

**LERNEN MIT DIGITALEN MEDIEN**

**VON MÄUSEN UND MENSCHEN:  
ZUR INTERAKTIVITÄT DIGITALER  
LEHR-/LERNMEDIEN**



**JOACHIM WEDEKIND**

Mit der Reihe LERNEN MIT DIGITALEN MEDIEN stelle ich Texte zur Verfügung, die sich mit unterschiedlichen Aspekten des Lernens mit digitalen Medien befassen. Sie thematisieren praxisorientierte fach- und mediendidaktische Aspekte der digitalen Medien im Lehr-/Lernkontext.

#### IMPRESSUM:

Joachim Wedekind:  
Von Mäusen und Menschen: Zur Interaktivität digitaler Lehr-/Lernmedien  
Version 1.0

2009 Tübingen  
© für das Gesamtwerk beim Autor  
Grafische Gestaltung und Satz: Joachim Wedekind  
Das Werk steht elektronisch im Internet zur Verfügung: joachim-wedekind.de

Licensed under a Creative Commons License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>  
You are free to



Under the following conditions



## Einleitung

Ende 2008, Anfang 2009 organisierte ich eine dreiteilige Vortragsserie zum Thema *Interaktivität digitaler Medien*. Mit der Reihe sollte eine Eigenschaft der digitalen Medien in den Mittelpunkt gerückt und näher beleuchtet werden, die für ihre Nutzung in Lehr-/Lernkontexten eine hohe Bedeutung hat – ihre Interaktivität.

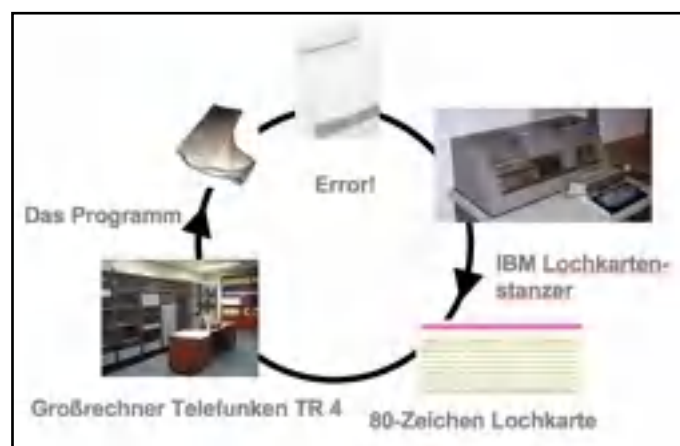
Digitale Medien, also Computer und Internet, sind heute ziemlich normale Bestandteile unseres privaten und beruflichen Umfelds und zwar bei Personen aller Altersstufen. Auch der Zugang zu Informationen und der Erwerb von Wissen wird davon geprägt, also alle Prozesse des Lehrens und Lernens. Wie dies erfolgt und wie Lehren und Lernen dadurch verändert wird, hängt auch von den technischen Möglichkeiten ab, die den Nutzern in den letzten vierzig Jahren geboten wurden. Mit den drei Vorträgen sollte diese Entwicklungsstrecke nachgezeichnet werden. Der Blick zurück soll anregen, technische Entwicklungen hinsichtlich ihres Potenzials für innovative Lehr-/Lernformen zu bewerten.

Mit meinem Beitrag setze ich mich mit der Wechselwirkung technisch geprägter Interaktionsmöglichkeiten von digitalen Lehr-/Lernmedien einerseits und unterrichtsmethodisch geprägten Lernaktivitäten andererseits auseinander. Historische und aktuelle Anwendungsbeispiele sollen zeigen, wie mit didaktischer Phantasie vorhandene Potenziale genutzt werden können.

### Ein Blick zurück ... mein eigener Einstieg

Wie hat das Computern bei mir begonnen? Mein persönlicher erster Arbeitskontakt mit Computern war 1968 in einem Programmierkurs (mit der Sprache FORTRAN) und später intensiver im Rahmen meiner Diplomarbeit, in der ich eine Simulation zur Populationsökologie entwickelt habe. Zu jener Zeit sprach man weder von *Interaktion* mit dem Computer noch von einem speziellen *Interface*.

Die Interaktion beschränkte sich auf die Abgabe eines Stapels Lochkarten im Rechenzentrum und das Abholen eines Papierstapels frühestens zwei Stunden später. In der Mehrzahl der Fälle enthielt dieser Stapel von 9 DIN A3 Blättern: 8 Blätter mit Jobnummer und Nutzerkennung und ähnlichem, sowie ein Blatt mit dem Ausdruck weniger Zeilen mit einer Fehlermeldung und dürftigen Hinweisen, wo dieser Fehler zu suchen sei. Das Interface war




ein Lochkartenstanzer, mit dem dann eine oder mehrere Lochkarten für die Programmzeilen, in denen der Fehler vermutet wurde, neu gestanzt, die Karten in den Stapel eingeordnet und dieser dann wieder in die Warteschlange im Fach des Rechners abgegeben wurde.

Diese Arbeitsschleife wiederholte sich viele viele Male, bis das Programm fehlerfrei lief und die gewünschten Ausdrücke lieferte. Erst an einigen wenigen privilegierten Orten gab es zu dieser

Zeit so genannte Time-sharing-Maschinen, bei denen über alpha-numerische Terminals mehrere Benutzer gleichzeitig Zugriff auf Rechenleistung hatten. Das Interface war auch in diesem Fall – wie noch für einige weitere Jahre und Rechnergenerationen – die Kommandozeile.

etwa zur gleichen Zeit ...

... fand in Kalifornien (San Francisco) eine inzwischen legendäre Präsentation statt: Am 09.12.1968, also ziemlich genau vor 40 Jahren, stellte Doug Engelbart alle wichtigen Techniken vor, die heute unseren Umgang mit Rechnern und Internet bestimmen. Dieses Jubiläum war mit



**monday afternoon**  
**december 9**  
**3:45 p.m. / arena**  
Chairman:  
**DR. D. C. ENGELBART**  
Stanford Research Institute  
Menlo Park, California

**a research center  
for augmenting human  
intellect**

This session is entirely devoted to a presentation by Dr. Engelbart on a computer-based, interactive, multiconsole display system which is being developed at Stanford Research Institute under the sponsorship of ARPA, NASA and RADC. The system is being used as an experimental laboratory for investigating principles by which interactive computer aids can augment intellectual capability. The techniques which are being described will, themselves, be used to augment the presentation.

Anstoß für diese Vortragsreihe, um über die weitere Entwicklung der Nutzungsformen digitaler Medien in Lehr-/Lernkontexten nachzudenken.

Bereits 1998 und nun wieder 2008 fanden aus diesem Anlass an der Stanford University Gedenkveranstaltungen statt: *Engelbart and the Dawn of Interactive Computing* (also die Morgendämmerung, der Beginn des interaktiven Computers).

In seinem berühmten Vortrag schockierte Engelbart die Fachwelt mit seinen am SRI (Stanford Research Institute) entwickelten Ideen und – noch beeindruckender – mit konkreten Produktrealisationen, die völlig mit dem herrschenden Nutzungsparadigma brachen. Die Präsentation gilt seitdem als „the mother of all demos“.

## Gliederung

Nach diesem persönlich gefärbten Einstieg nun also die Stationen, auf die ich Sie im Folgenden gerne mitnehmen möchte:

- Am Beginn stehen vier Innovationen ... und eine Vision.
- Ein Programmbeispiel wird zeigen, dass diese Impulse sehr früh im Bildungsbereich aufgenommen wurden.
- Daran anschließend kann der Begriff der Interaktivität präziser gefasst
- und mit grundlegenden unterrichtsmethodischen Konzepten zusammen geführt werden.
- Schließlich sollen aktuelle Entwicklungen aufgegriffen und das Ganze
- in ein Fazit münden.

## Die vier Basisinnovationen

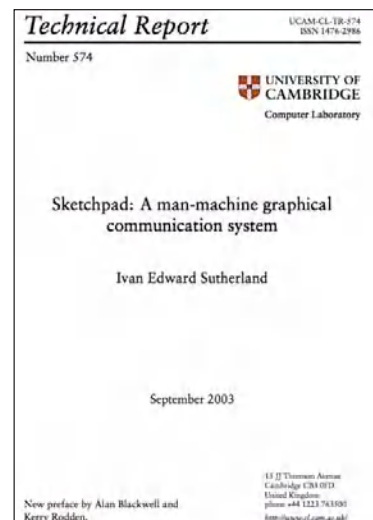
Beginnen wir also mit den vier Basisinnovationen, die den Umgang mit Rechnern heute prägen.

### 1. Grafisch interaktive Bildschirme

Als erstes sind die grafisch-interaktiven Bildschirme zu nennen und mit ihnen ein neues Nutzungsmodell für Rechner.

Der Umgang mit Computern änderte sich nämlich radikal mit einem Pioniersystem namens Sketchpad (Zeichenfeld), das Ivan Sutherland entwickelte und 1963 im Rahmen seiner Dissertation vorstellte (mit dem Titel *Sketchpad. A man-machine graphical communication system*).

Sutherland zeichnete am Bildschirm, in dem er mit einem Lichtstift darauf zeigte. Das Zeigen ist eine minimalistische Operationsform, auf die hin sich der Rechner sehr reichhaltig zurückmelden kann (heute z.B. in Form von Fenstern, Auswahllisten und Icons). Sutherlands Arbeit war zunächst erstmal die Grundlage für das Computer Aided Design (CAD), das computergestützte Entwerfen.

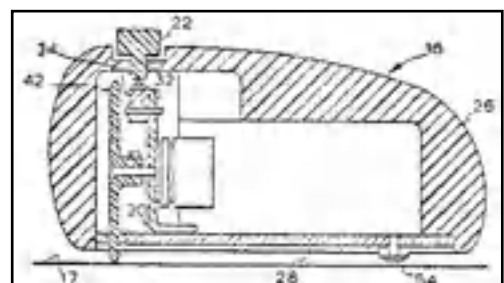


Aber Sutherland selbst war sich des grundlegenden medialen Wechsels dieser Arbeitsweise sehr wohl bewusst:

*The Sketchpad system, by eliminating typed statements ... in favour of line drawings opens up a new era of man-machine communication.*

### 2. Zeigegeräte

Nun waren für diese Form der Interaktion geeignete Zeigegeräte – sogenannte XY-Positionsanzeiger – notwendig aber eigentlich nicht vorhanden. Engelbart ordnete in einer Vergleichsstudie alle damaligen Eingabegeräte in einer mehrdimensionalen Matrix an und erhielt dadurch wünschbare Charakteristika eines Geräts ... das allerdings zu jenem Zeitpunkt nicht existierte. Also entwickelte er es selbst und nannte es Maus – anfangs in noch nicht besonders ergonomischer Form.



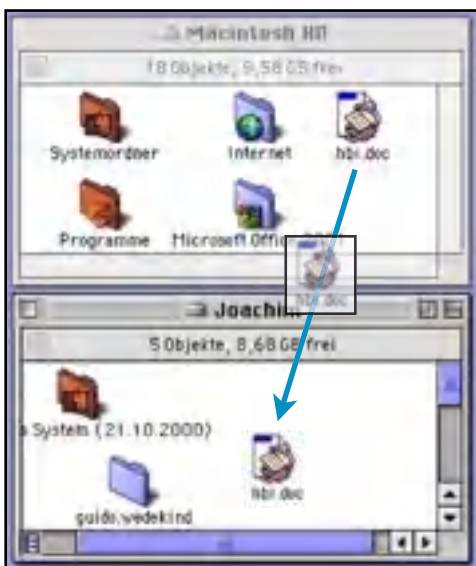
Die Maus erlebte seitdem eine Reihe von Verbesserungen, blieb mit der grundlegenden Funktionalität als Instrument der Cursoransteuerung bis heute aber nahezu unverändert.

Sie ist etwas eleganter geworden, die markanteste Änderung ist noch, dass das Kabel anfangs bei Engelbart noch hinten (also unter der Handfläche) herauskam, heute dagegen, sofern überhaupt noch vorhanden, vorne.

Jedenfalls ist heute die Maus das fast selbstverständliche Eingabegerät und ihre Verwendung wird als natürlich und intuitiv beschrieben. Dank unserer Fähigkeit der Hand-Auge-Koordination gelingt uns damit die Fernsteuerung des Zeigers auf dem Bildschirm, d.h. trotz der kognitiven Distanz gelingt es uns damit Objekte am Ort ihrer Anzeige direkt zu manipulieren, anklicken, verkleinern, vergrößern, verschieben usw..

*Direkte Manipulation* ist auch der Begriff, der 1983 von Ben Shneiderman dafür eingeführt wurde.

Das Zeigeelement entwickelte sich zu einem Navigator zur Ansteuerung verschiedener Bedeutungsebenen, der Aktivierung von Zeichenprozessen und Realisierung medialer Funktionen.



```
C> copy hbi.doc d:  
C> dir d:  
D> hbi.doc
```

Das Standardbeispiel dafür ist das *Drag Drop*, also das Ziehen und Fallenlassen für das Verschieben von Dateien innerhalb von Ordnern, was zuvor durch das Tippen von Befehlszeilen zu bewerkstelligen war.

### 3. Hypertext

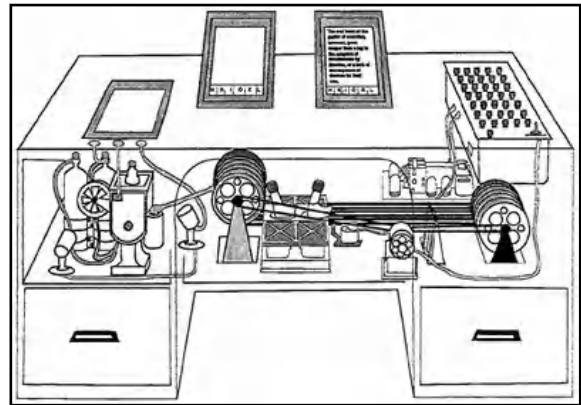
Das Konzept Hypertext geht auf Vannevar Bush zurück. Als Berater des damaligen Präsidenten (Roosevelt) wollte er ein Informationssystem entwickeln, mit dem große Informationsmengen verwaltet werden können. Mit maschineller Hilfe sollte es möglich werden, sich Inhaltsbereiche auf selbst gewählten Pfaden zu erschließen, zu annotieren und neu zu verknüpfen.

In einem Artikel im *Atlantic Monthly* beschreibt Bush 1945 die Konzeption einer Maschine mit dem Namen Memex (memory extender), die individuellen Nutzern den Umgang mit zunehmend riesigen Mengen technischer Informationen erleichtern sollte. Die Konzeption betraf die vernetzte Speicherung von Informationen in einer multimedialen Bibliothek (technische Literatur, Fotografien, Entwürfe, persönliche Notizen) auf der Grundlage der Microfiche-Technologie.

Sie orientierte sich an Bush's Auffassung, dass das menschliche Gedächtnis auf der Grundlage assoziativer Verarbeitungsmechanismen funktioniert. Die Nutzer sollten persönliche Notizen sel-

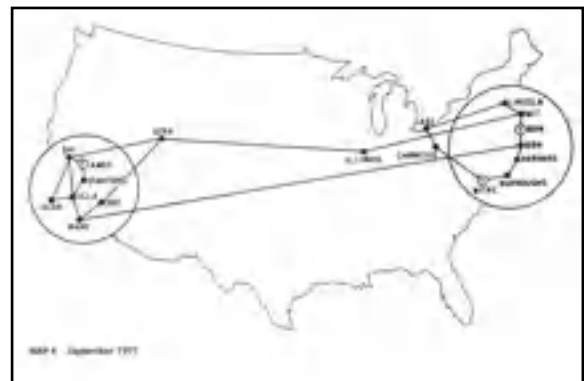
ber anlegen bzw. zu bereits gespeicherten Informationen neue Informationen hinzuzufügen können. Obwohl seine Gedanken technisch nie umgesetzt wurden, waren sie grundlegend für spätere Entwicklungen von Hypertext/Hypermedia-Systemen.

Der Begriff Hypertext wurde dann 1974 von Ted Nelson eingeführt. Nelson schwebte dabei ein weltweites Datennetz vor, ähnlich dem World Wide Web, das aber erst fast 20 Jahre später entstand. Das Beste und mit Abstand größte Beispiel für diese Netzwerkstruktur ist inzwischen dieses WWW, bei der die Gesamtinformation in einzelne Informationseinheiten – die so genannten Knoten – untergliedert ist und diese Knoten hochgradig untereinander verknüpft sind.



#### 4. Vernetzung

Die Vernetzung weit entfernter Computer begann mit dem Arpanet, einem Zusammenschluss von anfangs vier Universitätscomputern, später ausgeweitet zum Internet, das heute das Rückgrat des globalen Datenaustauschs darstellt. Hier der Stand im September 1971.

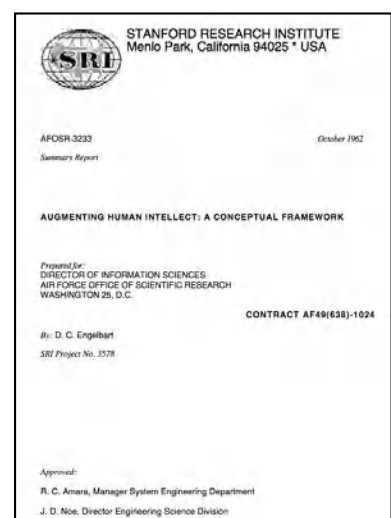


Die Hauptnutzung des Netzes für die Mehrzahl der Anwender ist heute das World Wide Web und damit ist der Browser die Schaltstelle der Informationsbereitstellung geworden.

Das zeigt sich sogar im Wandel der Sprechweise. Sagte man noch vor kurzem *Ich setze mich an den Computer* – so sagt man heute eher *ich gebe ins Internet ...*

#### Was ergibt das zusammen genommen?

Der gelernte Radarelektroniker Douglas Engelbart begann 1962 ein Forschungsprojekt, mit dem er das Ziel verfolgte, computerbasierte Techniken zu entwickeln, mit denen Informationen direkt bearbeitet und kollaboratives Arbeiten unterstützt werden sollte. Fasziniert von der Gedächtnisverstärker-Idee von Bush und der Übersichtlichkeit von Radaranzeigen begreift er den Computer als eine die menschliche Intelligenz verstärkende Maschine (Augmenting Human Intellect; so der Titel seines Konzeptionspapiers). Das Ergebnis dieser Forschungs- und Entwicklungsarbeit zeigte er am 09.12.1968 in einer 90-minütigen Präsentation.



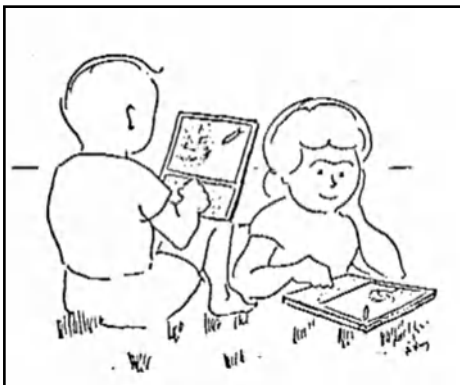
Insgesamt stellte Engelbart in diesem Vortrag folgende Entwicklungen vor:

- die Maus und den Cursor als Positionsanzeiger,
- die Integration von Text und Grafik,
- eine grafische Benutzerschnittstelle,
- hypertextuell organisierte Dokumente
- und Zweiweg-Videokonferenzen mit shared workspaces (kollaboratives Arbeiten über das Netz).

Alan Kay – selbst ein Computerpionier und Visionär – meinte *Ich weiß nicht, was im Silicon Valley noch passiert, wenn Dongs Ideen erstmal abgearbeitet sind (I don't know what Silicon Valley will do when it runs out of Dong's ideas).*

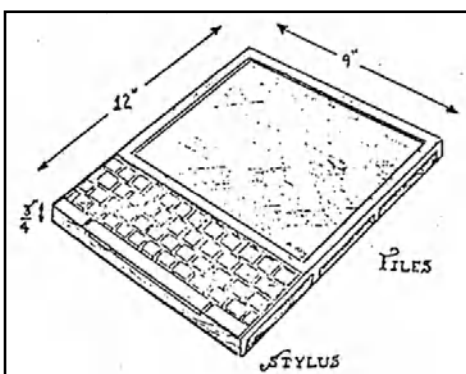
Dieser Alan Kay ist denn auch der Hauptverantwortliche dafür, dass aus diesen ersten Entwicklungen konkrete Produkte entstanden sind, die eine ganze Industrie und eben unseren Umgang mit Computern geprägt haben.

Kay, gelernter Biologe und Informatiker, traf 1968 Seymour Papert, Mathematiker und Erziehungswissenschaftler, und sah dort, wie bereits Kinder mit Computern umgingen, nämlich Programmieren in der Sprache Logo. Das war sicher ein Schlüsselerlebnis für ihn, sah er doch dort zum ersten Mal, was der direkte Umgang mit persönlich verfügbaren Computern für das Lernen bedeuten konnte.



1972 skizzierte er als Ergebnis seiner Überlegungen in der Schrift *A Personal Computer for Children of All Ages* das sogenannte Dynabook, den Vorläufer heutiger Notebooks.

Nach Kay sollte ein Computer bedingungslos an die Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen angepasst werden und er folgerte, dass ein Dynabook daher nicht nur auf der symbolischen Ebene (Texte, Zahlen) zu bedienen sein durfte, sondern auch die sensomotorischen und ikonischen Fähigkeiten der Bediener unterstützen musste.



Das Management von Xerox stand dieser Idee zunächst sehr skeptisch gegenüber, schließlich waren sie Hersteller von Büromaschinen. Aber Kay und seine Mitstreiter bekamen die Freiheit, die notwendigen Vorarbeiten durchzuführen. Es entstanden die objektorientierte Sprache Smalltalk und das erste fensterorientierte grafische Interface. Viele Entwicklungsschritte wurden mit Kindern getestet, schließlich hatte die Gruppe immer den Computer als Metamedium zur Unterstützung von Denken, Lernen und Arbeiten vor Augen.



Die Ideen aus dem Dynabook-Konzept führten schließlich auch zu einem Produkt, dem Xerox Star-Computer, der allerdings schlecht vermarktet wurde. Wie Sie wissen kam der eigentliche Durchbruch dieses Konzepts erst mit dem Apple Macintosh und dann Windows. Heutige Computerarbeitsplätze sind schwerlich ohne diese Merkmale (WIMP: Windows, Icons, Menues, Pointers) vorstellbar.

Ich finde es bemerkenswert, dass ein wesentlicher Antrieb für diese Entwicklung pädagogische und lerntheoretische Überlegungen waren und immer von der Vision getragen, Kindern persönliche Werkzeuge zum Lernen zu schaffen.

1976, am Ende eines berühmten Artikels *Personal Dynamic Media*, den er gemeinsam mit Adele Goldberg publiziert hat, stellt er die Frage *Was würde passieren in einer Welt, in der jeder ein Dynabook besitzt?*

*What would happen in a world in which everyone had a Dynabook? If such a machine were designed in a way that any owner could mold and channel its power to his own needs, then a new kind of medium would have been created: a metamedium, whose content would be a wide range of already-existing and not-yet-invented media.*

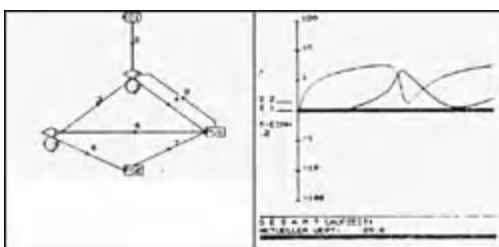
Das geht über die Frage der Interaktivität digitaler Medien natürlich weit hinaus, trotzdem werde ich am Ende auf diese Frage zurück kommen ...

## Frühe Programmbeispiele



Grafische Schnittstellen sind also keine Erfindung von Apple geschweige denn von Microsoft. Noch bevor diese Konzepte sich in Hard- und Softwareprodukten am Markt etablierten (der Mac kam 1977 heraus, Windows 1985, als wirklich nutzbares Windows 3.1 erst 1992) wurden diese als Impulse in Lernanwendungen aufgenommen.

In einem hochschuldidaktischen Projekt verwendeten wir 1976 grafische Speicherbildschirme Tektronics 4012 mit Rändelschrauben (also echte XY-Positionsbestimmer) mit denen wir grafisch interaktive Simulationsprogramme und Modellbildungssysteme implementieren konnten.



Für diese experimentellen Lernumgebungen gab es keine Vorbilder geschweige denn Richtlinien zur Gestaltung der Schnittstellen. Der breiteren Nutzung waren allerdings sowieso finanzielle Grenzen gesetzt wegen der hohen Kosten für diese grafischen Terminals und die Minicomputer, die im Hintergrund die notwendige Rechenleistung lieferten.

Aber auch die frühen 8-Bit-Rechner erlaubten dann solche Anwendungen. Gerne hätte ich an dieser Stelle einige Beispiele aus meinem Software-Museum gezeigt, muss mich aber auf eines beschränken, weil es gar nicht so leicht ist, Software-Archäologie zu betreiben, also solche frühen Programme auf heutigen Rechnern zum Laufen zu bringen.

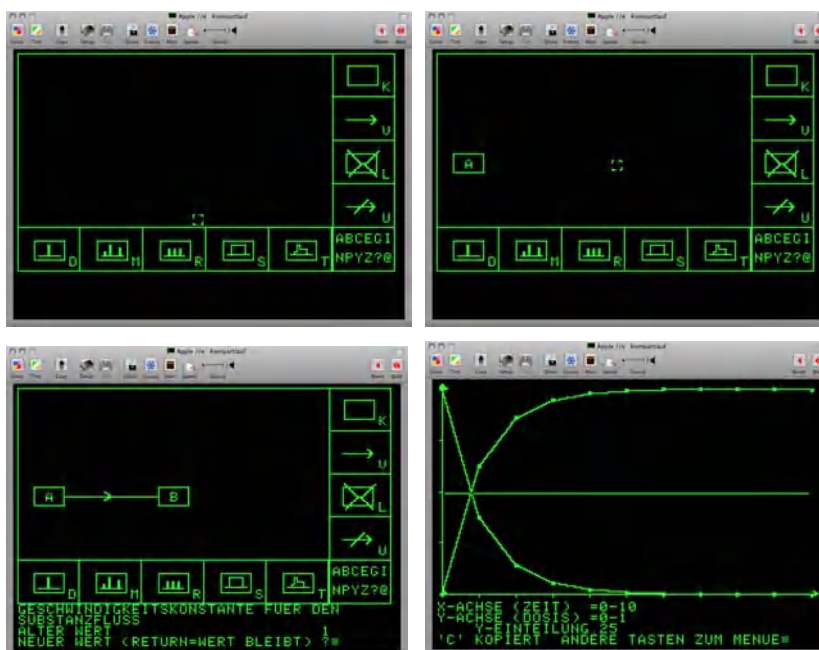
Auf dem 8 Bit-Rechner Apple II haben wir 1982 ein solches System namens KOMPART entwickelt und eingesetzt.

*Kleiner Exkurs Modellbildung:* Als Beispiel wählen wir das Medikamentieren von Patienten. Es wird ein Medikament verabreicht (geschluckt). Danach geht es vom Magen-Darmtrakt über in den Blutkreislauf und entfaltet dort seine Wirkung. Von Interesse ist, wie schnell der Übergang erfolgt.

Wir gehen aus von einem mentalen Modell der Lernenden über das Phänomen, basierend auf den Vorkenntnissen, auf Alltagswissen bzw. auf bereits vermittelten Fachwissen. Dieses mentale Modell kann verbalisiert werden. Es ist möglich, eine Beschreibung der Elemente und ihrer Beziehungen in dem System zu geben, hier etwa der Übergang eines Medikaments von einem Körperraum (Kompartiment) in einen anderen. Soll ein solches Modell für Prognosen herangezogen werden, muss es formalisiert und quantifiziert werden. Dies ist der entscheidende Schritt der Mathematisierung. Das Resultat sind in unserem Beispiel zwei gekoppelte Differentialgleichungen erster Ordnung die nun in ein lauffähiges Simulationsprogramm auf dem Computer implementiert werden müssen.

Durch ein geeignetes grafisch interaktives Computerwerkzeug (Modellbildungssystem, hier das Programm KOMPART) kann der Weg zum lauffähigen Programm stark verkürzt werden. Es reicht, die Modellstruktur aufzubauen, das System mit geeigneten Zahlenwerten zu charakterisieren und damit direkt das Simulationsprogramm zu starten um die Ergebnisdaten zu erhalten. Mathematik wird dadurch (jedenfalls anfangs) vermieden.

*Im grafischen Menü stehen alle Modellelemente zur Verfügung, die zum Aufbau eines pharmakokinetischen Modells gebraucht werden. Es reicht das Modell grafisch aufzubauen, dabei auch die Parameter festzulegen und danach den Simulationslauf zu starten. Die Ergebnisse sind dann sofort abrufbar.*

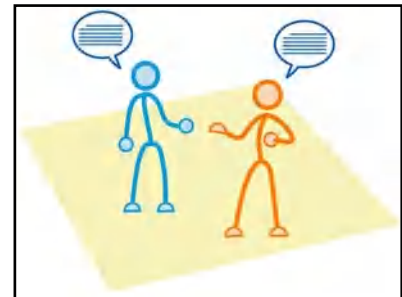


## Zum Begriff der Interaktivität

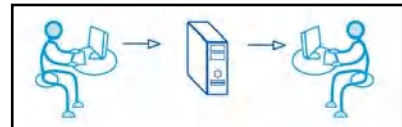
Die konstituierenden Elemente von Rechneranwendungen sind bereits genannt. Die überwältigende Mehrzahl heutiger Anwendungen, auch im Lehr-/Lernkontext folgen diesen Prinzipien. Man könnte fast sagen: Außer Bildschirmgröße und Pixelanzahl hat sich seitdem nicht mehr viel getan.

Nun, ganz so ist es natürlich nicht. An dieser Stelle ist es nun allerdings Zeit für einige begriffliche Klärungen und Erläuterungen. Wenn ich im Folgenden von der Interaktivität digitaler Lehr-/Lernangebote spreche, dann müssen die Begriffe Interaktion und Interaktivität für diesen Kontext definiert werden, weil diese in der einschlägigen Literatur nicht unbedingt einheitlich gehandhabt werden. Viele Multimedia-Produkte werden von ihren Anbietern gerne mit dem Attribut interaktiv oder gar hochinteraktiv versehen, als handele es sich dabei um ein Gütesiegel und unabhängig davon, welche Aktionen die Nutzer tatsächlich ausführen können. Bei Computerspielen werden tatsächlich Interaktionen pro Minute (im Grunde vom Programm noch unterscheidbares Drücken von Tasten) als Qualitätsmerkmal gesehen.

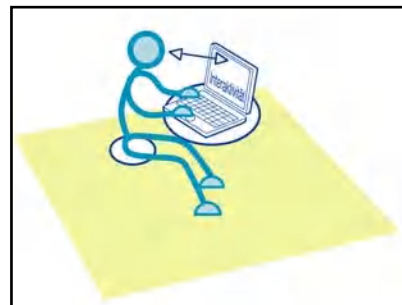
In den Sozialwissenschaften wird unter Interaktion das wechselseitig aufeinander bezogene Verhalten (sprachlich und nicht-sprachlich) zweier oder mehrerer Personen verstanden, mit dem Ziel der Kommunikation bzw. Verhaltensbeeinflussung.



Diese Handlungen können unmittelbar zwischen Personen erfolgen, aber auch durch Medien vermittelt werden (etwa Telefon, E-Mail oder Chat).



Im Bereich der Computertechnik ist es üblich auch dann von Interaktion zu sprechen, wenn Personen mit Computern umgehen. Interaktivität ist dann die Eigenschaft der Hard-/Softwarekombination, die den Nutzern Eingriffs- und Steuerungsmöglichkeiten bietet. Genau in diesem Sinne werde ich Interaktivität im Folgenden verwenden.



Mit dem von Shneiderman eingeführten Konzept der direkten Manipulation ist auch bereits die enge Verknüpfung zwischen vielfältigen Visualisierungsformen und darauf bezogenen Operationen der Nutzer angelegt: Alle zu manipulierenden Objekte werden grafisch repräsentiert und alle Aktionen erfolgen durch direkte grafische Aktionen (zumeist mit der Maus), auch bei komplexen Abläufen. Die Folgen der Aktionen sind wiederum unmittelbar sichtbar.

Zentraler Aspekt ist, dass die Nutzer durch ihre Interaktionen beim Hard-/Softwaresystem Reaktionen auslösen, die weitere Aktionen der Nutzer hervorrufen können und sollen (weshalb Mandl und Hron präziser von der Reaktivität der digitalen Medien sprechen).

Die Interaktionshandlungen können unterschiedlich komplex sein, unterschiedlich sachgerecht und mehr oder weniger folgenreich. Im didaktischen Kontext zentral sind die aktive Rolle der Nutzer und die Freiheitsgrade der Auswahl.

## Taxonomie der Interaktivität

*„Die Aufgabe des Designers von Multimediaumgebungen besteht darin, die Interaktionssemantik des Benutzers mit der Interaktionsyntax des Programms in Deckung zu bringen.“*

So Schulmeister; also anders ausgedrückt Einklang von Nutzererwartung und Programmoption.

Es gibt daher vielfache Bemühungen, Interaktivität einzuschätzen und einzuordnen in eine Taxonomie von Interaktivität. Sie kranken oft daran, dass sie nur formale Kriterien bieten. Interaktivitätsniveaus – skaliert von very low bis very high – erinnern an die IPMs (Interaktionen pro Minute) und beschreiben in keiner Weise die Handlungsformen mit den Lernobjekten oder Ressourcen des Programms.

Ich verwende hier eine Taxonomie, die sich an Schulmeister (2002, 2005) orientiert.

Ausgangspunkt ist dabei eine Bildschirmseite, wie wir sie in einem gängigen multimedialen Lernsystem oder als eine Web-Seite in einer Lernplattform finden, auf der sich außer Text auch andere Multimedia-Komponenten befinden können. Darunter werden hier Bilder, Grafiken, Animationen, Filme, Audiobeispiele oder Tabellen, Formeln, Java Applets oder Flash-Programme verstanden. Bei einer konkreten Seite stellt sich dann die Frage, wie viel Handlungsfreiheit die Autoren den Benutzern der Seite einräumen bzw. welche Interaktivitätstypen oder Interaktivitätsgrade sie vorgesehen haben.

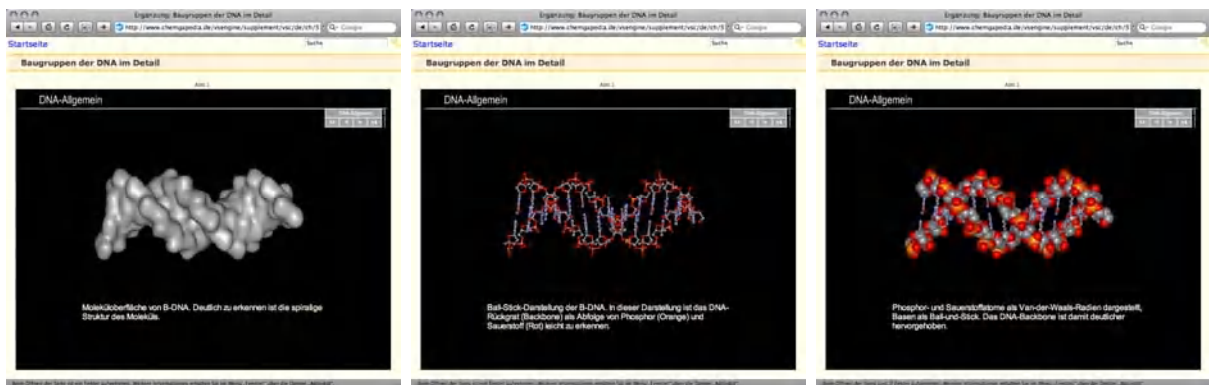
Ich unterscheide nun fünf Stufen, die den Grad der Interaktivität charakterisieren sollen, den sie den Benutzern anbieten. Diese Stufung bezieht sich sowohl auf Multimedia-Komponenten in einem Lernsystem, als auch auf interaktive Programme allgemein bzw. Programmkomponenten in einem Lernsystem.

### **Stufe I: Objekte betrachten und rezipieren:**

In vielen Texten werden vorgefertigte Multimedia- oder Programm-Komponenten eingesetzt, die die Benutzer betrachten (Bilder, Grafik) oder abspielen können (Ton, Film, Flash-Animation usw.), wobei die Betrachter keinen weiteren Einfluss auf die Darstellung haben. Ihr Inhalt bleibt konstant.

So können beispielsweise mehrere Versionen einer Grafik nacheinander aufgerufen, mehrere Animationen nacheinander abgespielt werden. Hier haben die Multimedia-Komponenten nur die Funktion der Illustration oder Information.

Technisch betrachtet, ist diese Stufe zwar simpel, didaktisch betrachtet, ist sie aber nicht unbedeutend: Es geht darum, Sachverhalte, Strukturen und Prozesse zu veranschaulichen, Abstraktes zu visualisieren

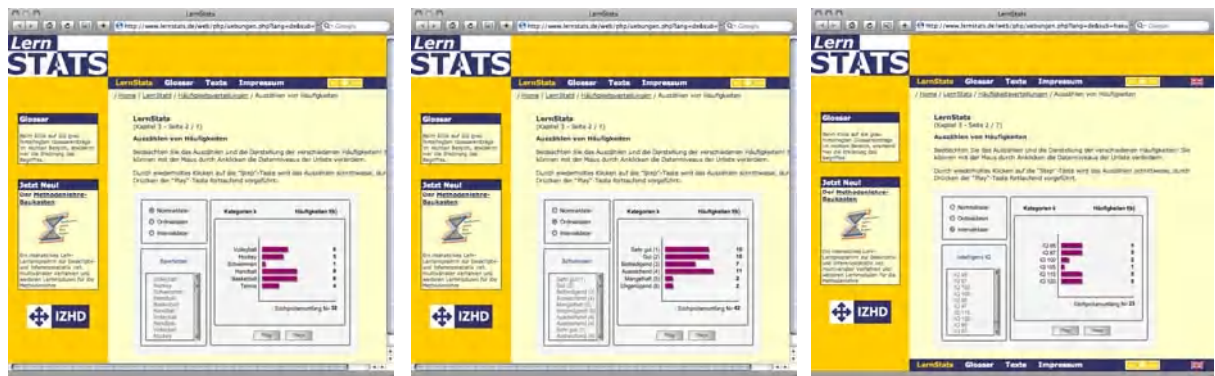


Hier: Standbilder aus einem Tutorial über Nukleinsäuren (Kröger et al., 2002).

*Wir können durch Rechts-Links-Pfeile zwischen verschiedenen Darstellungen der Moleküloberfläche von B-DNA wechseln: Ball-and-Stick-Darstellung, Phosphor- und Sauerstoffatome als Van-der-Waals-Radien, Basen als Ball-and-Stick, optische Unterscheidung (Blau-Rot) der DNA-Stränge.*

**Stufe II: Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren:**

So können beispielsweise mehrere Versionen einer Grafik nacheinander aufgerufen, mehrere Musikstücke, Filme oder Animationen nacheinander abgespielt werden. Auch auf dieser Stufe der Interaktivität können die Benutzer das Ergebnis, die Repräsentation der Komponente, nur betrachten, und auch hier haben die Multimedia-Komponenten nur die Funktion der Illustration oder Information.



Hier: Standbilder aus einem Tutorial über das Auszählen von Häufigkeiten (Schulmeister, 1992).

*Die Studierenden können mehrere Datenreihen auswählen und für jede Datenreihe ein Balkendiagramm zeichnen lassen. Sie können den Vorgang mehrfach wiederholen, nicht aber die Daten oder den Grafiktyp ändern.*

Didaktisch Sicht sinnvoll ist dies, wenn es um Vergleichen geht. Vergleich und Kontrast, Variation, mehrfache Sichten auf denselben Gegenstand sind wertvolle Prinzipien in Lernprozessen.

**Stufe III: Die Repräsentationsform variieren:**

Die Benutzer können durch direkte Manipulation der Komponente beispielsweise zweidimensionale Grafiken skalieren oder die Darstellung dreidimensionaler Animationen rotieren lassen. Diese Stufe der Interaktivität vermittelt den Benutzern zum ersten Mal das Erlebnis, einen aktiven

Einfluss auf die Darbietung zu haben, sie aus verschiedenen Perspektiven oder in verschiedenen Größen betrachten bzw. aktiv in ihr navigieren zu können. Aber auch hier: Die Benutzerhandlungen verändern nur die Repräsentationsform, nicht den Inhalt.



Hier: Direkte Manipulation (Drehen, Zoomen) interaktiver 3D Objekte in VR Filmen (Canis lupus, Myers, P. et al., 2005).

*Die Studierenden können hier einen Wolfschädel frei drehen und für Details hinein zoomen. Der Darstellungsgegenstand liegt aber fest. Andere Ansichten benötigen weitere Objektdarstellungen.*

Didaktisch werden Manipulationen der Repräsentationsform von Lernobjekten aber erst dann, wenn sich damit eine Fragestellung verbindet (z.B. ob Symmetrie eines Objekts vorhanden ist, ob etwas endlos weitergeht, ob eine andere Form angemessener oder benutzbarer ist). Diese Fragestellung kann vom Lehrenden kommen, sie kann sich aber auch der Lernende selbst stellen. Aber auch hier: Die Benutzerhandlungen verändern nur die Repräsentationsform, nicht den Inhalt.

#### **Stufe IV: Den Inhalt der Komponente beeinflussen:**

Die Inhalte sind auf dieser Stufe nicht gänzlich vorgefertigt, sondern werden durch die Benutzer erst auf Anforderung generiert. Die Benutzer können innerhalb eines gesetzten Rahmens durch die freie Eingabe von Daten oder durch Variieren von Parametern neue Darstellungsweisen erzeugen.

Die Benutzer können auf dieser vierten Stufe den Inhalt des Programms variieren, typischerweise also z.B. in Simulationen die Parameter variieren. Auf diese Weise können die Benutzer die zu vielfältigen Resultaten gelangen.



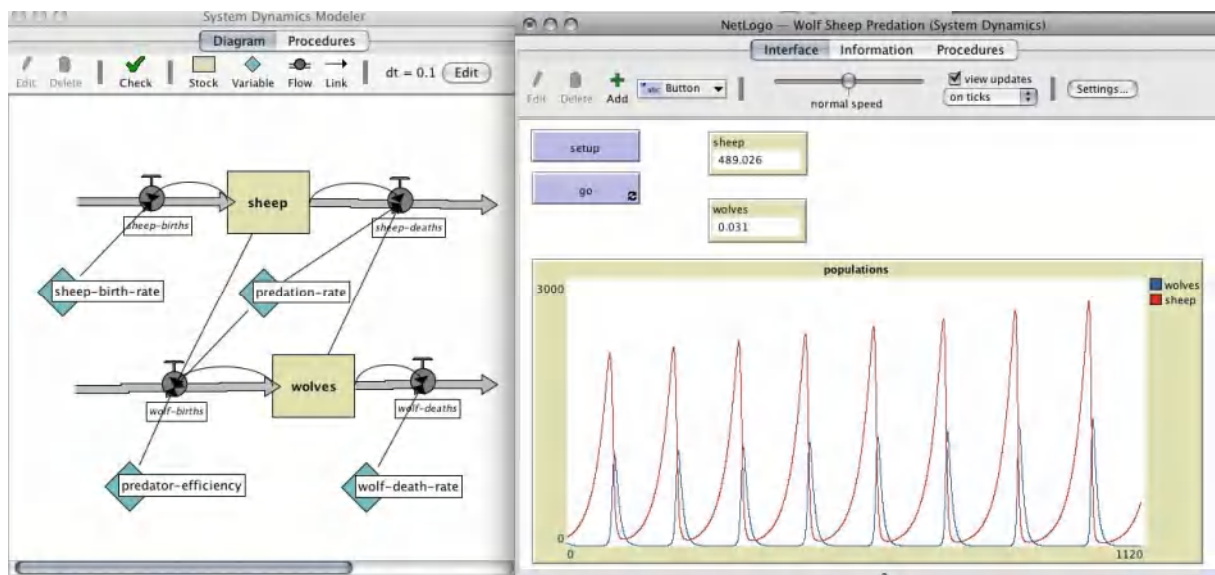
Hier: Strahlengang in einer optischen Bank (MatheVital, Richter-Gebert, 2008).

*Die Studierenden können hier eine optische Bank mit den gegebenen Komponenten frei aufbauen. Die Ergebnisse werden unmittelbar als Strahlengang dargestellt.*

Mit den Interaktivitätsstufen III und IV können explorative Lernaktivitäten unterstützt werden (vgl. Mellar et al., 1994): Zu einem bestimmten Inhaltsbereich werden von den Lehrenden bzw. Experten Sichten und Vorstellungen angeboten, die die Lernenden nun ihrerseits untersuchen können. Das macht insbesondere dort Sinn, wo aufgrund des Grades der Abstraktheit (wie den mathematischen Funktionen und Konzepten) keine oder wenig konkrete Vorstellungen der Lernenden vorausgesetzt werden können oder aufgrund der Komplexität des Gegenstandsbereichs (wie bei den dynamischen Systemen) naive Sichten bzw. Fehlkonzepte überwunden werden sollen.

### Stufe V: Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren und Prozesse generieren:

Die höchste Stufe der Interaktivität wird erreicht, wenn den Benutzern auf der Seite des Lernprogramms Werkzeuge zur Verfügung stehen, mit denen sie selbst ihre Überlegungen umsetzen können, also ihre Gedanken visualisieren, MindMaps anfertigen oder Objekte - wie z.B. mathematische Formeln und Berechnungen - kreieren können.



Hier: Simulation in NetLogo (Wilensky, 2008).

*In diesem Programm, NetLogo, können mit grafischen Mitteln Modelle dynamischer Systeme aufgebaut werden, die dann wie ein Programm angestoßen werden können und in einer Zahl iterativer Durchläufe zeitabhängige Daten liefern. In dem Beispiel wird das klassische Räuber-Beute-Modell modelliert. Das Produkt sind Ergebnisausgaben der Simulationsläufe in Form von Kurven und Daten.*

Mit den fünf Interaktionsstufen wird für Schulmeister (2005) der Ereignisraum vielfältiger, der Darstellungsraum wird variantenreicher und der Bedeutungsraum wächst. Die höheren Level enthalten alle Aspekte der darunter liegenden Level (und sind mit der historischen Abfolge der psychologischen Lerntheorien kompatibel).

Die reaktiven unteren Stufen der Interaktivität nehmen leicht behavioristischen Charakter an, während die höheren Interaktivitätsniveaus eher kognitive Lernkonzepte voraussetzen und befördern, wie beispielsweise das Entdeckende Lernen.

Aber Interaktivität ist a priori kein Qualitätsmerkmal. Ob bestimmte Interaktionen bei einem bestimmten Lehrstoff für bestimmte Adressaten den Lernprozess fördern oder behindern, hängt ab von den konkreten Reaktionen des Lehrsystems (sei es Informationsdarbietung, das Stellen von Aufgaben, bewertende Rückmeldung auf Lernereingaben usw.). Nicht jede Interaktionsmöglichkeit muss den Lernprozess fördern.

## Unterrichtsmethodische Konzepte

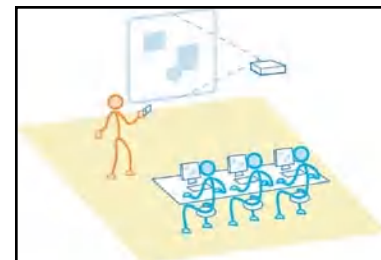
Die didaktischen Funktionen ihrerseits werden ja nicht isoliert angegangen, sondern finden (meist kombiniert) ihren Platz in Unterrichtsmethoden, die zur Erreichung konkreter Lehr/Lernziele eingesetzt werden.

Bei den unterrichtsmethodischen Konzepten unterscheide ich in Anlehnung an Einsiedler (1981) sowie Mellar et al. (1994) vier Formen, in denen jeweils auch Informationstechnologien für Lehren und Lernen benutzbar sind:

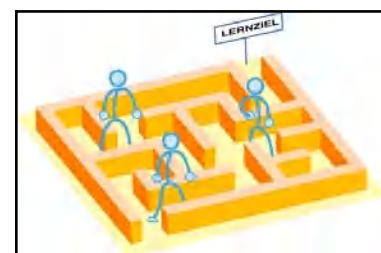
*Expositorische* Lernaktivitäten, bei denen die Lernenden Informationen durcharbeiten, die von den Lehrenden auf einem angemessenen Niveau angeboten werden. Entsprechende Lehrverfahren haben einen hohen Strukturierungsgrad und die Aufbereitung des Lehrinhalts und die Gestaltung des Lehr-Lern-Prozesses geht weitgehend von den Lehrenden aus.



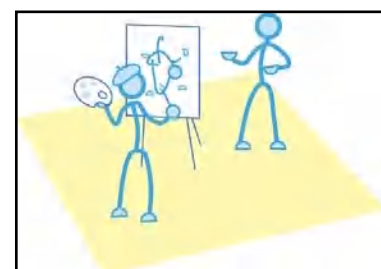
*Erarbeitende* Lernaktivitäten, bei denen die Lehrinhalte im Austausch zwischen Lehrenden und Lernenden entwickelt werden. Diese Lehrverfahren weisen mittleren Strukturierungsgrad auf und versuchen, die Lernenden kognitiv zu aktivieren.



*Explorative* Lernaktivitäten, bei denen die Lernenden Vorstellungen über einen Inhaltsbereich untersuchen, die von jemand anders angeboten werden (Lehrperson), und wobei diese Vorstellungen durchaus stark von den Vorstellungen der Lernenden abweichen können.



*Expressive* (artikulative) Lerneraktivitäten, bei denen die Lernenden ihre eigenen Ideen ausdrücken und in den sozialen Austausch einbringen können. Dazu zählt einerseits die Dokumentation eigener Ideen und Überlegungen, insbesondere aber die Umsetzung dieser Ideen mit geeigneten Werkzeugen.





Die Übergänge zwischen den Lernaktivitäten sind sicherlich fließend. Explorative Lernaktivitäten können dabei einer konstruktivistischen Auffassung von Lehren und Lernen zugeordnet werden.

Für unsere Überlegungen ist die Tatsache bedeutsam, dass die fünf Interaktivitätsstufen sich diesen Lernaktivitäten nicht direkt zuordnen lassen. Es ist jeweils notwendig, die möglichen didaktischen Funktionen zu bestimmen und in diesem Kontext dann den Beitrag des interaktiven Zugangs zu diesen Funktionalitäten zu präzisieren. So sind die interaktiven Komponenten der Lernumgebung für explorative Lernaktivitäten besonders wichtig, weil Exploration ganz auf die von den Lernenden initiierten Aktionen setzt (Erkunden, Experimentieren).

Für expressive Lernaktivitäten ist bedeutsam, dass in den korrespondierenden Anwendungsformen sich eigene Ideen formulieren, darstellen und austesten lassen. Die Bereitstellung eines großen Interaktionspotenzials ist dafür eine unabdingbare Voraussetzung.

## Zwischenbilanz

An dieser Stelle eine kleine Zwischenbilanz: Wir haben gesehen, dass aus vier Basisinnovationen, integriert in Konzepten von Doug Engelbart und Alan Kay, die Prototypen für Rechner, Betriebssystem und Anwendungen entstanden sind mit GUIs und WIMPs. Im Bildungskontext wurden diese Formen früh aufgegriffen und wir können fünf Interaktivitätsstufen unterscheiden, die im Kontext unterrichtsmethodischer Konzepte ihr Potenzial entfalten. Wir haben auch gesehen dass Lernanwendungen sehr früh und phantasievoll diese Impulse aufgegriffen haben.



Trotzdem sind wir gerne geneigt, bei der Entwicklung von (Lern-) Anwendungen die von den heute verbreiteten Betriebssystemen angebotenen Optionen hinzunehmen. Wir handeln uns damit aber (sozusagen systembedingte bzw. betriebssystembedingte) Mängel ein, die mit anderen Konzepten vermieden werden könnten.

Auch wenn sich die Schreibtischmetapher eingebürgert hat, es gibt Alternativen, sowohl was die Eingabe-Ebene als auch was die Ausgabe-Ebene betrifft. Dann stellt sich die Frage, inwieweit verändert sich dadurch die Interaktivität von Lernanwendungen, welche Funktionalitäten werden dadurch erschlossen und gewinnen wir dadurch neue methodische Freiheiten?

Schon seit den frühen 90er Jahren gibt es Entwicklungen, mit denen das GUI und die Schreibtischmetapher abgelöst werden sollten, mit der schon damals nicht alle wunschlos glücklich waren. Keine davon hat sich bisher wirklich durchgesetzt außer in Spezialanwendungen. Zwei Entwicklungen allerdings könnten einem solchen Nischendasein entkommen – und sie haben bereits Lernanwendungen angestoßen.

## Aktuelle Entwicklungen

### Virtuelle Realität

Die erste hier zu nennende Form ist die virtuelle Realität, kurz VR. Darunter wird die Darstellung und die gleichzeitige Wahrnehmung der Wirklichkeit und ihrer physikalischen Eigenschaften in einer in Echtzeit vom Computer generierten, interaktiven virtuellen Umgebung bezeichnet.

Es gibt eine ganze Reihe spezieller Ein- und Ausgabegeräte, die unterstützen sollen, dass die Nutzerinnen in die (dreidimensionale) virtuelle Welt eintauchen können (was dann Immersion genannt wird). Beispiele sind Datenhandschuh, Head Mounted Displays, d.h. am Kopf getragene Ausgabegeräte und Projektionsräume (Caves). Die Interfaceentwicklung kann hier als Prozess der Verräumlichung der Bedienschnittstellen interpretiert werden. Das Interface entwickelt sich so zu einem Interplace.



Wirklich populär geworden ist das Konzept mit der virtuellen Welt Second Life, die das VR-Prinzip ohne solch aufwändige Zusatzgeräte wieder zurück auf den Bildschirm geholt hat.

Second Life ist eine Online-Infrastruktur für von Benutzern gestaltete virtuelle 3D-Welten, in der Menschen durch ihre Stellvertreter, sogenannte Avatare, agieren können. Durch den Effekt der Immersion haben die Teilnehmenden das Gefühl, tatsächlich in einem gemeinsam geteilten Raum zu interagieren.

Second Life erlaubt eine Vielfalt an nutzergesteuerten Interaktionen, die dann Animationen auslösen, die von Lauf- und Flugbewegungen der Avatare über einfache Gesten zu komplexeren Bewegungen gehen, die sich vielfach kombinieren und bearbeiten lassen,

Second Life hat vor zwei Jahren einen Boom erlebt, der inzwischen allerdings deutlich abgeflaut ist („sudden death in second life“). Lernanwendungen dagegen nehmen nach wie vor zu. Es ist durchaus spektakulär, was in manchen Bereichen aufgebaut wurde, vor allem dort, wo die Darstellung räumlicher Verhältnisse eine Verstehenshilfe darstellt (z.B. Architektur, Chemie, Mathematik).



*Fliegen wir kurz zu einem dieser interessanten Orte, hier zu einem Labor mit Optischen Illusionen der University of the West of Scotland: virtuALBA.*

*Hier sehen wir z.B. eine Gradienten-Illusion, das heißt bei Fixierung auf die Mitte der Wand verschwinden Kugeln und erscheinen wieder – oder nicht? Tatsächlich bleiben sie immer gleich, was deutlich wird, wenn man den eigenen Standort verändert, was bei herkömmlichen Repräsentationen dieses Phänomens eben nicht möglich ist.*

Die Interaktion ist natürlich nur ein Aspekt, der Second Life und vergleichbare 3D-Welten didaktisch attraktiv macht. Neben der Visualisierung von Lerninhalten sind das auch die soziale Präsenz und Ko-Präsenz, z.B. in virtuellen Vorlesungen, wo sie sich sogar ungestört, d.h. vom Dozenten unbemerkt, mit ihrem Nachbarn unterhalten können ... allerdings: Eine Vorlesung in Second Life bleibt eine expositorische Form, auch wenn man hinfliegen kann.

### Anfassbare Benutzerschnittstellen

Der Bildschirm ist immer nur ein Fenster in eine virtuelle Welt. Alltagswelt und diese virtuelle Welt sind strikt getrennt. Dem soll mit neuen Interfaces, den Tangible Interfaces (anfassbaren/ greifbaren Interfaces) entgegengewirkt werden, bei denen digitale Daten durch greifbare Objekte verkörpert werden. Gewohnte Umgangsformen mit Artefakten und deren Eingebundenheit in alltägliche Umgebungen sollen damit erhalten bleiben.

Ein Ihnen vielleicht bekanntes solches Teil ist die Wiimote, das Steuergerät der Wii-Spielkonsole, mit dem nun Computerspiele (z.B. Tennis oder Bowling) wirklich schweißtreibend zu spielen sind.



Aber auch in abstrakten Bereichen wie der Mathematik oder dem Programmieren sind greifbare Interfaces zu finden.

Tern ist eine anfassbare Programmiersprache zur Steuerung von Robotern. Hölzerne Puzzle-Teile, die Sprachelemente darstellen, können zusammen gesteckt werden und das Ergebnis einer so formulierten Abfolge kann sofort am Verhalten eines dadurch gesteuerten Roboters überprüft werden.



Mit solchen Interfaces lassen sich dann Lernumgebungen schaffen, die alltagsorientiert sind, die kollaboratives Arbeiten unterstützen und die mit ihrer Reichhaltigkeit nahe an reale Problemstellungen heranführen. Insgesamt sind dies Merkmale, die sie für konstruktivistische Lernformen (aktiv, sozial, situiert, anwendungsorientiert, selbstgesteuert) prädestinieren.

## Interaktionsdesign

VR und TUIs erhöhen drastisch die Bedeutung der Gestaltung dieser Räume allgemein bzw. der Lernräume speziell, aber sie verlangen designerische Fähigkeiten. Terry Winograd sieht darin ein neues Arbeitsfeld, das er Interaktionsdesign nennt.

Ein anderer bekannter Informationsdesigner - Nathan Shedroff - formuliert es so: *Interaktionsdesign ist das Schaffen von anregenden/ aufregenden Erfahrungsräumen*. Anleihen will er deshalb aus den darstellenden Künsten holen (dem Geschichten Erzählen, dem Theatersport und medienspezifisch übertragen. Konsequenterweise bezeichnet Shedroff das als Experience Design.

Solchen Anforderungen in Lernumgebungen gerecht zu werden ist keine triviale Aufgabe, da sie technische Möglichkeiten und kognitive Anforderungen an die Lernenden vereinbaren soll.

## Fazit und Ausblick

Es ist ein gerne gepflegtes Vorurteil, dass der Bildungsbereich den technischen Innovationen der IT-Industrie hinterher hechelt weil er einfach nicht Schritt halten könne mit dem technisch vorgegebenen Tempo.

Ich hoffe aber gezeigt zu haben, dass in einigen wichtigen Bereichen gerade umgekehrt didaktische Überlegungen, Entwicklungen und konkrete Erfahrungen Einfluss auf jetzt gängige Nutzungs- und Interaktionsformen genommen haben. Es ist offensichtlich Experimentierfreude und Entwicklungskompetenz vorhanden. Auch die zuletzt besprochenen Bereiche (VR und TUIs) sind Belege dafür.

Die Frage ist eher, was aus diesen vielen Produkten, Initiativen und Erfahrungen mittel- und langfristig wird, also ob und wie sie den Weg in Alltag finden.

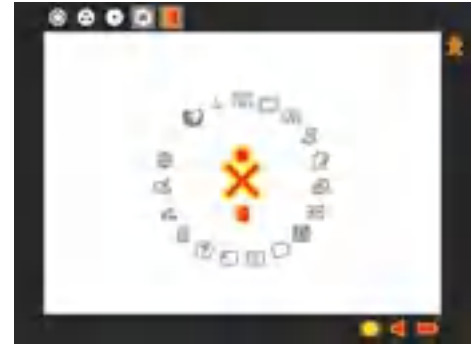
### Das OLPC-Projekt

Ich hatte anfangs erwähnt, wie sehr Alan Kay bei seiner Vision vom Dynabook von Arbeiten Papiers mit Kindern und dem Programmieren mit Logo inspiriert war.



So soll am Ende dieser Tour nicht der Hinweis fehlen, dass nach über 30 Jahren heute ein Gerät auf dem Markt ist, dass diesen Vorstellungen weitgehend entspricht: Es ist der XO-Laptop (100 \$ Laptop) des Projekts One Laptop per Child, das Nicholas Negroponte ins Leben gerufen hat, um Kindern in Schwellenländern den Zugang zur Informationstechnologie und dem Weltwissen im Internet zu eröffnen (LOG IN 156, 2009).

Auch dieses Gerät hat eine grafische Schnittstelle, die sich aber von Windows und Mac OS deutlich unterscheidet (z.B. einen zeitlich orientierten Zugriff auf Dokumente bietet). Es unterstützt kollaboratives Arbeiten an gemeinsamen Dokumenten (Mesh-Netzwerk) und es umfasst tangible (grafische) Programmierwerkzeuge.



Mit seiner lernspezifischen Hard- und Software verfolgt das OLPC-Projekt, einen (zwar kritisierbaren) aber ganzheitlichen Ansatz. Der Computer wird zum alltäglichen (und allgegenwärtigen) Werkzeug, das den Zugang zum Weltwissen eröffnet, das Hilfsmittel beim Problemlösen ist und lokale und globale Kooperation und Kollaboration unterstützt.

Ich bin gespannt, ob diese Initiative in den bisher beteiligten Ländern erfolgreich sein wird. Und ich fände es spannend, zu prüfen, ob das Konzept an unser Bildungssystem adaptierbar wäre. Aber das ist ein anderes Thema und wäre ein eigenes Papier!

## Literatur

- Bush, V. (1945). As We May Think. Atlantic Monthly, Juli 1945. Online unter: <http://www.theatlantic.com/doc/194507/bush>
- Einsiedler, W. (1981). Lehrmethoden. München: Urban & Schwarzenberg.
- Engelbart, D. (1962). Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework. Stanford Research Institute. Online unter: <http://www.bootstrap.org/augdocs/friedewald030402/augmentinghumanintellect/AHI62.pdf>
- Englert, R., Göhring, R. & Wedekind, J. (1984). KOMPART - Ein interaktives Simulationssystem für pharmakokinetische Kompartimentsysteme. EDV in Medizin und Biologie, 15, S. 1-4.
- Goldberg, A. & Kay, A. (1976). Personal Dynamic Media. Xerox Palo Alto Research Center, Learning Research Group, A Xerox ParcOrange Book. Online unter: [http://www.newmediareader.com/book\\_samples/nmr-26-kay.pdf](http://www.newmediareader.com/book_samples/nmr-26-kay.pdf)
- Hellige, H. D. (Hg.) (2008). Mensch-Computer-Interface. Bielefeld: transcript Verlag.
- Kay, A. (1972). A Personal Computer for Children of All Ages. In: Proceedings of the ACM National Conference, Boston Aug. 1972. Online unter: <http://www.mprove.de/diplom/gui/Kay72a.pdf>
- Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J. & Tompsett, C. (ed.) (1994). Learning With Artificial Worlds: Computer Based Modelling In The Curriculum. London: The Falmer Press.
- Nelson, T. (1974). Computer Lib / Dream Machines. Ted Nelson. Online unter: [http://www.arch.kth.se/unrealstockholm/unreal\\_web/seminar03\\_2006/computerlib.pdf](http://www.arch.kth.se/unrealstockholm/unreal_web/seminar03_2006/computerlib.pdf)
- Schulmeister, R. (2002): Taxonomie der Interaktivität von Multimedia – Ein Beitrag zur aktuellen Metadaten-Diskussion. Informationstechnik und Technische Informatik, 44. Jg, H. 4, S. 193-199.
- Schulmeister, R. (2005): Interaktivität in Multimedia-Anwendungen. Portal e-teaching.org: <http://www.e-teaching.org/didaktik/gestaltung/interaktiv/InteraktivitaetSchulmeister.pdf>
- Shedroff, N. (2001). Experience Design 1. Berkeley: New Riders Publishing.
- Shneiderman, B. (1983). Direct Manipulation. A Step Beyond Programming Languages. IEEE transactions on Computers, Vol. 16, No. 8, August, pp. 57–69.
- Sutherland, I. (1963). Sketchpad: A man-machine graphical communication system. MIT. Online unter: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>
- Wedekind, J. (1977). Konzept und Realisierung eines grafischen interaktiven Programmiersystems (GRIPS). In: Schneider (Hg.). CUU in der Lehrerbildung. Freiburg: Burg-Verlag, S. 205-212.
- Wedekind, J. (Hg.) (2009). Themenheft LOG IN: Ein Computer für jedes Kind auf der Welt. LOG IN 29, Heft Nr. 156.

Winograd, T. (1997). From Computing Machinery to Interaction Design. In: Denning & Metcalfe (eds.), Beyond Calculation: The Next Fifty Years of Computing, Springer-Verlag, 1997, 149-162. Online unter: <http://hci.stanford.edu/winograd/acm97.html>

## Bildernachweis

Umschlag: <http://de.fotolia.com/>

S. 1: fotolia, <http://de.fotolia.com/>

S. 1: <http://www.flickr.com/photos/11649044@N00/2710293901/>

S. 2: Ankündigung NLS-Demo: <http://sloan.stanford.edu/MouseSite/1968Demo.html>

S. 3: Sketchpad: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>

S. 3: I. Sutherland:

<http://www.mercurious.com/wordpress/2007/07/16/sketchpad-the-worlds-first/>

S. 3: mauspatent:

[http://inventors.about.com/library/inventors/bl\\_computer\\_mouse\\_patent.htm](http://inventors.about.com/library/inventors/bl_computer_mouse_patent.htm)

S. 4: Joachim Wedekind

S. 5: Memex: <http://webkompetenz.blogspot.com/2007/07/hypertext-7.html>

S. 5: Arpanet 1971:

<http://personalpages.manchester.ac.uk/staff/m.dodge/cybergeography/atlas/historical.html>

S. 5: Augmenting Human Intellect:

<http://www.bootstrap.org/augdocs/friedewald030402/augmentinghumanintellect/AHI62.pdf>

S. 6: Dynabook: <http://www.mprove.de/diplom/gui/Kay72a.pdf>

S. 7, 8, 9: Joachim Wedekind

S. 11: Kröger et al., 2002:

[http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/5/bc/vlus/dna.vlu/Page/vsc/de/ch/5/bc/nukleinsauren/dna\\_strukturen/dna\\_doppelhelix/dna\\_doppelhelix.vscml.html](http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/5/bc/vlus/dna.vlu/Page/vsc/de/ch/5/bc/nukleinsauren/dna_strukturen/dna_doppelhelix/dna_doppelhelix.vscml.html)

S. 11: Schulmeister, 1992:

[http://www.lernstats.de/web/php/uebungen.php?lang=de&sub=haeufigkeitsverteilungen?03\\_02](http://www.lernstats.de/web/php/uebungen.php?lang=de&sub=haeufigkeitsverteilungen?03_02)

S. 12: Myers et al., 2005:

[http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/resources/skulls/canis/c.\\_lupus\\_lycaon/c.\\_lupuslatmovie.mov/view.html](http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/resources/skulls/canis/c._lupus_lycaon/c._lupuslatmovie.mov/view.html)

S. 12: Richter-Gebert, 2008: <http://www-m10.ma.tum.de/twiki/bin/view/Lehrstuhl/PhysikG7>

S. 13: Joachim Wedekind

S. 14: e-teaching.org

S. 15, 16: Joachim Wedekind

S. 17: wiimote: [http://en.wikipedia.org/wiki/Wii\\_Remote](http://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Remote)

S. 17: Tern: <http://hci.cs.tufts.edu/tern/>

S. 18: XO-Laptop:

<http://www.flickr.com/photos/olpc/2597843614/in/set-72157605729498226/>

S. 19: Sugar Desktop: Christoph Derndorfer