktion des [ACM SIGCHI](#)⁷⁹ Kurrikulums:



Definition 1.1 (Mensch-Computer-Interaktion).

Die Mensch-Computer-Interaktion widmet sich dem Entwurf, der Evaluation und der Implementierung interaktiver Systeme und der Untersuchung von in diesem Umfeld auftretenden Phänomenen.

⁷⁸griechischer Ursprung: „ergon“ → Arbeit, Werk | „nomos“ → Gesetz, Regel

⁷⁹The Association for Computing Machinery – Special Interest Group on Computer Human Interaction (<http://www.sigchi.org/>).

Der Arbeitsdefinition liegt der originäre und fortdauernde Fokus der Mensch-Computer-Interaktion auf die Gebrauchstauglichkeit (engl. *usability*) der betrachteten Systeme zugrunde. Auf der einen Seite ist der Begriff der Gebrauchstauglichkeit das verbindende Element zwischen den inzwischen zahlreichen Richtungen und Teilgebieten der Mensch-Computer-Interaktion, auf der anderen Seite wurde der Begriff selbst durch die Mensch-Computer-Interaktion kontinuierlich weiterentwickelt und redefiniert. *Gebrauchstauglichkeit* bezieht sich im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion inzwischen nicht mehr nur auf die reinen Aspekte der Funktionalität und der Bedienbarkeit, sondern umfasst unter anderem auch Aspekte wie *Freude*, *Ästhetik* oder *Kreativität* [Car09].

Gebrauchstauglichkeit

1.2.1 Internationale Standards

Trotz dieser Diversifikation der Mensch-Computer-Interaktion über die Arbeitswelt hinaus besteht weiterhin eine große Schnittmenge mit dem klassischen Gebiet der Mensch-Maschine-Interaktion. Der Einfluss der Mensch-Computer-Interaktion wird insbesondere bei internationalen Standards zunehmend sichtbar. Zu den bekanntesten und wichtigsten Standards, die Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion aufgreifen und für bestimmte Arbeitsbereiche definieren, zählen unter anderem die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Normen. Die Bezeichnung der Normen ist jeweils aus den Kürzeln der beteiligten Normungsinstitute bzw. Normen und einer Identifikationsnummer zusammengesetzt⁸⁰.

Normen

DIN EN 614-1

Sicherheit von Maschinen

Ergonomische Gestaltungsgrundsätze

Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze

Kern dieser Norm ist neben der Definition von Begriffen und allgemeinen Grundsätzen die Definition von Gestaltungsanforderungen zu verschiedenen klassischen, ergonomischen Aspekten, unter anderem zur barrierefreien Gestaltung, zur Berücksichtigung von Körpermaßen, -haltungen, -bewegungen und -kräften, zur Berücksichtigung psychischer Fähigkeiten und zur Berücksichtigung von Einflüssen der physikalischen Arbeitsumgebung.

Darüber hinaus formuliert die Norm, welche ergonomischen Grundsätze in den Gestaltungsprozess von Maschinen einbezogen werden sollen. Sie liefert hierfür *Ergonomische Aufgabenstellungen*, die im Gestaltungsprozess von Maschinen durchzuführen sind.

⁸⁰Hierbei steht *DIN* für das *Deutsche Institut für Normung*, *EN* steht für *Europäische Norm*, und *ISO* bezeichnet die *Internationale Organisation für Normung*. Die Kombination der Kürzel in einer Normbezeichnung gibt also Aufschluss darüber, ob es sich um eine nationale, europäische oder internationale Norm handelt.

DIN EN 614-2**Sicherheit von Maschinen****Ergonomische Gestaltungsgrundsätze****Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben**

Der zweite Teil der DIN 614 beschäftigt sich mit der Aufgabengestaltung für Operatorinnen und Operatoren und stellt in diesem Kontext den Bezug zur Gestaltung von Maschinen her. Ausgehend von Grundsätzen der Aufgabengestaltung und der Formulierung von Merkmalen gut gestalteter Arbeitsaufgaben der Operatorinnen und Operatoren wird eine Methodik der Aufgabengestaltung in Bezug auf die Gestaltung von Maschinen ausgeführt.

Die Norm schließt mit zwei informativen Anhängen zur Aufgabengestaltung und zur Gestaltung von Maschinen (am konkreten Beispiel einer Bohrmaschine) ab.

DIN EN ISO 6385**Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen**

Die Norm 6385 beschreibt den Gestaltungsprozess für Arbeitssysteme. Ausgehend von allgemeinen Grundsätzen werden die einzelnen Schritte des Prozesses beschrieben:

- Anforderungsanalyse
- Analyse und Zuordnung der Funktionen
- Konzeption der Gestaltung
- Gestaltung der einzelnen Elemente
- Realisierung, Einführung und Validierung

Die Norm schließt mit einem gesonderten Abschnitt über die *Bewertung* des Gestaltungsprozesses und normativen Verweisen auf internationale Publikationen ab.

DIN EN ISO 13407**Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme**

Im Kern dieser Norm aus dem Bereich der Softwareentwicklung wird die Vorgehensweise für einen benutzungsorientierten Gestaltungsprozess definiert. Es wird zunächst grundsätzlich die Aufnahme eines benutzungsorientierten Gestaltungsprozesses begründet. Im Anschluss werden Grundsätze der benutzungsorientierten Gestaltung, die Planung des benutzungsorientierten Gestaltungsprozesses und benutzungsorientierte Gestaltungsaktivitäten beschrieben. Die DIN EN ISO 13407 wurde im Januar 2011 durch die DIN EN ISO 9241-210 ersetzt.

DIN EN ISO 9241**Ergonomie der Mensch-System-Interaktion**

Die internationale Norm 9241 aus dem Bereich der Ergonomie ist mit 38 Teilen die umfangreichste Norm im Kontext der bisher vorgestellten Normen. Ein weiterer Ergänzungsteil ist im Entwurfsstadium. Im Vergleich zu den oben beschriebenen Normen hat die Norm 9241 einen sehr starken Fokus auf die Mensch-Computer-Interaktion.

Die einzelnen Teile der Norm lauten wie folgt⁸¹:

9241-1	Allgemeine Einführung
9241-2	Anforderungen an die Arbeitsaufgaben - Leitsätze
9241-3	Anforderungen an visuelle Anzeigen
9241-4	Anforderungen an Tastaturen
9241-5	Anforderungen an die Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung
9241-6	Anforderungen an die Arbeitsumgebung
9241-7	Veraltet: Ersetzt durch Teile 302,303 und 305. Anforderungen an visuelle Anzeigen bzgl. Reflexionen
9241-8	Veraltet: Ersetzt durch Teile 302,303 und 305. Anforderungen an Farbdarstellungen
9241-9	Anforderungen an Eingabegeräte - außer Tastaturen
9241-10	Veraltet: Ersetzt durch Teil 110. Grundsätze der Dialoggestaltung
9241-11	Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze
9241-12	Informationsdarstellung
9241-13	Benutzerführung
9241-14	Dialogführung mittels Menüs
9241-15	Dialogführung mittels Kommandosprachen
9241-16	Dialogführung mittels direkter Manipulation
9241-17	Veraltet: Ersetzt durch Teil 143. Dialogführung mittels Bildschirmformularen
9241-20	Leitlinien für die Zugänglichkeit der Geräte und Dienste in der Informations- und Kommunikationstechnologie
9241-110	Grundsätze der Dialoggestaltung
9241-129	Leitlinien für die Individualisierung von User Interfaces
9241-143	Formulardialoge
9241-151	Leitlinien zur Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für das World Wide Web
9241-154	Sprachdialogsysteme

⁸¹Normen mit einem starken Bezug zur Mensch-Computer-Interaktion sind hervorgehoben

9241-161	Leitfaden zu visuellen User-Interface Elementen (zurzeit im Entwurfsstadium)
9241-171	Leitlinien für die Zugänglichkeit von Software
9241-210	Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme (Ersatz für ISO 13407)
9241-300	Einführung in Anforderungen und Messtechniken für elektronische optische Anzeigen
9241-302	Terminologie für elektronische optische Anzeigen
9241-303	Anforderungen an elektronische optische Anzeigen
9241-304	Prüfverfahren zur Benutzerleistung für elektronische optische Anzeigen
9241-305	Optische Laborprüfverfahren für elektronische optische Anzeigen
9241-306	Vor-Ort-Bewertungsverfahren für elektronische optische Anzeigen
9241-307	Analyse und Konformitätsverfahren für elektronische optische Anzeigen
9241-400	Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte
9241-410	Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte
9241-420	Auswahlmethoden für physikalische Eingabegeräte
9241-910	Rahmen für die taktile und haptische Interaktion
9241-920	Empfehlungen für die taktile und haptische Interaktion (z.Z. als ISO-Norm, noch keine nationale Übernahme)

1.2.2 Kritische Einordnung von Standards

Ohne Zweifel ist es sinnvoll, Standards für die Gestaltung von Schnittstellen zu definieren, insbesondere, wenn es um sicherheitsrelevante Aspekte geht. Es soll an dieser Stelle jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass es auch Stimmen gibt, die sich kritisch gegenüber Normen äußern. Einige der Hauptkritikpunkte werden im Folgenden erläutert.

Banalitäten und Selbstverständlichkeiten

Vielfach wird vorgeworfen, dass es sich bei etlichen Definitionen oder Empfehlungen, die in Normen gegeben werden, um Banalitäten und Selbstverständlichkeiten handelt. Als Beispiel sei ein Zitat aus „EN ISO 9241-10: Grundsätze der Dialoggestaltung“ genannt: „Ein Dialog ist selbstbeschreibungsfähig, wenn jeder einzelne Dialogschritt durch Rückmeldung des Dialogsystems unmittelbar verständlich ist oder dem Benutzer auf Anfrage erklärt wird.“

Selbstreferenzialität und logische Zirkelschlüsse

Viele Normen weisen logische Zirkelschlüsse und Züge von Selbstreferenzialität auf. So wird etwa ein spezieller Entwicklungsprozess als konform zur Norm EN ISO 13407 betrachtet, wenn in ihm die Empfehlungen dieser Norm erfüllt werden. Auf diese Weise werden Aussagen generiert, die – unabhängig vom Wert der zugrunde liegenden Bestandteile – immer wahr sind. Diese Selbstreferenzialität kann durch Erzeugung von „Wahrheiten“ bei gleichzeitigem Aufstellen eines Regelwerks zur Überprüfung dieser „Wahrheiten“ (und der damit verbundenen Möglichkeit, damit Profit zu machen (s.u.)) sowohl die *Bildung* eines Standardisierungssystems ermöglichen, das möglicherweise von seiner Umwelt abgeschlossen ist, als auch dessen *Beständigkeit* gewährleisten.

Vernachlässigung von Bedürfnissen spezieller, aber großer Gruppen von Anwenderinnen und Anwendern

Seit langer Zeit schon wird kritisiert, dass Normen sich an den Bedürfnissen ausschließlich einer bestimmten Gruppe von Anwendenden orientieren, nämlich an Männern mit durchschnittlichen Körpermaßen, selbst wenn diese nicht die Mehrheit der Anwendenden bilden. Hierzu zwei Zitate. Sascha Aumüller schreibt: „Konzipiert und konstruiert werden diese Maschinen allerdings noch immer überwiegend von Männern für Männer. Frauen treffen also im konkreten Fall auf eine Arbeitswelt, in der Männer grundsätzlich „Industrienormen“ prägen – selbst wenn diese nur minoritär oder gar nicht am Produktionsprozess mit solchen Maschinen beteiligt sind.“ [Aum11] Renate Novak vom Österreichischen Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit erläutert: „Gleichzeitig sind aber viele Arbeitsplätze, Werkzeuge und sonstige Arbeitsmittel aufgrund der anthropometrischen Daten von Männern gestaltet und zuwenig an kleineren Personen oder Menschen mit weniger langen Armen und kleineren Händen ausgerichtet. Beispiel PC-Arbeitsplatz: Tastaturgröße, Trackingball und Maus können Arbeitnehmer/innen mit schmälere Schultern zu einer Streckbewegung und angestregten Armhaltung zwingen. [...] Ein wichtiger Faktor für das Verständnis von geschlechtsspezifischen Unterschieden sind nicht so sehr die anthropometrischen Unterschiede zwischen Männern und Frauen an sich, sondern die fehlende Bedachtnahme darauf: Jene Menschen, die dem Normmaß „männlicher Durchschnittsarbeitnehmer“ nicht entsprechen (kleinere oder weniger kräftige Männer, die meisten Frauen, Jugendliche) sind bei der Arbeit zusätzlichen biomechanischen ergonomischen Belastungen ausgesetzt, wenn [...] Arbeitsmittel [...] falsch dimensioniert sind. Bei größerer Auswahl ergonomisch gestalteter Werkzeuge [...] oder Anpassen [...] an die physischen Gegebenheiten der Arbeitnehmer/innen könnten nicht nur Frauen profitieren, sondern auch jene Männer, die nicht den Normmaßen des „männlichen Durchschnittsarbeitnehmers“ entsprechen.“ [Nov07]

Neuere Projekte lassen jedoch hoffen, dass dem Ausdruck der Unzufriedenheit mit diesem offensichtlichen Mangel vieler Standards in Zukunft mehr Gehör geschenkt wird. So wird etwa in einer Kooperation der TU Wien mit der Johannes-Kepler-Universität Linz ein Projekt mit dem Titel „Genderspezifische Anforderungen für Entwicklung neuer Maschinen unter Berücksichtigung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ durchgeführt, dessen Ziel es ist, „die Grundlagen für eine genderspezifische Entwicklung von Maschinen zu legen,

wobei die gendergerechte Gestaltung von Mensch-Maschine Schnittstellen eine wichtige Rolle spielt. [...] Das Projekt wird dazu beitragen, dass genderspezifische Aspekte bei der Gestaltung neuer Maschinen standardmäßig Berücksichtigung finden. Ziel ist es, dabei nicht von stereotypen Vorstellungen über Geschlechterdifferenz oder Geschlechtergleichheit auszugehen, sondern vor Ort mit allen Beteiligten erkenntnisoffen Problembereiche zu lokalisieren und Verbesserungsmöglichkeiten zu entwickeln.“, so die Projektbeschreibung der Linzer Universität.

Einhaltung von Standards aus Mangel an Vertrauen und als reines Marketingmerkmal

Viele Unternehmen hegen die Hoffnung, mit dem Hinweis auf die Einhaltung von Standards ein zusätzliches Marketingmerkmal für ihre Produkte ausweisen zu können. Wenn aber etwa in DIN EN ISO 6385 Gestaltungsprozesse vorgeschlagen werden, so garantiert die Einhaltung dieser Vorschläge weder die Qualität des *Produktes* noch die Zufriedenheit der Kunden, und auch nicht die Zufriedenheit der Anwenderinnen mit diesem Produkt. Eine deutliche Haltung zu diesem Thema wird von Reinhard Sprenger, einem der führenden Managementberater Deutschlands, vertreten: „Wenn man [...] sich selbst nicht sicher ist, als vertrauenswürdig zu gelten, greift man zu dritten Parteien⁸², von denen man sich gleichsam Vertrauen leiht. Diese dritten Parteien transferieren Reputation auf Unbekanntes⁸³.“ [Spr07] und „Unter dem Deckmantel der Qualitätssicherung⁸⁴ werden so Zulassungsberechtigungen erteilt und verweigert, Märkte geschützt und Pfründe gesichert. [...] Man vertraut, aber nicht dem Markt, der Qualität *sichert*, sondern dem Zertifikat, das Qualität *behaup-tet*.“ [Spr07]

Bürokratisierung von ursprünglich kreativen Prozessen und dadurch Behinderung von Innovation

Die existierenden Normen blenden Bezüge zu Freiräumen, die bei einem kreativen Prozess – und ein solcher ist die Softwareentwicklung – unverzichtbar sind, weitgehend aus. Sie können also zur Entwicklung wirklicher Innovationen kaum einen Beitrag leisten. Hierzu noch einmal Reinhard Sprenger: „Mit dem ISO-Wahn stempelt man sich Bürokraten heran, die nur den Umgang mit Handbüchern beherrschen.“ [Spr07]

Möglicher Einfluss mächtiger Interessengruppen auf die Definition von Standards

Die bisher erwähnten kritischen Stimmen bezogen sich weitgehend auf Standards, die einen Bezug zur Mensch-Computer-Interaktion haben. Aus Vollständigkeitsgründen soll diese Darstellung noch ein wenig erweitert werden auf Standards im Allgemeinen. Es ist generell sinnvoll, einen Blick auf die an

⁸²hier: die Normungsorganisationen

⁸³hier: ein neues Produkt

⁸⁴Mit dieser Aussage bezieht sich Sprenger auf die ISO-9000-Normenreihe aus dem Bereich Qualitätsmanagement.

der Definition von Standards beteiligten Organisationen und Interessengruppen zu werfen. Ein Paradebeispiel stellen Sicherheitsstandards für Atomkraftwerke dar. Hierzu Rebecca Harms in einem Interview vom 21.3.2011: „Wir haben vor ungefähr zwei Jahren eine Richtlinie in Brüssel gemacht, da habe ich mich immer dafür eingesetzt, die Sicherheitsstandards für Europäische Anlagen so zu setzen, dass sie dem heutigen Stand von Wissenschaft und Technik entsprechen. Damit bin ich gescheitert. [...] Mich hat sehr bestürzt, dass als erstes die Atomindustrie selber eingeladen worden ist, sich an der Formulierung der Standards zu beteiligen. [...] Dass dann die Standards dem entsprechen, was die Kraftwerke darstellen können an Sicherheit, muss einen nicht überraschen.“ [Har11]

Dies war eine kurze Zusammenfassung einiger, kritischer Stimmen zu Normen und Standards. Dennoch sollten Softwareentwicklerinnen und Softwareentwickler von der Existenz der oben aufgeführten Standards, insbesondere der letztgenannten Norm DIN EN ISO 9241, wissen, um bei Bedarf die dort aufgeführten Empfehlungen als Anregungen in eigene Entwicklungen einfließen zu lassen – jedoch ohne sich die eigene Kreativität durch diese einschränken zu lassen. Die in den oben aufgeführten Normen gegebenen Empfehlungen können mindestens als wichtige Indizien für ehrliche Qualitätsansprüche betrachtet werden.

1.2.3 Interaktionsbegriff

Die Ursprünge der Mensch-Computer-Interaktion (MCI) liegen im Bereich der Informatik. Der anfängliche Schwerpunkt lag hierbei auf der Untersuchung und Verbesserung klassischer Anwendungsfelder, wie etwa der Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation. Im Laufe ihrer sehr dynamischen Entwicklung wurde die MCI kontinuierlich um neue Anwendungsfelder erweitert. So haben sich beispielsweise die Visualisierung von Daten, Informationssysteme, kollaborative Systeme, Entwicklungsumgebungen für die Systementwicklung und viele Bereiche des Designs als neue Schwerpunkte der MCI ergeben [Car09]. Durch diese Erweiterung besitzt die MCI heutzutage viele Anknüpfungspunkte und Überschneidungen zu verschiedenen Fachgebieten und wissenschaftlichen Disziplinen. Gemäß der in Abschnitt 1.2 gegebenen Definition 1.1 spielt hierbei der Begriff der *Interaktion* eine zentrale Rolle. Trotz der vielschichtigen Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion kann ein gemeinsamer Interaktionsbegriff definiert werden. Dies soll im Folgenden geschehen.

Der Begriff der *Interaktion* findet in vielen wissenschaftlichen Disziplinen Verwendung. In der Physik bezeichnet Interaktion die Wechselwirkung zwischen Elementarteilchen oder allgemein das gegenseitige aufeinander Einwirken von Systemen. In der Biologie ist Interaktion ein Funktionsbegriff im Ökosystem und beschreibt die Wirkung der Organismen und Stoffe aufeinander. In der Soziologie und Psychologie wird das aufeinander bezogene Handeln zweier oder mehrerer Personen als Interaktion bezeichnet. Weitere Verwendungen des Interaktionsbegriffes finden sich in so unterschiedlichen Bereichen wie der Pharmakologie, der Statistik, der Linguistik, der Politikwissenschaft oder auch der Musik.

Verbreitung des
Interaktionsbegriffs

Im Rahmen der Mensch-Computer-Interaktion wird *Interaktion* häufig als Dialog bzw. Kommunikation (s. [DFAB04]) zwischen Mensch und Computer definiert. Diese Definition von *Interaktion* ist noch stark am anfänglichen Schwerpunkt auf klassische Produktivanwendungen orientiert. Für die Betrachtung einzelner Teilaspekte der MCI ist sie zwar auch heute noch ausreichend und zweckmäßig, jedoch ist sie für eine umfassende Verwendung über alle Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion hinweg zu eingeschränkt. Aus diesem Grund sei hier eine alternative Definition des Interaktionsbegriffes gegeben:



Definition 1.2 (Interaktion).

Interaktion ist der zielgerichtete^a, wechselseitige Transfer von Information zwischen zwei oder mehr Entitäten.

^aHier ist das *Ziel* im Sinne von Intention/ Absicht/ Plan gemeint, nicht die Richtung des Informationstransfers. Die Richtung des Informationstransfers ist jedoch ebenfalls meist implizit durch das *Ziel* mit vorgegeben.

Auf den ersten Blick scheint sich diese Definition nicht allzu sehr von einer Definition der Interaktion als Dialog zwischen Mensch und Computer zu unterscheiden. Definition 1.2 deckt jedoch ein größeres Spektrum an Gegebenheiten und Abstraktionsstufen ab. So lässt sich beispielsweise die Interaktion einer Benutzerin mit einem Drehschalter durchaus als – zugegebenermaßen sehr einfacher – Informationstransfer auffassen. Einen solchen Vorgang als *Dialog* zu interpretieren, erscheint hingegen recht seltsam.

Informationstransfer \neq Interaktion

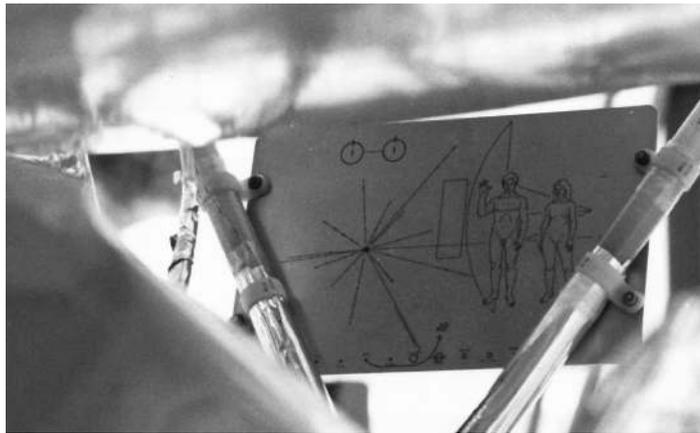
Eine abstraktere und damit generellere Definition birgt aber auch die Gefahr, dass sie beliebig wird. Nicht jeder Informationstransfer ist eine Interaktion. Als Beispiel kann hier die Entsendung der Botschaften betrachtet werden, die in den 70er Jahren mit den Pioneer- und Voyager-Raumsonden ins Weltall geschickt wurden (s. Abbildung 1.36). Hierbei handelt es sich um einen Informationstransfer, jedoch nicht um Interaktion im Sinne der obigen Definition, denn dieser Transfer findet weder wechselseitig statt noch gibt es ein Ziel, das über den reinen Informationstransfer hinausgeht.

Eine Interaktion in diesem Sinne besteht also nicht nur aus dem Transfer von Informationen zwischen zwei oder mehr Entitäten, sondern auch aus einem Ziel, was mit diesem Informationstransfer bezweckt werden soll. Abstrakt betrachtet kann ein derartiges Ziel so verstanden werden, dass die sendende Entität den aktuellen Zustand der empfangenden Entität verändern möchte. Als einziges Mittel hierfür steht der sendenden Entität nur der Transfer von Information zur Verfügung, die möglicherweise den Zustand der empfangenden Entität auf die gewünschte Weise verändert. Die Eigenschaft der *Wechselseitigkeit* von *Interaktion* ermöglicht es dann, zu überprüfen, ob dieses Ziel erreicht wurde.

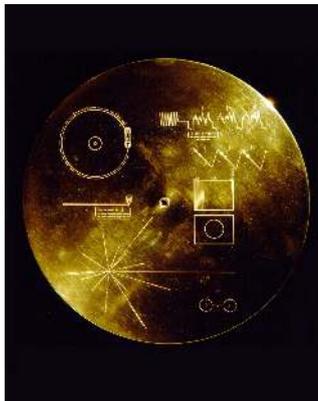
1.2.4 Intuitive Bedienbarkeit

Gebrauchstauglichkeit

Das Konzept der *Gebrauchstauglichkeit* wurde insbesondere in der Anfangszeit der MCI mit dem Ausspruch „easy to learn, easy to use“ (zu deutsch: „einfach



(a)



(b)



(c)

Abbildung 1.36: Die Botschaften der Pioneer- und Voyager-Raumsonden. **(a)** Plakette an der Pioneer-Sonde. **(b)** Anleitung zum Lesen der Voyager-Platte. **(c)** Die Voyager-Datenplatte.

(Bild: NASA, gemeinfrei)

zu erlernen, einfach zu benutzen“) stark vereinfachend umschrieben [Car09]. Der Kern dieser Aussage findet sich heute im Konzept der *intuitiven Bedienbarkeit* wieder. Diese bei praktisch allen interaktiven Systemen angestrebte Eigenschaft steht auf eine unmittelbare Art und Weise mit der Struktur interaktiver Systeme in Zusammenhang.

Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, besteht ein interaktives System aus eigenständigen Entitäten, die ihre jeweiligen Systemzustände zielgerichtet und wechselseitig durch den Austausch von Information beeinflussen. Dieses Schema birgt eine der zentralen Herausforderungen interaktiver Systeme: Die beteiligten Entitäten können die Systemzustände der anderen Entitäten nicht direkt beobachten. Sie können nur indirekt mit Hilfe der transferierten Information die jeweiligen Zustände der anderen Entitäten abschätzen. Bezogen auf die Mensch-Computer-Interaktion lassen sich aus dieser formalen Beschreibung zwei zentrale Herausforderungen für die Entwicklung interaktiver Systeme ableiten:

Hauptfragen für
die Entwicklung
interaktiver
Systeme

Hauptfragen für die Entwicklung interaktiver Systeme:

- Wie kann der Systemzustand des Computersystems durch die Benutzerin oder den Benutzer abgeschätzt werden?
- Wie kann der „Systemzustand“^a der Benutzerin oder des Benutzers durch das Computersystem abgeschätzt werden?

^aMit „Systemzustand“ ist hier der innere Zustand der Person gemeint, z. B. ihre aktuellen Ziele, ihr gedanklicher Kontext oder ihre Emotionen.

Ein großer Teil der vielschichtigen Aspekte der Mensch-Computer-Interaktion lassen sich auf diese zwei Fragestellungen zurückführen. Im Rahmen dieses Kurses werden in erster Linie Themen aufgegriffen, die sich auf die erste Frage beziehen. Ein interaktives System ist vor allem dann intuitiv und einfach benutzbar, wenn es der Benutzerin gelingt, ein internes Modell des Systems aufzubauen und mit Hilfe dieses Modells korrekte Vorhersagen über das Verhalten des Systems zu treffen. Ein System ist umso intuitiver, je schneller die Benutzerin dieses Modell aufbauen kann.

Erwartungs-
haltungen

Die Designerin eines interaktiven Systems kann diesen Modellbildungsprozess durch Ausnutzen von – bereits im Benutzer angelegten – natürlichen und kulturellen Modellen bzw. Erwartungshaltungen unterstützen. So verarbeitet beispielsweise ein Benutzer aus dem westlichen Kulturkreis visuell dargebotene, textuelle Informationen von links nach rechts und von oben nach unten. Die Farbe *Grün* wird in einem entsprechenden Kontext mit „Alles in Ordnung“, die Farbe *Rot* mit „Achtung“ oder „Warnung“ interpretiert. In einem anderen Kontext wird die Farbe *Blau* mit „kalt“ und die Farbe *Rot* wiederum mit „warm“ assoziiert. Sieht der Benutzer einen Knopf, so wird er vermuten, dass dieser gedrückt werden kann. Bei einem Schieberegler wird er eher von einer translatorischen Bewegung ausgehen. Viele dieser Modelle bzw. Erwartungshaltungen werden unbewusst verarbeitet, und es fällt dem Benutzer nur auf, wenn ein System diesen Erwartungshaltungen zuwider handelt.

konsistentes und
vorhersagbares
Verhalten

In Ergänzung zu diesen unbewussten Erwartungshaltungen muss auch die bewusst wahrgenommene Struktur und das makroskopische Verhalten des Systems in sich konsistent sein und ein vorhersagbares Verhalten aufweisen. Auch hier kann sich die Designerin eines interaktiven Systems unter Umständen die bereits in den Nutzern angelegten Modelle zu nutze machen. Etwa dann, wenn die Nutzer schon Erfahrungen mit ähnlich gearteten Systemen haben. In diesem Fall sollte das System die bereits bekannten Strukturen und Verhaltensmuster dieser ähnlichen Systeme aufgreifen. Ein Beispiel hierfür sind systemweit konsistente Tastaturkommandos für das Kopieren, Ausschneiden und Einfügen in bzw. aus der Zwischenablage (Strg-C, Strg-X, Strg-V) oder das Öffnen, Speichern und Drucken von Dateien (Strg-O, Strg-S, Strg-P).

Aus diesen Überlegungen lässt sich entsprechend die Definition für ein intuitiv bedienbares System ableiten:

Definition 1.3 (Intuitiv bedienbares System).

Ein System ist intuitiv bedienbar, wenn es in seinem Verhalten den bereits in der Benutzerin oder dem Benutzer angelegten, natürlichen und kulturellen Erwartungshaltungen^a entspricht und die Modellbildung bzgl. des Systems auf Seiten der Benutzerin oder des Benutzers durch konsistentes und auf die bisherige Erfahrung der Benutzerin oder des Benutzers aufbauendes Verhalten unterstützt.

^a„Natürliche Erwartungshaltungen“ beziehen sich auf *allgemein gültige* Gesetze oder Prozesse, z. B. das Verhalten von Körpern unter Einwirkung von Gravitation. „Kulturelle Erwartungshaltungen“ beziehen sich auf kulturspezifische *Regeln*, die zu meist erlernt sind, z. B. die Regel, dass die Farbe Grün in einem entsprechenden Kontext „Alles in Ordnung“ bedeutet.



Neben der Ausnutzung bereits vorhandener Modelle und Erwartungshaltungen gibt es viele weitere Gestaltungsmittel, die Designerinnen einsetzen können, um ein interaktives System möglichst intuitiv bedienbar zu machen. Hierzu zählen etwa auch die in den Kurseinheiten 3 und 4 beschriebenen wahrnehmungspsychologischen Phänomene und ihre neurobiologischen Grundlagen.

Die vorangegangenen Abschnitte haben Ihnen die Grundbegriffe und zentralen Ideen der Mensch-Computer-Interaktion und eine Einordnung in den Kontext heutiger Industrienormen vermittelt. Um Ihnen ein tiefergehendes Verständnis und ein *Gefühl* für die relevanten Parameter einer Interaktion zu vermitteln, wird der nächste Abschnitt sich der Analyse einer einfachen Interaktion im Detail widmen.

1.3 Interaktion im Detail

Lernziele:

Dieser Abschnitt vermittelt Ihnen ein tieferes Verständnis der Struktur und Funktionsweise von Interaktionen. Dies wird anhand einer detaillierten Analyse eines einfachen Interaktionsszenarios illustriert.

Ausgehend von Definition 1.2 soll in diesem Abschnitt erörtert werden, welche Parameter eine *Interaktion* charakterisieren. Mit Hilfe dieser Charakterisierung wird es möglich, verschiedene Interaktionen bzw. Interaktionsformen auf systematische Weise miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus ermöglicht die Parametrisierung im Falle der Gestaltung einer Interaktion die (Vor-)Auswahl geeigneter Interaktionsmechanismen.

Aus Definition 1.2 lassen sich unmittelbar drei explizite und ein impliziter Parameter für die Charakterisierung einer Interaktion identifizieren. Zu den

expliziten Parametern gehören die an der Interaktion beteiligten Entitäten, die Information, die von der sendenden Entität transferiert wird, und das Ziel bzw. die Absicht dieser Entität. Da diese Information auf irgendeine Art und Weise von der sendenden Entität zur empfangenen Entität gelangen muss, ist der vierte und implizite Parameter einer Interaktion also die Art und Weise, wie die Information übertragen wird. Als W-Fragen formuliert lassen sich die vier Parameter einer Interaktion wie folgt zusammenfassen:

Interaktions-
parameter

- **Wer oder was** sind die beteiligten Entitäten?
- **Welche** Information wird transferiert?
- **Warum** wird die Information transferiert?
- **Wie** wird die Information transferiert?

Diese vier Parameter sind jedoch nicht unabhängig voneinander. Die transferierte Information ist abhängig vom jeweiligen Ziel, das mit dem Transfer dieser Information verbunden ist. Das jeweilige Ziel wiederum ist einer Entität (der *sendenden Entität*) zugeordnet. Die Art und Weise, wie die Information transferiert wird, ist sowohl von der zu transferierenden Information als auch von den Eigenschaften der sendenden und empfangenden Entitäten abhängig. Da es sich bei einer Interaktion laut Definition 1.2 um einen *wechselseitigen* Prozess handelt, wechseln die Rollen der *sendenden Entität* und *empfangenden Entität* unter Umständen sehr häufig zwischen allen beteiligten Entitäten während einer Interaktion. Hierdurch entsteht ein komplexes und dynamisches Geflecht an Abhängigkeiten und Wirkungen zwischen den einzelnen Entitäten.

Abhängigkeit vom
Detailgrad der
Betrachtung

Die Bestimmung der Parameter für die Untersuchung einer *konkreten* Interaktion ist im jeweiligen Fall stark vom gewählten Detailgrad der Betrachtung abhängig. So können beispielsweise bei einem geringen Detailgrad die Entitäten einer Interaktion einfach aus Computersystem und Benutzerin bestehen. Bei einem hohen Detailgrad kann sich die Analyse hingegen explizit auf einen bestimmten Aspekt des interaktiven Systems konzentrieren. Zum Beispiel auf die Art und Weise, wie die Benutzerin mit einem bestimmten Eingabegerät – einem einfachen Schalter etwa – interagiert. In diesem Fall wären die Entitäten der untersuchte Schalter einerseits und die Benutzerin andererseits. Die Ziele der beteiligten Entitäten verhalten sich bzgl. des Detailgrades der Betrachtung genau umgekehrt. Bei einem hohen Detailgrad sind die Ziele tendenziell eher einfach. Im Falle der (isoliert betrachteten) Interaktion zwischen Benutzerin und Schalter wäre dies beispielsweise einfach das Ziel, den Schalter zu betätigen. Bei der Betrachtung einer Interaktion mit geringem Detailgrad, z. B. zwischen den Entitäten Computersystem und Benutzerin, können hingegen die Ziele beliebig komplex werden. Die transferierte Information ist eng an die jeweiligen Ziele gekoppelt und verhält sich bzgl. des Detailgrades der Betrachtung entsprechend. Bei einem hohen Detailgrad mit sehr expliziten Zielen kann auch die transferierte Information sehr präzise bestimmt und festgelegt werden. Im Gegensatz dazu wird bei einem geringeren Detailgrad und komplexeren Zielen die transferierte Information tendenziell allgemeiner beschrieben.

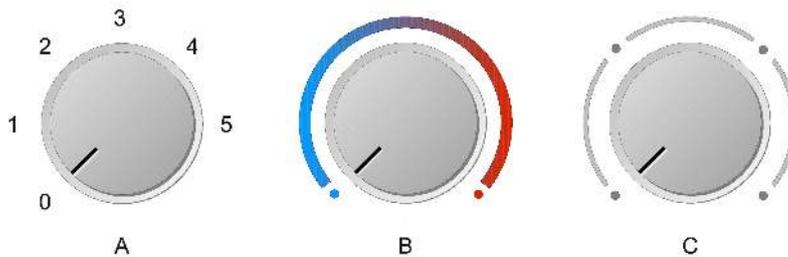


Abbildung 1.37: Beispiel dreier stilisierter Drehregler, wie sie beispielsweise in der Mittelkonsole eines Autos Verwendung finden könnten. Regler A stellt einen Drehregler mit festen Stufen für die Einstellung der Gebläsestärke dar. Regler B ist ein stufenlos verstellbarer Drehregler zur Einstellung der Temperatur. Regler C ist ein stufenlos verstellbarer Drehregler mit einrastenden Zwischenstufen für die Wahl der Gebläsedüsen.

1.3.1 Beispiel einer Interaktionsanalyse

Auf den ersten Blick scheint es vielleicht übertrieben, sich der Analyse einer Interaktion in einem solchen Maße und auf diese formale Weise zu widmen. Im Folgenden soll die exemplarische Untersuchung einer einfachen Interaktion etwas konkreter illustrieren, welche Erkenntnisse die genaue Analyse einer Interaktion liefert, und wie diese verallgemeinert für die präzise Gestaltung weiterer Interaktionen verwendet werden können. Als Beispiel sollen hier drei stilisierte Drehregler für die Gebläsesteuerung eines Autos (s. Abbildung 1.37) untersucht werden. Der gewählte Detailgrad für die Betrachtung ist relativ hoch, so dass auch die Nuancen einer auf den ersten Blick simplen Interaktion deutlich werden.

Wer oder was sind die beteiligten Entitäten?

Die beteiligten Entitäten bei dieser Interaktion sind die drei Drehregler und die Benutzerin. Die primäre Information, die von der Benutzerin an die drei Drehregler transferiert wird, lässt sich direkt aus den Zielen der Benutzerin ableiten und ist entsprechend die Einstellung der gewünschten Gebläsestärke (Regler A), die Einstellung der gewünschten Temperatur (Regler B) oder die Einstellung der zu verwendenden Gebläsedüsen (Regler C).

Welche Information wird transferiert?

Die primäre Information, die über die Drehregler *vom System an die Benutzerin* transferiert wird, ist der Ist-Zustand der drei Teilsysteme, der die aktuell eingestellte Gebläsestärke, die aktuell eingestellte Temperatur und die aktuell verwendeten Gebläsedüsen umfasst. Neben dieser primären Information wird außerdem ein großer Anteil sekundärer Information an die Benutzerin gegeben (s.u.). Die Information, die *von der Benutzerin an das System* transferiert wird, umfasst die gewünschte Gebläsestärke, die gewünschte Temperatur und die gewünschten Gebläsedüsen.

primäre
Information

Es ist bemerkenswert, dass der Informationstransfer von der Benutzerin an das System über die einzelnen Regler nur dann erfolgt, wenn eine entsprechende

Intention auf Seiten der Benutzerin vorhanden ist und eine korrespondierende Handlung erfolgt. Im Gegensatz dazu wird die Information über den aktuellen Zustand des Systems über die Regler an die Benutzerin dauerhaft übertragen – sofern die Benutzerin auf die Regler schaut. Dies wäre zum Beispiel nicht der Fall, wenn das Gebläse über das Display eines Bordcomputers eingestellt würde, welches ansonsten standardmäßig andere Daten anzeigt, z. B. die Karte eines Navigationssystems.

Warum wird die Information transferiert?

Auch wenn die Beantwortung dieser Frage für das gewählte Beispiel eher offensichtlich ist, soll an dieser Stelle der Vollständigkeit halber auch diese Frage explizit beantwortet werden. Die Benutzerin transferiert ihre Information über die gewünschte Gebläsestärke, Temperatur bzw. Düse, um eine *Änderung* von Gebläsestärke, Temperatur bzw. Düse zu bewirken. Das System transferiert seine Information über die eingestellte Gebläsestärke, Temperatur und Düse, um der Benutzerin ein *Feedback* über den aktuellen Systemzustand bzgl. Gebläsestärke, Temperatur und Düse zu geben.

Wie wird die Information transferiert?

sekundäre
Information

Die Information wird hauptsächlich über die Form, Beschriftung und Anordnung der Drehregler sowie über haptisches Feedback vom System an die Benutzerin übertragen. Wie oben bereits erwähnt wird neben der primären Information auch ein großer Anteil sekundärer Information übertragen. In erster Linie findet dieser Informationstransfer von den Drehreglern zur Benutzerin statt und die transferierte Information wird üblicherweise nur unbewusst von der Benutzerin verarbeitet. Zu diesen sekundären Informationen zählt zum Beispiel die Form der Drehregler. Die Form teilt der Benutzerin in diesem Fall mit „Mich kannst du drehen“. Die Beschriftung der Drehregler übermittelt Information über die möglichen Drehrichtungen und die Bedeutung der einzelnen Positionen des jeweiligen Reglers. Regler A ist mit aufsteigenden Zahlen von 0 bis 5 beschriftet. Die natürliche Ordnung der Zahlen korrespondiert mit der jeweiligen Intensität des Gebläses. Die Benutzerin erwartet, dass die Intensität bei Stufe 3 größer ist als bei Stufe 2 und dass die Intensität bei Stufe 5 bedeutend größer ist als bei Stufe 1. Hinzu kommt die spezielle Bedeutung der Zahl 0. Hier wird erwartet, dass das Gebläse nicht aktiv ist. Eine Erwartung, die bei einer Beschriftung mit Zahlen von 1 bis 6 nicht unbedingt gegeben wäre. Regler B ist mit einem Farbverlauf von blau nach rot gekennzeichnet. Hier korrespondiert die Farbe blau mit einer niedrigen Temperatur und die Farbe rot mit einer hohen Temperatur. Die Darstellung von Regler C ist in diesem Beispiel unvollständig. Üblicherweise sind die einzelnen Punkte mit Piktogrammen versehen, die die Position der jeweiligen Gebläsedüsen symbolisieren.

In Ergänzung zu dieser semantischen Information der Beschriftung deutet die grafische Struktur der Beschriftung an, dass mit Regler A feste Stufen gewählt werden können, dass Regler B eine stufenlose Regelung ermöglicht und dass Regler C sowohl feste Zwischenstufen als auch eine stufenlose Regelung



Abbildung 1.38: Beispiel eines sogenannten *Molly-Guards*. Die Kappe über dem Schalter verhindert ein unbewusstes und ggf. ungewolltes Betätigen des Schalters.

(Bild: ponoko.com)

zwischen diesen Stufen ermöglicht. Diese *Andeutung* der möglichen Funktionsweise der Regler wird schließlich durch ein haptisches Feedback während der Betätigung der Regler bestätigt. Regler A rastet bei den einzelnen Stufen spürbar ein und erlaubt keine Zwischenpositionen. Regler B lässt sich stufenlos einstellen. Regler C rastet bei den einzelnen Stufen ein, erlaubt aber auch Zwischenpositionen. Neben diesem funktionalen Aspekt des haptischen Feedbacks vermittelt das Schaltverhalten der Regler auch ein Gefühl der Wertigkeit und der Präzision oder unter Umständen auch genau das Fehlen solcher Eigenschaften. Weitere sekundäre Information wird durch die Anordnung der Regler an die Benutzerin übertragen. Üblicherweise verarbeiten Menschen aus dem westlichen Kulturkreis Informationen von links nach rechts und von oben nach unten. Die Anordnung der Drehregler impliziert eine Ordnung auf den Funktionen der Drehregler. Diese Ordnung stimmt in diesem Fall sowohl logisch als auch mit der zu erwartenden Bedienungshäufigkeit der einzelnen Funktionen überein.

haptisches
Feedback

Wie bereits erwähnt, wird sekundäre Information in der Regel unbewusst von der Benutzerin verarbeitet. Bei einem guten Design sind alle Informationsbestandteile in sich stimmig und führen zu einer *intuitiven* Bedienbarkeit des Systems. Werden jedoch widersprüchliche Informationen übermittelt, so fallen diese plötzlich aus der unbewussten Verarbeitung der Benutzerin heraus und erzeugen ein Gefühl der Unstimmigkeit, welches bewusst verarbeitet werden muss. Die Bedienbarkeit des Systems wird unintuitiv.

Im Allgemeinen wird man bei dem Design eines Systems bemüht sein, derartige Unstimmigkeiten zu vermeiden. In speziellen Fällen können diese Unstimmigkeiten jedoch als bewusstes Gestaltungsmittel dienen, um bestimmte

Unstimmigkeit
als bewusstes
Gestaltungsmittel

Bedienelemente auffällig zu machen und eine unbewusste Bedienung zu vermeiden. Ein Beispiel für die Vermeidung einer unbewussten Bedienung ist der sogenannte *Molly-Guard*⁸⁵ (s. Abbildung 1.38).

Schon diese exemplarische Untersuchung einer einfachen Interaktion macht deutlich, dass im Detail ein großer Anteil sekundärer, vom Menschen unbewusst verarbeiteter Information transportiert wird und dass diese Information einen wesentlichen Einfluss darauf hat, ob eine Interaktion als intuitiv und einfach empfunden wird oder als umständlich und kompliziert. In den Kurseinheiten 3 und 4 werden die Grundlagen und Möglichkeiten für die Gestaltung dieser sekundären Information erarbeitet.

Auswirkungen
des Detailgrads
einer Analyse

Wird der Detailgrad bei der Analyse einer Interaktion reduziert, um beispielsweise eine umfangreichere Interaktion untersuchen zu können, werden üblicherweise die Ziele der einzelnen Entitäten – und in Abhängigkeit der Ziele auch die transferierte primäre Information – komplexer. In gleichem Maße nimmt die Anzahl und die Bedeutung (für diesen Analysefokus) der sekundären Information ab. Der Schwerpunkt einer solchen Analyse verlagert sich von den Details einer einzelnen Interaktion bzw. eines einzelnen Interaktionsschrittes auf die Struktur einer komplexen Interaktion bestehend aus vielen Interaktionsschritten. Hierbei treten Aspekte bzgl. der räumlichen und temporalen Anordnung von einzelnen Interaktionsmöglichkeiten in den Vordergrund. In Analogie zu der zuvor erwähnten *Stimmigkeit* auf Basis der sekundären Information basiert die *Stimmigkeit* des Gesamtsystems auf einem vorherhersagbaren Verhalten des Systems aus Sicht der Benutzer. Hierfür muss das System so gestaltet sein, dass es den Benutzern möglich ist, ein internes Modell des Systems aufzubauen und mit diesem das Verhalten des Systems vorherzusagen. Die Methoden, wie ein solches System entworfen, implementiert und evaluiert werden kann, werden in den Kurseinheiten 5, 6 und 7 beschrieben.

Der vorherige Abschnitt hat Ihnen die wesentlichen Parameter einer Interaktion anhand einer detaillierten Analyse eines einfachen Szenarios illustriert. Hierdurch sollten Sie ein Gefühl dafür bekommen haben, dass es durchaus sinnvoll sein kann, sich der Gestaltung einer Interaktion mit einer gewissen Akribie und einem Blick für die Details zu widmen.

⁸⁵Der Name *Molly-Guard* war ursprünglich die Bezeichnung für eine improvisierte Plexiglasabdeckung über dem Reset-Button eines IBM 4341 Mainframes, nachdem die kleine Tochter eines Programmierers mit Namen *Molly* den Knopf zweimal an einem einzigen Tag ausgelöst hatte.

1.4 Auf welche Weise kann Interaktion gestaltet werden?

Lernziele:

Dieser Abschnitt gibt Ihnen einen kurzen Überblick über die grundsätzlichen Möglichkeiten, sowohl Einzelkomponenten einer Interaktion als auch ein interaktives System als Ganzes zu gestalten. Folgende Kurseinheiten werden sich detaillierter auf die hier überblicksartig dargestellten Sachverhalte beziehen.

Die exemplarische Analyse einer einfachen Interaktion im vorhergehenden Abschnitt macht deutlich, wie groß die Zahl unterschiedlicher Designaspekte bei der Gestaltung eines selbst einfachen interaktiven Systems ist. Die Spanne der Gestaltungsfragen reicht hierbei von der grundsätzlichen Struktur des gesamten interaktiven Systems bis hinunter zu den Details des Erscheinungsbildes eines einfachen Elementes, z. B. eines Schalters. Ein großer Teil dieser Gestaltungsfragen werden im Rahmen der nachfolgenden Kurseinheiten behandelt.

Im Kontext der Gestaltung eines interaktiven Systems liegt der Vielzahl verschiedener Designaspekte ein elementares Gestaltungsprinzip zu Grunde. Im Kern handelt es sich immer um die *Gestaltung des Informationsflusses* innerhalb der Interaktion. Es gibt folgende vier Möglichkeiten, den Transfer von Information zwischen zwei an einer Interaktion beteiligten Entitäten zu gestalten. Diese werden im weiteren Verlauf näher erläutert.

Möglichkeiten der Interaktionsgestaltung:

- die Auswahl, *welche Information* transferiert wird
- die Auswahl und Gestaltung der *physischen Schnittstellen*
- die Gestaltung der *Informationsdarstellung*
- die Bestimmung der *Interaktionsstruktur als Gesamtkomposition*

Möglichkeiten der Interaktionsgestaltung

Auswahl der transferierten Information

Die Auswahl der Information, im Zusammenhang mit der Mensch-Computer-Interaktion häufig auch als *Selektion* bezeichnet, legt fest, welche Information zu welchem Zeitpunkt bzw. in welchem Kontext zwischen den Entitäten ausgetauscht werden kann. Diese Auswahl findet auf allen Ebenen der Gestaltung statt und ist in der Regel explizit oder implizit ein Teil jedes einzelnen Gestaltungsschrittes. Im Umfeld des Entwurfs und der Konzeptionierung findet die Auswahl der Information meist noch explizit statt. Je konkreter die Gestaltungsschritte jedoch werden, desto häufiger findet diese Auswahl nur noch implizit statt. So wird beispielsweise bei der Entscheidung für eine bestimmte Schnittstelle immer auch eine implizite Auswahl bzw. Filterung der Information vorgenommen. Die Information, die über diese Schnittstelle transferiert

Selektion

Auswirkung der Informationsauswahl auf Modellbildung

werden kann, ist immer den Limitationen und Fähigkeiten dieser Schnittstelle unterworfen (s.u.). Gleiches gilt für die Gestaltung der Darstellung von Information. Hier beschränkt die gewählte Darstellungsform implizit, welcher Anteil der Information übertragen wird (s.u.). Soll einem Benutzer beispielsweise eine Temperatur, z. B. die Prozessortemperatur eines Computers, übermittelt werden, so kann dies über eine einfache Anzeige der aktuellen Temperatur als Zahl geschehen. Alternativ kann aber auch der Verlauf der Temperaturwerte über einen bestimmten Zeitraum als Graph dargestellt werden. In diesem Fall würde der Benutzer zusätzlich über den Temperaturverlauf informiert und könnte so beispielsweise leichter einen allmählichen Anstieg der Temperaturen erkennen. Die Auswahl der Information (Selektion) kann also wesentlich dazu beitragen, wie gut oder schlecht die Nutzer eines Systems ein internes Modell dieses Systems aufbauen können und wie gut oder schlecht der aktuelle Systemzustand durch einen Nutzer abgeschätzt werden kann. Folglich hat die Selektion der Information einen großen Einfluss darauf, wie intuitiv ein interaktives System bedienbar ist. Insbesondere die implizite Selektion von Information durch die Festlegung auf bestimmte Formen der Informationsdarstellung sowie durch die Festlegung der physischen Schnittstellen und der Interaktionsstrukturen (s.u.) sollte bei der Gestaltung eines interaktiven Systems bewusst berücksichtigt werden.

Rahmenbedingungen

Auswahl und Gestaltung physischer Schnittstellen

Die Auswahl und Gestaltung der physischen Schnittstellen führen wie bereits beschrieben zu einer impliziten Auswahl der Information durch die jeweiligen Limitationen und Fähigkeiten der ausgewählten Schnittstelle. Darüber hinaus legen die Eigenschaften der Schnittstelle die Rahmenbedingungen für die Gestaltung der Darstellung der Information fest (s.u.). Ein Display als physische Schnittstelle legt beispielsweise die Darstellung der Information auf eine visuelle Repräsentation fest. Ein Lautsprecher verlangt hingegen eine auditive Repräsentation der Information. Darüber hinaus bestimmt die Auswahl der physischen Schnittstellen eines interaktiven Systems, über welche (Sinnes-)Modalitäten die Nutzerin mit dem System interagieren kann. Kurseinheit 2 wird ausführlich die verschiedenen physischen Schnittstellen zwischen Computer und Mensch vorstellen und auf ihre jeweiligen Limitationen und Fähigkeiten eingehen.

Auswahl der Darstellungsform

Gestaltung der Informationsdarstellung

Die Gestaltung der Darstellung der Information bezieht sich auf die konkrete Umsetzung bzw. „Formatierung“ der Information für den Transfer über eine bestimmte Schnittstelle. Die mögliche Form der Information wird nicht nur grundsätzlich über die Art der gewählten Schnittstelle bestimmt, sondern kann auch bei gleicher Schnittstelle unterschiedlichste Gestalt annehmen. So kann zum Beispiel die Information über eine Temperatur auf einem Display als Zahl, oder als Zeiger mit einer Skala, oder als Einfärbung etc. dargestellt werden. Über eine andere Schnittstelle, z. B. einen Lautsprecher, kann die Temperatur etwa als Sprachausgabe wiedergegeben werden. Die Auswahl der Darstellungsform der Information hat zudem eine große Bedeutung für die Wiedergabe bzw. Repräsentation sekundärer Information. So kann beispielsweise die Anordnung

mehrerer, grafischer Elemente zueinander dazu beitragen, dass diese Elemente als eine zusammengehörige Gruppe wahrgenommen werden. Es existiert eine Vielzahl wahrnehmungspsychologischer Phänomene, die für die geschickte Repräsentation derartiger, sekundärer Information genutzt werden können. Die Ausnutzung solcher Mechanismen ist ein weiterer, wichtiger Baustein für die Gestaltung eines intuitiv bedienbaren Systems. Als Basis für das Verständnis und den Einsatz dieser Mechanismen werden die Grundlagen der Wahrnehmung und Verarbeitung von Sinneseindrücken in Kurseinheit 3 ausführlich behandelt. Anschließend werden in Kurseinheit 4 detailliert eine große Zahl an nützlichen und wichtigen wahrnehmungspsychologischen Phänomenen vorgestellt und im Kontext der Gestaltung interaktiver Systeme betrachtet.

Bestimmung der Interaktionsstruktur als Gesamtkomposition

Die bisher beschriebenen Gestaltungsmittel beziehen sich jeweils immer nur auf einzelne Interaktionselemente bzw. Interaktionsaspekte. Die Komposition dieser einzelnen Interaktionselemente zu einem vollständigen, interaktiven System hingegen stellt einen weiteren, umfangreichen und komplexen Gestaltungsvorgang dar. Dieser Gestaltungsvorgang beschäftigt sich im Kern mit der Gestaltung der Struktur der Interaktion. Beispielsweise führt die Entscheidung, eine bestimmte Interaktion in Dialogform stattfinden zu lassen, die die Eingabe bestimmter Daten in einer vorgegebenen Reihenfolge erzwingt, zu einer anderen Interaktionsstruktur als die Entscheidung, dass die Nutzerin alle benötigten Daten in beliebiger Reihenfolge über ein Menü eingeben kann.

Gesamt-
komposition

Die Gestaltung der Struktur der Interaktion ist das zentrale Thema der Kurseinheiten 5, 6 und 7. Kurseinheit 5 behandelt den Entwurfsprozess für ein interaktives System. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Erstellung der Anforderungsanalyse und den hierfür notwendigen Datenerfassungsmethoden. Darüber hinaus wird die Verwendung von Prototypen im Kontext der Anforderungsanalyse vorgestellt. Kurseinheit 5 schließt mit einer Übersicht über verschiedene Techniken für die (formale) Konzeption interaktiver Systeme.

Kurseinheit 6 behandelt die Implementierung interaktiver Systeme. Beginnend mit einer kurzen Vorstellung des Pflichtenheftes als Hilfsmittel für den innerbetrieblichen Entwicklungsprozess konzentriert sich Kurseinheit 6 auf die Vorstellung verschiedener System- und Programmierungskonzepte. Die Kurseinheit endet mit einer Übersicht über verschiedene integrierte Programmierumgebungen, die die Implementierung interaktiver Systeme unterstützen.

Kurseinheit 7 behandelt schließlich die Evaluation interaktiver Systeme. Ausgehend von einer Begriffsklärung werden zunächst die Ziele der Evaluation interaktiver Systeme vorgestellt und die statistischen Grundlagen gelegt, die für die Durchführung einer Evaluation benötigt werden. Im Anschluss wird eine Vielzahl verschiedener Evaluationsmethoden für die Evaluation interaktiver Systeme vorgestellt. Die Kurseinheit endet mit einer Reflektion darüber, wie die vorgestellten Methoden eingeordnet und in Relation zueinander gesetzt

werden können, um die Auswahl einer geeigneten Methode für ein konkretes Projekt zu erleichtern.

Der letzte Abschnitt dieser Kurseinheit erläuterte Ihnen die prinzipiellen Gestaltungsmittel, die für das Design eines interaktiven Systems und seiner Komponenten zur Verfügung stehen. Darüber hinaus lieferte der Abschnitt in diesem Zusammenhang eine Übersicht über den Inhalt der kommenden Kurseinheiten.

1.5 Selbsttestaufgaben

Diese Aufgaben dienen zu Ihrem Selbsttest. Bei Aufgaben mit mehreren Antwortalternativen, können eine oder auch mehrere richtig sein. Lösungen zu diesen Aufgaben finden Sie im direkten Anschluss.

Aufgabe 1.1:

Welches elementare Gestaltungsprinzip liegt der Vielzahl an verschiedenen Designaspekten bei der Gestaltung eines interaktiven Systems zu Grunde?

- A) Die Bestimmung der Systemkomponenten
- B) Die Auswahl der Schnittstellen
- C) Die Festlegung der Entitäten
- D) Die Gestaltung des Informationsflusses

Aufgabe 1.2:

Was stellt eine der zentralen Herausforderungen interaktiver Systeme dar?

- A) Die Entitäten können nicht alle zugleich handeln.
- B) Die Entitäten können nur einfache Nachrichten verarbeiten und interpretieren.
- C) Die beteiligten Entitäten können die Systemzustände der anderen Entitäten nicht direkt beobachten.
- D) Die Entitäten müssen in Echtzeit arbeiten, damit die Interaktion nicht ins Stocken gerät.

Aufgabe 1.3:

Licklider, einer der einflussreichsten Vordenker der 50er und 60er Jahre im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion, bestimmte in einem Selbsttest, dass er einen großen Anteil (85%) seiner Arbeitszeit mit ... beschäftigt ist.

- A) Prokrastinieren
- B) Schreiben
- C) Informationssuche
- D) Nachdenken

Aufgabe 1.4:

Die 1982 von Nimish Mehta mit dem Titel „A Flexible Machine Interface“ veröffentlichte Arbeit gilt als eine der ersten Arbeiten zu einem multi-touch Eingabegerät. Das System basierte auf welchem Prinzip?

- A) optische Erfassung
- B) resistive Erfassung
- C) induktive Erfassung
- D) kapazitive Erfassung

Aufgabe 1.5:

Was wird im Kontext der Elektroenzephalografie mit dem Kürzel „P300“ bezeichnet?

- A) eine positive Stichprobe aus mindestens 300 Probanden
- B) ein Pseudosignal, das nach 300 Millisekunden auftritt
- C) ein Verstärkungsfaktor von 300
- D) ein ereigniskorreliertes Potential

Aufgabe 1.6:

Mark Weiser definierte 1991 in seinem Aufsatz „The Computer for the 21st century“ den Begriff des „ubiquitous computing“. Was hat er damit gemeint?

- A) Er beschreibt damit eine Strömung im Kontext des Controlling, die ausnahmslos jeden Prozess versucht zu quantifizieren.
- B) Er bezeichnet damit einen neuen Lebensstil, der durch die ständige Erreichbarkeit mittels mobilen Telefonen und Computern geprägt ist.
- C) Er bezeichnet damit eine vollständige Integration von Computertechnologie im Alltag, welche die Technologie so selbstverständlich werden lässt, dass sie nicht mehr explizit wahrgenommen wird.
- D) Er beschreibt damit das Verschmelzen von realer Umwelt und virtueller Realität.

Aufgabe 1.7:

Wodurch ging Ada Lovelace in die Geschichte der Informatik ein?

- A) Sie erfand den ersten Webstuhl der Welt.
- B) Sie schrieb das erste Computerprogramm der Welt.
- C) Sie entwarf die Analytical Engine.
- D) Sie installierte die erste EDV-Anlage im US-Kriegsministerium.

Aufgabe 1.8:

Einige internationale Standards haben Bezüge zu Themengebieten der Mensch-Computer-Interaktion. Es gibt Stimmen, die sich kritisch zu diesen Normen und Standards äußern. Welche Punkte werden dabei genannt?

- A) Häufig werden in den Normen nur Selbstverständlichkeiten beschrieben.
- B) Die Standards sind nicht eng genug gefasst und lassen zu viel Spielraum für Kreativität.
- C) Große Gruppen von AnwenderInnen kritisieren die mangelhafte Abbildung ihrer Bedürfnisse in Normen.
- D) Standards befördern zu viel Innovation.

Aufgabe 1.9:

Welche der unten aufgeführten Neuerungen brachte das Xerox Alto-System?

- A) ein Zeichenprogramm mit Symbolgrafiken für Befehle
- B) die erste WYSIWYG-Textverarbeitung
- C) eines der ersten 3D-Netzwerk-Computerspiele
- D) eine Entwicklungsumgebung

Aufgabe 1.10:

Die Arbeitsdefinition der Mensch-Computer-Interaktion des ACM SIGCHI-Kurrikulums lautet:

„Die Mensch-Computer-Interaktion widmet sich dem Entwurf, der Evaluation und der Implementierung interaktiver Systeme und der Untersuchung von in diesem Umfeld auftretenden Phänomenen.“

Ist diese Aussage richtig?

1.6 Lösungen der Selbsttestaufgaben

Lösung von Aufgabe 1.1:

D) Die Gestaltung des Informationsflusses

Lösung von Aufgabe 1.2:

C) Die beteiligten Entitäten können die Systemzustände der anderen Entitäten nicht direkt beobachten.

Lösung von Aufgabe 1.3:

C) Informationssuche

Lösung von Aufgabe 1.4:

A) optische Erfassung

Lösung von Aufgabe 1.5:

D) ein ereigniskorreliertes Potential

Lösung von Aufgabe 1.6:

C) Er bezeichnet damit eine vollständige Integration von Computertechnologie im Alltag, welche die Technologie so selbstverständlich werden lässt, dass sie nicht mehr explizit wahrgenommen wird.

Lösung von Aufgabe 1.7:

B) Sie schrieb das erste Computerprogramm der Welt.

Lösung von Aufgabe 1.8:

A) Häufig werden in den Normen nur Selbstverständlichkeiten beschrieben.

C) Große Gruppen von AnwenderInnen kritisieren die mangelhafte Abbildung ihrer Bedürfnisse in Normen.

Lösung von Aufgabe 1.9:

A) ein Zeichenprogramm mit Symbolgrafiken für Befehle

B) die erste WYSIWYG-Textverarbeitung

C) eines der ersten 3D-Netzwerk-Computerspiele

D) eine Entwicklungsumgebung

Lösung von Aufgabe 1.10:

Die Aussage

„Die Arbeitsdefinition der Mensch-Computer-Interaktion des ACM SIGCHI-Kurrikulums lautet: „Die Mensch-Computer-Interaktion widmet sich dem Entwurf, der Evaluation und der Implementierung interaktiver Systeme und der Untersuchung von in diesem Umfeld auftretenden Phänomenen.“

ist richtig.

Literaturverzeichnis

- [Aum11] AUMÜLLER, Sascha: *Die Norm sind Bedienerinnen, Maschinenbauer bauen für Männer*. Wien : Der Standard, Österreich, 15.03.2011
- [BHR85] BUXTON, William ; HILL, Ralph ; ROWLEY, Peter: Issues and techniques in touch-sensitive tablet input. In: *Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1985 (SIGGRAPH '85). – ISBN 0-89791-166-0, 215-224
- [BOYBK90] BROOKS, Frederick P. ; OUH-YOUNG, Ming ; BATTER, James J. ; KILPATRICK, Jerome P.: Project GROPE – Haptic displays for scientific visualization. In: *Proceedings of the 17th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1990 (SIGGRAPH '90). – ISBN 0-89791-344-2, S. 177-185
- [Bus45] BUSH, Vannevar: As We May Think. In: *Atlantic Monthly* 176 (1945), March, Nr. 1, 641-649. <http://www.theatlantic.com/doc/194507/bush>. – ISSN 1072-5520
- [Car09] CARROLL, John M.: *Encyclopedia entry on Human Computer Interaction (HCI)*. http://www.interaction-design.org/encyclopedia/human_computer_interaction_hci.html. Version: 2009. – It is an electronic document. Date of publication: March 31, 2009. Date retrieved: October 27, 2010. Date last modified: July 29, 2010
- [CM92] CAUDELL, T. P. ; MIZELL, D. W.: Augmented reality: an application of heads-up display technology to manual manufacturing processes. In: *System Sciences, 1992. Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on* ii (1992), August, S. 659-669 vol.2. <http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.1992.183317>. – DOI 10.1109/HICSS.1992.183317
- [DFAB04] DIX, A. ; FINLAY, J. ; ABOWD, G.D. ; BEALE, R.: *Human-Computer Interaction*. Harlow, UK : Pearson Education Limited, 2004
- [Dim57] DIMOND, T. L.: Devices for Reading Handwritten Characters. In: *Managing Requirements Knowledge, International Workshop on* 0 (1957), S. 232

- [FAG08] FISCUS, Jonathan G. ; AJOT, Jerome ; GAROFOLO, John S.: Multimodal Technologies for Perception of Humans. Version: 2008. http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68585-2_36. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2008. – DOI http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68585-2_36. – ISBN 978-3-540-68584-5, Kapitel The Rich Transcription 2007 Meeting Recognition Evaluation, 373–389
- [FD88] FARWELL, L. A. ; DONCHIN, E.: Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. In: *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* 70 (1988), December, Nr. 6, 510–523. [http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90149-6](http://dx.doi.org/10.1016/0013-4694(88)90149-6). – DOI 10.1016/0013-4694(88)90149-6
- [Fis91] FISHER, Scott S.: Virtual Environments: Personal Simulations & Telepresence. In: HELSEL, S. (Hrsg.) ; J.ROTH (Hrsg.): *Virtual Reality: Theory, Practice and Promise*. Meckler Publishing, 1991
- [Har11] HARMS, Rebecca: *Stresstests für AKW in Europa - Interview mit Rebecca Harms, Europa-Abgeordnete, Bündnis 90/ Die Grünen*. Köln : Morgenecho, WDR 5, Sendung vom 21.03.2011, 06:05 bis 08:55 Uhr, Redaktion: Karin Bensch, 2011 <http://www.wdr5.de/sendungen/morgenecho/s/d/21.03.2011-06.05/b/stress-tests-fuer-akw-in-europa.html>
- [Hei02] HEILIG, Morton: The cinema of the future (Original work published in 1955). In: PACKER, R. (Hrsg.) ; JORDAN, K. (Hrsg.): *Multimedia: From Wagner to virtual reality*. W. W. Norton & Company, 2002, S. 239–251
- [Ken01] KENT, Steve: *The Ultimate History of Video Games*. Roseville : Prima, 2001. – ISBN 0761536434
- [KGH85] KRUEGER, Myron W. ; GIONFRIDDO, Thomas ; HINRICHSEN, Katrin: VIDEOPLACE – an artificial reality. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1985 (CHI '85). – ISBN 0-89791-149-0, S. 35–40
- [Kru83] KRUEGER, M. W.: *Artificial Reality*. Reading, MA : Addison-Wesley, 1983
- [LBS85] LEE, SK ; BUXTON, William ; SMITH, K.C.: A multi-touch three dimensional touch-sensitive tablet. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 1985 (CHI '85). – ISBN 0-89791-149-0, 21–25
- [Lev95] LEVY, Steven: *Insanely great: the life and times of Macintosh, the computer that changed everything*. New York, NY, USA : Penguin Books, 1995. – ISBN 0-14-023237-0

- [Lic60] LICKLIDER, J. C. R.: Man-Computer Symbiosis. In: *IRE Transactions on Human Factors in Electronics* HFE-1 (1960), March, S. 4–11
- [Lip80] LIPPMAN, Andrew: Movie-maps: An application of the optical videodisc to computer graphics. In: *Proceedings of the 7th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA : ACM, 1980 (SIGGRAPH '80). – ISBN 0–89791–021–4, S. 32–42
- [MTUK94] MILGRAM, Paul ; TAKEMURA, Haruo ; UTSUMI, Akira ; KISHINO, Fumio: Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. In: *Proceedings of the SPIE Conference on Telemanipulator and Telepresence Technologies* Bd. 2351. Boston, Massachusetts, USA, November 1994 (Proceedings of SPIE), S. 282–292
- [Nov07] NOVAK, Renate: *Gender Mainstreaming und Muskel-Skelett-Erkrankungen*. Wien : Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Österreich, 2007
- [ODZ⁺16] OORD, Aäron van den ; DIELEMAN, Sander ; ZEN, Heiga ; SIMONYAN, Karen ; VINYALS, Oriol ; GRAVES, Alex ; KALCHBRENNER, Nal ; SENIOR, Andrew W. ; KAVUKCUOGLU, Koray: WaveNet: A Generative Model for Raw Audio. In: *The 9th ISCA Speech Synthesis Workshop, Sunnyvale, CA, USA, 13-15 September 2016*, ISCA, 2016, 125
- [Pie10] PIERCE, Stephanie: *AFS8078, Human Systems Integration Division Virtual Environment Documentation and Equipment, 1986-1993*. <http://history.arc.nasa.gov>. Version: 2010
- [RBSJ79] RAAB, F.H. ; BLOOD, E.B. ; STEINER, T.O. ; JONES, H.R.: Magnetic Position and Orientation Tracking System. In: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* AES-15 (1979), September, S. 709–718. – ISSN 0018–9251
- [Spr07] SPRENGER, Reinhard K.: *Vertrauen führt - Worauf es im Unternehmen wirklich ankommt*. Frankfurt/New York : Campus Verlag, 3. Auflage, 2007. – 192 S.
- [Sut65] SUTHERLAND, Ivan E.: The Ultimate Display. In: *Proceedings of the IFIP Congress, 1965*, S. 506–508
- [Sut68] SUTHERLAND, Ivan E.: A head-mounted three dimensional display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I*. New York, NY, USA : ACM, 1968 (AFIPS '68 (Fall, part I)), S. 757–764
- [SW08] SCHMALSTIEG, Dieter ; WAGNER, Daniel: Mobile Phones as a Platform for Augmented Reality. In: *Proceedings of the IEEE VR 2008 Workshop on Software Engineering and Architectures for*

- Realtime Interactive Systems*. Graz, Austria : Shaker Publishing, March 2008 (Proceedings of the IEEE), S. 43–44
- [SZ94] STURMAN, David J. ; ZELTZER, David: A Survey of Glove-based Input. In: *IEEE Comput. Graph. Appl.* 14 (1994), January, 30–39. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=182227.182233>. – ISSN 0272–1716
- [Wei91] WEISER, Mark: The Computer for the 21st Century. In: *Scientific American* 265 (1991), January, Nr. 3, 66–75. <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/SciAmDraft3.html>
- [Wel93] WELLNER, Pierre: Interacting with paper on the DigitalDesk. In: *Commun. ACM* 36 (1993), July, 87–96. <http://dx.doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/159544.159630>. – DOI <http://doi.acm.org/10.1145/159544.159630>. – ISSN 0001–0782
- [WS03] WANG, Jessica J. ; SINGH, Sameer: Video analysis of human dynamics—a survey. In: *Real-Time Imaging* 9 (2003), Nr. 5, 321 - 346. <http://dx.doi.org/DOI:10.1016/j.rti.2003.08.001>. – DOI DOI: 10.1016/j.rti.2003.08.001. – ISSN 1077–2014
- [WSA⁺95] WANT, Roy ; SCHILIT, Bill ; ADAMS, Norman ; GOLD, Rich ; PETERSEN, Karin ; ELLIS, John ; GOLDBERG, David ; WEISER, Mark: The PARCTAB Ubiquitous Computing Experiment / Xerox Palo Alto Research Center. 1995 (CSL-95-1). – Forschungsbericht